
PROJECTE DE FINAL DE CARRERA



Estudi i avaluació de sistemes de presa de decisions multicriteri

Pasqual Ferrari Navarro
Enginyeria Tècnica en Informàtica de Gestió

Dirigit per la Dra. **Aida Valls Mateu**
i per **Montserrat Batet**

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria (ETSE)
Universitat Rovira i Virgili (URV)
<http://www.etse.urv.cat>

Curs 2006-2007

Voldria agrair al Dr. Luis C. Dias de l'Institut de Enginyeria de Sistemes i Computadors de Coimbra la seva amabilitat alhora de facilitar-nos el seu software VIP Analysis. També m'agradaria agrair la predisposició demostrada pel sr. Patrick Meyer de la Facultat de Llei, Economia i Finances de la Universitat de Luxemburg i pel sr. Antonio Jiménez Martín de la Facultat d'Informàtica de la Universitat Politècnica de Madrid sempre que m'ha sorgit algun dubte.

Contingut del Projecte Final de Carrera

1 INTRODUCCIÓ.....	1
1.1 OBJECTIUS DEL PFC	1
1.2 OBJECTIU DE LA DECISIÓ	2
1.3 DOMINÀNCIA I EFICIÈNCIA	3
1.4 ESTRUCTURA DEL DOCUMENT	6
2 EL MODELAT DE LES DADES	7
2.1 MÈTODES MAUT	7
2.2 MÈTODES OUTRANKING	9
3 NATURALESA DE LA INFORMACIÓ	10
3.1 ESCALES DE VALORACIÓ.....	10
3.2 Lògica FUZZY	11
3.2.1 Fuzzyficació.....	12
3.2.2 Defuzzyficació.....	12
3.2.3 Operacions	14
3.2.3.1 Complementació o negació	15
3.2.3.2 Unió o disjunció	15
3.2.3.3 Intersecció o conjunció.....	16
4 EINES DE SUPORT A LA PRESA DE DECISIONS	17
5 ANÀLISI DE LA SENSIBILITAT I LA ROBUSTESA.....	18
6.1 SENSIBILITAT.....	18
6.2 ROBUSTESA	18
7 MCDA.....	19
7.1 MCDA SOFTWARE	19
7.2 CLASSIFICACIÓ DEL SOFTWARE	23
8 SOFTWARES TESTEJATS	25
8.1 CLUSDM	25
8.1.1 Descripció general del mètode.....	25
8.1.2 Testeig del ClusDM	29
8.1.2.1 Dades	29
8.1.2.2 Utilització del ClusDM.....	32
8.2 TOMASO	38
8.2.1 Descripció general del mètode.....	38
8.2.2 Testeig del TOMASO	40
8.2.2.1 Dades	40
8.2.2.2 Utilització del TOMASO.....	42
8.3 VIP ANALYSIS	51
8.3.1 Descripció general del mètode.....	51
8.3.2 Testeig del VIP Analysis.....	53
8.3.2.1 Dades	53
8.3.2.2 Utilització del VIP Analysis	57
8.4 MACBETH.....	63

8.4.1	<i>Descripció general del mètode</i>	63
8.3.2	<i>Testeig del MACBETH</i>	64
8.3.2.1	Introducció i tractament de les dades	64
8.3.2.2	Anàlisi dels resultats obtinguts	72
9	PROVES I RESULTATS	78
9.1	LES DADES I EL SEU PRE-PROCESSAMENT	78
9.2	PROVES	85
9.2.1	<i>Proves amb ClusDM</i>	85
9.2.2	<i>Proves amb TOMASO</i>	90
9.2.3	<i>Proves amb VIPA</i>	93
9.2.4	<i>Proves amb MACBETH</i>	96
9.3	COMPARACIÓ	99
9.3.1	<i>Pesos</i>	99
9.3.2	<i>Alternatives</i>	101
9.3.3	<i>Dominància</i>	104
10	CONCLUSIONS	109
11	REFERÈNCIES	110
11.1	BIBLIOGRAFIA	110
11.2	RECURSOS WEB	111

Índex de Figures

Fig 1.1: exemple d'alternativa utòpica	3
Fig 1.2: exemple on no existeix alternativa utòpica	4
Fig 1.3: relacions de dominància Pareto – cas I	5
Fig 1.4: relacions de dominància Pareto – cas II	5
Fig 2.1: matriu de decisió	8
Fig 2.2: funció d'utilitat	8
Fig 2.3: matriu de preferències	9
Fig 3.1: funcions característiques	12
Fig 3.2: defuzzyficació, exemple de la rentadora	13
Fig 3.3: valors necessaris per realitzar la defuzzyficació	14
Fig 3.4: NOT ràpid	15
Fig 3.5: lent OR ràpid	16
Fig 3.6: lent AND normal	16
Fig 8.1: Clusterització	26
Fig 8.2: disseny conceptual del ClusDM	28
Fig 8.3: fitxer de configuració	31
Fig 8.4: fitxer d'alternatives	31
Fig 8.5: finestra de configuració inicial del ClusDM	32
Fig 8.6: filtratge d'alternatives	33
Fig 8.7: representació dels clústers en un gràfic de coordenades paral·leles	34
Fig 8.8: representació de les dades fent servir PCA-Plot	35
Fig 8.9: introducció del nou vocabulari de preferència	36
Fig 8.10: resultats finals del ClusDM	37
Fig 8.11: menú principal TOMASO	42
Fig 8.12: dades del problema carregades	43
Fig 8.13: alternatives prototipus classificades	45
Fig 8.14: relacions entre les classes	46
Fig 8.15: finestra de resultats	47
Fig 8.16: índexs d'importància	48
Fig 8.17: resultats finals	49
Fig 8.18: classificació de les alternatives	50
Fig 8.19: sumari sense resultats	52
Fig 8.20: construcció de la matriu de dades	54
Fig 8.21: matriu de dades	54
Fig 8.22: edició d'un criteri	55
Fig 8.23: edició d'una alternativa	55
Fig 8.24: fitxer de dades *.vip	56
Fig 8.25: matriu de dades inicial	57
Fig 8.26: Taula de límits dels criteris	57
Fig 8.27: Taula de restriccions dels criteris	58
Fig 8.28: sumari	59
Fig 8.29: gràfic ordenat de rangs de valors	59
Fig 8.30: taula de confrontació	60
Fig 8.31: gràfic ordenat de remordiments màxims	60
Fig 8.32: optimalitat	61
Fig 8.33: filtratge	62
Fig 8.34: estructura del model en MACBETH	65
Fig 8.35: finestra d'opcions	65

Fig 8.36: finestra amb les opcions inicials	65
Fig 8.37: finestra amb les opcions definides	66
Fig 8.38: finestra de creació i modificació de nodes	66
Fig 8.39: node amb nivells qualitatiu d'acompliment	68
Fig 8.40: nivells qualitatiu d'acompliment d'un criteri amb referències.....	68
Fig 8.41: taula de valors de les opcions.....	68
Fig 8.42: taula amb els valors de les opcions introduïts.....	69
Fig 8.43: matriu de judicis d'un criteri.....	69
Fig 8.44: matriu de judicis d'un criteri validada	70
Fig 8.45: escala numèrica MACBETH	70
Fig 8.46: matriu de judicis global.....	71
Fig 8.47: escala de pesos MACBETH.....	72
Fig 8.48: taula de puntuacions.....	72
Fig 8.49: termòmetre global	73
Fig 8.50: perfil d'una opció	73
Fig 8.51: perfil de diferències de dues opcions	74
Fig 8.52: gràfic XY	75
Fig 8.53: anàlisi de la sensibilitat en el pes d'un criteri	76
Fig 8.54: anàlisi de la robustesa	77
Fig 9.1: fitxer de configuració de les Universitats	81
Fig 9.2: fitxer de dades de les Universitats	82
Fig 9.3: fitxer de dades de les Universitats, Tomaso.....	84
Fig 9.4: resultats del TOMASO amb 2 prototipus per classe.....	90
Fig 9.5: resultats del TOMASO amb 3 prototipus per classe.....	91
Fig 9.6: resultats del TOMASO amb 4 prototipus per classe.....	93
Fig 9.7: Restriccions lineals de la prova VIPA	94
Fig 9.8: Ranking de les universitats amb VIPA	95
Fig 9.9: matriu de judicis – cas I	96
Fig 9.10: matriu de judicis – cas II.....	97
Fig 9.11: resultats MACBETH – cas I.....	98
Fig 9.12: resultats MACBETH – cas II.....	98
Fig 9.13: comparació dels pesos obtinguts.....	99

Índex de Taules

Taula 7.1: taula descriptiva dels softwares MCDA.....	24
Taula 8.1: tipus de dades i els seus corresponents noms de configuració.....	30
Taula 8.2: tipus de dades i el format del seu domini.....	30
Taula 9.1: valor que pren la proporció entre nois i noies.....	79
Taula 9.2: transformació de ClusDM a TOMASO.....	83
Taula 9.3: taula amb els nous pesos ClusDM.....	86
Taula 9.4: classificació de les alternatives.....	101
Taula 9.5: relacions de dominància en VIPA i MACBETH – part I.....	105
Taula 9.6: relacions de dominància en VIPA i MACBETH – part II.....	106
Taula 9.7: relacions de dominància en VIPA i MACBETH – part III.....	107
Taula 9.8: relacions de dominància en VIPA i MACBETH – part IV.....	108

1 Introducció

La decisió sempre ha estat un tema que ha inspirat la reflexió de molts pensadors des dels temps antics. Grans filòsofs com Aristòtil, Plató i Tomàs d'Aquino discutien sobre la capacitat dels humans per decidir, i d'alguna manera reivindicaven que aquella era la capacitat que ens diferenciava dels altres éssers vius.

Durant molts anys, l'única manera de plantejar un problema de decisió era mitjançant la definició d'un únic criteri, el qual fusionava els aspectes multidimensionals de la decisió en una sola escala de mesura. Aquesta era una metodologia reduïda i poc natural per afrontar un problema de decisió. Per això, durant els últims 30 anys, ha aparegut una nova metodologia que cada cop s'ha guanyat més i més l'atenció dels investigadors i professionals. Aquesta proposta considerada per Loyola i Franklin té en compte explícitament els pros i els contres d'un conjunt de punts de vista i no d'un únic criteri, és llavors quan apareix una nova metodologia, la metodologia MCDA (Multiple Criteria Decision Aid). Per tant, la intuïció MCDA està estretament relacionada amb la forma humana de prendre decisions sense parar. Com a conseqüència, tot i la gran diversitat de propostes, mètodes i tècniques, els ingredients bàsics MCDA són molt simples: un conjunt finit o infinit d'alternatives, almenys dos criteris i un decisor.

Avui dia, un dels camps estudiats des de la Intel·ligència Artificial o des de les Ciències Econòmiques, és el desenvolupament de sistemes informàtics de suport a la presa de decisions. Dins d'aquest àmbit tan gran, ens centrarem en els sistemes que reben un conjunt de criteris per avaluar un conjunt d'alternatives, és a dir, en MCDA. L'objectiu final d'aquesta metodologia és dur a terme seleccions, ordenacions o agrupacions d'aquestes alternatives.

Diversos grups internacionals treballen en el tema de la decisió multi-criteri. A Europa trobem el "European Working Group on Multicriteria Decision Aid" (EWGMCD) que acull a nombroses universitats i empreses interessades en aquest tema.

Actualment, hi ha diverses aproximacions diferents que plantegen diferents maneres d'apropar-se al problema de l'ajut a la presa de decisions quan tenim molts criteris a considerar.

1.1 Objectius del PFC

Els objectius d'aquest projecte final de carrera són els següents:

Primer de tot es vol buscar informació sobre els sistemes d'ajuda a la presa de decisions que estan disponibles al web del grup abans esmentat: <http://www.insecc.pt/~ewgmcda/>. Un altre lloc on també podem trobar informació, a part de la bibliografia recomanada, és a <http://monet.fe.uc.pt/thesessoftware/>.

Tot seguit hem de fer un petit resum de les característiques de cada sistema i muntar una taula descriptiva amb tots els sistemes estudiats, de manera que pugem diferenciar-ne els aspectes bàsics de manera ràpida i intuïtiva.

A continuació hem d'escollir dos o tres sistemes dels que s'han estudiat i dur a terme un estudi més complet d'aquests. Hem d'estudiar la metodologia a partir de la qual s'han desenvolupat i després hem d'aprendre a treballar amb cadascun d'ells. Un cop haguem adquirit el domini d'aquests els haurem de provar amb un conjunt de dades test.

Finalment, hem de comparar els resultats obtinguts amb aquests sistemes, amb els que dona el sistema ClusDM, desenvolupat en el grup Banzai.

1.2 Objectiu de la decisió

Un problema de decisió multicriteri consta d'un conjunt d'opcions (*alternatives*) i una sèrie d'aspectes (*criteris*) que avaluen les diferents alternatives. El que pretenen els mètodes d'ajuda a la decisió multicriteri és ajudar al *decisor*, o decisors, a escollir les millors alternatives, basant-se en aquest conjunt de criteris, que representen les *preferències* del(s) decisor(s).

A continuació es defineix la terminologia [david, 2006] que s'usarà en aquest document.

Alternativa: les alternatives són les opcions que necessites comparar per prendre la teva decisió. Les alternatives poden ser qualsevol cosa, des de candidats fins a intervals de temps, des de codi informàtic fins a patrons mèdics, o des de loteria fins a sistemes de producció. Aquesta és la raó per la qual, l'ajuda a la decisió, és usada en una gran varietat de camps com ara en economia, sociologia, psicologia, ciències polítiques, medicina, biologia, etc.

Criteri: els criteris són els elements que són rellevants pel decisor a l'hora d'escollir entre les diferents alternatives. Els criteris poden ser el preu i la potència d'un cotxe, l'educació i l'experiència d'un candidat, el cost i l'impacte pel medi ambient d'un aeroport, etc. Tot criteri ha de representar les preferències entre les alternatives respecte un cert punt de vista. Per tant, ha de donar valors que permetin ordenar les alternatives de millor a pitjor. En el cas que dues alternatives són igualment acceptades, es parla d'indiferència, i les dues rebran el mateix valor de preferència.

Decisor: el decisor és la persona que necessita prendre la decisió. Un decisor podria ser una persona que es vol comprar un cotxe nou, un entrenador de futbol quan vol fitxar un nou jugador, etc.

En la presa de decisions intel·ligents, l'objectiu de la decisió pot variar en funció del problema que se'ns plantegi. Normalment, l'objectiu de la decisió es basa en dur a terme una de les següents accions: una ordenació, una selecció o una agrupació [mc_sc2, 2006] de les alternatives.

- *ordenació (ranking)*: consisteix en establir un ordre entre les diferents alternatives del problema.
- *selecció (selection or choice)*: s'escullen les alternatives més interessants segons les preferències del decisor.
- *agrupació (grouping)*: es tracta d'agrupar les alternatives en conjunts. Aquests conjunts poden estar ordenats o no. Si únicament agrupem les alternatives en

conjunts estem realitzant una classificació, si, a més a més, duem a terme una ordenació d'aquests conjunts estem efectuant una categorització.

- *classificació (nominal classification)*: conjunts desordenats d'alternatives.
- *categorització (ordinal classification or sorting)*: conjunts ordenats d'alternatives.

1.3 Dominància i Eficiència

A continuació s'introdueixen els conceptes de *dominància* i *eficiència* [Kaliszewski, 2006]. Primer de tot, fixem-nos en que hi ha situacions en les quals una alternativa pot tenir valors de màxima preferència pel que fa a tots els criteris. Aquesta alternativa rep el nom de *utòpica*. La figura 1.1 ens mostra un cas on només hi ha dues alternatives disponibles i una d'elles (alternativa A) és utòpica. La figura 1.2 mostra una situació on no existeix cap alternativa utòpica en el conjunt de dades (no hi ha cap alternativa que equivalgui als valors dels criteris més preferits, representats per y).

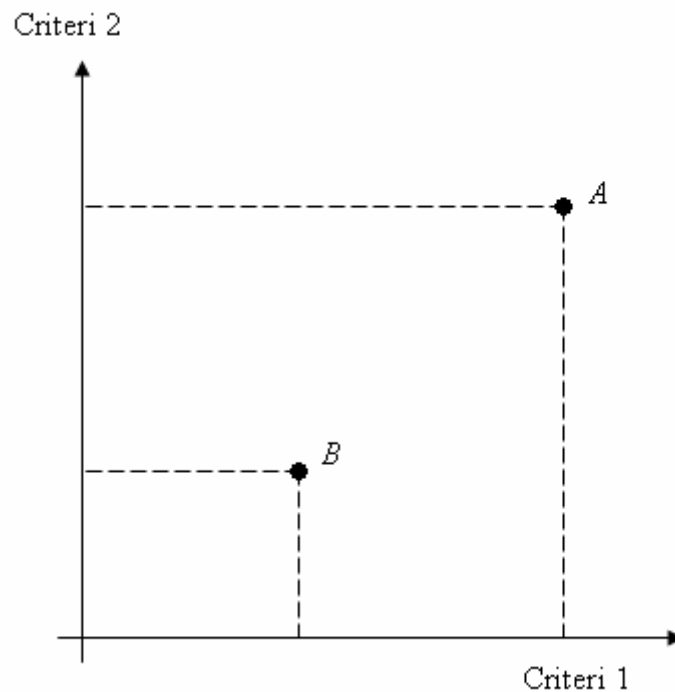


Fig 1.1: exemple d'alternativa utòpica

En realitat, les alternatives utòpiques acostumen a aparèixer amb poca freqüència en els problemes. D'altra banda, el que sí que acostuma a succeir és que una alternativa d'una parella sigui preferida a l'altra amb respecte a tots els criteris. Aquesta situació rep el nom de *dominància*. Mitjançant la noció de dominància que introduïrem a continuació, podrem deduir fàcilment la noció d'eficiència.

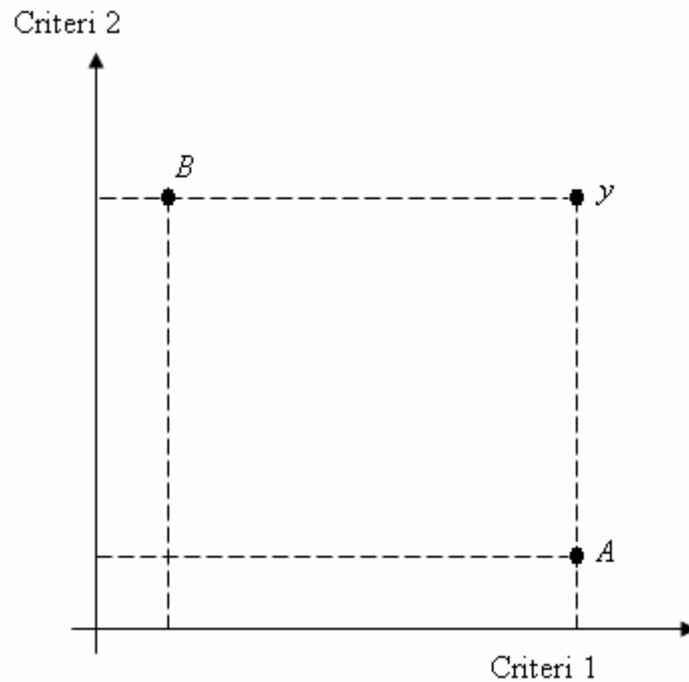


Fig 1.2: exemple on no existeix alternativa utòpica

Donat un conjunt d'alternatives, una alternativa x es diu que és *dominada* si hi ha una altra alternativa en el conjunt, anomenada x' , que:

- x' és igual o més preferida que x amb respecte a tots els criteris, i
- x' és més preferida que x en almenys un criteri.

D'altra banda, l'alternativa x' es diu que és una alternativa *dominant*. Una parella d'alternatives x i x' , on x és dominada i x' és dominant, s'anomena *relació de dominància Pareto*. Evidentment, en un conjunt de més de dues alternatives, una alternativa pot ser dominant i al mateix temps dominada.

Donat un conjunt d'alternatives, s'anomena *eficient* a una alternativa que no és dominada per cap altre alternativa del conjunt. En altres paraules, una alternativa és eficient si no hi ha cap altre alternativa en el conjunt:

- igual o més preferida amb respecte a tots els criteris, i
- més preferida en almenys un criteri.

Per ser eficient una alternativa requereix molt menys que per ser utòpica. Conseqüentment, les alternatives eficients són bastant més comuns que les utòpiques. Una alternativa utòpica és necessàriament eficient, però una alternativa eficient no té perquè ser utòpica. Les alternatives que no són eficients s'anomenen *no-eficients*.

En les figures 3 i 4 es mostren un conjunt d'alternatives representades pels valors de dos criteris. Les estrelles representen les alternatives utòpiques, els punts negres les alternatives eficients però no utòpiques, i els punts blancs les alternatives dominades. Les línies discontinües entre parells d'alternatives indiquen les relacions de dominància Pareto. En la figura 1.3 hi ha una alternativa que clarament és utòpica (i per tant és eficient). Aquesta alternativa, per definició, és troba en una relació de dominància

Pareto amb tota la resta d'alternatives. La figura 1.4 ens mostra el mateix conjunt d'alternatives amb l'alternativa utòpica eliminada. En aquest cas algunes alternatives han passat de ser dominades a ser eficients.

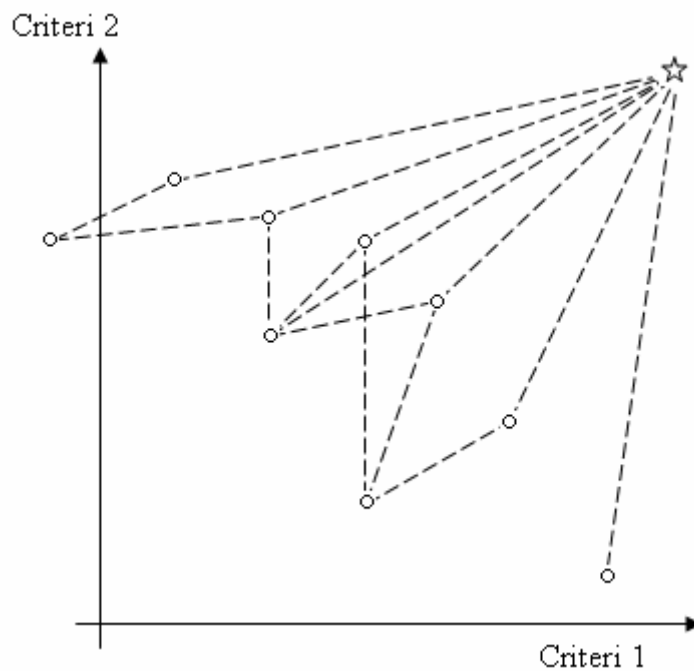


Fig 1.3: relacions de dominància Pareto – cas I

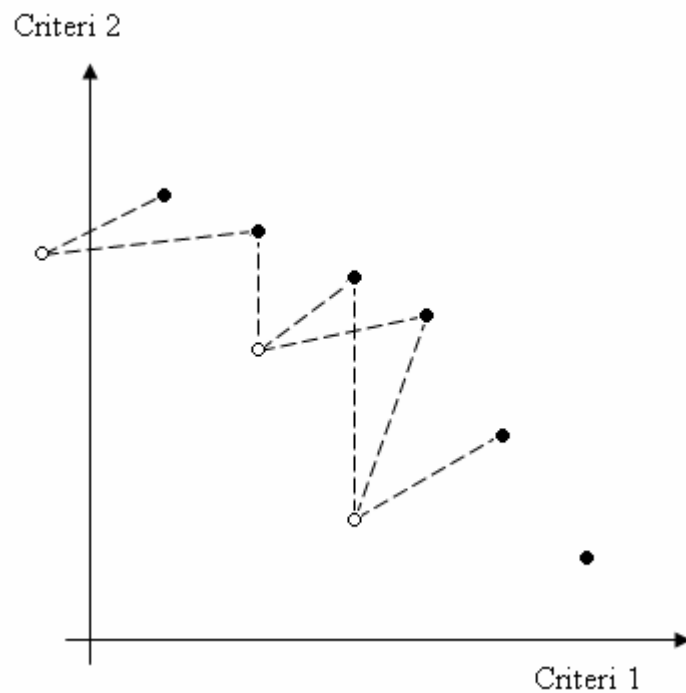


Fig 1.4: relacions de dominància Pareto – cas II

Com a conclusió d'aquest capítol, podem dir que la majoria de mètodes MCDA tenen com a objectiu seleccionar l'alternativa més preferida de les alternatives eficients.

1.4 Estructura del document

Aquest document consta de tres grans blocs: en el primer bloc fem una breu introducció a la teoria i morfologia bàsiques que necessitem per entendre els problemes d'ajuda a la presa de decisions, en el segon bloc realitzem un estudi dels diferents softwares d'ajuda a la presa de decisions que s'han trobat, i finalment, en el tercer bloc, duem a terme un estudi comparatiu entre tres sistemes d'ajuda a la decisió i ClusDM.

En aquest capítol ja hem introduït alguns conceptes bàsics com ara: criteri, alternativa i decisor. També s'ha explicat quin és l'objectiu de la decisió, així com els conceptes de dominància i eficiència.

Al capítol 2 s'expliquen els dos mètodes que existeixen per tal de modelar les dades en un problema de decisió: els mètodes MAUT i els mètodes outranking.

El capítol 3 fa referència al tipus d'informació que ens podem trobar en un problema de decisió. També s'expliquen les diferents escales de valoració que poden utilitzar els diferents mètodes i es fa una petita introducció a la lògica fuzzy.

Al capítol 4 expliquem quines són les diferents eines de suport a la decisió que existeixen actualment.

Els capítols 5 i 6 estan dedicats a dues eines d'anàlisi de resultats d'un problema de decisió: l'anàlisi de la sensibilitat i l'anàlisi de la robustesa.

Al capítol 7 es duu a terme una breu descripció dels softwares estudiats i també es construeix una taula descriptiva d'aquests.

Al capítol 8 expliquem les metodologies i el funcionament dels softwares escollits al capítol 7.

Finalment, al capítol 9, realitzem l'estudi comparatiu entre els softwares escollits i el ClusDM.

2 El modelat de les dades

El mètode de decisió a aplicar depèn de la forma en què representem les dades. Les dades es representen mitjançant la construcció de matrius de decisió o matrius de preferència, les quals ens mostren, de manera intuïtiva, les relacions d'ordre i/o relacions de preferència entre les diferents alternatives.

Comparar dues alternatives [Figueira et al, 2005] pot ser vist de dues maneres diferents:

- L'alternativa a està “abans” que l'alternativa b , on “abans” implica algun tipus d'ordre entre a i b , o preferència (a és preferida a b).
- L'alternativa a és “aprop” de l'alternativa b , on “aprop” pot ser considerat com indiferent (l'alternativa a anirà igual de bé que la b).

Des del punt de vista d'ajuda a la decisió, normalment es fa èmfasi en la primera situació. Les relacions d'ordre són la base natural per resoldre problemes d'ordenació o de selecció. La segona situació és associada, tradicionalment, amb problemes el propòsit dels quals és ser capaç d'agrupar objectes que comparteixen una sèrie de característiques per tal de formar classes o categories “homogènies”.

Hi ha dos grans famílies de mètodes per dur a terme el modelat de les dades, els mètodes MAUT (Multi-attribute Utility Theory) i els mètodes outranking. Els primers mètodes treballen amb funcions d'utilitat (que descriurem més endavant) i matrius de decisió, mentre que els segons es basen en relacions de preferència.

2.1 Mètodes MAUT

[Fülöp, 2005] Considerem ara un problema general de decisió amb m alternatives i n criteris. Denotarem $A_1, \dots, A_m$ i $C_1, \dots, C_n$ a les alternatives i als criteris, respectivament. Una característica important de la metodologia d'aquest tipus de problemes és la construcció de matrius de decisió com la que es mostra a la figura 2.1. A la matriu, cada fila pertany a una alternativa i cada columna a un criteri. El valor v_{ij} descriu el rendiment d'una alternativa A_i aplicant-li el criteri C_j . Com més alt és aquest valor millor és el rendiment de l'alternativa.

Com es mostra en la matriu de decisió, normalment els pesos $p_1, \dots, p_n$ s'assignen als criteris per tal de reflexar la importància relativa del criteri C_i en la decisió.

El resultat del mètode de decisió sol ser un valor que resumeix (fusiona) la informació donada pels n criteris respecte a una alternativa. Normalment, com més alt és el valor final més apropiada és una alternativa, i per tant, l'alternativa amb un valor més alt serà la millor de totes les alternatives.

	p_1	.	.	p_n
	C_1	.	.	C_n
A_1	v_{11}	.	.	v_{1n}
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
A_m	v_{m1}	.	.	v_{mn}

Fig 2.1: matriu de decisió

La teoria de la utilitat interpreta que cada criteri és una descripció parcial de la utilitat de les alternatives segons un criteri [Keeny&Raiffa, 1976]. El que es pretén és expressar les preferències del decisor sobre un conjunt de criteris, en termes de la utilitat que li reporta cada alternativa. Les funcions d'utilitat transformen els valors inicials de les alternatives a una escala on sigui més còmode parlar d'utilitats, normalment aquesta escala és l'interval $[0..1]$, tot i que més endavant veurem que es poden utilitzar altres escales no numèriques. Una funció d'utilitat numèrica senzilla, podria ser de la següent manera:

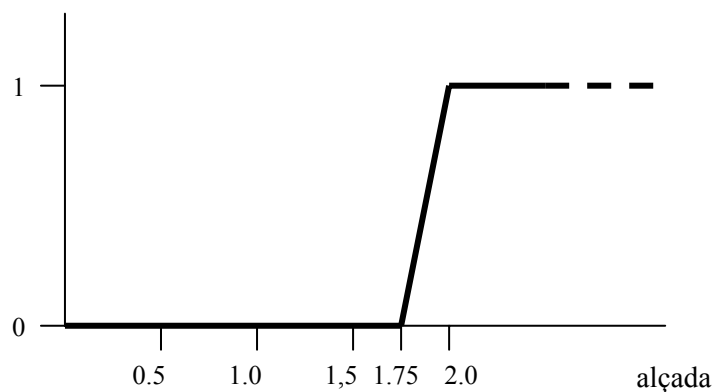


Fig 2.2: funció d'utilitat

Aquest exemple intenta reflectir les preferències d'un entrenador de bàsquet a l'hora d'escollir els seus jugadors en funció del criteri alçada. Com es pot veure en l'exemple, si un jugador medeix menys de 1.75 metres no interessa gens a l'entrenador. A partir d'aquí la preferència de l'entrenador va augmentant de forma regular fins a arribar als 2 metres d'alçada, valor que obté la preferència màxima per part de l'entrenador. També es pot observar que l'entrenador no fa distincions entre els jugadors de 2 o més metres d'alçada, el grau de preferència és el mateix pels uns que pels altres, el màxim.

Mitjançant les n funcions d'utilitat construïdes pels n criteris del problema, obtindrem la funció d'utilitat global, que ens dirà quina és la utilitat global (valor final) de cada alternativa.

2.2 Mètodes Outranking

Els mètodes Outranking comparen totes les parelles d'alternatives. En comptes de construir funcions d'utilitat complexes, determinen quines alternatives són preferides per les altres comparant sistemàticament tots els criteris. Les comparacions entre les alternatives porten a resultats numèrics que mostren la concordança i/o la discordança entre elles, és a dir, obtenim una matriu de preferències (figura 2.3) on les files i les columnes són les diferents alternatives del problema i a cada posició de la matriu i tenim un valor numèric que ens compara les alternatives, per exemple:

	a1	a2	a3
a1	1	0.2	0.3
a2	0.9	1	0.4
a3	0.8	0.6	1

Fig 2.3: matriu de preferències

En aquesta aproximació als problemes de decisió, es parteix d'una matriu de preferències per cada criteri a considerar.

En aquest exemple es pot deduir que les alternatives *a2* i *a3* són millors que *a1*, ja que *a1* és poc preferida a *a2* i *a3*. També podem dir que *a3* és la millor alternativa, ja que aquesta és preferida a *a1* i *a2*.

3 Naturalesa de la informació

Per a poder construir un sistema d'ajuda a la presa de decisions cal que el dissenyador del sistema en qüestió es comuniqui amb aquelles persones que requereixen del sistema, per tal de poder obtenir la informació necessària per desenvolupar el sistema. Normalment, la informació que l'enginyer del coneixement rep de l'expert és informació incompleta o poc clara, ja que als experts, habitualment, els costa expressar els seus coneixements en la matèria o no tenen els mitjans suficients per expressar-los. És per això que poques vegades l'enginyer rep de l'expert informació numèrica clara i concisa.

Per tant, la informació amb la qual es troba l'enginyer abans de començar a dissenyar un sistema d'ajuda a la presa de decisions és una informació vaga, incerta.

Aquesta incertesa pot sorgir en diferents situacions [Valls, 2003]:

- *informació inquantificable*: algunes propietats poden no ser fàcils de descriure fent servir números, aleshores s'usen variables lingüístiques. Per exemple, la qualitat d'un cotxe pot ser avaluada en termes de: excel·lent, notable, suficient, etc. Aquest tipus d'informació rep el nom de qualitativa.
- *informació incompleta*: obtenir un valor numèric precís és, en molts casos, una tasca força difícil, ja que l'equipament per prendre les mesures no és el suficientment precís. Per exemple, la velocitat d'un cotxe.
- *Informació no obtenible*: quan la metodologia involucrada en una mesura és complexa i consumeix temps, s'usen aproximacions del valor.
- *ignorància parcial*: els experts que ens proporcionen les dades no sempre saben tots els detalls de tots els criteris per totes les alternatives. Aquesta ignorància parcial sobre alguns criteris o alternatives dona lloc a imprecisions durant el procés global.

3.1 Escales de valoració

Com ja s'ha dit en el document, l'escala de valoració més comú ha estat sempre la numèrica, ja siguin valors enters o reals. Tanmateix una escala de mesura numèrica implica molta precisió. A continuació comentem algunes altres escales que s'utilitzen en els mètodes de presa de decisions (i en la IA en general).

- *Escales categòriques*: consisteixen en valorar les alternatives utilitzant termes lingüístics enlloc de valors numèrics. En aquest tipus d'escala, no es considera cap ordre entre els termes. Per exemple, un criteri "color" podria prendre valors en la següent escala (o vocabulari): {blanc, groc, vermell, verd, blau, negre}.
- *Escales ordinals*: a diferència de l'anterior, els seus valors serveixen per indicar l'ordre entre les alternatives, però no la magnitud. Així doncs una escala ordinal pot ser {primer, segon, tercer, quart} o bé {1, 2, 3, 4}, ambdues amb el mateix

significat. És a dir, una alternativa que pren el valor 2 és millor que una que pren el valor 3, però no sabem quin grau de diferència (preferència) hi ha entre elles.

- Escala Booleana: només permet dos possibles valors per diferenciar les alternatives. Bàsicament serveixen per indicar si cert criteri es compleix en una alternativa o no.
- Escala Aproximada: serveix per modelar molts dels aspectes de la imprecisió esmentats abans. Els mètodes més utilitzats són la teoria de la probabilitat i la lògica fuzzy (borrosa). De totes maneres, la lògica fuzzy modela la imprecisió d'una forma més humana, ja que té en compte la subjectivitat de l'expert, cosa que la teoria de la probabilitat no té en compte. La teoria de la probabilitat es basa únicament en mesures de probabilitat objectives, i aquest raonament no emula gaire el comportament humà. Normalment s'aplica definint variables lingüístiques amb una semàntica associada.

3.2 Lògica fuzzy

Aquesta teoria [Zadeh, 1965] ens permet manejar i processar certs tipus d'informació en els quals es presenten termes inexactes, imprecisos o subjectius.

Els conjunts difusos són una generalització de la teoria clàssica dels conjunts. Mentre que en un conjunt clàssic (també anomenat conjunt nítid per diferenciar-lo dels difusos) tenim que els elements o bé pertanyen o bé no pertanyen al conjunt, en el cas dels conjunts difusos la pertinença és gradual. Així, tenim elements que només pertanyen al conjunt en un cert grau.

Una de les maneres de representar els conjunts nítids és mitjançant les funcions característiques. Aquestes funcions aplicades a un element ens diuen si l'element pertany o no al conjunt. Així, si tenim el valor 1 per expressar que un element pertany al conjunt i el 0 per expressar que no hi pertany, aleshores les funcions característiques són funcions en $\{0,1\}$.

Per permetre la pertinença parcial, els conjunts difusos es descriuen mitjançant una funció en l'interval $[0,1]$. En aquest cas, a un element se li assignarà un valor de 0 quan no pertanyi en absolut al conjunt, un valor de 1 quan pertanyi completament al conjunt i un valor intermig quan la pertinença sigui parcial. Naturalment, com més gran sigui la pertinença al conjunt, més gran serà el valor assignat.

Així, una funció de pertinença definida sobre el conjunt de referència X és una funció:

$\mu_C: X \rightarrow [0,1]$ on X és el domini dels valors que poden pertànyer o no al conjunt C .

A continuació, comentarem una sèrie de conceptes referents a la lògica fuzzy [Klir et al., 1988], com ara els conceptes de fuzzyficació i defuzzyficació, així com les diferents operacions que podem realitzar sobre conjunts difusos.

3.2.1 Fuzzyficació

La fuzzyficació és el procés que realitzem quan traduïm els valors del món real a valors fuzzy. Aquesta traducció es duu a terme mitjançant variables lingüístiques, que són variables que prenen per valor etiquetes lingüístiques. Per exemple, la velocitat d'un automòbil podria ser una variable lingüística amb el següent conjunt possible de valors lingüístics: $\{lent, normal, ràpid\}$.

Cada etiqueta lingüística defineix un conjunt difús, aquest es representa mitjançant l'ús de funcions característiques (també conegudes com a funcions de pertinença). El conjunt de funcions característiques $\{lent, normal, ràpid\}$ podrien definir una partició difusa com la que es mostra a continuació:

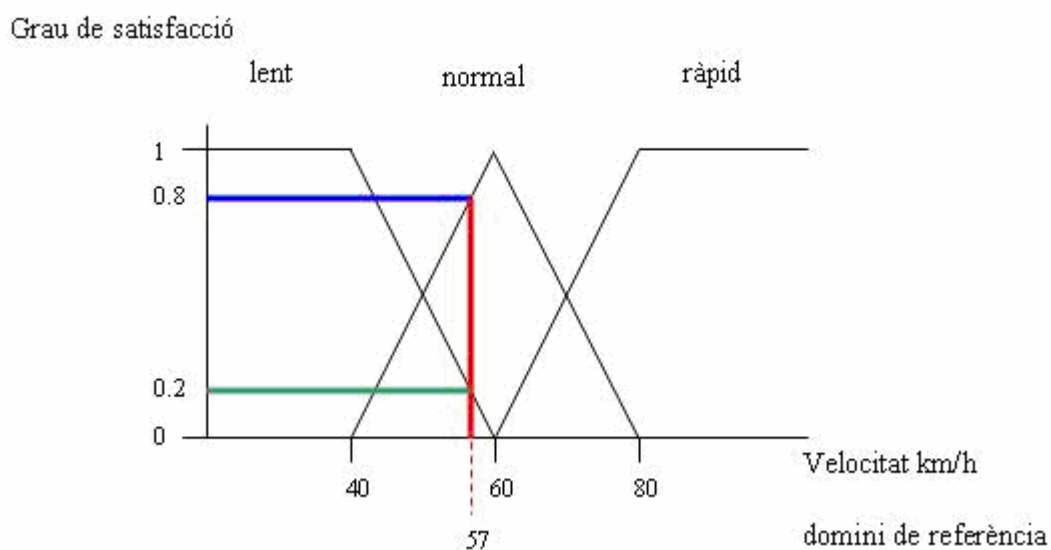


Fig 3.1: funcions característiques

Tots els valors del domini de referència de la variable pertanyen en un cert grau a cada conjunt difús. En aquest exemple podem veure una velocitat de 57 km/h de la següent manera: $lent(57) = 0.2$, $normal(57) = 0.8$, $ràpid(57) = 0$. Això ens té a dir que el valor 57 pertany bastant al conjunt difús *normal*, que no pertany gaire al conjunt *lent* i que no pertany en absolut al conjunt *ràpid*.

3.2.2 Defuzzyficació

La defuzzyficació consisteix en traduir els valors difusos a valors del món real. Hi ha diferents formes de dur a terme l'esmentada traducció:

1. Centre de màxims (CoM): és la mitjana dels màxims valors assolits en cada regla.
2. Centre de masses (o centre de l'àrea, CoA): és la mitjana dels valors del domini, cadascun ponderat segons la seva pertinença al conjunt que estem defuzzyficant.
3. Mitjana del màxim (MoM): només calcula la mitjana dels valors que pertanyen al terme amb màxim nivell de pertinença.

La defuzzyficació més habitual és la segona a la que hem fet referència, el centre de masses. L'equació de defuzzificació del centre de masses té la següent forma:

$$CoA = \frac{\sum x \cdot \mu(x)}{\sum \mu(x)}$$

on x són els valors del món real i $\mu(x)$ la unió (*t-conorma*) dels diferents conjunts difusos. Vegem el següent exemple:

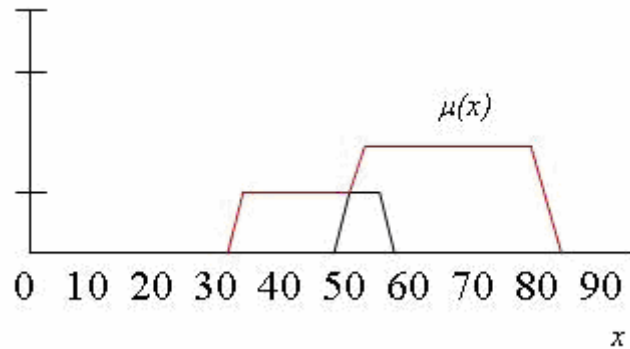


Fig 3.2: defuzzyficació, exemple de la rentadora

Aquest exemple consta de dos conjunts difusos, la brutícia i la greixositat de la roba que hi ha en una rentadora. A l'eix de les x tenim els minuts que necessitem per dur a terme aquesta rentadora. Amb la taula de valors que construïm a continuació i l'equació anteriorment explicada, podem obtenir el valor del món real, és a dir, el temps estimat que ens estarem fent la rentadora.

x	$\mu(x)$	$x \cdot \mu(x)$
30	0	0
32	0,12	3,84
34	0,25	8,5
36	0,25	9
38	0,25	9,5
40	0,25	10
42	0,25	10,5
44	0,25	11
46	0,25	11,5
48	0,25	12
50	0,25	12,5
52	0,25	13
54	0,42	22,7
56	0,5	28
58	0,5	29
60	0,5	30
62	0,5	31
64	0,5	32
66	0,5	33
68	0,5	34
70	0,5	35
72	0,5	36
74	0,5	37
76	0,5	38
78	0,5	39
80	0,5	40
82	0,5	41
84	0,25	21
86	0	0

Fig 3.3: valors necessaris per realitzar la defuzzyficació

Al aplicar l'equació obtenim $CoA = \frac{\sum x \cdot \mu(x)}{\sum \mu(x)} = 62$, per tant, el valor estimat per dur a terme la rentadora és de 62 minuts. Per crear la taula hem agafat intervals de 2 minuts, cal dir que com més intervals hi hagi alhora de dur a terme l'equació, més precís serà el valor obtingut.

3.2.3 Operacions

[Torra, 2006] Els conjunts difusos generalitzen els conjunts clàssics, per tant, les operacions que s'apliquen als conjunts difusos no són més que generalitzacions de les que apliquem als conjunts clàssics. És per aquest motiu que a l'hora de definir les operacions fuzzy s'ha de tenir en compte que, perquè les operacions siguin correctes, és

necessari que quan s'apliquen als conjunts clàssics el seu comportament correspongui al de les operacions corresponents d'aquests conjunts.

3.2.3.1 Complementació o negació

$$N : [0,1] \rightarrow [0,1]$$

Comencem considerant l'operació de complementació. Aquesta funció, (que anomenem N – *funció de negació*) donat un conjunt difús sobre un domini D , ens permet construir el seu complementari. La funció N satisfà les següents condicions:

- | | |
|---|-------------------------|
| 1) $N(0) = 1$ i $N(1) = 0$ | (condicions de contorn) |
| 2) per a tot a, b en $[0,1]$, si $a \leq b$ aleshores $N(a) \geq N(b)$ | (monotonia) |
| 3) per a tot a en $[0,1]$, $N(N(a))=a$ | (involució) |

Tanmateix, no hi ha una única funció que satisfaci totes aquestes condicions sinó que n'hi ha infinites. Això fa que mentre pels conjunts clàssics hi ha una única manera de fer el complementari, en els conjunts fuzzy n'hi ha tantes com funcions N que satisfan les condicions anteriors. Per a cada funció que triem tindrem una complementació, i el mateix succeirà en la disjunció i en la intersecció.

Seguint l'exemple mostrat en la figura 3.1, el complementari del conjunt difús *ràpid* serà de la següent manera:

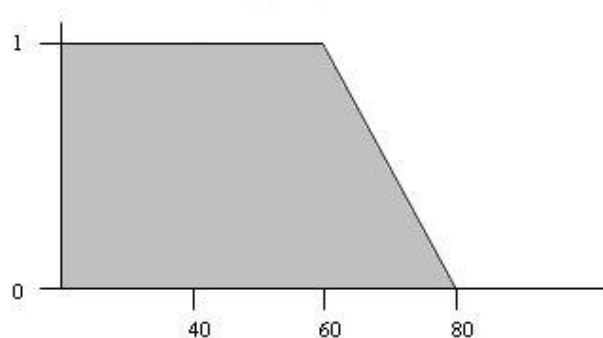


Fig 3.4: NOT ràpid

3.2.3.2 Unió o disjunció

$$S : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$$

Per dur a terme la unió de dos conjunts difusos necessitarem dues funcions de pertinença sobre les quals construirem la funció de pertinença del conjunt unió. Aquesta funció la denotarem S (*t-conorma*) i ha de complir les quatre condicions següents:

- | | |
|--|------------------|
| 1) $S(a,b) = S(b,a)$ | (commutativitat) |
| 2) $S(a,S(b,c)) = S(S(a,b),c)$ | (associativitat) |
| 3) si $a \leq c$ i $b \leq d$ llavors $S(a,b) \leq S(c,d)$ | (monotonia) |
| 4) $S(a,0) = a$ | (element neutre) |

Exemple d'unió basat en la figura 3.1:

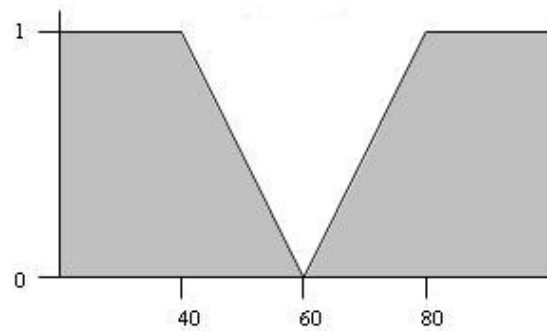


Fig 3.5: lent OR ràpid

3.2.3.3 Intersecció o conjunció

$$T : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$$

La definició de la intersecció de conjunts difusos és similar a la definició de la unió. Aquest cas es basa en la definició d'una funció anomenada *t-norma* i que denotarem T. Les t-normes satisfan:

- | | |
|--|------------------|
| 1) $T(a,b) = T(b,a)$ | (commutativitat) |
| 2) $T(a,T(b,c)) = T(T(a,b),c)$ | (associativitat) |
| 3) si $a \leq c$ i $b \leq d$ llavors $T(a,b) \leq T(c,d)$ | (monotonia) |
| 4) $T(a,1) = a$ | (element neutre) |

Exemple d'intersecció difusa:

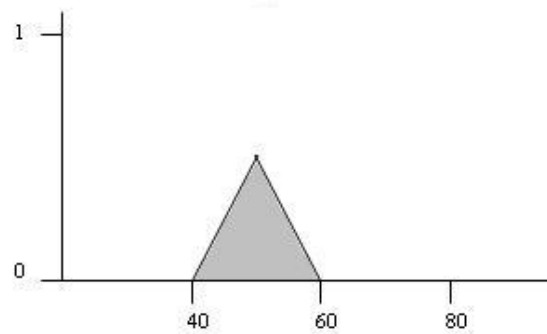


Fig 3.6: lent AND normal

4 Eines de suport a la presa de decisions

En aquest apartat descriurem les diferents eines de suport que hi ha actualment per tal d'ajudar a l'usuari a entendre millor el funcionament i les conclusions d'un sistema d'ajuda a la decisió. Aquests tipus d'eines són importants ja que l'ésser humà necessita alguna cosa més que una simple resposta, necessita una sèrie de justificacions per estar convençut d'aquella resposta.

Podem classificar les diferents tècniques de suport en els següents grups [Casals, 2005]:

- *Suport gràfic per a MCDA*: els mètodes amb representacions gràfiques són útils per l'usuari pel fet que mostren rankings entre les diferents opcions, permetent veure comparatives gràfiques entre les diferents dades, i modificar i tractar aquestes dades de forma senzilla gràcies a la interfície gràfica.
- *Sistemes per a mesurar el grau de consens*: aquests sistemes permeten avaluar el nivell de consens aconseguit entre un grup d'experts, mitjançant l'avaluació de les seves opinions. Aquestes eines ajuden al moderador en un debat, és a dir, li permeten avaluar les diferents opinions i la influència d'aquestes en el consens, per tal d'identificar els punts de consens i els punts de debat, i poder determinar quan ha de concloure un debat.
- *Generació d'explicacions*: els sistemes experts tenen com a objectiu arribar a una conclusió partint de l'anàlisi d'una sèrie de regles. L'explicació, en aquests sistemes, es basa en gran part en mostrar com s'han utilitzat aquestes regles de forma fàcil per a l'usuari.
- *Sistemes basats en argumentacions*: per tal d'argumentar la resposta donada, aquests sistemes permeten a l'usuari realitzar una sèrie de preguntes, a les quals el sistema respondrà amb una explicació del perquè i com s'ha arribat a la resposta, utilitzant arguments a favor i en contra.
- *Assistent per a l'elicitació de paràmetres*: Una de les dificultats més grans amb les que es troba l'enginyer del coneixement quan interactua amb el decisor és l'elicitació de diversos paràmetres del model. Hi ha molts mètodes on l'enginyer pot assignar valors als perfils, als pesos, als límits d'un conjunt, etc. Encara que aquests paràmetres poden ser interpretats, pot ser difícil fixar directament els seus valors i tenir una idea clara i global de les implicacions d'aquests valors en termes de la sortida del model. L'elicitació dels paràmetres es pot fer indirectament usant tota la informació donada pel decisor a través dels exemples, és a dir, a través de les alternatives assignades pel decisor d'acord amb les seves preferències. Els models que implementen aquest tipus d'assistents requereixen molt menys esforç cognitiu per part del decisor.

5 Anàlisi de la sensibilitat i la robustesa

En alguns camps d'aplicació és molt necessari conèixer la sensibilitat i robustesa dels mètodes per tal de poder interpretar correctament els resultats que s'obtenen i arribar a una bona decisió. A continuació es definiran aquests dos conceptes.

6.1 Sensibilitat

Els sistemes que incorporen anàlisi de sensibilitat [Ríos et al., 2002] permeten al decisor observar els canvis que pateixen les alternatives si es varien les dades d'entrada del problema. Si petits canvis en les entrades produeixen canvis substancials en les sortides, el decisor hauria de reflexionar sobre els judicis emesos reflectits en els paràmetres donats al sistema, i assegurar-se que les alternatives escollides pel sistema representen fidelment les seves creences i preferències. D'altra banda, si els efectes són mínims quan es realitzen variacions mitjanes o grans en les dades d'entrada, el decisor no ha de preocupar-se en reassignar les seves creences i preferències.

Els diferents papers que realitza l'anàlisi de sensibilitat dins l'Anàlisi de Decisions poden veure's des de diferents perspectives: tècnica, cognoscitiva i grup. *Tècnicament*, l'anàlisi de sensibilitat ajuda al decisor a planificar l'anàlisi per evitar càlculs innecessaris sense perdre fiabilitat. *Cognoscitivament* el decisor aprèn sobre els seus judicis descobrint la importància que tenen per ell cadascun dels paràmetres i valors del sistema. Aprèn a centrar-se en el que realment importa, deixant la resta en segon pla. Els grups permeten utilitzar l'anàlisi de sensibilitat sobre els paràmetres amb els que estan en desacord i centrar tota la seva atenció en els importants, evitant el debat sobre aquells que no ho siguin.

6.2 Robustesa

El concepte de mètode robust [Vincke, 2003] significa que el mètode dona resultats vàlids en totes o gairebé totes les versions, sent una versió un possible conjunt de valors per les dades del problema i pels paràmetres del mètode.

També és important evitar qualsevol confusió entre robustesa i la propietat d'estabilitat tradicional associada a l'anàlisi de la sensibilitat. En l'anàlisi de la sensibilitat, es determina una solució (decisió) d'una versió particular i a posteriori es realitza un estudi de les possibles solucions veïnes. La idea de la robustesa recau en considerar, a priori, algunes versions i observar les solucions (decisiones, conclusions) que són bones (vàlides) en totes o en la majoria de les versions.

7 MCDA

7.1 MCDA Software

Aquesta part del document està dedicada a fer una breu descripció dels diferents softwares MCDA que hem estudiat, per tal de poder saber, a grans trets, com funciona cadascun d'ells.

ClusDM. ClusDM (Clustering for Decision Making) és una metodologia MCDA per ordenar un conjunt d'alternatives. El resultat és un criteri qualitatiu ordenat que resumeix la informació donada pel conjunt de múltiples criteris. Aquest criteri qualitatiu dóna un terme de preferència lingüística a cada alternativa. Usant aquests valors de preferència podem saber quina alternativa és la millor i quina és la pitjor per a un problema de decisió determinat.

Criterium Decision Plus. <http://www.infoharvest.com>. Permet als usuaris escollir entre una tècnica simple de classificació multiatribut i AHP (Analytical Hierarchy Process). Els punts forts del CDP són, entre altres, les observacions gràfiques immediates i l'anàlisi de la informació de valor. El CDP es pot usar a través d'Internet i suporta la presa de decisions via vídeo conferència. Els usuaris tenen la opció d'escollir funcions de valor no lineals. Les puntuacions es poden entrar en una taula o en una finestra de classificació, la qual permet escollir entre representacions numèriques, gràfiques i verbals. Les incerteses es poden dur a terme a través de distribucions d'elecció o a través d'una distribució personalitzada.

Decision Lab. <http://www.visualdecision.com>. Conegut com PROMCALC en una versió prèvia, el software Decision Lab 2000 és un sistema de suport a la decisió basat en els mètodes outranking PROMETHEE i GAIA. L'anàlisi de la sensibilitat es duu a terme mitjançant tècniques de pesos caminants (walking weights), intervals d'estabilitat, i als eixos gràfics mostrats pel mètode GAIA. El software és apropiat pel suport a les decisions en grup, ja que proporciona perfils d'accions i comparacions multi-escenari. La metodologia usada requereix menys comparacions que en el mètode AHP per part del decisor. També permet a l'usuari crear la seva pròpia escala de mesura.

ELECTRE III-IV. <http://www.lamsade.dauphine.fr/english/software.html#el34>. ELECTRE III comença amb un conjunt finit d'accions avaluades sobre un conjunt consistent de pseudo-criteris (criteris amb extrems) i agrega aquestes preferències parcials en relacions de preferència fuzzy. ELECTRE IV construeix algunes relacions de preferència no fuzzy quan els criteris no tenen pesos. Després s'obtenen dos preordres complets a través d'un procediment de "destil·lació", o bé de les relacions de preferència fuzzy proporcionades per ELECTRE III, o de les relacions de preferència no fuzzy proporcionades per ELECTRE IV. La intersecció d'aquests preordres indiquen la part més fiable de la preferència global. El software ELECTRE III-IV està disponible gràcies a LAMSADE de la Universitat Paris-Dauphine.

ELECTRE IS. <http://www.lamsade.dauphine.fr/english/software.html#elis>. ELECTRE IS es una generalització del mètode ELECTRE I, el qual és capaç d'usar pseudo-criteris. Donat un conjunt finit d'alternatives avaluades en una família consistent de criteris,

ELECTRE IS dóna suport a l'usuari en el procés de seleccionar una alternativa o un subconjunt d'alternatives. El mètode consta de dues parts: modelar les preferències del decisor i explotar el graf resultant. El subconjunt buscat és el centre del graph. El software ELECTRE IS està disponible gràcies a LAMSADE de la Universitat Paris-Dauphine.

ELECTRE TRI. <http://www.lamsade.dauphine.fr/english/software.html#TRI>. El mètode ELECTRE TRI ordena les alternatives utilitzant relacions de preferència i alternatives referència. Proporciona dos procediments (pessimista i optimista) per tractar amb situacions en les quals alternatives específiques són incomparables amb algunes alternatives referència. ELECTRE TRI està escrit en C++ i ha estat desenvolupat per LAMSADE de la Universitat de París-Dauphine, França, juntament amb l'Institut de Ciències Computacionals de la Universitat de Poznan, Polònia.

Equity. <http://enterprise-lse.co.uk>. Equity és una eina MCDA que pot ser usada per obtenir una millora del valor del diner en localitzacions on escassegen els recursos. És molt adaptatiu i es pot usar per resoldre problemes molt diversos. En la primera fase, es construeix un esbós del model. En la fase 2 cada alternativa és puntuada gràcies a un conjunt de criteris ja definits. En la fase 3, el decisor ha de fer un judici de valor sobre la importància relativa de diferents aspectes del model. En la fase 4 el model és analitzat i en la fase 5 es realitzen recomanacions. Una versió demo del programa de 30 dies està disponible per a descarregar.

Expert Choice. <http://www.expertchoice.com>. El sistema Expert Choice està identificat amb l'AHP, i el software usa AHP com a metodologia central. Les últimes versions emfasitzen en el suport a la decisió de grup i en una interfície fàcil d'usar. El software accepta judicis de múltiples accionistes usant teclats inalàmbrics o Internet. Té la capacitat de donar pesos als membres d'un equip i avaluar els resultats basant-se en la demografia dels membres. La web de la companyia també informa que l'Expert Choice ofereix una tècnica per construir un model que simula el flux de les idees, i ajuda als decisors a organitzar els objectius de la decisió en clústers. Proporciona gràfics per dur a terme l'anàlisi de la sensibilitat. La companyia fa saber que l'Expert Choice té uns 50,000 usuaris a tot el món, incloent grans empreses i agències governamentals.

GMAA. http://www.inescc.pt/~ewgmcda/SW_GMAA.htm. Generic Multi-Attribute Analysis. Aquest sistema està basat en el model d'utilitat multiatribut additiu i permet entrar informació incompleta al sistema. Està dissenyat amb la intenció de minimitzar al màxim les possibles dificultats operacionals involucrades en el cicle de l'anàlisi de la decisió.

HIVIEW. <http://www.enterprise-lse.co.uk>. HIVIEW és una eina MCDA que suporta decisions entre alternatives que s'exclouen mútuament. És un sistema que es pot adaptar a una gran varietat de problemes. Hi ha cinc grans estratègies per construir el model en HIVIEW. En la fase 1 es construeix el model amb l'estructura d'un arbre. En la fase 2, cada alternativa és valorada segons un conjunt de criteris que hi ha definits a l'arbre. En la fase 3, el decisor ha de fer un judici de valor sobre la importància relativa de diferents aspectes del model. S'analitza el model en la fase 4 i es presenten recomanacions en la fase 5. Una versió demo del software està disponible per descarregar.

IRIS. <http://www4.fe.uc.pt/lmcdias/iris.htm>. IRIS (Interactive Robustness analysis and parameters' Interface for multicriteria Sorting problems) és un sistema d'ajuda a la decisió que permet ordenar un conjunt d'alternatives en un conjunt de categories ordenades i predefinides. Exemples d'aquesta aplicació podrien ser l'ordenació de peticions de fons d'acord amb categories de mèrit, com ara "Molt bé", "bé", "Indiferent", "No apte", o l'ordenació de candidats a un préstec en les categories "Acceptat", "Necessita més aval", "Rebutjat". IRIS utilitza una variant pessimista de concordança del mètode ELECTRE TRI. Més que demanar valors específics pels paràmetres d'ELECTRE TRI, IRIS permet entrar restriccions en aquests valors. Afegeix un mòdul per identificar la font d'inconsistències entre les restriccions quan no és possible respectar-les totes al mateix temps. Si les restriccions són compatibles amb les assignacions múltiples de les alternatives, IRIS permet dibuixar conclusions robustes indicant el rang d'assignació (per cada alternativa) que no contradiu cap restricció.

Logical Decisions. <http://www.logicaldecisions.com>. El software Logical Decisions serveix per estructurar i analitzar problemes d'anàlisi de decisió multiatribut i està comercialitzat desde fa anys. Actualment s'ofereixen dues versions diferents, la individual i la de grup. La interfície d'usuari es considera una atracció important, ja que permet ajustar els pesos de manera gràfica i senzilla. Aquest software (associat històricament amb la teoria de la utilitat multiatribut, ofereix cinc mètodes per calcular els pesos, "des de mètodes fàcils d'usar com el mètode 'Smarter', a mètodes sofisticats com el mètode 'tradeoff', fins al popular 'AHP'." Els resultats es poden mostrar de diverses maneres, i es poden comparar les parelles d'alternatives per veure'n les grans diferències. Disposa d'anàlisi de sensibilitat gràfic i interactiu.

MACBETH. <http://www.umh.ac.be/~smq>. MACBETH (Measuring Attractivness by a Categorical Based Evaluation Technique) utilitza judicis semàntics sobre les diferències d'atracció de diversos estímuls per ajudar al decisor a quantificar l'atracció relativa de cada estímulo. Fa servir un procediment inicial iteratiu i interrogatiu que compara dos elements a la vegada, demanant només un judici de preferència qualitatiu. MACBETH verifica automàticament la consistència dels judicis i genera una escala numèrica representativa. De manera similar, MACBETH genera escales de pesos pels criteris de decisió, i també proporciona anàlisi de sensibilitat.

MacModel. <http://www.civil.ist.utl.pt/~lavy/software.html>. MacModel és un arbre de decisió per resoldre problemes multicriteri, desenvolupat a l'Institut Superior Tècnic de Lisboa, Portugal.

NAIADE. <http://alba.jrc.it/ulysses/voyage-home/naiade/naisoft.htm>. NAIADÉ (Novel Approach to Imprecise Assessment and Decision Environments) és un mètode multicriteri discret el qual proporciona un impacte o matriu d'avaluació que pot incloure mesures crisp, estocàstiques o fuzzy de l'actuació d'una alternativa respecte a un criteri d'avaluació. Una peculiaritat de NAIADÉ és l'ús de procediments d'anàlisi de conflictes integrats amb els resultats multicriteri. NAIADÉ pot donar rankings d'alternatives respecte als criteris d'avaluació (donant una solució de compromís tècnic), indicacions de la distància de les posicions de diversos grups d'interès (possiblement portant cap a una convergència d'interessos o cap a la formació d'una coalició), i rankings d'alternatives respecte a les preferències o impactes del decisor (donant lloc a una solució de compromís social).

OnBalance. <http://www.krysalis.co.uk>. OnBalance està basat en un mètode de pesos simple: cada alternativa és avaluada respecte cada criteri, i a cada criteri se li dóna un pes. El paquet calcula un pes global per a cada alternativa. Es poden crear jerarquies múltiples, que reben el nom d'arbres i utilitzen pesos diferents, per permetre diferents perspectives. Així el mètode sembla similar a l'AHP, però no es donen indicacions sobre com es calculen els pesos globals. El paquet està dissenyat per ser utilitzat fàcilment per qualsevol usuari, sense requerir gaires coneixements tècnics.

PRIME Decisions. <http://www.hut.fi/Units/SAL/Downloadables/>. PRIME Decisions emfasitza en la seva habilitat d'utilitzar informació de preferència incompleta. Incorpora una guia "elicitation tour" per guiar al decisor. Aquest software es pot descarregar per ús acadèmic. A causa del gran nombre de programes lineals que han de ser solucionats, aquest mètode és més apropiat per problemes amb relativament poques alternatives no dominades.

TOMASO. <http://cassandra.ro.math.ulg.ac.be/>. TOMASO (Tool for Ordinal Multiattribute Sorting and Ordering) és un software gratuït escrit en Visual Basic que permet agrupar alternatives en classes ordenades. La informació que rep aquest software és un conjunt d'avaluacions parcials de les alternatives en escales numèriques ordinals que representen els diferents de punts de vista, i un subconjunt d'alternatives prototipus assignades prèviament pel decisor. A partir dels valors dels prototipus es busquen els límits entre les classes aprenent una funció discriminant. En TOMASO s'ha restringit la família de possibles funcions discriminants a les funcions de la classe de les integrals de Choquet amb valors normalitzats.

UTA Plus. <http://www.lamsade.dauphine.fr/english/software.html#uta+>. UTA Plus és la última implementació per Windows del mètode UTA, proposat originalment al 1982. S'usa per resoldre problemes multicriteri de selecció i d'ordenació en un conjunt finit d'alternatives. La construcció, basada en el principi de regressió ordinal, requereix resoldre un problema de programació lineal. El software proposa funcions d'utilitat marginals i permet a l'usuari interactuar i modificar aquestes funcions, ajudat per una interfície gràfica.

VIP Analysis. <http://www4.fe.uc.pt/lmcdias/english/vipa.htm>. VIP (Variable Interdependent Parameter) Analysis utilitza una funció de valor additiva i bàsica que permet al decisor proporcionar informació imprecisa pels paràmetres d'importància dels criteris. En paraules dels autors, ells proposen "una metodologia d'anàlisi basada en la reducció progressiva del nombre d'alternatives, introduint un concepte de tolerància que permet al decisor usar alguns mètodes de manera més flexible." Hi ha diverses opcions de sortida que existeixen depenent del tamany del problema i de la naturalesa de la informació d'entrada. El software i un manual d'aquest estan disponibles gratuïtament a la web dels autors.

V.I.S.A. <http://www.simul8.com/products/visa.htm>. Les sigles d'aquest software signifiquen Visual Interactive Sensitivity Analysis. El mètode aplica una funció de valor multiatribut i ha estat ofert en una versió de Windows desde 1994, fent èmfasi en una interfície gràfica simpàtica que permet ajustar la jerarquia de criteris i altres components del model. Per exemple, es poden proporcionar de forma interactiva entrades de pesos i valors usant gràfics de barres, escales de termòmetre o informació numèrica. Els pesos i els valors poden ser ajustats arrastrant el ratolí, i els efectes es veuen a l'instant en

finestres de sortida. Diverses llicències d'usuari estan disponibles inclús una versió dirigida a l'ús en grup.

Web-HIPRE. <http://www.hipre.hut.fi/>. Web-HIPRE és un software accessible a través d'Internet basat en AHP i funcions de valor. La gràcia de la web és que permet compartir informació sobre les alternatives o els criteris per un grup d'usuaris dispers. La variant d'ús local rep el nom de HIPRE 3+. Aquest sistema permet a l'usuari personalitzar l'escala d'atributs i combinar mètodes com ara l'AHP i funcions de valor en un mateix model.

WINPRE. <http://www.hut.fi/Units/SAL/Downloadables/>. WINPRE és un altre software disponible de Systems Analysis Laboratory a Finlàndia, el grup que també ofereix PRIME Decisions i Web-HIPRE, descrits anteriorment. WINPRE compta amb una metodologia anomenada PAIRS (Preference Assessment by Imprecise Ratio Statements) que permet al decisor exposar un rang de nombres per indicar les preferències entre les alternatives. Aquest resultat porta cap a una regió factible per a cada criteri on aquest és consistent amb els judicis del decisor. El software està disponible gratuïtament per a ús acadèmic.

7.2 Classificació del software

En aquest apartat s'ha muntat una taula descriptiva on es pot apreciar, de manera intuïtiva, les diferents característiques dels softwares MCDA. Aquesta taula s'ha construït gràcies a la informació exposada en els sis apartats anteriors. A continuació comentarem quins són els valors que poden prendre els diferents softwares en la taula:

1. Objectiu: en aquesta columna observem quina és la finalitat del mètode en qüestió. Els valors que podem trobar-hi són: *selecció, ordenació, classificació i categorització*.
2. Modelat: aquesta columna ens diu de quina forma construeix el model el mètode, mitjançant *relacions de preferència o funcions d'utilitat*.
3. Informació: el que es pot apreciar en aquesta secció és quin és el tipus d'informació amb la qual ens permet treballar el model, aquesta pot ser: *numèrica, numèrica ordinal, lingüística o gràfica*.
4. Eines: aquí volem mostrar quins són els instruments que proporciona el mètode per fer-lo més agradable i entenedor: *gràfics, assistent de paràmetres, mesura de consens, generació d'explicacions i argumentacions*.
5. SA: ens diu si el sistema fa ús de l'anàlisi de sensibilitat.
6. AR: ens diu si el sistema fa ús de l'anàlisi de robustesa.

	Objectiu	Modelat	Informació	Eines	AS	AR
<i>clusDM</i>	ordenació/ categorització	funcions d' utilitat	numèrica i etiq.ling.	gràfics	no	no
<i>Criterium Decision Plus 3.0</i>	ordenació/selecció	funcions d' utilitat	numèrica, etiq.ling i gràfica	gràfics	si	no
<i>Decision Lab 2000</i>	ordenació/selecció	relacions de preferència	numèrica i etiq.ling.	gràfics	si	si
<i>ELECTRE III-IV</i>	ordenació	relacions de preferència	numèrica	gràfics	no	no
<i>ELECTRE IS</i>	selecció	relacions de preferència	numèrica	gràfics	no	no
<i>ELECTRE TRI</i>	categorització	relacions de preferència	numèrica	gràfics i assistent de paràmetres	no	no
<i>Equity</i>	ordenació	funcions d' utilitat	numèrica i gràfica	gràfics	si	no
<i>ExpertChoice</i>	selecció	funcions d' utilitat	numèrica, etiq.ling i gràfica	gràfics	si	no
<i>GMAA</i>	ordenació	funcions d' utilitat	numèrica	gràfics	si	no
<i>HIVIEW</i>	ordenació	funcions d' utilitat	numèrica i gràfica	gràfics	si	no
<i>IRIS</i>	categorització	relacions de preferència	numèrica	gràfics i assistent de paràmetres	no	si
<i>Logical Decisions</i>	ordenació	funcions d' utilitat	numèrica	gràfics i assistent de paràmetres	si	no
<i>MACBETH</i>	ordenació	funcions d' utilitat	numèrica i etiq.ling.	gràfics	si	si
<i>MacModel</i>	ordenació	funcions d' utilitat	numèrica	gràfics i assistent de paràmetres	si	no
<i>NAIADE</i>	ordenació/classificació	relacions de preferència	etiq.ling.	gràfics	si	no
<i>OnBalance</i>	ordenació	funcions d' utilitat	numèrica i etiq.ling.	gràfics	si	no
<i>PRIME Decisions</i>	ordenació	funcions d' utilitat	etiq.ling.	gràfics i assistent de paràmetres	no	no
<i>TOMASO</i>	classificació	funcions d' utilitat	numèrica ordinal	gràfics	si	no
<i>UTA Plus</i>	ordenació/selecció	funcions d' utilitat	numèrica	gràfics	si	no
<i>VIP Analysis</i>	selecció	funcions d' utilitat	numèrica	gràfics	si	no
<i>V.I.S.A.</i>	ordenació	funcions d' utilitat	numèrica i gràfica	gràfics	si	no
<i>Web-HIPRE</i>	ordenació	funcions d' utilitat	numèrica	gràfics	si	no
<i>Winpre</i>	ordenació/selecció	funcions d' utilitat	numèrica	gràfics	si	no

Taula 7.1: taula descriptiva dels softwares MCDA

8 Softwares testeats

Després de provar diversos sistemes d'ajuda a la decisió i valorar-ne les seves característiques i funcionament, hem decidit utilitzar per realitzar les nostres proves els softwares TOMASO, VIP Analysis i MACBETH. TOMASO permet obtenir un conjunt de clústers ordenats (és a dir, és un mètode de categorització) que treballa només amb dades numèriques ordinals. VIP Analysis treballa amb dades numèriques cardinals i retorna un valor numèric per cada alternativa. Finalment, MACBETH treballa amb valors lingüístics i retorna un valor numèric per cada alternativa. Com es pot veure, les seves característiques no són exactament les de ClusDM, però no hem trobat cap altre sistema que se li assembla més i estigui disponible en versió de lliure distribució o amb un preu assequible.

A més d'aquests softwares cal afegir-hi el ClusDM, el sistema de decisió del qual parteix aquest projecte, i que es vol comparar amb els altres. Tot seguit definirem de manera exhaustiva els quatre sistemes d'ajuda a la decisió escollits, per tal de tenir clars els conceptes més importants de cada mètode. També donarem detalls sobre la instal·lació i el funcionament de cadascun d'ells.

8.1 ClusDM

El nom del sistema d'ajuda a la presa de decisions, ClusDM, prové de Clustering for Decision Making. És una metodologia MCDA (multi-criteria decision aid) per ordenar qualitativament (o categoritzar) un conjunt d'alternatives. El resultat és un criteri qualitatiu ordenat que resumeix la informació dels diferents criteris (numèrics i qualitius) que avaluen una alternativa. Aquest criteri qualitatiu dona un terme de preferència lingüística a cada alternativa. Fent servir aquests valors de preferència podem saber quines són les millors i les pitjors alternatives per a un problema de decisió particular.[Valls et al, 2005].

8.1.1 Descripció general del mètode

El procés pel qual el sistema avalua les alternatives i posteriorment informa a l'usuari de les conclusions extretes consta de quatre fases principals que s'expliquen breument a continuació. El procés s'inicia amb una primera fase en la qual es realitza un procés de clusterització de les dades per tal d'agrupar aquelles alternatives que siguin més properes entre elles en funció d'una mesura de dissimilitud. Posteriorment es duu a terme una segona fase, on s'estableix un ordre de preferència entre les alternatives, per tal de poder-les qualificar en la següent fase, que s'encarrega d'assignar un valor a cadascun dels clústers mitjançant un terme qualitatiu que expressa la preferència global. Finalment, la última fase s'encarrega de validar els resultats obtinguts per tal d'establir la fiabilitat d'aquests.

Els mètodes de clusterització són tècniques d'aprenentatge no supervisat que s'utilitzen per tal d'obtenir una partició d'un conjunt d'objectes. Un procés de clusterització jeràrquica ascendent consta dos passos [Jain&Dubes, 1988]:

El primer pas consisteix en la construcció d'una matriu de dissimilitud que contingui les mesures de dissimilitud entre cadascuna de les parelles d'alternatives. Per tal de dur a terme la mesura de la dissimilitud entre les alternatives es poden utilitzar una gran varietat de funcions de dissimilitud. Un cop hem obtingut la matriu amb les dissimilituds entre les diferents alternatives, podem passar a la construcció del conjunt de clústers. En cadascun dels clústers trobarem aquelles alternatives que siguin més similars.

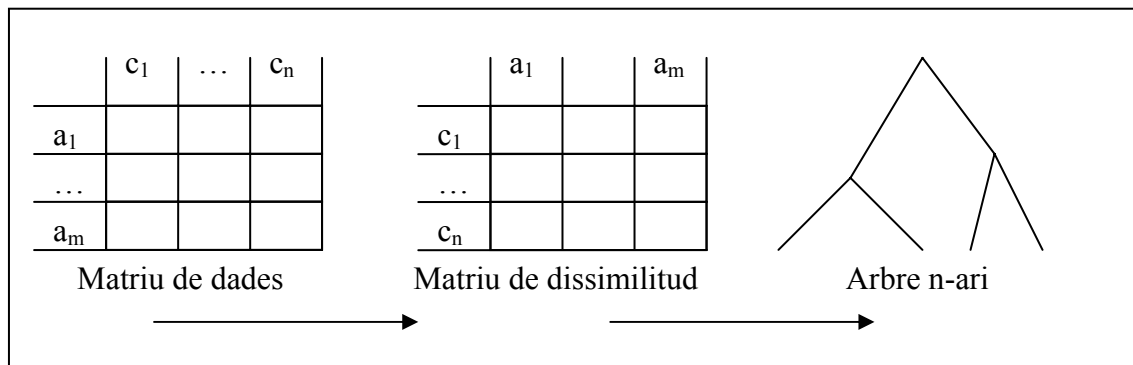


Fig 8.1: Clusterització

En el procés de clusterització es va construint un arbre n-ari o binari. Cadascun dels subarbres que podem trobar dins de l'arbre representa un clúster.

Un cop realitzada la fase d'agregació, es duu a terme la fase d'ordenació de les diferents alternatives per poder expressar la preferència entre elles. Per tal de realitzar l'ordenació de les diferents alternatives podem utilitzar dos mètodes diferents segons la situació en la qual ens trobem:

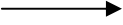
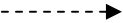
1. *Anàlisi de Components Principals (PCA)*: El PCA és un mètode estadístic multivariats [Pearson, 1901]. Per tal d'obtenir una bona ordenació amb el mètode PCA, els diferents criteris han de estar correlacionats entre ells, és a dir, tots els criteris han d'expressar preferències entre les alternatives. Aquesta situació es dona quan els criteris provenen de les opinions de diferents experts amb un alt grau de coneixement del problema.
2. *Distància a l'ideal*: En aquest cas, els diferents criteris expressen diferents punts de vista sobre les dades, que poden ser preferències o simplement propietats descriptives. Al tenir diferents opinions per part dels diferents experts, s'ha d'utilitzar una mesura de dissimilitud que compari les alternatives criteri per criteri. Per tal de realitzar aquesta comparativa, s'utilitza el concepte d'ideal, es comparen totes les alternatives amb l'ideal de manera que les alternatives que són més properes a l'ideal seran les millors.

Com a resultat del procés d'ordenació s'obté un conjunt ordenat de clústers, on cada clúster té associat un valor en el interval $[0, 1]$ que determina la seva posició en

l'anomenat eix social. En la fase d'explicació s'associa un terme lingüístic a cada clúster que substituirà el valor numèric calculat en la fase anterior, de manera que totes les alternatives acaben tenint un terme associat. Per últim, quan cada clúster té associat el seu terme corresponent, es duu a terme la construcció de la nova funció de negació. La necessitat de construir una nova funció de negació ve donada pel fet que l'usuari necessita conèixer correctament la semàntica dels termes que s'utilitzen per tal de valorar els clústers obtinguts.

En la última fase (mesura de la qualitat) el que es fa és calcular la fiabilitat global de l'aplicació ClusDM mitjançant les mesures de fiabilitat obtingudes en les fases anteriors (clusterització, ordenació, nous termes i nova funció de negació). Un cop calculades aquestes quatre mesures de fiabilitat es fa una mitjana ponderada per tal de poder obtenir el valor de validesa final dels resultats.

A continuació realitzem una breu descripció sobre com es duen a terme les diferents fases del procés de la presa de decisions. Per tal de poder observar el procés d'una forma més detallada farem ús del següent esquema:

-  : Fitxers d'entrada o sortida.
-  : Nous elements incorporats a ClusDM.
-  : Fases ja existents a la versió anterior de ClusDM.
-  : flux de dades i control.
-  : flux de dades.

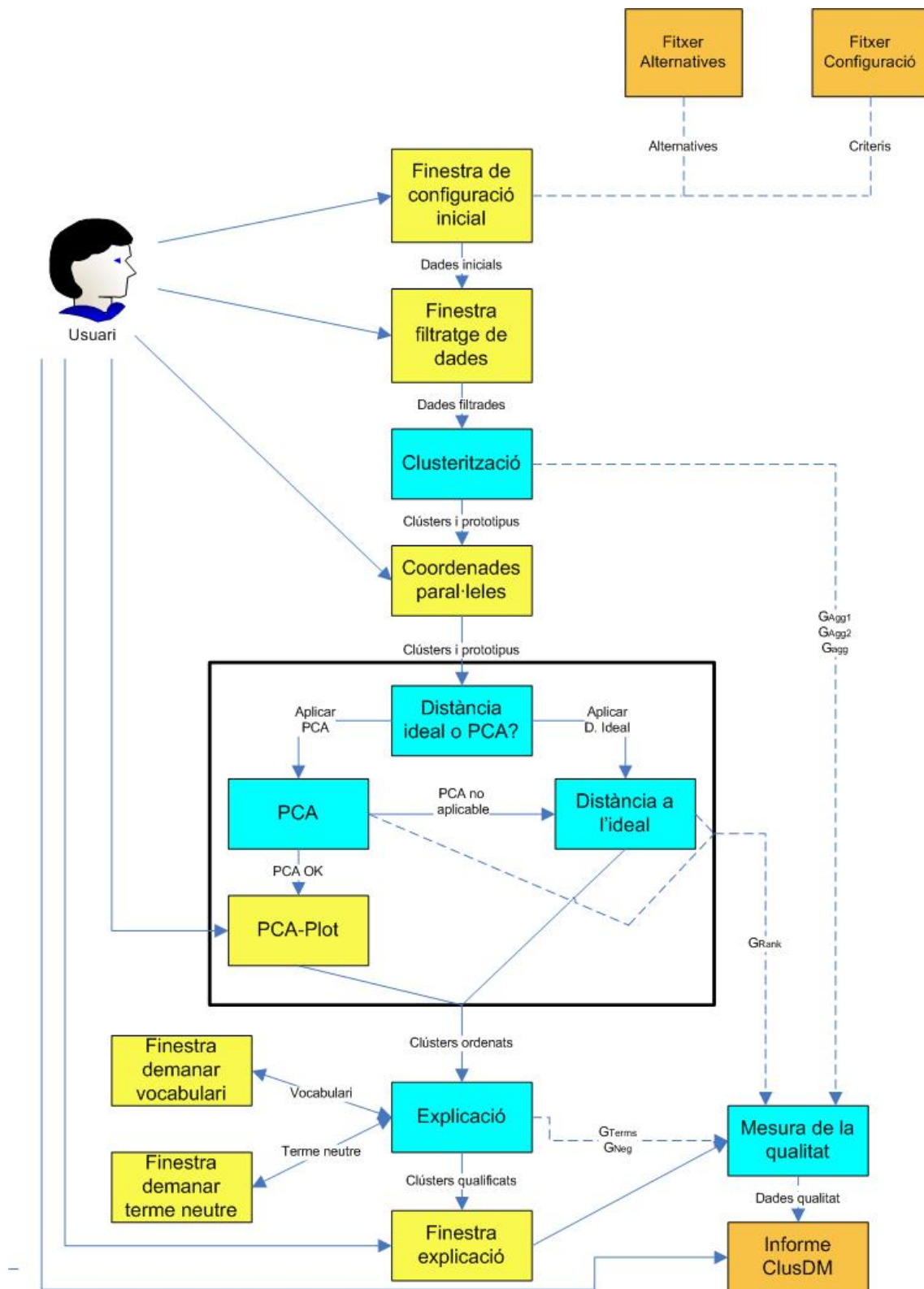


Fig 8.2: disseny conceptual del ClusDM

Per tal d'entendre millor l'esquema anterior, a continuació expliquem les diferents etapes per les quals passa el ClusDM.

En un primer pas i gràcies a una finestra d'inici, es realitza la configuració inicial del sistema. Duta a terme la configuració inicial, es duu a terme el filtratge de les dades, ja sigui eliminant alternatives, o bé criteris, segons indiqui l'usuari.

Un cop s'obté el conjunt de dades amb les quals es treballarà, s'aplica el procés de clusterització. Amb els prototipus dels clústers obtinguts a partir de la clusterització s'utilitzarà la metodologia coneguda com a Coordenades Paral·leles, per tal de poder mostrar a l'usuari els resultats obtinguts en aquest procés.

Posteriorment, un cop l'usuari ja ha validat les dades, s'ha de dur a terme el procés d'ordenació. Primer s'avalua quina metodologia s'utilitzarà, depenent del tipus de dades amb les quals es trobi el sistema (o bé el mètode PCA, o bé el basat en la distància a el ideal). Ambdós mètodes s'han explicat anteriorment. Com a resultat d'aquest procés s'obté un conjunt de clústers ordenats de pitjor a millor.

En cas d'utilitzar PCA, s'utilitzen les dades que s'obtenen durant l'aplicació d'aquest mètode per tal d'aplicar el mètode *PCA-Plot*, i així mostrar els resultats a l'usuari per tal que aquest els pugui avaluar.

Un cop dut a terme tot el procés d'ordenació, es realitza la fase d'explicació, on s'obté un nou vocabulari. Aquest s'utilitzarà per avaluar les diferents alternatives i així donar a l'usuari una idea de la bondat de cadascun dels clústers. Amb els resultats obtinguts, es mostrarà una finestra amb els resultats finals, i si l'usuari ho demana es generarà un informe que contindrà totes les dades corresponents al procés de decisió, per tal que aquest pugui realitzar-ne una valoració global.

8.1.2 Testeig del ClusDM

El sistema està implementat en llenguatge Java, és per això que s'ha de tenir instal·lada la màquina virtual de Java per tal de poder executar correctament el ClusDM (el Java Runtime Environment està disponible a <http://java.sun.com/j2se/1.4.2/download.html>).

Per tal d'utilitzar el sistema, només hem de descomprimir el fitxer ClusDm.rar i executar el fitxer ClusDM.bat.

8.1.2.1 Dades

El sistema ClusDM treballa amb dos fitxers d'entrada de dades. Un és el **fitxer Configuració**, i l'altre és el **fitxer d'Alternatives**.

8.1.2.1.1 Fitxer de configuració

El fitxer de configuració s'utilitza per tal d'indicar al sistema quins criteris s'utilitzaran durant el procés de decisió. Per a cada criteri s'han de detallar diferents característiques seguint el següent format:

Nom del criteri: pes:**ideal** valor_ideal:**nadir** valor_nadir: tipus domini

- Nom del criteri: string
- Pes: nombre real entre [0..1]. Els pesos de tots els criteris han de sumar 1.
- Tipus de dades: tipus de valors que usa cada criteri (veure taula 8.1).
- Valors ideal i nadir: millor i pitjor valor del domini.
- Domini: conjunt de possibles valors, d'acord amb el tipus de dades. Funció de Negació: *aquest valor només s'indica en el cas de tenir un criteri qualitatiu ordenat que usi una funció de negació no-clàssica en el seu domini.*

En la següent taula es mostra com s'ha d'indicar al sistema el tipus de dades corresponent a un criteri:

Tipus de dades	Nom del tipus
Booleà	Boolean
Rang de números	Numerical
Qualitatiu no ordenat	qualitative
Qualitatiu ordenat	Ordered qualitative
Qualitatiu ordenat amb funció de negació	Ordered qualitative N

Taula 8.1: tipus de dades i els seus corresponents noms de configuració

Respecte al domini d'un criteri, aquest consisteix en una llista de valors entre parèntesis. Els valors depenen del tipus de criteri tal com s'indica en la taula 8.2.

Tipus de dades	Format del Domini
Booleà	(true false)
Quantitatiu	(mínim .. màxim)
Qualitatiu no ordenat	(terme, terme, terme, ..., terme)
Qualitatiu ordenat	(terme1, terme2, terme3, ..., termeN)
Qualitatiu ordenat amb funció de negació	(terme1(termeX, termeY, ...termeZ), terme2(termeR, termeS, ...termeT), ..., termeN(termeI, termeJ, ...termeK))

Taula 8.2: tipus de dades i el format del seu domini

Amb les dades de tipus booleà, el sistema necessita saber quin terme expressa la veritat (o valor afirmatiu), i quin terme expressa la falsedat (o valor negatiu).

Per les dades quantitatives, s'indica el rang de valors entre parèntesis separant els valors màxim i mínim amb dos punts. Es poden utilitzar nombres enters o nombres reals.

En un criteri qualitatiu no ordenat, el domini és un conjunt de termes sense cap ordre entre ells.

Per al cas de dades qualitatives ordenades, s'ha d'indicar quins termes formen el vocabulari, i quin és l'ordre de preferència que hi ha entre ells. Per tal de enumerar tots els possibles valors, i a la vegada expressar l'ordre de preferència entre ells, s'han

d'enumerar de menor a major segons l'ordre de preferència. L'enumeració dels termes es duu a terme entre parèntesis, separant els diferents termes mitjançant una coma.

Si tenim dades qualitatives ordenades amb funció de negació, hem d'especificar els diferents termes de la funció de negació, i després, per cada un, les seves negacions entre parèntesis.

Exemple de fitxer de configuració:

```
Joan: 0.1:ideal L4:nadir L1: Ordered qualitative N (L1(L3 L4),
L2(L3), L3(L1 L2 L3), L4(L1))
Raul: 0.2:ideal mb:nadir mm: Ordered qualitative N (mm (mb), m
(mb b), r (r), b (m), mb (m mm))
Laura: 0.4:ideal 10:nadir 1: Numerical (1..10)
Anna: 0.1:ideal BE:nadir MAL: Boolean (BE MAL)
Oscar: 0.1:ideal 100:nadir 0: Numerical (0..100)
Elena: 0.1:ideal 0:nadir 3: Numerical (0..3)
```

Fig 8.3: fitxer de configuració

8.1.2.1.2 Fitxer d'alternatives

En el fitxer d'alternatives, s'ha d'indicar tant el nom de l'alternativa, com els seus valors, i per tal d'expressar-ho, s'ha de posar el nom de l'alternativa seguit de ':'. Posteriorment, es dona el valor de cadascun dels criteris per a aquella alternativa, tot seguint l'ordre en què apareixen en el fitxer de configuració. Per tant el format és de la següent manera:

“nom de l'alternativa”: valorC1, valorC2, ..., valorCN

Per indicar un valor desconegut l'usuari ha de fer servir el símbol '?’.

Exemple de fitxer d'alternatives:

Italy:	L2, mb, 7.5, be, 75, 1
Congo:	L4, m, 4.5, mal, 30, 1
Canada:	L1, mb, 9, be, 80, 0
France:	L2, b, 8, mal, 72, 0
Switzerland:	L1, b, 8.5, be, 75, 2
CzechRep:	L2, r, 7, mal, 60, 1
Argentina:	L4, mm, 3, mal, 17, 2
USA:	L3, m, 6, mal, 58, 1
Saturn:	L4, mb, 10, be, 100, 0

Fig 8.4: fitxer d'alternatives

8.1.2.2 Utilització del ClusDM

8.1.2.2.1 Configuració Inicial

Abans de començar l'execució del ClusDM, el decisor ha d'introduir les dades d'entrada i alguns paràmetres per tal d'ajustar el model que serà aplicat a un problema particular.

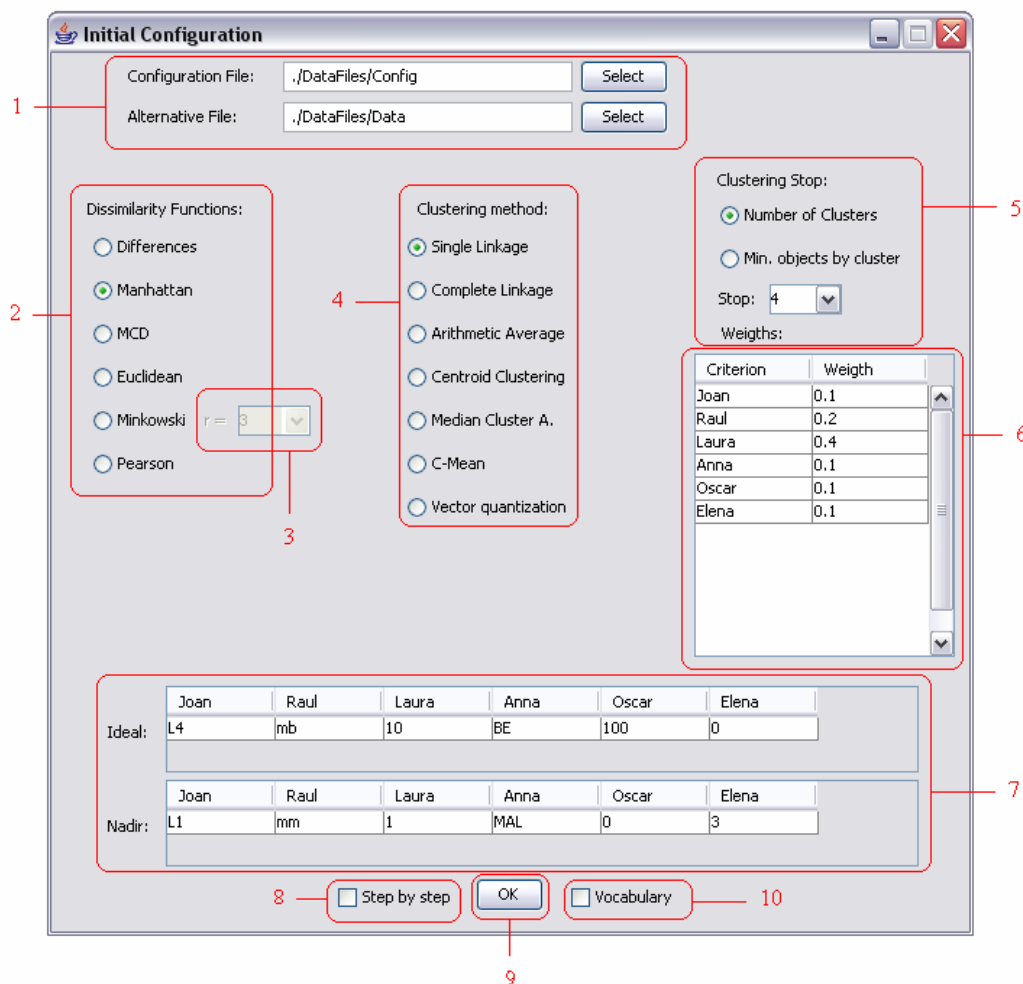


Fig 8.5: finestra de configuració inicial del ClusDM

- 1.- En aquests dos camps hem d'introduir el fitxer de dades i el fitxer de configuració.
- 2.- Amb aquests botons de ràdio l'usuari pot seleccionar la funció de dissimilitud desitjada. En cas que l'usuari seleccioni la distància de *Minkowski*, haurà de seleccionar el valor r (3 per defecte).
- 4.- Amb aquests botons de ràdio l'usuari pot seleccionar el mètode de clusterització.
- 5.- Amb aquestes dues opcions podem decidir el número de clústers o el nombre mínim d'alternatives contingudes en qualsevol dels clústers.

6.- Amb aquesta taula l'usuari pot ajustar el valor dels pesos dels criteris. S'ha de tenir en compte que la suma dels pesos ha de ser igual a 1.

7.- Amb aquestes dues taules l'usuari pot modificar els valors ideal i nadir de les alternatives entrades mitjançant el fitxer de configuració.

8.- Seleccionant aquesta opció podem executar cadascuna de les fases del procés de decisió pas per pas.

9.- Pulsar-lo per tal de començar el procés de decisió

10.- Seleccionant aquesta opció el sistema ens generarà un vocabulari apropiat per al nostre problema.

8.1.2.2 Filtratge

Abans de començar el procés de decisió, el decisor pot eliminar algunes alternatives i alguns criteris del conjunt de dades carregat del fitxer. Aquesta característica és interessant si ja hem analitzat les dades i ens volem concentrar en algun subconjunt d'alternatives o criteris.

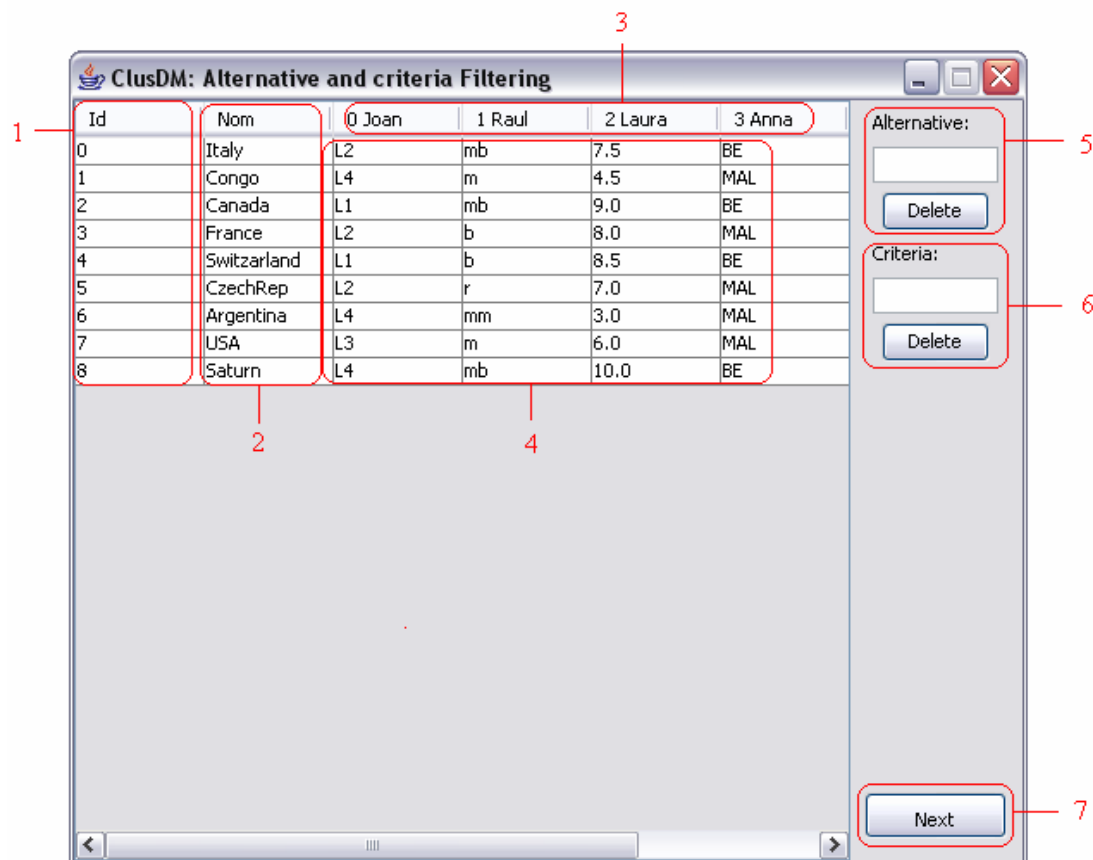


Fig 8.6: filtratge d'alternatives

1.- Aquest camp mostra els identificadors de les diferents alternatives. Amb l'identificador podem eliminar l'alternativa.

2.- Nom de l'alternativa.

3.- Aquí es mostra l'identificador dels criteris, seguit del nom. Igual que en el cas anterior, l'identificador del criteri s'utilitza per eliminar el criteri en qüestió.

4.- Valors que prenen els diferents criteris per les diferents alternatives.

5.- Introduint l'identificador de l'alternativa i clicant sobre *delete* s'eliminarà l'alternativa indicada.

6.- Igual que amb el cas anterior, s'ha d'introduir l'identificador del criteri que es desitja eliminar i clicar *delete* per tal d'eliminar-lo.

7.- Un cop eliminades totes les alternatives i criteris desitjats, s'haurà de clicar sobre *next*.

ClusDM inclou algunes eines per tal d'ajudar al decisor a comprendre les dades i els resultats en les diferents fases del procés.

8.1.2.2.3 Coordenades paral·leles

Per representar els resultats de la fase de clusterització, el sistema usa el mètode conegut com a Coordenades Paral·leles. Cada eix correspon a un criteri, i les línies de colors representen els clústers i els seus valors pels diferents criteris. Tots els eixos estan normalitzats en l'interval $[0..1]$.

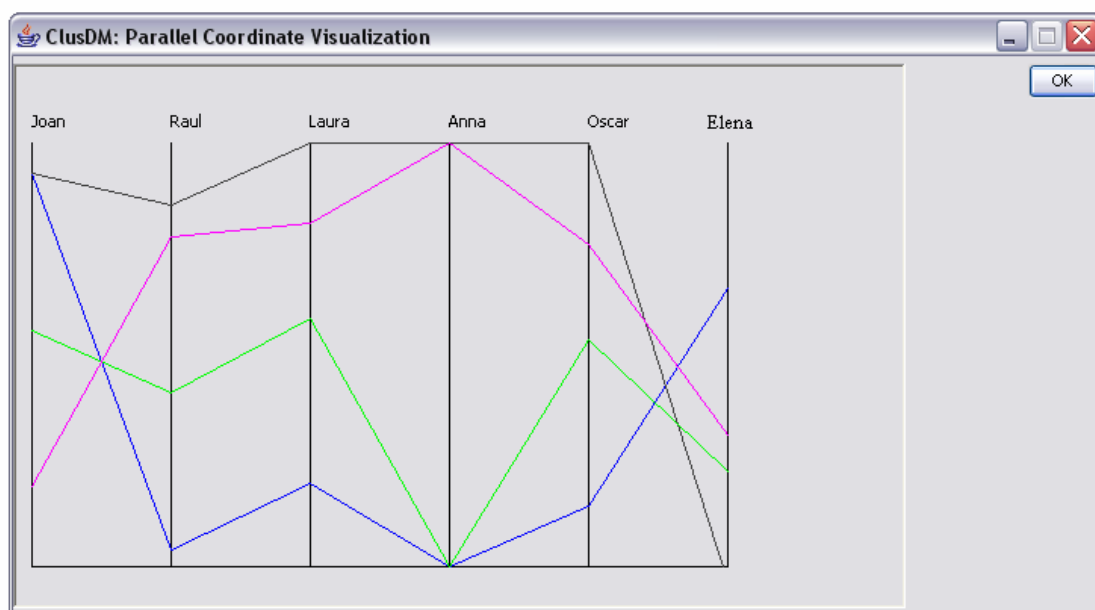


Fig 8.7: representació dels clústers en un gràfic de coordenades paral·leles

8.1.2.2.4 PCA-Plot (Principal Component Analysis)

Consisteix en representar les dades en un gràfic de dues dimensions on les línies representen les posicions dels prototipus dels clústers, i els punts representen les posicions de les alternatives. Les alternatives que pertanyen a un clúster són representades amb el mateix color que el corresponent prototipus del clúster. L'eix horitzontal correspon a la primera component principal, i l'eix vertical a la segona component.

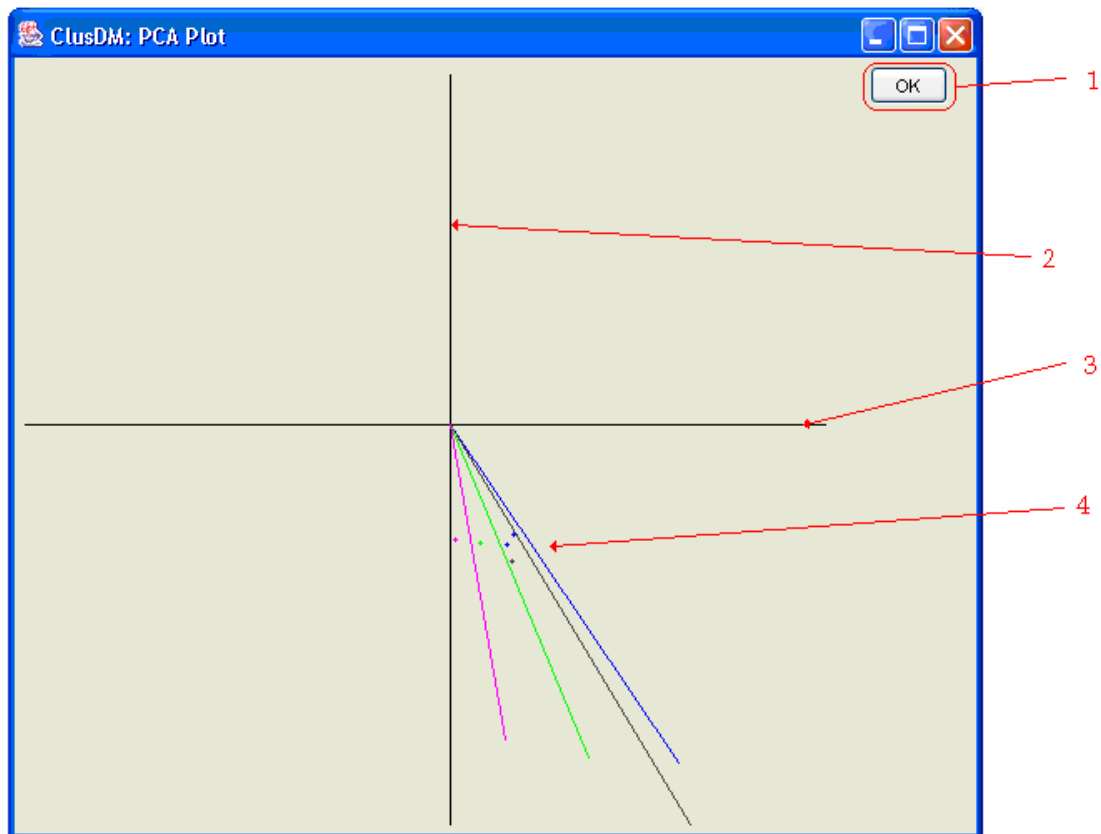


Fig 8.8: representació de les dades fent servir PCA-Plot

Un cop observats els resultats mostrats pel PCA-Plot continuem clicant sobre OK.

8.1.2.2.5 Introducció del vocabulari

En aquesta part del procés, el sistema fa servir un vocabulari de preferència per tal d'avaluar el conjunt ordenat de clústers que s'ha obtingut. Aquest vocabulari pot ser un dels proporcionats en el fitxer inicial de configuració. No obstant, en moltes situacions, cap d'aquests vocabularis és apropiat, aleshores l'usuari ha de proporcionar un nou vocabulari ordenat i la seva corresponent funció de negació. En la figura 8.9 es pot veure la finestra d'introducció del vocabulari.

1.- L'usuari ha de proporcionar els termes negatius del vocabulari, amb un cert grau de preferència negativa. Per cada fila, l'usuari ha d'introduir un terme en la primera columna, i en la segona, l'usuari ha d'indicar les negacions per aquell terme. Després d'entrar les dades s'ha de prémer *enter*.

- 2.- En aquesta casella hem d'indicar el número de la fila que volem eliminar i pulsar sobre *DEL NEG* per tal d'eliminar-la.
- 3.- Clicant sobre aquest botó crearem una nova fila en la taula de termes negatius.
- 4.- Aquí s'ha d'introduir el terme neutral. No s'ha d'introduir la seva negació perquè el terme neutral només té una negació ell mateix.
- 5.- Aquesta taula té el mateix ús que la que correspon als termes negatius, però en aquest cas pels positius.
- 6.- Permet eliminar una fila de la taula de termes positius.
- 7.- Permet insertar una fila en la taula de termes negatius.
- 8.- Quan s'hagin introduït els termes desitjats, s'ha de prémer *OK* per continuar amb l'execució del procés.

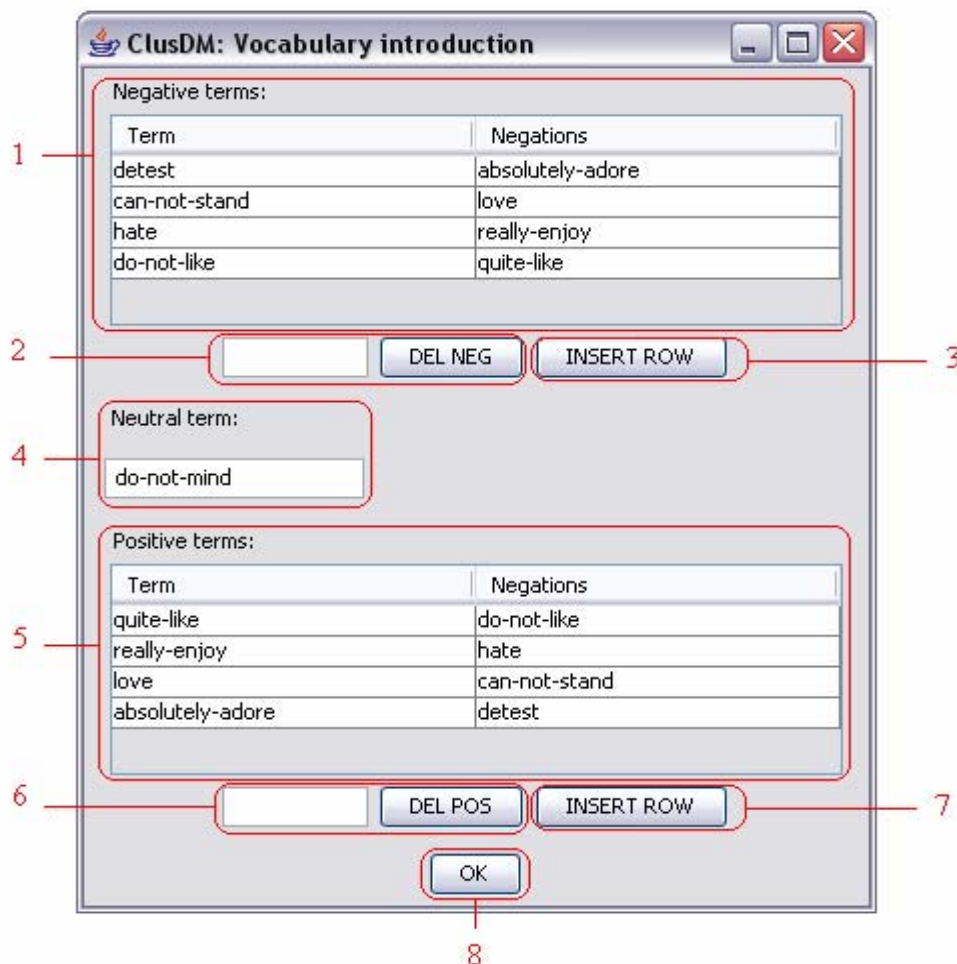


Fig 8.9: introducció del nou vocabulari de preferència

8.1.2.2.6 Resultats finals

Un cop ha acabat el procés de decisió, l'usuari veurà els resultats en la finestra que es mostra en la figura 8.10.

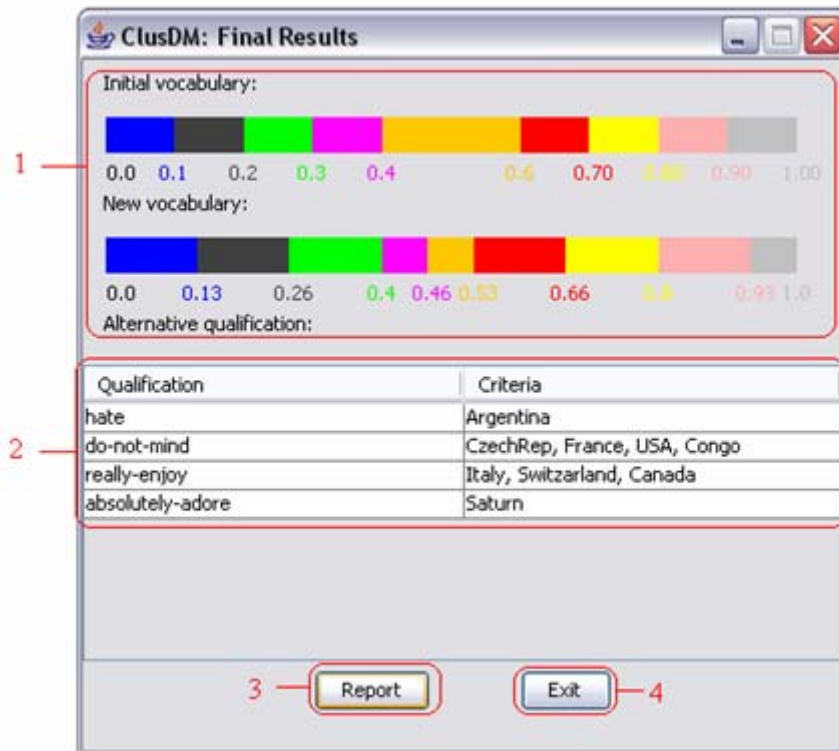


Fig 8.10: resultats finals del ClusDM

1.- Aquí es mostren els intervals que representen els diferents termes del vocabulari original, i el nou vocabulari obtingut després del procés d'explicació.

2.- Aquí estan representats les diferents etiquetes que reben els clústers, i les alternatives que pertanyen als clústers.

3.- Quan s'apreta sobre *Report*, el sistema genera un document *html* el qual conté informació sobre el procés de decisió i els seus resultats.

4.- Prement sobre *Exit*, tanquem el sistema.

8.2 TOMASO

Aquesta secció del document està dedicada al software TOMASO. El seu nom ve de *Tool for Ordinal MultiAttribute Sorting and Ordering* i està escrit en Visual Basic. Va ser desenvolupat per Marc Roubens, i la primera versió data de 2002. La versió completa d'aquest sistema es pot obtenir de forma gratuïta a la plana web <http://www.letzebuerg.info/>. Aquest software ens va interessar provar-lo des de bon principi, ja que permet classificar les alternatives en classes, igual que fa el ClusDM.

En aquest capítol farem una breu descripció dels diferents aspectes del software i a continuació presentarem l'aplicació del mètode amb un petit exemple.

8.2.1 Descripció general del mètode

El mètode TOMASO consta de dues fases, una fase de pre-tractament de les dades (anomenada *pre-scoring*), on es defineix una matriu de valors per a cada alternativa i per a cada criteri, i una segona fase d'agregació, on es construeix una matriu de valors globals per a cada alternativa utilitzant la integral de Choquet. Aquests valors globals són els valors que es faran servir per assignar les alternatives a les seves classes corresponents, que estan definides per uns valors numèrics que ens donen el valor mínim i màxim [Marichal et al, 2003].

En la fase de pre-scoring, el que es fa és normalitzar els valors que prenen les diferents alternatives per tal de poder-los comparar entre ells en la fase d'agregació, obtenint els valors S_i^N . Hi ha dues maneres diferents de dur a terme l'esmentada normalització dels valors dels criteris:

- mitjançant dominància: es comparen totes les alternatives criteri per criteri i s'estableixen relacions de dominància (o preferència). En aquest cas els valors obtinguts no es poden considerar utilitats.
- mitjançant el valor del criteri: deixant de banda la resta d'alternatives, es mira el valor concret del criteri segons la seva posició dins el domini del criteri. En aquest cas sí que els valors es poden interpretar com valors d'utilitat.

Després de la fase de normalització, es busquen els límits entre les classes aprenent una funció discriminant a partir dels valors dels prototipus que el decisor ha definit. Els autors de TOMASO han restringit la família de possibles funcions discriminants a les funcions de la classe de les integrals de Choquet amb valors normalitzats. Així doncs, cal aprendre una integral de Choquet, que es defineix segons la següent equació:

$$\mathcal{C}_v(S^N(x)) := \sum_{i=1}^n S_{(i)}^N(x) [v(A_{(i)}) - v(A_{(i+1)})], \quad (1)$$

La integral de Choquet necessita una mesura difusa de la importància de cada subconjunt de criteris. Com que aquesta mesura requereix que l'usuari doni molts valors, que a vegades no sap, el que es fa és aprendre-la automàticament a partir d'un subconjunt d'alternatives (anomenades prototipus) les quals ja han estat assignades a les

classes inicialment pel el decisor. Per tal d'obtenir aquesta funció difusa es formula un problema de satisfacció de restriccions lineal. Les incògnites d'aquest problema seran els coeficients de la funció fuzzy v , on $v(0) = 0$ i $v(N) = 1$, N és el nombre de punts de vista.

$$v : 2^N \rightarrow [0,1] \quad (2)$$

El càlcul de la funció v és un càlcul complex ja que s'han d'estimar molts valors ($2^n - 2$), on n és el nombre de valors a agregar. El càlcul es pot simplificar si considerem mesures k -additives, com per exemple la transformació de Moebius:

$$m(S) = \sum_{T \subseteq S} (-1)^{|S|-|T|} v(T) \quad (S \subseteq N), \quad (3)$$

Es pot demostrar que fent servir aquesta transformació només cal buscar $\sum_{i=1}^k \binom{n}{i}$ valors.

Com ja s'ha dit, a continuació es resol un problema de satisfacció de restriccions lineal per tal de trobar els valors límits de les classes, z_i . Per fer-ho es considera només el subconjunt d'alternatives prototipus que s'han introduït prèviament. El problema a resoldre és una funció a minimitzar com la que es mostra a continuació:

$$z_t := \min_{x \in Cl_t^{\geq}} \mathcal{C}_v(S^N(x)) \quad (t = 2, \dots, m). \quad (4)$$

Aquesta funció s'optimitza tenint en compte un conjunt de restriccions relatives a condicions de separació, de monotonicitat i de dominància.

Un cop es coneix aquesta funció, la integral de Choquet ordena els valors a agregar de millor a pitjor,

$$S_{(1)}^N(x) \leq \dots \leq S_{(n)}^N(x) \quad (5)$$

i tot seguit multiplica cada valor pels valors que li proporciona la funció v , obtenint així el valor final agregat que servirà per classificar aquesta alternativa a la classe que li correspongui.

En cas que el valor d'una alternativa no estigui dins dels límits de cap classe, llavors s'assigna a una classe "imprecisa" que es situa enmig de les dues classes originals entre les quals estem dubtant.

Un resultat colateral d'aquest procés són els índexs Shapley d'importància dels criteris i d'interacció entre ells. Aquestes mesures ens poden servir per avaluar com ha anat el procés d'aprenentatge, però també per conèixer més coses sobre el problema que s'està tractant. Per exemple, els índexs d'importància ens poden donar una idea del rànking entre els criteris, tot i que no poden ser considerats com la importància que té cadascun en la decisió final.

Els autors de TOMASO destaquen dues característiques d'aquest mètode:

1. Poden tractar problemes amb criteris que interactuen entre ells, és a dir, no necessiten criteris totalment independents. La condició d'independència és força restrictiva en algunes aplicacions reals.
2. El decisor no ha de donar gaire informació sobre paràmetres del model. Normalment els mètodes demanen almenys els pesos dels criteris, però a TOMASO s'obtenen automàticament. Tampoc hi ha altres paràmetres, només uns quants prototipus de cada classe.

8.2.2 Testeig del TOMASO

Primer de tot, explicarem com són les dades amb les quals treballa aquesta aplicació, i a continuació passarem a explicar el seu funcionament.

8.2.2.1 Dades

Les dades s'han de carregar des de tres fitxers diferents: un fitxer de dades (*.tdf), un fitxer d'etiquetes (*.tlf) i un fitxer de criteris màxims (*.tmc). Amb aquests tres fitxers podem realitzar fàcilment diferents proves modificant els paràmetres d'entrada. Aquesta és l'única manera de carregar les dades al software, ja que la interfície gràfica no t'ho permet fer manualment.

8.2.2.1.1 fitxer de dades (*.tdf)

La primera dada d'aquest fitxer és el nombre total d'alternatives que hem considerat pel problema. Com s'explicarà més endavant, el software necessita que l'usuari introdueixi algunes alternatives ja classificades, a les que anomena prototipus de la classe; a part, s'introdueixen la resta d'alternatives que volem que TOMASO classifiqui. A la segona línia del fitxer hi ha el nombre de criteris utilitzats. A continuació cada línia representa una alternativa amb els valors que pren per a cada criteri (separats per una coma).

El següent exemple representa un conjunt de 27 alternatives, en el nostre cas estudiants. Cadascun d'ells és avaluat en les diferents assignatures: matemàtiques, física, literatura i anglès. A continuació podem veure el contingut del fitxer:

```
27
4
1, 1, 1, 3
2, 1, 1, 3
3, 1, 1, 3
1, 2, 1, 3
2, 2, 1, 3
3, 2, 1, 3
1, 3, 1, 3
2, 3, 1, 3
3, 3, 1, 3
1, 1, 2, 3
2, 1, 2, 2
```

3, 1, 2, 2
 1, 2, 2, 2
 2, 2, 2, 2
 3, 2, 2, 2
 1, 3, 2, 2
 2, 3, 2, 2
 3, 3, 2, 2
 1, 1, 3, 2
 2, 1, 3, 2
 3, 1, 3, 1
 1, 2, 3, 1
 2, 2, 3, 1
 3, 2, 3, 1
 1, 3, 3, 1
 2, 3, 3, 1
 3, 3, 3, 1

8.2.2.1.2 fitxer d'etiquetes (*.tlf)

La primera línia representa els noms dels criteris, separats per comes. A les línies següents hi ha una llista amb els noms de les alternatives. En el nostre exemple, el fitxer és de la següent manera:

Mates, fisica, Literatura, angles

S1
 S2
 S3
 S4
 S5
 S6
 S7
 S8
 S9
 S10
 S11
 S12
 S13
 S14
 S15
 S16
 S17
 S18
 S19
 S20
 S21
 S22
 S23
 S24
 S25
 S26

8.2.2.1.3 fitxer de criteris màxims (*.tmc)

Aquest fitxer es necessita per tal que el programa sàpiga en quina escala treballen els criteris. Aquest fitxer representa els valors màxims que poden prendre els criteris. TOMASO suposa que el valor mínim és 1, i que treballem amb una escala entera (el software dóna una major preferència als valors més alts). En el nostre problema, un possible exemple d'aquest fitxer és:

3, 3, 3, 3

8.2.2.2 Utilització del TOMASO

A continuació tenim la primera finestra que ens mostra el TOMASO:

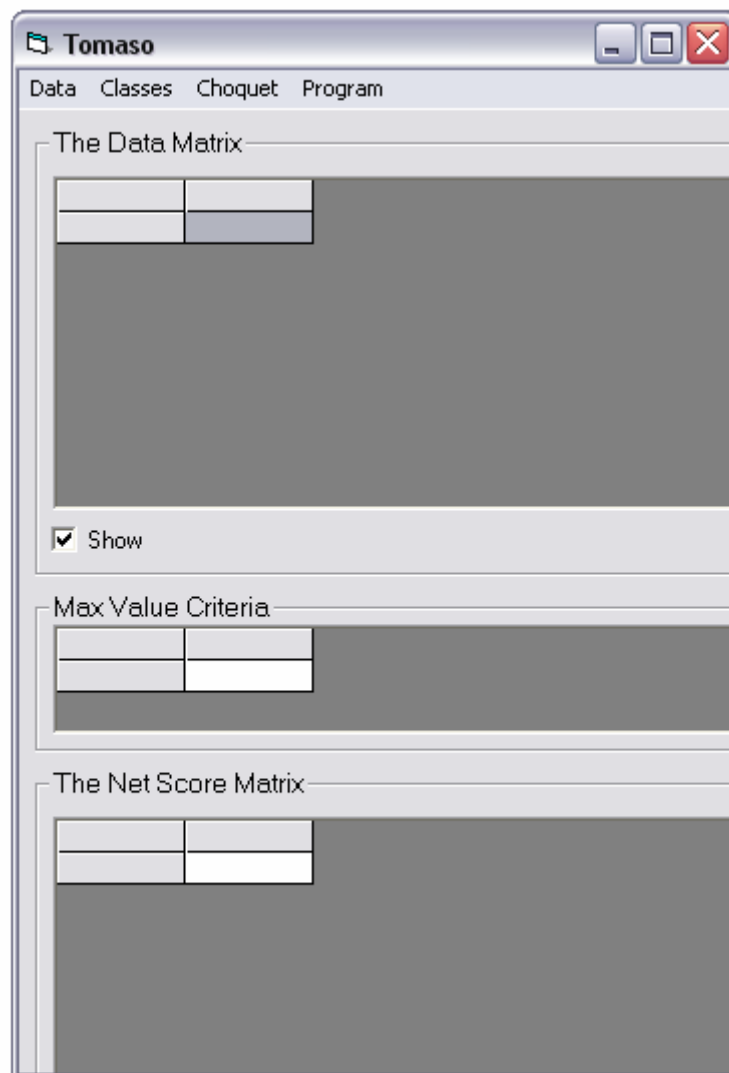
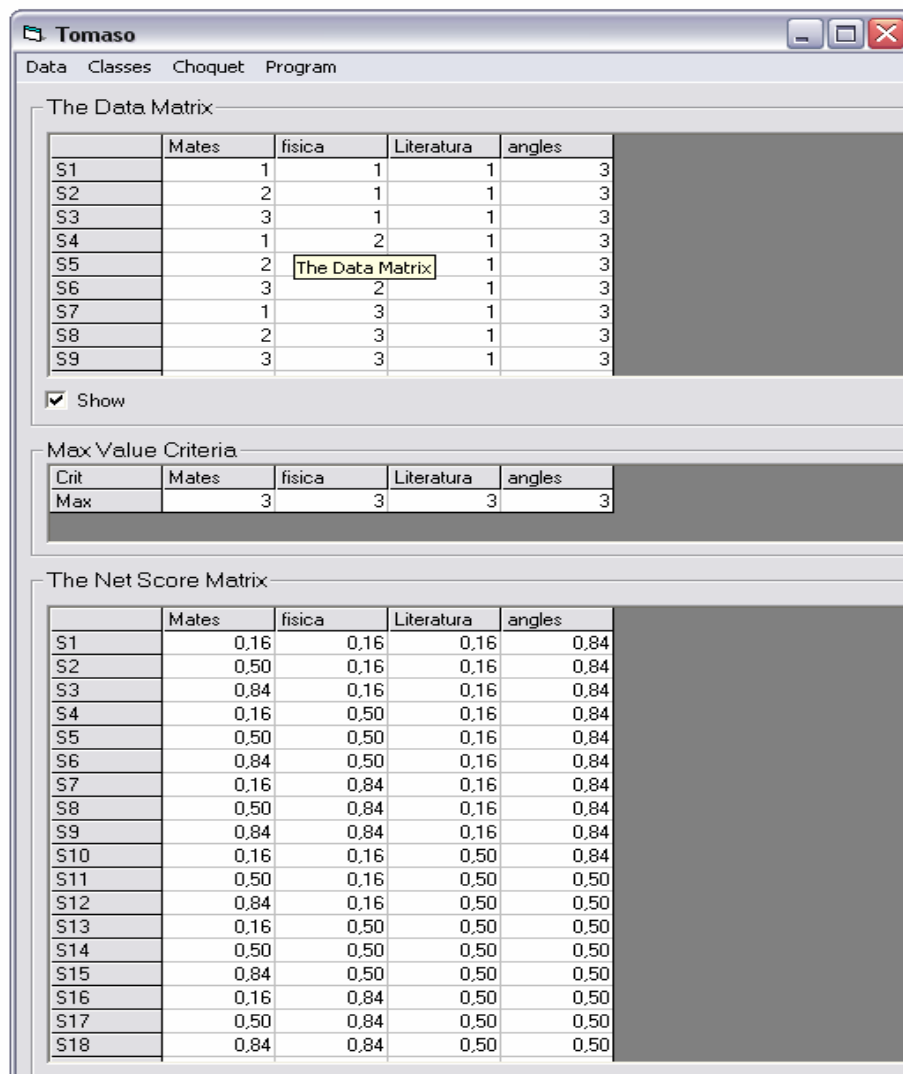


Fig 8.11: menú principal TOMASO

Moltes de les operacions que permet realitzar el TOMASO es desenvolupen a través del menú principal. Per tal de carregar les dades hem d'obrir el menú *Data* i clicar sobre *Load Data*, aleshores apareixerà una nova finestra de diàleg. Aquesta finestra ens permet escollir el fitxer de dades que vulguem obrir (ens hem d'assegurar de guardar el fitxer de dades amb l'extensió *.tdf). La segona finestra de diàleg ens permet escollir el fitxer d'etiquetes que desitgem (en aquest cas, ens hem d'assegurar de guardar el fitxer de dades amb l'extensió *.tlf). El següent pas és carregar el fitxer de criteris màxims, obrim el menú *Data* i cliquem sobre *Scores*. En aquest moment ens apareixen dues opcions, si escollim la primera (que és la predeterminada) el fitxer no serà carregat, si escollim la segona, carregarem el fitxer de màxims criteris.

Arribats a aquest punt, el programa calcula la *Net Score Matrix* (que representa un valor normalitzat per a cada criteri, el qual és el nombre de vegades que una alternativa és millor que totes les altres menys el nombre de vegades que aquesta és superada per les altres). Després d'això, la pantalla s'hauria de veure així:



The screenshot shows the Tomaso application window with the following sections:

The Data Matrix

	Mates	fisica	Literatura	angles
S1	1	1	1	3
S2	2	1	1	3
S3	3	1	1	3
S4	1	2	1	3
S5	2	2	1	3
S6	3	2	1	3
S7	1	3	1	3
S8	2	3	1	3
S9	3	3	1	3

☒ Show

Max Value Criteria

Crit	Mates	fisica	Literatura	angles
Max	3	3	3	3

The Net Score Matrix

	Mates	fisica	Literatura	angles
S1	0,16	0,16	0,16	0,84
S2	0,50	0,16	0,16	0,84
S3	0,84	0,16	0,16	0,84
S4	0,16	0,50	0,16	0,84
S5	0,50	0,50	0,16	0,84
S6	0,84	0,50	0,16	0,84
S7	0,16	0,84	0,16	0,84
S8	0,50	0,84	0,16	0,84
S9	0,84	0,84	0,16	0,84
S10	0,16	0,16	0,50	0,84
S11	0,50	0,16	0,50	0,50
S12	0,84	0,16	0,50	0,50
S13	0,16	0,50	0,50	0,50
S14	0,50	0,50	0,50	0,50
S15	0,84	0,50	0,50	0,50
S16	0,16	0,84	0,50	0,50
S17	0,50	0,84	0,50	0,50
S18	0,84	0,84	0,50	0,50

Fig 8.12: dades del problema carregades

El següent pas és omplir les classes amb les alternatives que farem servir com a prototipus per a les classes. Per tal de dur a terme aquesta operació hem de clicar sobre el menú *Classes* i escollir l'opció *Define*. Aleshores ens apareix una nova finestra de diàleg i hem d'escollir quantes classes volem usar. En aquest exemple escollim tres classes, per tal de repartir els estudiants en tres grups (bons, normals i regulars). TOMASO sempre considera que les classes estan ordenades de millor a pitjor, de forma que la primera que es defineix ha de ser la de les alternatives més preferides, i la darrera, la de les alternatives més dolentes. En l'exemple, els estudiants pertanyents a la classe 1 seran millors que els pertanyents a la classe 2, i els pertanyents a la classe 2 millors que els de la classe 3.

Després de clicar sobre *OK*, apareix una nova finestra de diàleg, la qual ens permetrà omplir les classes manualment o mitjançant un fitxer. Per omplir les classes manualment, simplement, escollim una alternativa de la llista de l'esquerra, escollim la classe a la qual pertany, i cliquem sobre *add*. Repetim aquesta operació fins que totes les alternatives prototipus estiguin assignades a una classe (en aquesta versió del software aquesta funció no està activada). Per carregar un fitxer (fitxer de classes, *.tcf), hem de clicar sobre *Load Classes From File*, escollir un fitxer de classes per obrir i clicar sobre *Show Loaded Classes*.

El format d'aquest fitxer (*.tcf) és simplement una llista d'enters (cada enter representa el número de la classe a la qual ha de pertànyer una alternativa prototipus, si l'enter és 0, vol dir que aquella alternativa no és prototipus, és una alternativa per classificar). En el nostre exemple, el fitxer de classes és com es mostra a continuació:

```
0
0
3
3
0
2
3
0
2
0
0
3
0
0
1
3
0
1
0
0
3
3
0
1
3
0
```

1

Si tot ha anat bé hem de tenir una finestra com la següent:

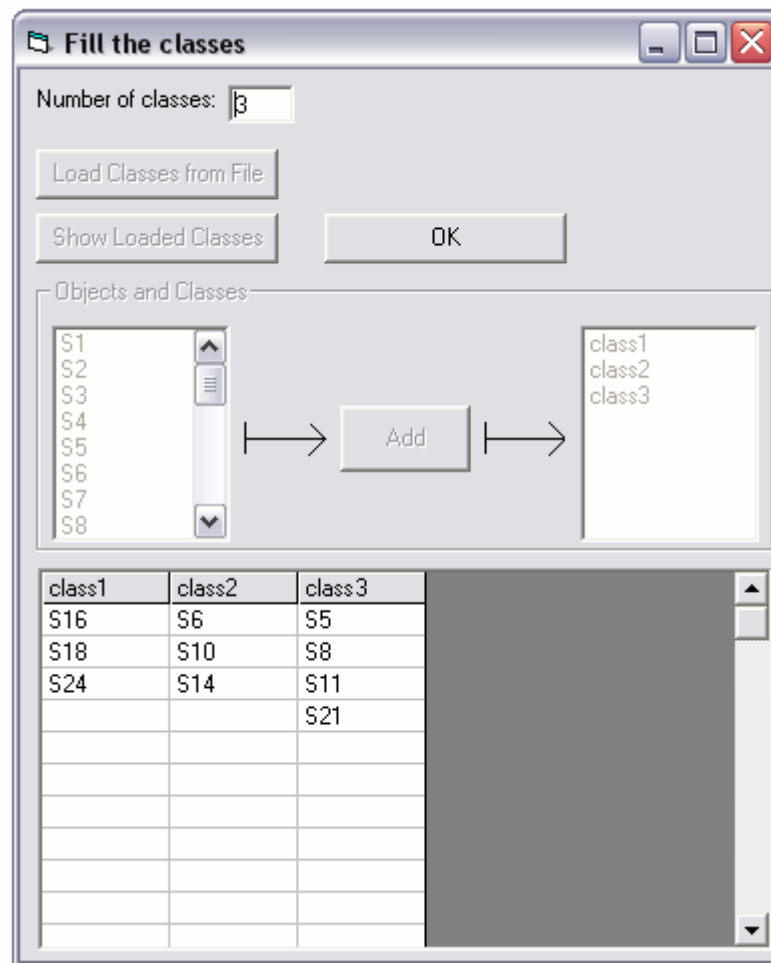


Fig 8.13: alternatives prototipus classificades

Ara que el prototipus està clarament definit, ja podem dur a terme el següent pas, el qual consisteix en controlar la consistència del prototipus, i en definir els conjunts no dominants i els conjunts no dominats per cada classe. Això ho podem fer obrint el menú *Classes* i clicant sobre *Relations*. D'aquesta manera ens apareix la següent finestra:



Fig 8.14: relacions entre les classes

Aquest panell fa un resum de les relacions que hi ha entre els prototipus que hem assignat a les diferents classes, per tal de detectar possibles errors. La primera columna representa els prototipus que en dominen algun altre (el de l'esquerra domina al de la dreta, i els colors corresponen a les classes que es mostren a dalt de la finestra). La segona columna correspon a les alternatives que són iguals (si hi ha almenys un parell d'alternatives en aquesta columna, les classes han de ser modificades (dos alternatives que han obtingut el mateix resultat no poden estar en classes diferents)). La tercera columna és una llista de les parelles d'objectes on l'objecte de la dreta no és dominat pel de l'esquerra. L'última columna representa la inconsistència on l'objecte 1 domina l'objecte 2, però l'objecte 1 pertany a una classe pitjor que l'objecte 2 (si hi ha almenys una parella d'objectes en aquesta columna, les classes han de ser modificades). Si hi ha algun problema d'inconsistència en aquesta fase, s'ha de modificar la definició dels prototipus de les classes abans de continuar. Sinó, continuem clicant sobre el botó *Goto Intra-Class*.

Apareixen dues noves finestres, la primera ens mostra les relacions entre les alternatives en cada classe, la segona representa els conjunts d'objectes no dominants i no dominats per cada classe.

Si tot és correcte, podem tancar totes aquestes finestres apretant *OK*, i tornem al menú principal del TOMASO.

La següent etapa consisteix en preparar la solució del problema, hem d'entrar al menú *Choquet* i clicar sobre *Linear Program with v(*)*. Tot seguit s'obre una nova finestra, en la qual es mostraran tots els resultats més endavant.

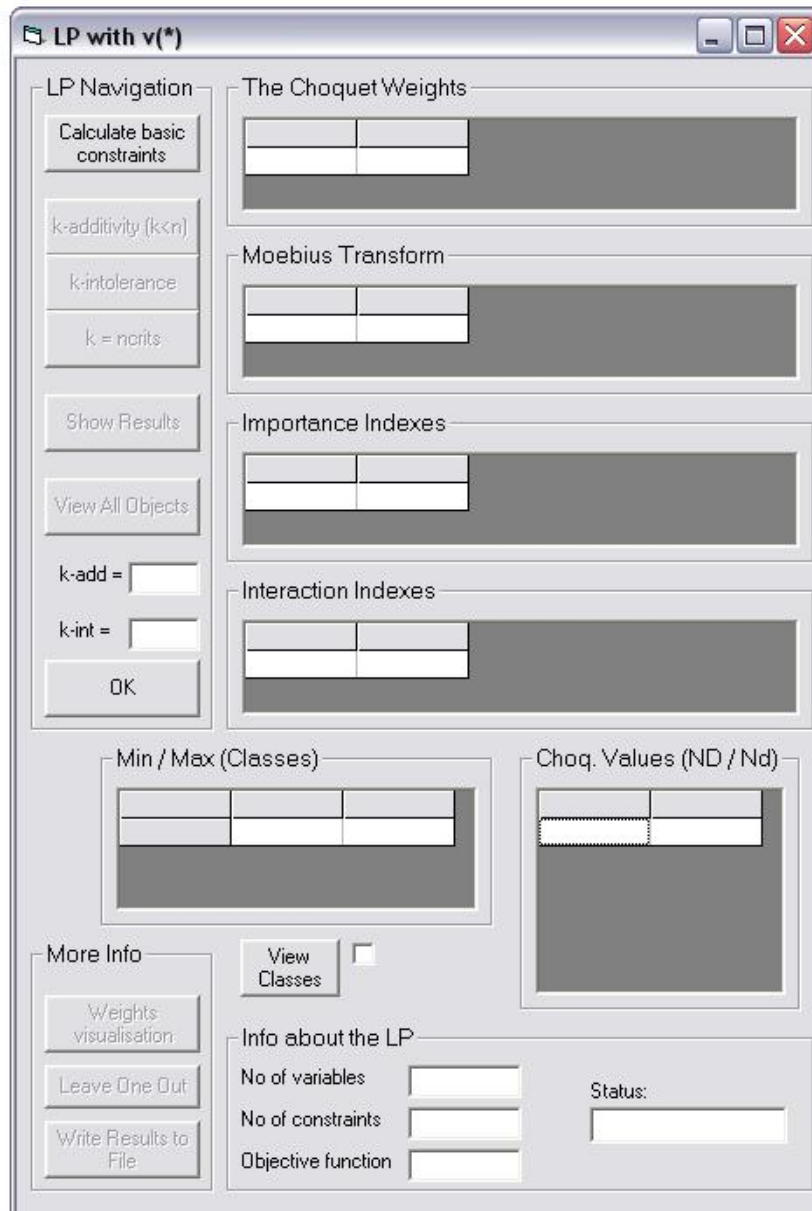


Fig 8.15: finestra de resultats

Primer cliquem sobre *Calculate basic constraints*, de forma que es computaran algunes restriccions bàsiques pel problema (i es mostraran en una nova finestra). Després hem de decidir si ens volem limitar a una Integral de Choquet k-additiva, o fer servir $k = \text{nombre de criteris}$. Aquí sempre es suggereix continuar amb aquesta segona possibilitat, de manera que cliquem sobre $k = \text{ncrits}$. S'afegeixen algunes restriccions sobre la matriu de restriccions bàsica, i el problema de satisfacció de restriccions lineal se soluciona usant un software extern (en una finestra DOS externa). Quan es tanca aquesta finestra, podem clicar sobre *Show Results* per tal de veure els resultats del problema.

En la part *Info about LP* podem veure algunes informacions sobre el problema que hem resolt. Si el *Status* és OK, aleshores hem trobat la solució. Sinó, no hi ha solució possible, i hem de canviar la definició de les classes. Els Valors Choquet pels objectes

no dominants i no dominats també es mostren. També podem observar els v 's, els a 's, els índexs d'importància (els quals han de sumar 1) i els índexs d'interacció per aquest problema en particular. També es mostren el mínim i el màxim de cada classe, els quals defineixen els llindars de classificació entre les diferents classes.

Els índexs d'importància reflexen la importància (pes) dels criteris en el nostre problema. Aquests valors ens serviran per comparar els resultats dels diferents mètodes de decisió. Vet aquí una representació gràfica dels índexs d'importància, més endavant explicarem com s'ha de visualitzar.

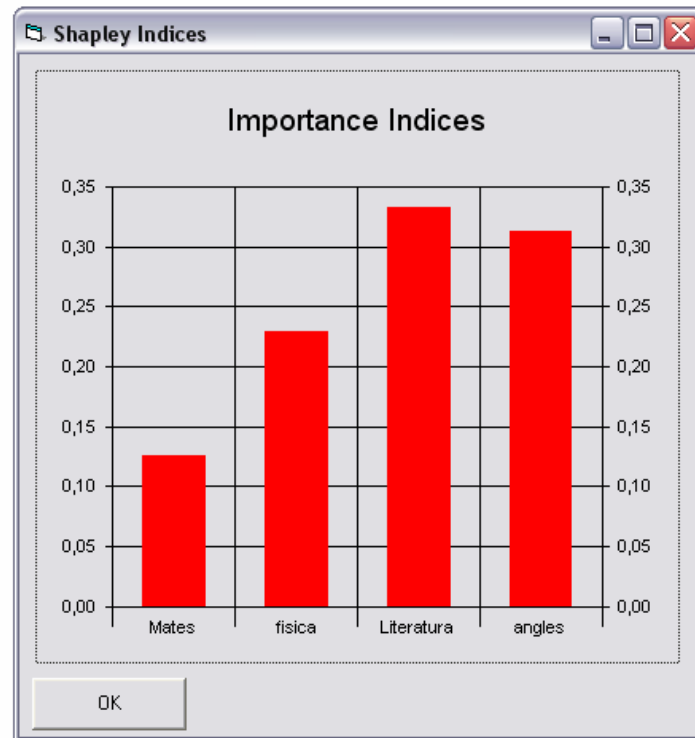


Fig 8.16: índexs d'importància

Finalment, el nostre problema queda de la següent manera:

LP with v(*)

LP Navigation

Calculate basic constraints

k-additivity (k<n)

k-intolerance

k = ncrits

Show Results

View All Objects

k-add = 4

k-int =

OK

The Choquet Weights

v1	v2	v3	v4	v12
0	0,25	0	0,25	0,25

Moebius Transform

a1	a2	a3	a4	a12
0,00	0,25	0,00	0,25	0,00

Importance Indexes

Mates	fisica	Literatura	angles
1,25E-01	2,29E-01	3,33E-01	3,13E-01

Interaction Indexes

1	2	3	4	12
1,25E-01	2,29E-01	3,33E-01	3,13E-01	4,15E-02

Min / Max (Classes)

	Min	Max
1	5,84E-01	5,84E-01
2	5,00E-01	5,00E-01
3	4,16E-01	4,16E-01

Choq. Values (ND / Nd)

S6	5,00E-01
S10	5,00E-01
S14	5,00E-01
S8	4,16E-01
S11	4,16E-01

More Info

Weights visualisation

Leave One Out

Write Results to File

View Classes

Info about the LP

No of variables 16

No of constraints 45

Objective function 0,0845

Status: OK

Fig 8.17: resultats finals

Per tal d'assignar les alternatives que no estaven en el prototipus a les seves classes, cliquem sobre *View All Objects*. S'obre una nova finestra, la qual ens mostra les assignacions que s'han realitzat de les alternatives a les tres classes. En el nostre cas queda com es mostra a continuació:

Objects, Scores and Classification for v(*)

Objects and Scores

	v1	v2	v3	v4	v12	v13
S1	0,00	0,00	0,00	0,68	0,00	
S2	0,00	0,00	0,00	0,34	0,00	
S3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
S4	0,00	0,00	0,00	0,34	0,00	
S5	0,00	0,00	0,00	0,34	0,00	
S6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
S7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
S8	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
S9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
S10	0,00	0,00	0,00	0,34	0,00	
S11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
S12	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	
S13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
S14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
S15	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00	

OK

Classification

	1	2	3		
S16	S26	S3	S23	S1	
S17		S6		S2	
S18		S9		S4	
S24		S10		S5	
S27		S13		S7	
		S14		S8	
		S15		S11	
				S12	
				S19	
				S20	
				S21	
				S22	

Fig 8.18: classificació de les alternatives

Notem que dues les alternatives a classificar no han quedat incloses en cap de les tres classes predefinides, per tant, s'hauria de revisar l'assignació de les alternatives a les classes o introduir més informació al model.

El botó *Weights Visualisation* ens permet veure una representació gràfica dels índexs d'interacció i dels índexs d'importància. Aquest botó s'activa després de classificar totes les alternatives del fitxer.

Al final podem escriure els resultats en un fitxer (cosa que ajuda a avaluar els resultats). Això es realitza apretant el botó *Write Results to File*. Els resultats es troben al fitxer *Scores.txt* que es troba al directori d'instal·lació de TOMASO.

8.3 VIP Analysis

El software *VIP Analysis* ha estat desenvolupat per Luis C. Dias i el seu nom prové de Variable Interdependent Parameters [Dias et al., 2000]. La primera versió d'aquest software data de l'abril de 1999 i en podem trobar versions gratuïtes a través d'internet, però aquestes versions estan limitades a un nombre reduït de criteris i alternatives. Per tal de poder testejar el software de forma correcta, n'hem obtingut una versió completa i gratuïta sol·licitant-lo al mateix Luis C. Dias a través de correu electrònic. Aquest software no suporta l'entrada d'informació qualitativa, i tampoc podem classificar les alternatives en classes. Al no haver trobat altres softwares de lliure distribució amb característiques semblants a les del ClusDM, vam sol·licitar una llicència del VIP Analysis al doctor Luis C. Dias, el qual ens la va facilitar sense cap problema.

Igual que s'ha fet en el capítol anterior, primer de tot farem una descripció general del mètode VIP Analysis i tot seguit n'explicarem el funcionament amb un petit exemple.

8.3.1 Descripció general del mètode

La metodologia del software es basa en un model d'agregació additiu (funcions de valor), i accepta informació imprecisa en el valor dels coeficients dels criteris. D'acord amb el model additiu, el valor final d'una alternativa ens ve donat per:

$$V(a_i) = k_1 v_1(a_i) + k_2 v_2(a_i) + \dots + k_n v_n(a_i) \quad (6)$$

On els paràmetres $k_1, \dots, k_n$ reflexen el pes relatiu dels criteris. Aquests valors són normalitzats de manera que $k_1 + k_2 + \dots + k_n = 1$ i $k_1, \dots, k_n \geq 0$. Per tal d'esbrinar aquests valors, els analistes realitzen algunes preguntes al decisor o decisors de manera que intenten establir una relació d'ordre entre els diferents criteris:

$$k_n > k_1 > \dots > k_n.$$

Però fixar valors precisos als criteris sovint és força difícil, ja que aquests valors reflexen el judici dels decisors, el qual pot evolucionar a través del temps i pot ser difícil d'obtenir de forma precisa. És per això que el VIP Analysis accepta l'entrada d'informació imprecisa en el valor dels coeficients dels criteris. Els criteris són considerats Paràmetres Interdependents Variables lligats a un conjunt de restriccions (com per exemple límits, relacions d'ordre, o qualsevol tipus de restricció lineal). Aquest tipus de problemes s'acostumen a anomenar problemes d'*informació parcial*, *informació pobre*, *informació imprecisa*, o *preferència de programació*. El VIP Analysis considera múltiples combinacions acceptables de valors per a aquests paràmetres, cosa que és força rellevant tot i la simplicitat del model. A partir d'aquesta informació s'infereix un valor concret de pes per cada criteri, de forma automàtica.

Per tal de facilitar la feina al decisor, el software permet entrar informació imprecisa al model de dues maneres diferents:

1. Posant *límits* als paràmetres: consisteix en donar un domini al paràmetre amb un límit inferior i un límit superior, sempre en l'interval $[0,1]$.
2. Mitjançant *restriccions lineals*: consisteix en construir equacions lineals senzilles que aporten informació rellevant al model. El sistema ens construeix

per defecte la següent equació: $k_1 + k_2 + \dots + k_n = 1$. Després el decisor pot escriure les restriccions que ell cregui convenient, més endavant en veurem amb un exemple.

També cal destacar que el software permet a l'usuari treballar amb criteris coneguts i criteris imprecisos al mateix temps. Posem per cas que ens trobem amb un problema on tenim la certesa absoluta de la importància que ens aporta un determinat criteri. En aquest moment podrem introduir un valor concret al criteri, quedant aquest completament descartat en els processos d'inferència que s'han explicat. D'aquesta manera podem construir un model amb ambdós tipus de criteris.

Un cop introduïdes les dades del problema, els valors dels coeficients dels criteris coneguts i la informació imprecisa, ja podem calcular els resultats del model. Un cop calculats els resultats el sistema ens proporciona una sèrie d'eines d'ajuda (*sensitivity analysis*) que ens permetran entendre millor els resultats obtinguts.

Summary					
Alternative	Value	Min Value	Max Value	Max Regret	Dominated?
a1					
a2					
a3					
a4					
a5					
a6					
a7					
a8					
a9					

Fig 8.19: sumari sense resultats

Primer de tot ens apareix una *taula de valors* o *sumari* (figura 8.19) que ens mostra els diferents resultats que han obtingut les diferents alternatives. A la primera columna de la taula hi trobem el *valor final* de l'alternativa. Aquesta columna només estarà disponible en el cas que es coneguin tots els coeficients dels diferents criteris, és a dir, que no hi hagi informació imprecisa en el procés. Si és així, el software calcula el *valor final* de l'alternativa fent ús de l'equació 6. D'altra banda, si tenim informació imprecisa, podrem observar altres tipus de resultats, com ara: *valor mínim*, *valor màxim*, *remordiment màxim* (*maximum regret*), i si l'alternativa és *dominada* o *no*. Els dos primers valors ens mostren el *valor mínim* i el *valor màxim* finals que prenen les alternatives. Al no disposar d'informació cent per cent precisa i no poder fixar un valor concret, el software ens proporciona un interval de valors finals per a cada alternativa. En la columna de *remordiment màxim* se'ns informa del valor de dominància màxim que ha pogut prendre qualsevol de la resta d'alternatives quan s'ha dut a terme la relació de dominància (o preferència). És a dir, podem saber quin és el valor pel qual una alternativa ha estat més dominada. Per tant, com més baix sigui aquest valor millor serà l'alternativa. L'atribut *dominada?* ens diu si l'alternativa ha estat dominada per alguna altra (YES) o si ha estat completament dominada per les altres (YES (Abs)). Si l'alternativa no ha estat dominada la casella es manté buida.

També en aquesta taula, per a cada casella de valors (ja siguin concrets o intervals), es poden observar els pesos que s'han donat als diferents criteris per tal d'aconseguir aquests valors finals.

Seguidament, podem observar una *taula de confrontació*, on se'ns presenten les relacions de preferència de totes les alternatives, mitjançant valors que expressen la diferència màxima entre els diferents parells d'alternatives.

El sistema també ens ofereix eines gràfiques per tal de poder extreure conclusions ràpides dels resultats obtinguts. Podem observar dos gràfics diferents:

1. *Gràfic de valor mínim*: on es poden observar les diferents alternatives del problema classificades a partir del seu *valor mínim*. Com més alt sigui aquest valor més ben classificada estarà l'alternativa.
2. *Gràfic de remordiment màxim*: en aquest gràfic es poden observar les alternatives classificades a partir del *remordiment màxim*. Les alternatives amb un valor més baix (les que estiguin menys dominades) estaran més ben classificades.

Una altra eina gràfica que ens proporciona el software és l'*optimalitat*. Aquesta eina ens permet veure el domini de diferents parells d'alternatives de manera gràfica, i ens informa sobre quina alternativa és més òptima en les diferents regions d'aquest domini.

Per tal d'obtenir una selecció més personalitzada d'alternatives, el software ens permet fer-ne un filtratge, de manera que podem quedar-nos amb aquelles que més ens interessin. Les alternatives es poden filtrar per *valor*, per *valor mínim*, per *remordiment màxim*, o per *dominància*. Els tres primers filtres descarten aquelles alternatives que no arriben a un valor mínim exigible per part de l'usuari, en canvi, el filtre de *dominància* només accepta les alternatives que no són dominades per les altres.

Tot seguit veurem un petit exemple d'ús del software, per tal de veure'n el funcionament i clarificar els conceptes que s'acaben d'introduir.

8.3.2 Testeig del VIP Analysis

En aquesta part del document veurem el tipus de dades amb les quals treballa el software i seguidament n'explicarem el funcionament.

8.3.2.1 Dades

Les dades amb les quals treballa el VIP Analysis són dades numèriques en l'interval $[0,1]$, és a dir, treballa amb dades normalitzades. Per tal d'introduir les dades al sistema farem ús de la interfície gràfica, tot i que més endavant veurem que podem editar un fitxer de dades amb format *.vip. Després d'obrir el software i crear un nou document, aquest ens pregunta quantes alternatives i quants criteris volem fer servir per construir la nova matriu de dades:

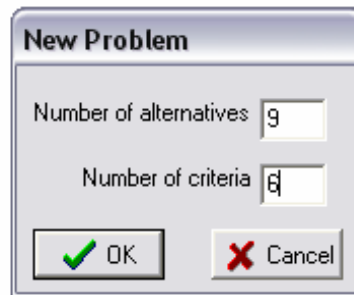


Fig 8.20: construcció de la matriu de dades

Un cop decidits el nombre de criteris i alternatives polsem sobre *ok* i el sistema ens crearà la matriu de dades. Un cop creada la matriu de dades podem editar els criteris i les alternatives clicant-hi a sobre. Si cliquem sobre una alternativa ens apareix una nova finestra on podem canviar el nom de l'alternativa i també podem decidir si aquesta està activa o inactiva (és a dir, que intervingui o no en el procés de decisió). Si cliquem damunt d'un criteri, també ens apareix una finestra on podem canviar el nom del criteri i també podem escollir la naturalesa d'aquest (podem fixar un valor al criteri o podem considerar-lo imprecís). A continuació mostrem la matriu de dades i les dues finestres d'edició:

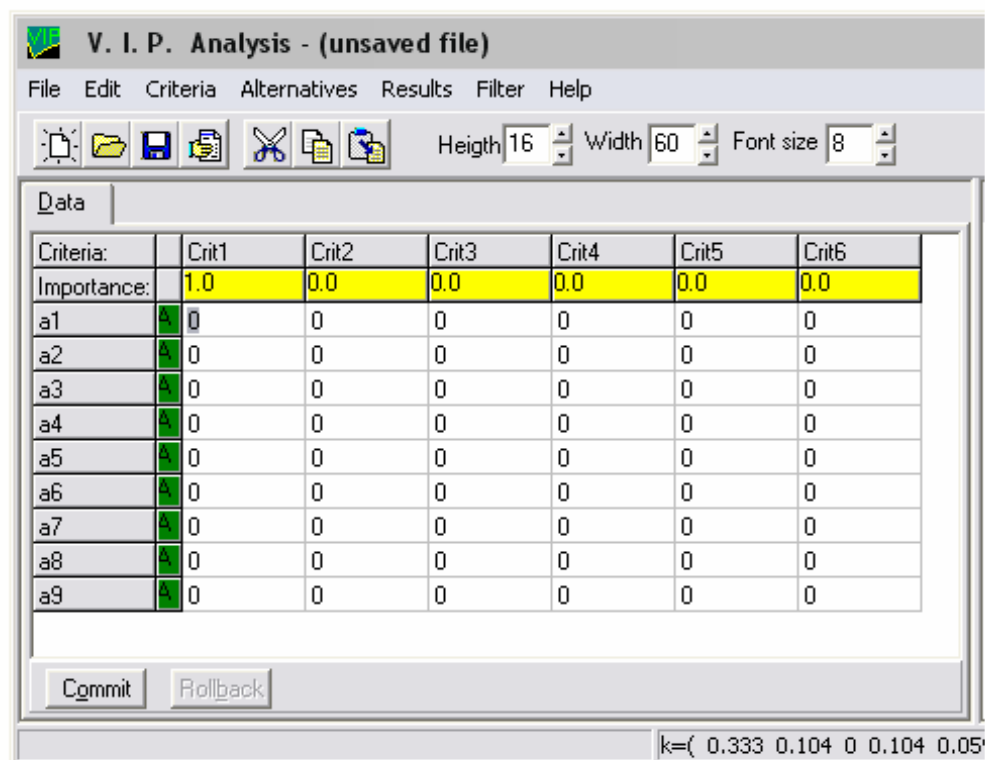


Fig 8.21: matriu de dades

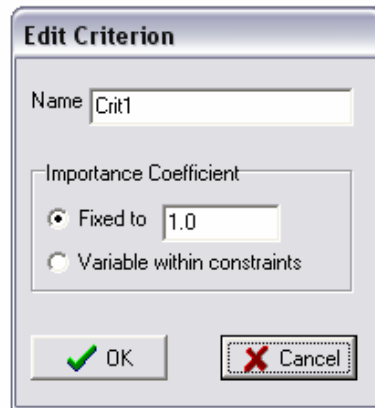


Fig 8.22: edició d'un criteri



Fig 8.23: edició d'una alternativa

Tot seguit s'ha d'omplir la matriu de dades amb les dades del nostre problema. És molt aconsellable anar salvant el model mentre es van introduint les dades, sobretot si el problema compta amb un gran volum d'informació. Abans de guardar el model haurem de clicar sobre el botó *Commit*, per tal d'acceptar els canvis introduïts. Després podrem guardar la informació sense problemes.

Quan ja tenim totes les dades introduïdes podem editar el nou fitxer que hem creat al salvar el model (per exemple: exemple.vip), d'aquesta manera podem observar les semblances i les diferències que hi ha entre aquest fitxer i els fitxers de dades que teníem en els altres softwares. Aquesta és l'aparença d'un fitxer *.vip:

```

6  Criteria:
Crit1
Crit2
Crit3
Crit4
Crit5
Crit6
9  Alternatives:
a1
a2
a3
a4
a5
a6
a7
a8
a9

    Crit1  Crit2  Crit3  Crit4  Crit5  Crit6
    -1 -1 -1 0.104 0.059 0.4
1  0.715 0.989533 0.8135 0.7316 0.98 0.957466 a1
1  0.8 0.989533 0.8135 0.7145 0.98 1 a2
1  0.875 0.989533 0.802 0.7149 0.86 0.96799 a3
1  0.76 0.99782 0.63 0.5925 0.88 0.959617 a4
0  0.78 0.993586 0.469 0.68535 0.76 0.728686 a5
0  0.885 0.998013 0.469 0.56375 0.98 0.60035 a6
0  0.74 0.99879 0.7345 0.5725 1 0.89758 a7
0  0.945 0.9913 0.7915 0.5275 1 0.761342 a8
0  0.91 0.9926 0.9125 0.66915 1 0.750121 a9
    0 0 0 0 0 0 LowerB
    1 1 1 1 1 1 UpperB
4  Constraints:
1  1 1 0 0 0 = 0.437
1  0 0 0 0 0 < 0.4
-1 1 0 0 0 0 < 0
0  1 0 0 0 0 > 0.104

```

Fig 8.24: fitxer de dades *.vip

Al principi del fitxer trobem els noms dels criteris i de les alternatives, a continuació trobem la matriu de valors. Els criteris amb valor -1 són aquells criteris que hem decidit que serien imprecisos alhora d'editar-los. Al començament de cada fila de la matriu hi trobem un valor binari, aquest valor ens indica si l'alternativa està activada (1) o desactivada (0). Al final de cada fila podem observar el nom de l'alternativa. Tot seguit, podem veure els límits que l'usuari ha donat al rang dels diferents criteris (en aquest cas no s'han modificat, 0 i 1 són els valors per defecte) i, finalment, trobem les restriccions lineals introduïdes pel decisor. Aquests dos últims punts s'explicaran detalladament més endavant amb l'ajut de la interfície gràfica.

Val a dir que el VIP Analysis presenta una interfície còmoda i senzilla d'utilitzar, és per això que no val la pena introduir les dades a través del fitxer, ja que és molt més fàcil i clar fer-ho a través del software.

8.3.2.2 Utilització del VIP Analysis

Per tal de mostrar el funcionament de l'aplicació, partirem de l'exemple que havíem començat a desenvolupar en la part de dades del punt anterior. Notem que hem editat els criteris, els de color blau són els imprecisos i els de color groc els que tenen un valor fix.

Criteria:	Crit1	Crit2	Crit3	Crit4	Crit5	Crit6
Importance:				0.104	0.059	0.4
a1	0.715	0.989533	0.8135	0.7316	0.98	0.957466
a2	0.8	0.989533	0.8135	0.7145	0.98	1
a3	0.875	0.989533	0.802	0.7149	0.86	0.96799
a4	0.76	0.99782	0.63	0.5925	0.88	0.959617
a5	0.78	0.993586	0.469	0.68535	0.76	0.728686
a6	0.885	0.998013	0.469	0.56375	0.98	0.60035
a7	0.74	0.99879	0.7345	0.5725	1	0.89758
a8	0.945	0.9913	0.7915	0.5275	1	0.761342
a9	0.91	0.9926	0.9125	0.66915	1	0.750121

Fig 8.25: matriu de dades inicial

Si cliquem sobre la pestanya *Bounds* ens apareix una taula que ens permet canviar els valors dels límits dels nostres criteris. La taula és com la que es mostra a continuació:

	Crit1	Crit2	Crit3	Crit4	Crit5	Crit6
LowerB	0	0	0	0	0	0
UpperB	1	1	1	1	1	1

Fig 8.26: Taula de límits dels criteris

Notem que els tres últims criteris estan ressaltats amb gris, això és perquè aquests no poden ser modificats ja que són els tres criteris que hem introduït amb coeficients fixes i, per tant, no se'ls pot introduir informació imprecisa.

A continuació crearem algunes restriccions lineals. Per tal d'introduir-les al model hem de clicar sobre la pestanya *constraints*. Podem insertar restriccions clicant sobre el botó dret del ratolí o a través del menú, clicant sobre la pestanya *Constraints*. La taula obtinguda després d'introduir les restriccions és com la que es mostra seguidament:

Crit1	Crit2	Crit3				<=,=,>=	RHS
1	1	1	1	1	1	=	1
1						<=	0.4
-1	1					<=	0
	1					>=	0.104

Fig 8.27: Taula de restriccions dels criteris

La primera restricció ens la proporciona el mètode automàticament i ens diu que el valor total de la suma dels sis criteris ha de ser 1. Tot seguit podem introduir restriccions lineals manualment. La primera restricció que hem introduït ens diu que el primer criteri ha de ser més petit o igual que 0.4. La segona restricció ens diu que el primer criteri ha de ser més gran que el segon, ja que $Crit2 - Crit1 \leq 0$. Per acabar, l'última restricció, diu que el segon criteri ha de ser més gran o igual que 0.104. Igual que passava abans amb la taula de límits dels criteris, en aquesta taula tampoc podem modificar els tres darrers criteris, ja que són els proveïts de coeficients fixes.

Tan bon punt tenim entrada tota aquesta informació en el nostre sistema ja podem calcular els resultats finals. Per tal de fer-ho, cliquem sobre la pestanya *Results* en el menú i marquem les tres opcions disponibles: *Range*, *Confrontation Table* i *Optimality*. L'opció *Value* no la podem marcar, ja que aquest exemple conté informació imprecisa i aquesta opció no està disponible en aquest tipus de problemes (la informació aportada per *Value* és la mateixa que la que ens aporta *Range*, únicament canvia el tipus de resultat de sortida, que en un cas és un valor concret i en l'altre un rang de valors). Un cop marcades aquestes tres opcions ja podem clicar sobre *Calculate now!*, de manera que a la dreta de la finestra ens apareixeran un seguit de pestanyes que ens permetran analitzar els resultats obtinguts. Aquest conjunt de noves eines són les que ens permetran dur a terme el conegut anàlisi de la sensibilitat.

En la primera taula de resultats podem veure el sumari dels resultats obtinguts. En aquesta taula apareixen els valors descrits en la primera part d'aquest capítol: *valor mínim*, *valor màxim*, *remordiment màxim (maximum regret)*, i *dominada?*. Els resultats que han obtingut la millor valoració han estat marcats amb blau.

Summary	Range	Confrontation	Max Regret	Optimality	
Alternative	Value	Min Value	Max Value	Max Regret	Dominated?
a1		0.858	0.889	0.049	YES (Abs)
a2		0.901	0.923	0.005	
a3		0.89	0.92	0.015	
a4		0.824	0.881	0.08	YES (Abs)
a5		0.699	0.795	0.205	YES (Abs)
a6		0.66	0.768	0.245	YES (Abs)
a7		0.827	0.857	0.079	YES (Abs)
a8		0.801	0.841	0.104	YES (Abs)
a9		0.835	0.844	0.079	YES (Abs)

Fig 8.28: sumari

Si cliquem sobre qualsevol de les caselles *value*, *min value* o *max value*, a la part inferior de la finestra del sistema ens apareix un conjunt de valors que corresponen als coeficients que s'han donat als pesos per tal d'aconseguir aquests valors de sortida. Suposadament, els pesos que s'han donat als criteris a l'hora de calcular la millor alternativa són els que més s'han d'assemblar als pesos que s'han introduït de manera conscient i precisa en els altres sistemes.

$k=(0.333 \ 0.104 \ 0 \ 0.104 \ 0.059 \ 0.4)$.

Seguidament, si cliquem sobre la pestanya *Range*, podem observar un gràfic on es mostren els valors de sortida de les alternatives, representats per rangs de valors. El gràfic ens permet ordenar les alternatives per ordre de sortida (és a dir de millor a pitjor basant-se en el *valor mínim*) o per ordre d'entrada (en l'ordre en el qual s'han introduït al model). A continuació mostrem un gràfic d'interval de sortida ordenats a partir d'aquests valors de sortida:

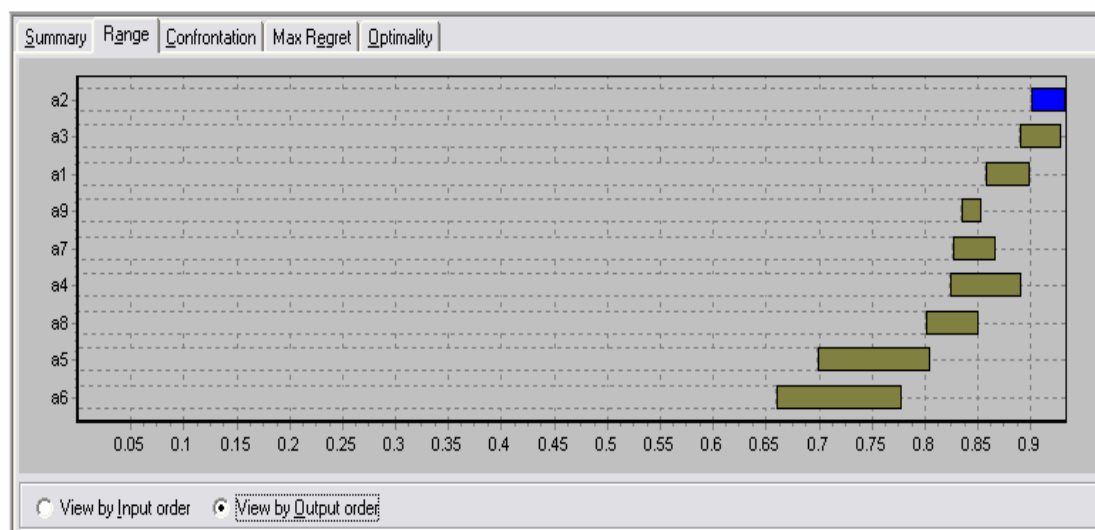


Fig 8.29: gràfic ordenat de rangs de valors

Arribats a aquest punt, ens trobem amb la *taula de confrontació*. En aquesta taula podem observar les relacions de preferència que hi ha entre els diferents parells

d'alternatives. Per tal de saber si una alternativa està dominada per una altra alternativa s'estableix un punt d'inflexió o de tolerància. Per tant, les alternatives amb un valor més baix que aquest índex de tolerància seran dominades per la seva parella. Per defecte aquest valor és 0, per tant, les alternatives amb un valor negatiu seran dominades. Les alternatives dominades es marquen amb vermell en la *taula de confrontació*. Per tal de modificar aquest índex de tolerància disposem d'una escala de valors que podem modificar segons creguem necessari. L'escala amb la qual ens trobem inicialment està en l'interval [-1,1]. Al costat de l'escala trobem dos botons que ens permetran multiplicar o dividir per deu el tamany d'aquesta escala.

Summary	Range	Confrontation	Max Regret	Optimality					
	a1	a2	a3	a4	a5	a6	a7	a8	a9
a1		-0.024	-0.009	0.056	0.181	0.221	0.054	0.079	0.045
a2	0.044		0.015	0.08	0.205	0.245	0.078	0.104	0.079
a3	0.049	0.005		0.065	0.19	0.23	0.079	0.089	0.075
a4	-0.004	-0.042	-0.038		0.125	0.165	0.026	0.04	0.037
a5	-0.087	-0.128	-0.125	-0.084		0.04	-0.057	-0.046	-0.049
a6	-0.103	-0.146	-0.151	-0.099	-0.016		-0.073	-0.073	-0.076
a7	-0.03	-0.066	-0.062	0.002	0.127	0.167		0.026	0.013
a8	-0.022	-0.065	-0.07	-0.018	0.102	0.141	0.008		0.001
a9	-0.023	-0.067	-0.054	0.011	0.136	0.176	0.009	0.034	
Max Regret	0.049	0.005	0.015	0.08	0.205	0.245	0.079	0.104	0.079

Tolerance x10 /10

Fig 8.30: taula de confrontació

Tot seguit ens trobem amb un gràfic que ens permet observar els *remordiments màxims* (*maxim regret*) de cada alternativa. Igual que en el gràfic anterior, podem ordenar les alternatives pel valor d'entrada o pel valor de sortida. El gràfic de *remordiment màxim* ordenat pel seu valor de sortida que hem obtingut és el següent:

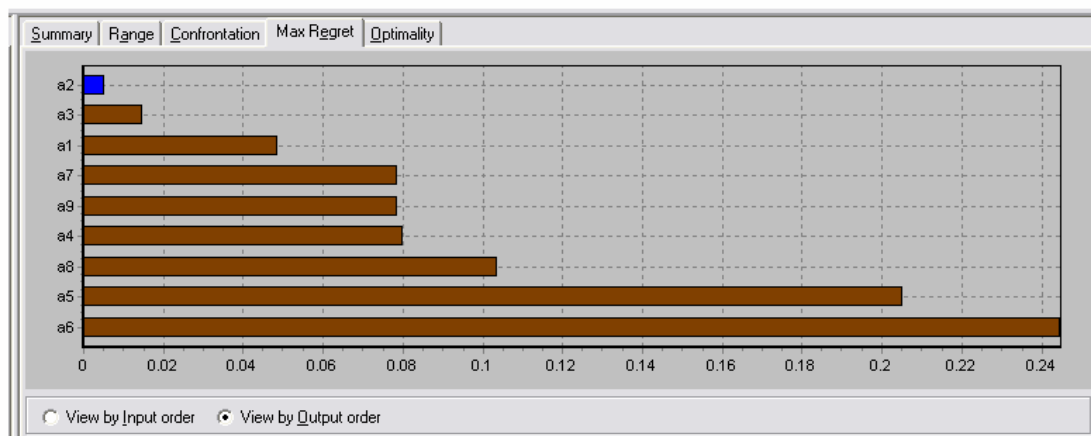


Fig 8.31: gràfic ordenat de remordiments màxims

Finalment, i per acabar amb l'anàlisi dels resultats, el sistema ens proporciona un últim gràfic basat en l'optimalitat de les alternatives. Aquesta eina ens proporciona un domini gràfic per a les alternatives i ens diu quines són més òptimes en les diferents regions d'aquest domini. Vegem-ne un petit exemple:

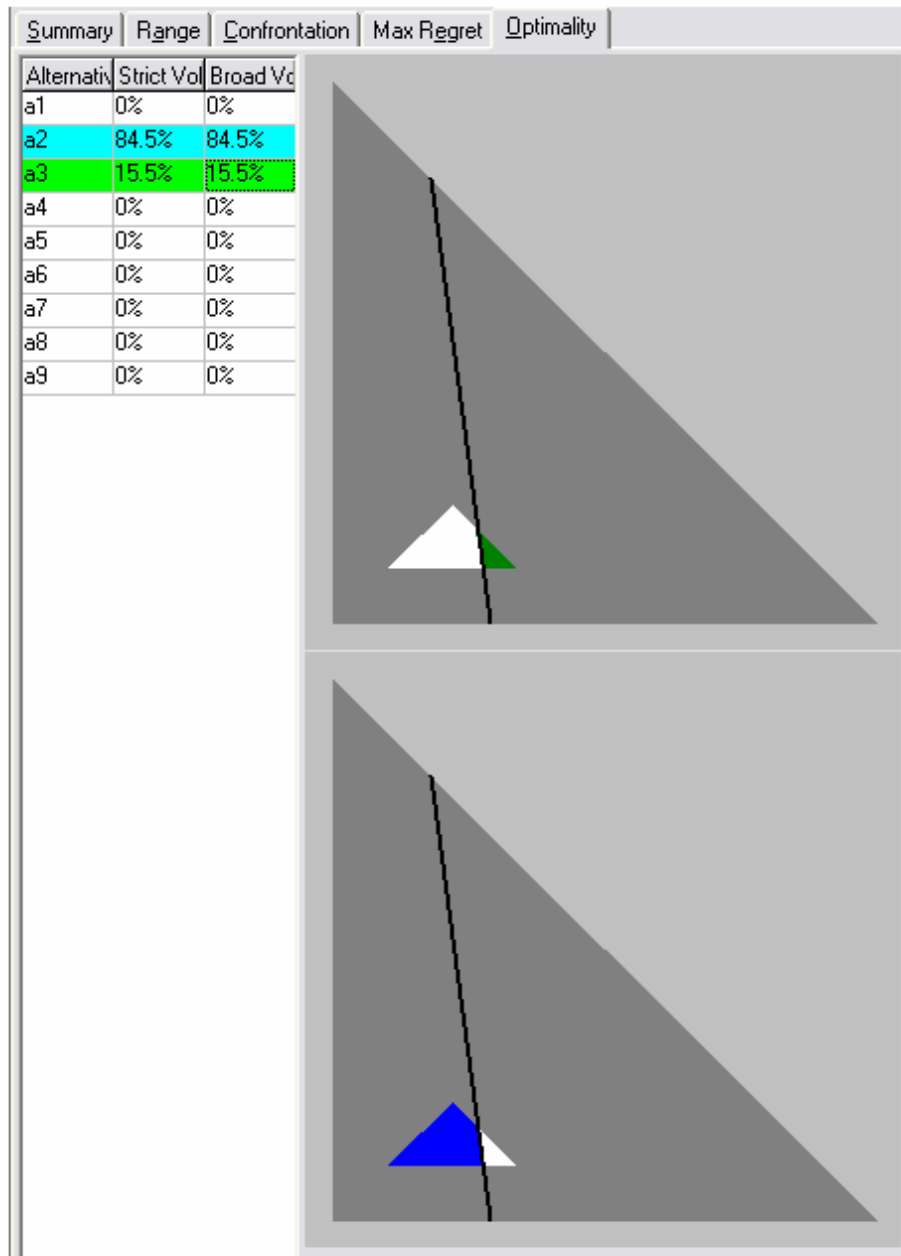


Fig 8.32: optimalitat

Aquest exemple ens diu que l'alternativa 2 és millor que la 3 en un 84.5% de les regions del domini, mentre que l'alternativa 3 només és millor que la 2 en un 15.5% del domini.

Per concloure amb el capítol de VIP Analysis comentarem com funciona la part de filtratge d'alternatives. Per tal d'accedir al filtratge hem de desplaçar-nos al menú i clicar sobre *filter*, aleshores ens apareixeran un seguit d'opcions: *by value*, *by min value*, *by max balue* i *dominated*. Si cliquem sobre l'opció *dominated*, el sistema ens mostrarà únicament les alternatives no dominades i descartarà les dominades. En qualsevol dels altres tres casos, ens apareixerà una finestra on s'ha d'introduir un valor llindar. Aquest valor llindar serà el valor que farà servir el sistema per tal de filtrar o no filtrar les alternatives. Vegem com és la finestra on s'ha d'introduir el valor llindar (o de filtratge):



Fig 8.33: filtratge

També cal dir que el software VIP Analysis permet guardar els resultats en un report. Per tal de fer-ho hem de clicar sobre el menú *file* i seguidament sobre *results report*. El sistema ens guardarà en un fitxer de text tots els valors de la taula sumari i tots els valors de la matriu de confrontació.

8.4 MACBETH

Macbeth és un software d'ajuda a la presa de decisions que ha estat creat per Carlos A. Bana e Costa, Jean-Marie De Corte i Jean-Claude Vansnick. La primera versió d'aquest software data de la tardor de 2002 i a través de la web <http://www.m-macbeth.com/> podem descarregar-ne una versió demo gratuïta. La versió demo, però, està limitada a un nombre reduït de criteris i alternatives. MACBETH és un sistema d'ajuda a la decisió que permet treballar amb etiquetes lingüístiques i valors numèrics a la vegada, igual que el ClusDM. Per tant, interessava força poder-lo adquirir. Per tal de poder obtenir la versió completa del software i poder treballar amb les nostres dades, s'ha comprat una llicència d'un any de duració.

Igual que s'ha fet en els capítols anteriors, primer de tot farem una descripció general del mètode, i tot seguit n'explicarem el funcionament amb un exemple.

8.4.1 Descripció general del mètode

MACBETH és una metodologia que es diferencia de tots els sistemes d'ajuda a la presa de decisions que hem vist fins ara. La distinció fonamental, és que MACBETH només necessita de *judicis qualitius* de diferència d'atractiu entre criteris, per tal de generar puntuacions per les opcions i per ponderar els criteris. MACBETH introdueix set categories semàntiques de diferència d'atractiu: *nul·la, molt dèbil, dèbil, moderada, forta, molt forta i extrema*. D'aquí l'origen del seu nom, MACBETH: “Measuring Attractivness by a Category Based Evaluation Technique”.

A mesura que els judicis del decisor són emesos i introduïts al model, el software verifica automàticament la seva consistència i ofereix suggerències per resoldre possibles inconsistències. Més endavant, el procés d'ajuda a la decisió evoluciona cap a la construcció d'un model quantitatiu d'avaluació. A partir dels judicis del decisor i les funcionalitats del software, es discuteixen i suggereixen gradualment les escales de puntuació per cada criteri, així com els pesos relatius pels criteris. Tot seguit, es calcula una puntuació global per a cada alternativa, fent la suma ponderada de les puntuacions respectives en els múltiples criteris (tal i com s'ha vist en el mètode VIP Analysis). Aquesta puntuació global reflexa l'atractiu de l'alternativa en qüestió respecte al conjunt de tots els criteris. Diversos anàlisis de sensibilitat i robustesa dels resultats del model permetran comprendre a profunditat el problema, ajustar el model i formar conviccions sobre les prioritats a establir o les opcions a seleccionar, en contextos de presa de decisions individuals o en grup.

[Bouyssou et al., 2006] A continuació explicarem com es duu a terme el procés de generació de les puntuacions de les alternatives i dels coeficients dels criteris. Aquest procés es desglossa en dues parts diferents:

- per tal d'obtenir les puntuacions de les alternatives, es calcula per a cada criteri, una funció de valor marginal v_i , i posteriorment,
- per obtenir els pesos dels criteris es realitza un càlcul prenent com a referència les funcions de valor v_i obtingudes.

El procediment de calcular una funció de valor marginal v_i es duu a terme per tal d'evitar comparar totes les alternatives criteri per criteri. Per fer-ho, MACBETH realitza judicis relacionats amb la diferència entre l'atracció de les alternatives, demanant al decisor que compari únicament les parelles de nivells de cada criteri. Si el sistema no nota cap diferència entre aquests nivells, aquests rebran un nivell de valor marginal idèntic. D'altra banda, si es nota una diferència, MACBETH qualifica la força d'aquesta diferència. El mètode i el seu software associat, com ja s'ha explicat, proposen set categories semàntiques diferents per tal de comparar les parelles de nivells de cada criteri.

Tot seguit la informació obtinguda és transformada en un conjunt de desigualtats lineals. Aquesta nova informació és sotmesa a un test mitjançant un Programa Lineal per tal de saber si és compatible amb alguna funció de valor marginal. Si hi ha alguna funció de valor marginal compatible amb la informació obtinguda, es duu a terme un anàlisi de post-optimalitat i es proposa una funció 'central' al decisor, el qual tindrà la possibilitat de modificar. Si no existeix aquesta funció, els resultats del Programa Lineal són aprofitats per tal de proposar modificacions de la informació que la facin consistent.

El procediment d'avaluació dels coeficients dels criteris w_i es fa utilitzant principis similars. El decisor compara els criteris per parelles posant a cada parell de criteris una categoria de diferència. La informació obtinguda és transformada en un conjunt de restriccions lineals sobre w_i . Tot seguit la informació es processa tal i com s'ha fet anteriorment.

Tan bon punt s'han calculat les funcions de valor marginal i els pesos dels criteris ja estem en condicions de resoldre el problema, i dur a terme les proves d'anàlisi i robustesa que considerem convenientes.

8.3.2 Testeig del MACBETH

Aquest capítol el tractarem de forma lleugerament diferent als dos anteriors, ja que bona part del procés MACBETH es basa en la introducció i tractament de les dades. És per això que dividirem el capítol en una primera part on exposarem quines dades podem utilitzar, com les podem introduir en el model i quin tractament han de rebre per part de l'usuari. En la segona part explicarem i analitzarem els resultats obtinguts després de dur a terme la primera fase.

8.3.2.1 Introducció i tractament de les dades

[Bana et al., 2005] MACBETH denomina *opcions* a les alternatives i les defineix com un mitjà per assolir fites. MACBETH estructura el model (objectiu del problema i criteris a tenir en compte) en forma d'arbre (a vegades conegut com a "arbre de valors") per tal de poder visualitzar de manera organitzada la totalitat dels aspectes importants del problema. A fi i efecte de fer més intuïtiva l'explicació i l'estructuració de les dades del model, farem ús d'un petit exemple que ens proporciona el software, d'aquesta manera podrem entendre millor els diferents conceptes que aniran apareixent. L'objectiu del problema en qüestió és escollir la millor alternativa (en aquest cas

impressores) d'un total de cinc possibles. L'estructura d'aquest model en forma d'arbre MACBETH és tal i com es mostra a continuació:



Fig 8.34: estructura del model en MACBETH

Els nodes de l'arbre que es troben sota el node arrel corresponen a aquells punt de vista que el decisor considera importants a l'hora d'escollir una impressora. Aquests nodes, poden ser *nodes criteri* o *nodes no-criteri*. Els *nodes criteri* estan ressaltats en vermell i són aquells que seran utilitzats pel decisor a l'hora d'avaluar les diferents alternatives del problema. Els *nodes no-criteri*, són introduïts al model per millorar-ne l'estructura i fer-lo més entenedor.

A continuació expliquem com definir les diferents opcions (alternatives) del model. Primer seleccionem en el menú *Opciones > Definir* i se'ns obrirà la finestra d'opcions.

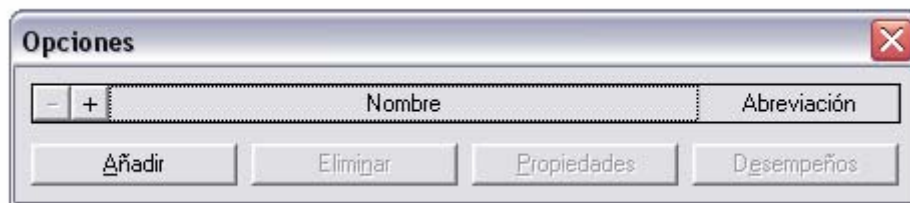


Fig 8.35: finestra d'opcions

Tot seguit, polsem sobre **+** tantes vegades com opcions vulguem afegir. Per seguir l'exemple anterior haurem d'afegir 5 opcions.



Fig 8.36: finestra amb les opcions inicials

Ara hem de reemplaçar els noms que venen donats per defecte a les opcions pels noms que volem que tinguin aquestes en el problema, i també hem de reemplaçar les abreviacions donades per defecte per un nom abreviat que permeti identificar l'opció correctament.



Fig 8.37: finestra amb les opcions definides

Per tal de modificar el contingut d'una opció, només cal que en seleccionem una de la llista i tot seguit cliquem sobre *propiedades*. Per eliminar una opció també l'hem de seleccionar prèviament i després clicar sobre *eliminar*. Si apremem sobre **-** eliminarem l'última opció de la llista independentment de la que estigui seleccionada. Clicant sobre *acompliments* (*desempeños*) ens apareixerà la matriu de dades (o taula d'acompliments en terminologia MACBETH), tot i que en aquest moment aquesta opció la tindrem desactivada ja que encara no hem introduït les dades al model.

Un cop entrades les diferents opcions del problema, ja estem en condicions de construir l'arbre MACBETH i definir els corresponents criteris. Per introduir nous nodes a l'arbre hem de clicar amb el botó dret del ratolí sobre un node *pare* i seleccionar l'opció *Afegir un node*, de manera que ens apareixerà una finestra com la que es mostra a continuació:

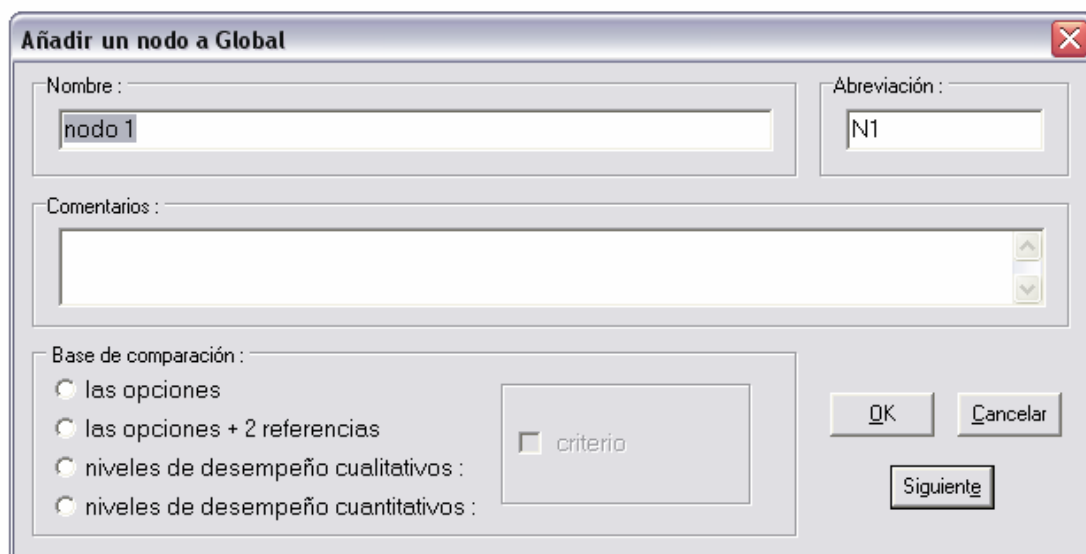


Fig 8.38: finestra de creació i modificació de nodes

Per definir el nou node, hem de canviar el nom i l'abreviació que venen donats per defecte i omplir la casella de *Comentarios* amb el comentari que desitgem. Si en aquest moment decidim polsar sobre *OK* sense marcar cap de les quatre bases de comparació possibles, el node que crearem serà un node *no-criteri* i no apareixerà ressaltat en vermell en el nostre arbre. Cal remarcar que el node pare d'un node *no-criteri* pot ser un node *criteri* o un node *no-criteri*, en canvi, el node pare d'un node *criteri* només pot ser un node *no-criteri*.

El sistema presenta quatre tipus de bases de comparació, dividides en *bases de comparació directa* i *bases de comparació indirecta*. Les *bases de comparació directa* que ofereix MACBETH són: *les opciones* i *les opciones + 2 referències*. Marcant una d'aquestes dues opcions estem indicant al software que volem comparar les alternatives entre elles, per tal d'avaluar el seu atractiu relatiu. Si escollim *les opciones + 2 referències*, a part d'indicar que volem comparar-les entre elles, també indiquem que les volem comparar amb dues referències a definir. La definició d'aquestes dues referències permet ponderar els criteris sense necessitat d'introduir prèviament alternatives en el model.

Les *bases de comparació indirecta* són les que s'acostumen a utilitzar més, ja que són les que fan ús de la peculiaritat del mètode MACBETH. Les *bases de comparació indirecta* són anomenades: *nivells qualitatius d'acompliment* i *nivells quantitius d'acompliment*. Si seleccionem qualsevol d'aquestes dues bases de comparació, estem indicant al software que volem avaluar l'atractiu de les opciones en els criteris indirectament, fent servir una funció de valor per convertir els valors de les opciones en puntuacions. Per tal d'insertar un node amb *nivells qualitatius d'acompliment* hem de clicar sobre l'opció corresponent després de crear el node, de manera que ens aparegui una finestra com la següent:

Añadir un nodo a Global

Nombre : Abreviación :

Comentarios :

Base de comparación :

- ☐ las opciones
- ☐ las opciones + 2 referencias
- ☒ niveles de desempeño cualitativos :
- ☐ niveles de desempeño cuantitativos :

☒ criterio

OK Cancelar

Siguiente

Niveles de desempeño :

-	+	Nivel cualitativo	Abreviado
1		nivel 1	niv1
2		nivel 2	niv2

Fig 8.39: node amb nivells qualitativs d'acompliment

Si polsem sobre **+** anirem afegint nivells al nostre criteri. Quan haguem acabat d'afegir nivells, els haurem d'editar, igual que hem fet anteriorment amb les opcions del model. En el nostre exemple hem creat un criteri amb *nivells qualitativs d'acompliment*, el nom del criteri és *colors* (qualitat de l'impressió a color) i ens ha quedat de la següent manera:

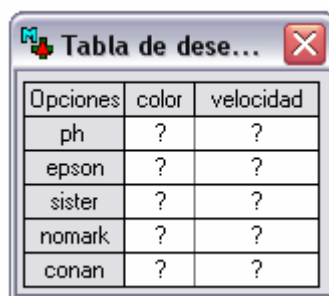
-	+	Nivel cualitativo	Abreviado
1		Las imágenes impresas parecen producidas en un estudio profesional	Muy buena
2		Buenos colores, puede ser utilizada para reproducir imágenes	Buena
3		Las manchas son raras y minúsculas, algunos defectos ligeros	Suficiente
4		La calidad de los colores es suficiente para imprimir esquemas, pero no ir	Neutra
5		La calidad de los colores solo permite imprimir texto a color	Débil

Fig 8.40: nivells qualitativs d'acompliment d'un criteri amb referències

Els nivells marcats en verd i en blau són les referències superior i inferior del criteri. Aquestes s'introdueixen clicant amb el botó dret sobre el nivell corresponent i escollint l'opció *referència superior* o *referència inferior* del menú pop-up.

Per tal d'insertar un node amb *nivells quantitativs d'acompliment* hem de seguir el mateix procés que hem seguit en l'explicació anterior. En aquest cas hem de variar el tipus d'informació que insertem en el criteri, abans era lingüística i ara haurà de ser numèrica. Ara insertarem un node amb *nivells quantitativs d'acompliment* que rebrà el nom de *velocitat* (fent referència a la velocitat d'impressió) per tal de seguir amb l'exemple anterior.

Tot seguit mostrarem com hem d'introduir els valors (acompliments) de les diferents opcions, és a dir, ens disposem a crear la matriu de dades del problema. Primer hem de clicar sobre *Opciones* en el menú, i després sobre *taula d'acompliments*. Un cop hem obert la taula, ens apareixerà una finestra com la que mostrem a continuació:



Opciones	color	velocidad
ph	?	?
epson	?	?
sister	?	?
nomark	?	?
conan	?	?

Fig 8.41: taula de valors de les opcions

Si anem clicant sobre cada cel·la de la taula les podem anar omplint amb els valors dels criteris qualitativs i quantitativs que acabem d'introduir en el model. D'aquesta manera obtindrem una taula amb les següents característiques:



Opciones	Color	Velocidad
Ph	Buena	7
Espon	Neutra	9
Sister	Buena	8.5
Nomark	Suficiente	10.5
Conan	Suficiente	9

Fig 8.42: taula amb els valors de les opcions introduïts

Arribats a aquest punt, veurem els passos s'han de seguir per tal d'establir un ranking entre els diferents nivells dels criteris. Primer hem d'apretar dues vegades el botó esquerre del ratolí sobre el node respecte el qual es desitja establir el ranking. Aleshores ens apareix una finestra com la següent:



	Muy buena	Buena	Suficiente	Neutra	Débil
Muy buena	nula	?	?	positiva	?
Buena	?	nula	?	?	?
Suficiente	?	?	nula	?	?
Neutra		?	?	nula	?
Débil	?	?	?	?	nula

Juicios consistentes

OK?

MACBETH

DIFF

Fig 8.43: matriu de judicis d'un criteri

Podem ordenar els camps de la matriu apretant el botó esquerre del ratolí i arrastrant el camp a la posició que desitgem. Per indicar que dos nivells són igual d'atractius, hem d'apretar el botó esquerre del ratolí dues vegades sobre una de les dues caselles que els comparen, i després seleccionem la opció *nul·la* de la barra de judicis MACBETH. Si repetim aquest procés i anem seleccionant diferents valors de la barra de judicis anirem omplint la matriu amb els valors semàntics que mesuren la diferència d'atractiu entre les diferents opcions. Un cop establert el ranking polsem  i en el menú pop-up escollim l'opció *validar ranking*. D'aquesta manera omplirem de forma automàtica aquelles cel·les de la matriu que havíem deixat amb un ?, és a dir, buides.

Calidad de impresión a colores

	Muy buena	Buena	Suficiente	Neutra	Débil
Muy buena	nula	positiva	moderada	positiva	extrema
Buena		nula	nula	deb-fnte	positiva
Suficiente		nula	nula	positiva	positiva
Neutra				nula	positiva
Débil					nula

Juicios consistentes

extrema
m. fuerte
fuerte
moderada
débil
muy débil
nula

Fig 8.44: matriu de judicis d'un criteri validada

A continuació explicarem com quantificar l'atractiu relatiu respecte a un criteri, és a dir, explicarem com crear les funcions de valor marginal de cada criteri. Primer hem d'obrir una matriu de judicis clicant dues vegades amb el botó esquerra del ratolí sobre el node desitjat. Un cop oberta la matriu, polsem el botó  de la barra d'eines que es troba a la part inferior de la matriu, de manera que el sistema ens calcula la funció de valor del criteri mostrant-nos la següent finestra:



Fig 8.45: escala numèrica MACBETH

Per defecte, MACBETH desplega una escala numèrica ancorada en els dos nivells de referència predefinits en les propietats del criteri, i assigna puntuacions de 0 i 100 a les referències superior i inferior respectivament. Si els nivells de referència no haguessin estat definits prèviament, MACBETH assigna automàticament puntuacions de 0 i 100 als extrems de l'escala. Si seleccionem *Ponderació > Referències de ponderació* (o polsem  en la barra d'eines principal) obrim la finestra *Ponderacions de Referència* i podem canviar les puntuacions dels nivells de referència que venen donades per defecte. També se'ns ofereix la possibilitat de canviar la puntuació de les opcions arrastrant-les

amb el ratolí. Si ho fem, s'obrirà un interval dins del qual la puntuació de l'opció pot ser canviada mantenint fixes les puntuacions de les altres opcions i conservant la compatibilitat en la matriu. Per tal d'introduir una puntuació numèrica precisa, polsem amb el botó dret del ratolí sobre el nivell del criteri que desitgem canviar i seleccionem *Modificar la puntuació de...* del menú pop-up. I ja per acabar amb l'escala numèrica, també podem arrodonir-ne les puntuacions a valors enters apretant  en la barra d'eines que hi ha a la part inferior de la finestra. Hem d'anar repetint aquest procés fins que quedem satisfets amb les diferències d'atractiu entre els diferents nivells de l'escala.

Tot seguit veurem com crear la matriu de judicis dels diferents criteris del problema. D'aquesta manera obtindrem una funció de valor global, és a dir, obtindrem els pesos dels criteris. Per obrir la matriu de judicis global hem de seleccionar *Ponderació > Judicis* i obtindrem la següent finestra:

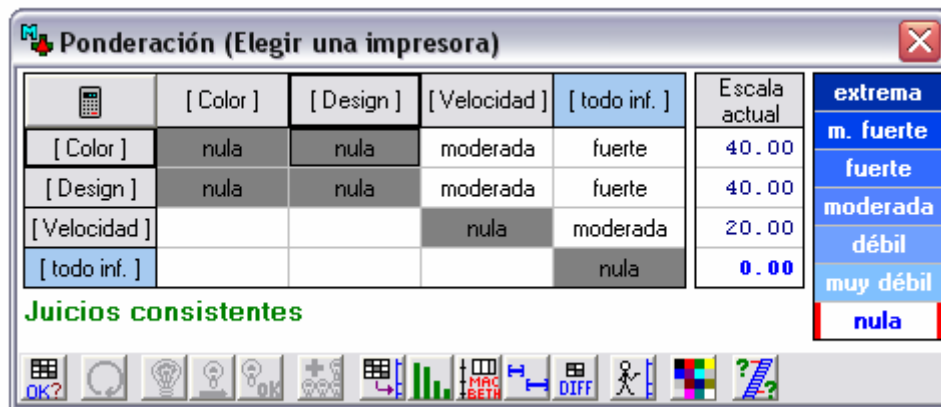


Fig 8.46: matriu de judicis global

La referència global [tot inf.] ha de quedar en la part inferior de la columna. Això es deu a que [tot inf.] és una referència dominada per tota la resta de criteris. Per tal de construir i validar aquesta matriu seguirem exactament el mateix procés que s'ha explicat en la matriu anterior, i seguidament, clicarem sobre  per crear l'escala de pesos MACBETH.

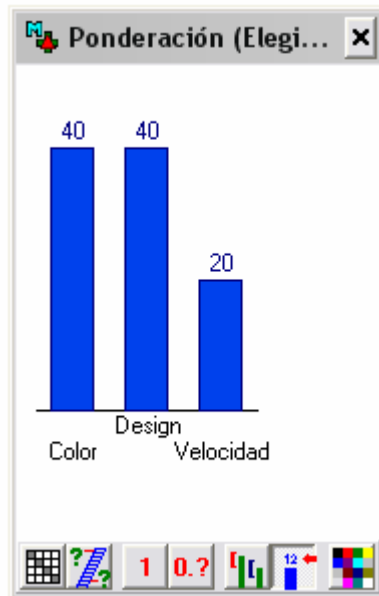


Fig 8.47: escala de pesos MACBETH

En aquest cas també podem canviar la puntuació dels pesos arrastrant-los amb el ratolí. Igual que abans s'obrirà un interval dins del qual la puntuació del pes pot ser canviada mantenint fixes les puntuacions dels altres pesos i conservant la compatibilitat en la matriu. Per introduir un pes relatiu precís hem d'apretar amb el botó dret del ratolí sobre el pes que desitgem canviar i seleccionar *Modificar la puntuació de...* del menú pop-up.

També podem arrodonir els pesos a valors enters apretant .

Tan bon punt s'han introduït tot aquest seguit de dades al model, ja podem passar a analitzar-ne els resultats, que s'hauran calculat automàticament. Val a dir que MACBETH no fa ús de cap fitxer de dades extern, ja que el software presenta una interfície gràfica molt robusta i amb un gran ventall d'opcions.

8.3.2.2 Anàlisi dels resultats obtinguts

Per veure tots els resultats del model (puntuacions i pesos) hem de seleccionar *Opciones > Taula de puntuacions*.

Opciones	Global	Color	Velocidad	Design
[todo sup.]	100.00	100.00	100.00	100.00
Conan	82.00	60.00	50.00	120.00
Ph	64.00	100.00	-80.00	99.99
Nomark	62.00	60.00	90.00	50.00
Sister	37.00	100.00	25.00	-20.00
Espon	10.00	0.00	50.00	0.00
[todo inf.]	0.00	0.00	0.00	0.00
Pesos:		0.4000	0.2000	0.4000

Fig 8.48: taula de puntuacions

Si cliquem sobre *Global* podem ordenar les opcions de forma decreixent en termes del seu atractiu global.

Les puntuacions globals de les opcions es poden mostrar de forma gràfica utilitzant el termòmetre global. Per tant, seleccionem *Opcions > Termòmetre global*.

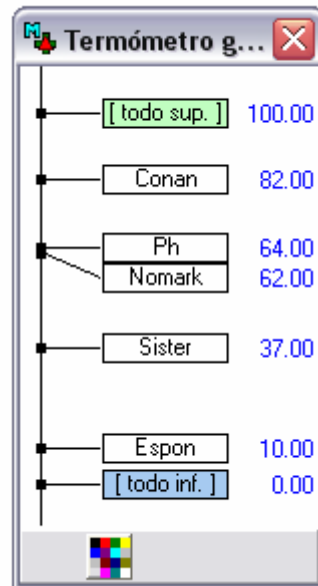


Fig 8.49: termòmetre global

MACBETH permet analitzar la contribució de la puntuació d'una opció en un criteri respecte a la seva puntuació global amb el propòsit d'aconseguir una comprensió més completa dels resultats. Per tal de veure el perfil d'una opció hem de seleccionar *Opcions > Perfils* i seleccionar l'opció desitjada.



Fig 8.50: perfil d'una opció

El primer requadret serveix per ordenar les barres d'acord amb la seva rellevància respecte a la puntuació global de l'opció, i el segon, serveix per veure les puntuacions ponderades de l'opció.

MACBETH també ens permet analitzar les diferències que existeixen entre les puntuacions de dues opcions qualsevol. Per mostrar la finestra amb el perfil de diferència de dues opcions hem d'anar a *Opcions > Perfils de diferències*.

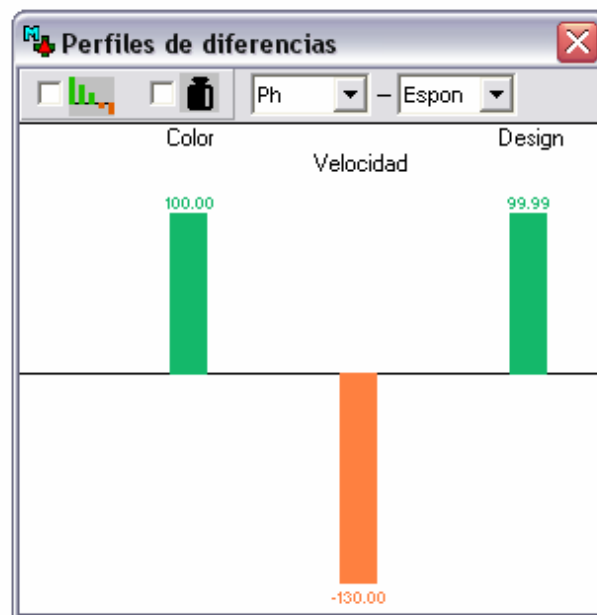


Fig 8.51: perfil de diferències de dues opcions

Aquest exemple ens està dient que la impressora Ph té una qualitat de color i un disseny millors que els de la Espon, en canvi la velocitat d'impressió de la Ph és pitjor que la de la Espon. Els recuadrets que hi ha a la part superior de la finestra desenvolupen la mateixa funció que duïen a terme en l'exemple anterior.

També podem analitzar els resultats del model en un gràfic bidimensional (Gràfic XY), comparant les puntuacions de les opcions en dos criteris o grups de criteris. Per crear el Gràfic XY seleccionem *Opcions > GràficXY*. Per seleccionar els criteris o grups de criteris respecte els quals es desitja efectuar la comparació, hem de clicar a la dreta del nom de cada eix i seleccionar-los de la llista que presenta el menú pop-up. Si polsem  mostrarem el que s'anomena frontera eficaç.

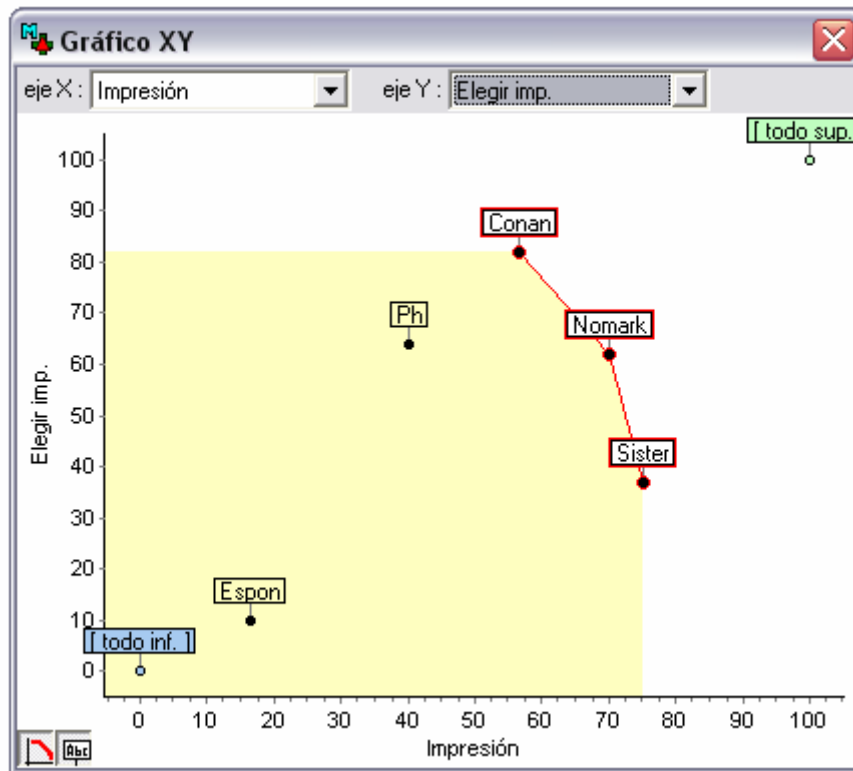


Fig 8.52: gràfic XY

A continuació analitzarem dues de les eines més importants de les quals disposa el software: l'anàlisi de la sensibilitat i l'anàlisi de la robustesa.

L'anàlisi de la sensibilitat

L'anàlisi de la sensibilitat sobre el pes relatiu d'un criteri ens permet analitzar en quina mesura les recomanacions del model s'alteren com a resultat de canvis en el pes relatiu dels criteris (mantenint les relacions de proporcionalitat entre els pesos restants). Per tal de dur-lo a terme, seleccionem *Ponderació > Anàlisi de sensibilitat en el pes*. Per seleccionar el criteri del qual n'analitzarem el pes en termes del seu efecte sobre les puntuacions globals de les alternatives, apremem  en l'extrem superior esquerre de la finestra i seleccionem el nom abreviat del criteri desitjat en la llista.

Com es pot observar, a cada opció li correspon una línia recta en el gràfic. Aquesta línia representa la variació de la puntuació global de l'opció a mesura que el pes relatiu del criteri varia de 0 a 100%.

La línia vertical vermella de la figura 8.53 representa el pes relatiu del criteri analitzat. Les caselles que apareixen en la part esquerra de la finestra, al costat dels noms abreviats de les opcions, serveixen per mostrar o ocultar les línies dels criteris corresponents.

Per trobar el pes relatiu corresponent a la intersecció de dues línies, marquem el requadre ☐ Intersección i seleccionem les dues opcions que desitgem. Si dues línies no intersequen vol dir que una opció és més atractiva que l'altra, sense importar el canvi en el pes relatiu del criteri analitzat.

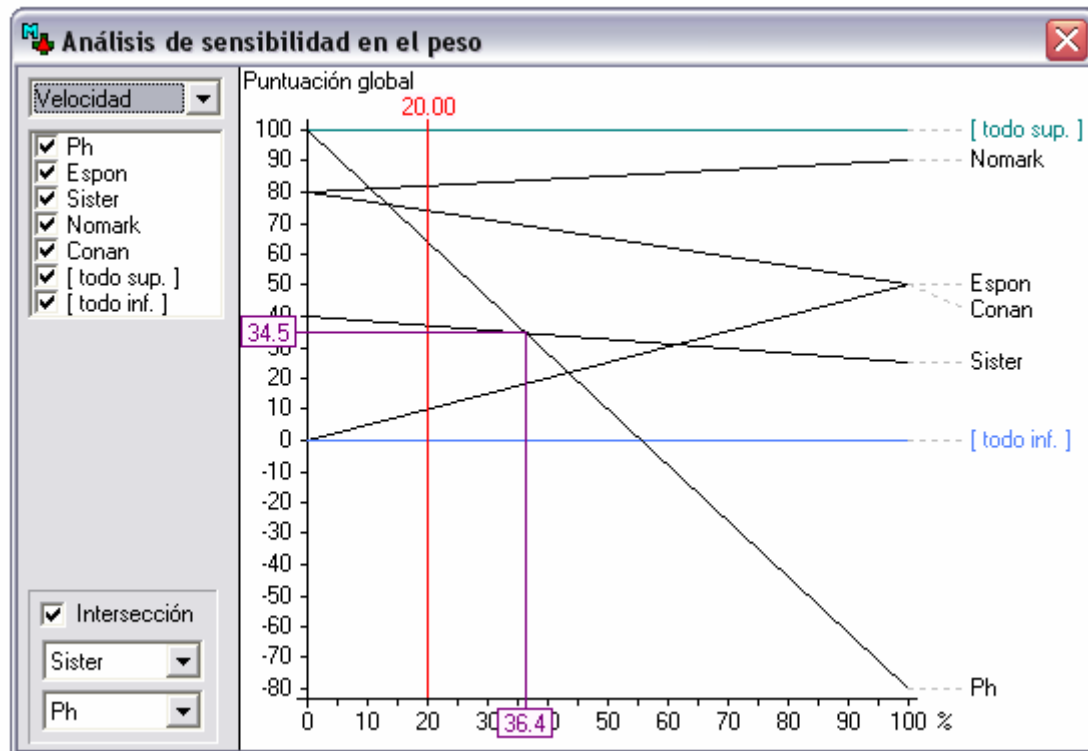


Fig 8.53: anàlisi de la sensibilitat en el pes d'un criteri

A part de l'anàlisi de la sensibilitat com una opció més del software, MACBETH disposa d'interactivitat. És a dir, totes les finestres de sortida poden ser utilitzades interactivament amb qualsevol finestra d'entrada, això permet analitzar de manera interactiva les conseqüències en els resultats del model, l'alteració dels judicis, els pesos, les puntuacions, etc. Per tant, l'interacció que incorpora MACBETH es pot considerar com una eina més d'anàlisi de la sensibilitat.

L'anàlisi de la robustesa

La presa de decisions freqüentment involucra informació escassa, imprecisa o incerta. Per tant, pot resultar útil analitzar quines condicions robustes es poden extreure del model, per nivells variables d'escassetat, imprecisió o incertesa en la informació, utilitzant la funció d'anàlisi de la robustesa de MACBETH.

Els següents símbols s'utilitzen en la finestra d'anàlisi de la robustesa de MACBETH:

▲ representa una situació de *dominància*: una opció en domina una altra si és almenys tan atractiva com l'altra en tots els criteris, i més atractiva en almenys un criteri.

✚ representa una situació de *dominància additiva*: una opció en domina additivament una altra si per un determinat conjunt de restriccions en la informació, resulta sempre globalment més atractiva que una altra opció a través d'un model additiu.

Per analitzar quines conclusions robustes es poden extreure del model per a nivells variables d'informació global i local seleccionem *Opcions > Anàlisi de la robustesa*.

Análisis de robustez

	[todo sup.]	Conan	Nomark	Ph	Sister	Espon	[todo inf.]
[todo sup.]	=	+	▲	▲	▲	▲	▲
Conan		=	?	?	+	▲	▲
Nomark		?	=	?	+	▲	▲
Ph		?	?	=	+	+	+
Sister					=	+	+
Espon						=	▲
[todo inf.]							=

Información local

	ordinal	MACBETH	cardinal
Color	☒	☒	☒ ±0% ▲▼
Velocidad	☒	☒	☒ ±0% ▲▼
Design	☒	☒	☒ ±0% ▲▼

Información global

ordinal	MACBETH	cardinal
☒	☒	☐ ±0% ▲▼

±↑ Diff

Fig 8.54: anàlisi de la robustesa

Notem que MACBETH organitza la informació introduïda en el model en tres tipus (ordinal, MACBETH, i cardinal) i en dues seccions (Informació local i Informació global). La *informació ordinal* fa referència únicament a l'ordre, excloent la informació relativa a la diferència d'atractiu (intensitat de preferència). La *informació MACBETH* inclou els judicis semàntics introduïts en el model; d'altra banda, no fa referència a les escales numèriques que han estat obtingudes sobre la base d'aquests judicis. La *informació cardinal* denota l'escala numèrica específica validada per l'avaluador. La *informació local* es refereix a tota la informació específica d'un criteri. La *informació global* es refereix als pesos relatius dels criteris i a les puntuacions globals de les opcions.

De l'exemple de la figura 8.54 podem dir que és un exemple no robust, ja que no podem concloure que *Conan* és la millor impressora sense disposar d'informació cardinal global.

9 Proves i resultats

9.1 Les dades i el seu pre-processament

Per tal de fer l'estudi dels sistemes de decisió, hem fet servir una de les bases disponibles al MLRepository, les quals són usades per testejar algoritmes d'IA (inicialment en ML). Primerament, es va fer un anàlisi observant les característiques de les bases de dades de la UCI [MLRepository,1988]. Vam trobar Bases de Dades on hi faltaven molts dels seus valors (*missings*), també vam trobar-ne unes quantes amb informació categòrica, és a dir, amb atributs que no aportaven informació de preferència, vam trobar-ne d'altres només amb dades numèriques, o bases de dades amb molta informació numèrica i poca de qualitativa. Finalment vam trobar una base de dades d'universitats dels Estats Units que complia tots els requisits: la base de dades no tenia valors nuls, els criteris estaven ben repartits entre numèrics i lingüístics, i aquests aportaven informació de preferència.

La base de dades de dades escollida és un fitxer LISP que consta de 285 instàncies d'universitats, amb 17 atributs cadascuna. El format del fitxer *university.data* és tal i com es mostra a continuació:

```
(def-instance Colgate
  (state newyork)
  (location small-town)
  (control private)
  (no-of-students thous:5-)
  (male:female ratio:55:45)
  (student:faculty ratio:13:1)
  (expenses thous$:10+)
  (percent-financial-aid 60)
  (no-applicants thous:4-7)
  (percent-admittance 40)
  (percent-enrolled 40)
  (academics scale:1-5 4)
  (social scale:1-5 3)
  (quality-of-life scale:1-5 3)
  (academic-emphasis liberal-arts)
  (academic-emphasis biology)
  (academic-emphasis english))
```

Per reduir el volum de dades i facilitar-ne el seu estudi hem seleccionat 10 criteris dels 17 possibles: control, location, no-of-students, male:female ratio, student:faculty ratio, expenses, no-applicants, academics scale, social scale, quality-of-life. També hem seleccionat les primeres 50 universitats (on hi ha moltes de les universitats més prestigioses dels Estats Units) de les 285 que teníem en la base de dades.

Hem escollit aquests criteris perquè creiem que són els que aporten la informació més rellevant sobre els aspectes que diferencien una universitat de les altres. Observant els diferents valors que prenen els atributs de les universitats de la nostra base de dades,

hem donat als criteris escollits els següents rangs de valors (els qualitius estan ordenats per prioritats, de millor a pitjor):

- control: [private, state, city, religious]
- location: [big_city, city, small_city, country, far_away]
- no-of-students: [1..30] en milers, hem considerat millor el fet que hi hagi més estudiants.
- expenses: [2..15] en milers de \$, hem considerat millor que les despeses siguin baixes.
- no-applicants: [3..25] en milers, hem considerat millor que hi hagi moltes sol·licituds.
- academics scale: [A,B,C,D,E]
- social scale: [A,B,C,D,E]
- quality-of-life: [A,B,C,D,E]

els dos criteris de proporció (noi/noia i alumne/professor) els hem valorat de la següent manera:

- male:female ratio: [1..5] sent 1 el valor més desitjat (igual proporció de nois i noies) i 5 el menys desitjat. En aquest criteri, s'ha considerat millor una proporció equitativa entre nois i noies. Per tant, com més equitativa sigui la proporció, més baix serà el valor assignat. La següent taula ens mostra les equivalències entre la proporció de nois i noies i el valor numèric que hem utilitzat en les nostres proves:

proporció entre nois/noies	valor
50:50	1
40:60 o 60:40	2
30:70 o 70:30	3
20:80 o 80:20	4
10:90 o 90:10	5

Taula 9.1: valor que pren la proporció entre nois i noies

- student:faculty ratio: [5..25] aquest interval representa el número d'alumnes que hi ha per a cada professor. Hem considerat millor que el número d'alumnes per professor sigui baix.

Pel que fa als pesos dels criteris, aquests seran descrits en l'apartat 9.2, on s'expliquen les proves realitzades i com s'han assignat els pesos a cada mètode.

A fi i efecte de poder validar els resultats finals de tots els mètodes després de realitzar les proves, hem obtingut una llista amb una classificació de diferents universitats americanes [USNews, 2006]. Aquesta llista l'hem obtingut d'una pàgina web que es dedica plenament a realitzar estudis d'aquest tipus. A la web podem trobar rankings de les millors universitats dels Estats Units, rankings de les millors escoles, rankings dels

millors hospitals, rankings dels millors plans sanitaris, etc. Per tal de desenvolupar aquests rankings, els seus autors treballen amb metodologies d'ajuda a la decisió. És a dir, a partir d'un cert conjunt d'alternatives (en aquest cas universitats), consideren una sèrie de criteris a tenir en compte i donen un pes concret a cada criteri segons la seva importància en el problema.

A continuació es mostra el ranking obtingut de les diferents universitats. Les universitats marcades en negreta són les que farem servir en les nostres proves.

1.	Princeton University(NJ)	42.	Rensselaer Polytechnic Inst.(NY)
2.	Harvard University (MA)	44.	University of California—Irvine
3.	Yale University(CT)	44.	Tulane University(LA) 11
4.	California Institute of Technology	44.	Yeshiva University(NY)
4.	Stanford University(CA)	47.	Pennsylvania State U.—University Park
4.	Massachusetts Inst. of Technology	47.	University of Texas—Austin
7.	University of Pennsylvania	47.	University of California—Davis
8.	Duke University(NC)	47.	Univ. of California—Santa Barbara
9.	Dartmouth College(NH)	47.	University of Florida
9.	Columbia University(NY)	52.	George Washington University(DC)
9.	University of Chicago	52.	Syracuse University(NY)
12.	Cornell University(NY)	54.	Pepperdine University(CA)
12.	Washington University in St. Louis	54.	University of Miami(FL)
14.	Northwestern University(IL)	54.	Univ. of Maryland—College Park
15.	Brown University(RI)	57.	Ohio State University—Columbus
16.	Johns Hopkins University(MD)	57.	University of Pittsburgh
17.	Rice University(TX)	57.	Boston University
18.	Vanderbilt University(TN)	60.	Miami University—Oxford(OH)
18.	Emory University(GA)	60.	Texas A&M Univ.—College Station
20.	University of Notre Dame(IN)	60.	University of Georgia
21.	Carnegie Mellon University(PA)	60.	Rutgers—New Brunswick(NJ)
21.	University of California—Berkeley	64.	Purdue Univ.—West Lafayette(IN)
23.	Georgetown University(DC)	64.	University of Iowa
24.	University of Virginia	64.	Worcester Polytechnic Inst.(MA)
24.	University of Michigan—Ann Arbor	67.	University of Connecticut
26.	Univ. of California—Los Angeles	67.	University of Delaware
27.	U. of North Carolina—Chapel Hill	67.	Univ. of Minnesota—Twin Cities
27.	Univ. of Southern California	70.	Clemson University(SC)
27.	Tufts University(MA)	70.	Southern Methodist University(TX)
30.	Wake Forest University(NC)	70.	Brigham Young Univ.—Provo(UT)
31.	College of William and Mary(VA)	70.	Indiana University—Bloomington
31.	Brandeis University(MA)	70.	Michigan State University
33.	Lehigh University(PA)	70.	Fordham University(NY)
34.	Univ. of Wisconsin—Madison	76.	Univ. of California—Santa Cruz
34.	Boston College	77.	Virginia Tech
34.	New York University	77.	University of Colorado—Boulder
34.	University of Rochester(NY)	77.	St. Louis University
38.	Case Western Reserve Univ.(OH)	77.	Stevens Institute of Technology(NJ)
38.	Univ. of California—San Diego	81.	North Carolina State U.—Raleigh
38.	Georgia Institute of Technology	81.	Baylor University(TX)
41.	U. of Illinois—Urbana - Champaign	81.	Marquette University(WI)
42.	University of Washington	81.	Iowa State University

81.	Clark University(MA)
86.	American University(DC)
86.	SUNY—Binghamton
88.	University of Tulsa(OK)
88.	University of Tennessee
88.	University of Vermont
88.	University of Alabama
88.	Auburn University(AL)
88.	Univ. of California—Riverside
88.	University of Denver
88.	Howard University(DC)
88.	University of Kansas
88.	Univ. of Missouri—Columbia
98.	University of Arizona
98.	University of the Pacific(CA)
98.	Northeastern University(MA)
98.	Univ. of Massachusetts—Amherst
98.	Univ. of Nebraska—Lincoln
98.	SUNY College of Environmental Science and Forestry
98.	SUNY—Stony Brook
105.	University of New Hampshire

105.	Texas Christian University
105.	University of Dayton(OH)
105.	University of San Diego
105.	Illinois Institute of Technology
110.	Ohio University
110.	Florida State University
112.	University of Missouri—Rolla
112.	University of Kentucky
112.	Loyola University Chicago
112.	Washington State University
112.	University of San Francisco
112.	Univ. of South Carolina—Columbia
112.	Drexel University(PA)
112.	University of Oklahoma
120.	University of Utah
120.	University of Oregon
120.	Catholic University of America(DC)
120.	University at Buffalo—SUNY
124.	Colorado State University
124.	Kansas State University
124.	New Jersey Inst. of Technology

Arribats a aquest punt, abans de començar a realitzar les proves, hem hagut de transformar les dades LISP als formats respectius de cada software. Primer hem dissenyat el fitxer de configuració ClusDM (tal i com expliquem en la guia del ClusDM):

```
control: 0.1:ideal private:nadir religious: Ordered qualitative
N (private(religious), state(city), city(state),
religious(private))
location: 0.05:ideal big_city:nadir far_away_from_civilization:
Ordered qualitative N (big_city(far_away), city(country),
small_city(small_city), country(city), far_away(big_city))
no_of_students: 0.1:ideal 30:nadir 1: Numerical (1..30)
expenses: 0.1:ideal 2:nadir 15: Numerical (2..15)
no_applicants: 0.05:ideal 25:nadir 3: Numerical (3..25)
academics_scale: 0.3:ideal A:nadir E: Ordered qualitative N
(A(E), B(D), C(C), D(B), E(A))
social_scale: 0.05:ideal A:nadir E: Ordered qualitative N (A(E),
B(D), C(C), D(B), E(A))
quality_of_life: 0.05:ideal A:nadir E: Ordered qualitative N
(A(E), B(D), C(C), D(B), E(A))
male_female_ratio: 0.1:ideal 1:nadir 5: Numerical (1..5)
student_faculty_ratio: 0.1:ideal 5:nadir 25: Numerical (5..25)
```

Fig 9.1: fitxer de configuració de les Universitats

Després d'això, hem creat el fitxer de dades ClusDM. Donat que alguns dels valors dels atributs numèrics no són puntuals sinó intervals, hem hagut de substituir aquests intervals pel seu punt mig. Per exemple, en la primera universitat del nostre fitxer de

dades, *Adelphi*, hi ha un interval de [7..10] (en milers de \$) per les despeses. Per tant, en la part de despeses de la universitat *Adelphi* del nostre fitxer ClusDM hi tindrem un 8.5.

El fitxer de dades ens ha quedat de la següent manera:

```
1Adelphi: private, city, 7.5, 8.5, 5.5, D, D, D, 3, 15
2ArizonaState: state, city, 22, 6, 18, C, B, A, 1, 20
3BostonCollege: religious, small_city, 7.5, 12, 11.5, B, A, C, 2, 20
4BostonUniversity: private, city, 12.5, 12, 15, B, B, C, 1, 12
5Brown: private, city, 3, 12, 11.5, A, B, A, 1, 11
6CalTech: private, country, 3, 12, 3, A, E, C, 3, 10
7CarnegieMellon: private, big_city, 3, 12, 5.5, B, C, C, 2, 10
8CaseWestern: private, big_city, 3, 12, 3, C, D, C, 3, 9
9CCNY: city, big_city, 12.5, 2.5, 3, C, D, D, 2, 15
10Colgate: private, small_city, 3, 12, 5.5, B, C, C, 2, 13
11Columbia: private, city, 3, 13, 5.5, A, C, C, 3, 9
12CooperUnion: private, big_city, 4, 2, 3, C, E, C, 3, 6
13Cornell: private, small_city, 14, 13, 19, A, C, D, 1, 7
14Dartmouth: private, small_city, 4, 12, 9, A, A, C, 2, 7
15FloridaTech: private, small_city, 3.5, 6, 3, C, C, C, 4, 20
16Floridastate: state, small_city, 18, 5.5, 8, C, C, C, 1, 20
17GeorgiaTech: state, big_city, 8, 5.5, 6, B, D, D, 4, 20
18Harvard: private, big_city, 8.5, 11, 18, A, C, B, 2, 10
19Hofstra: religious, country, 6.5, 7.5, 5, D, D, D, 1, 10
20IllinoisTech: state, city, 4, 5, 3.5, C, E, C, 5, 25
21JohnsHopkins: private, city, 4, 11.5, 4, A, C, C, 3, 10
22MIT: private, city, 4.5, 12, 5.5, A, C, C, 3, 5
23UniversityofMontana: state, small_city, 4, 5, 3.5, C, D, B, 2, 21
24Morganstate: state, big_city, 3.5, 2.5, 3.5, D, D, D, 2, 13
25NewJerseyTech: state, city, 4, 6, 3, C, D, C, 5, 25
26NewYorkU: private, big_city, 8.5, 12, 8, B, C, C, 1, 7
27Pratt: private, big_city, 4, 5.5, 3.5, C, E, D, 2, 7
28Princeton: private, small_city, 4, 11.5, 12, A, C, C, 2, 7
29Rensselaer: private, small_city, 4, 12, 8.5, B, C, C, 4, 11
30RochesterTech: private, country, 8, 9, 8, C, C, C, 2, 14
31Stanford: private, country, 7.5, 12, 15, A, B, A, 1, 10
32Stevens: private, big_city, 4, 8.5, 3, C, D, B, 4, 13
33Temple: state, city, 18, 6, 12, D, D, D, 1, 11
34TexasA&M: state, small_city, 22, 3, 11.5, C, C, C, 2, 12
35UniversityofCaliforniaBerkeley: state, big_city, 18, 5, 14, B, C, C, 2, 11
36UniversityofCaliforniaDavis: state, small_city, 12, 6, 8.5, C, C, B, 1, 15
37UCLosAngeles: state, big_city, 21, 6, 5, C, C, C, 1, 11
38UniversityofCaliforniaSanDiego: state, country, 8, 5, 6.5, C, B, B, 1, 15
39UniversityofCaliforniaSantaCruz: state, country, 7, 5, 3, C, C, A, 1, 18
40UniversityofMaine: city, small_city, 13, 6, 6, D, B, C, 2, 15
41UniversityofOklahoma: state, country, 13.5, 3.5, 11.5, C, C, C, 2, 20
42UniversityofPenn: private, city, 8, 12, 12, A, B, C, 2, 10
43UniversityofSanFrancisco: private, big_city, 4.5, 8.5, 3.5, C, C, B, 1, 13
44USC: private, big_city, 13, 12.5, 12, B, B, C, 2, 18
45Worcester: private, city, 4, 11.5, 3, B, C, B, 4, 12
46Yale: private, small_city, 4, 11, 12.5, A, C, B, 1, 5
47AbileneChristianUniversity: private, country, 4.5, 3, 3, D, C, C, 1, 21
48Brandeiso: private, country, 4, 12, 3.5, B, B, C, 1, 9
49Emoryo: private, country, 7.5, 12, 8, B, A, A, 1, 8
50Georgetown: private, city, 8, 11.5, 9, B, A, A, 1, 16
```

Fig 9.2: fitxer de dades de les Universitats

El mètode TOMASO requereix un altre pre-procés de les dades. Els valors que prenen els criteris en TOMASO sempre són ordinals numèrics, això vol dir que els valors numèrics només indiquen l'ordre, però no una mesura concreta. Per tant, hem hagut d'adaptar el fitxer de dades ClusDM a format TOMASO. D'altra banda, aquestes dades numèriques sempre han d'anar en el mateix ordre, de gran a petit i del màxim fins a 1 (com més gran sigui el valor del criteri millor serà aquest). Per tal d'adaptar les dades ClusDM a TOMASO, hem hagut de modificar els criteris on el millor valor era el nombre més baix. Si en ClusDM tenim un rang de valors de (2..6) on el millor valor és 2 i el pitjor 6, en TOMASO el millor valor serà 5 i el pitjor 1. Per exemple:

	ClusDM	Tomaso
millor	2	5
	3	4
	4	3
	5	2
pitjor	6	1

Taula 9.2: transformació de ClusDM a TOMASO

Aquesta transformació l'hem de fer amb tots el criteris que no tinguin un ordre decreixent i no comencin per 1. També cal dir que tots el criteris lingüístics també els hem hagut de transformar a numèrics. Per exemple: si en ClusDM tenim un criteri lingüístic de les següents característiques (*bo, regular, dolent*), en TOMASO tindrem un criteri com el següent (3, 2, 1) (exactament el mateix que amb els numèrics). Dutes a terme aquestes modificacions, el fitxer ens ha quedat tal i com es mostra a la figura 9.3.

TOMASO treballa amb altres fitxers de dades que s'han descrit exhaustivament en el capítol 8.2. Aquesta part del document la dediquem únicament a conèixer els passos bàsics que s'han seguit per modelar les dades en els diferents sistemes.

A continuació passem a explicar el pre-procés de les dades pel software VIPA.

VIPA treballa amb dades numèriques en l'interval (0..1). Per tant, per transformar les dades del nostre problema a format *.vip*, hem d'agafar el fitxer TOMASO que acabem de crear i dividir tots els valors de cada columna pel valor màxim de cada criteri, d'aquesta manera obtindrem un valor en l'interval (0..1). Suposem que tenim un criteri en TOMASO que pot prendre els valors (5, 4, 3, 2, 1), i en una cel·la de la matriu de dades corresponent a aquest criteri hi trobem un 2. El seu equivalent en VIPA serà 2/5, és a dir, 0.4.

El software VIPA treballa amb la interfície gràfica, és per això que no posarem cap exemple de fitxer **.vip*.

En MACBETH succeeix el mateix, no es treballa amb fitxers, es treballa a través de la interfície. La peculiaritat de MACBETH és que admet informació numèrica i lingüística, igual que ClusDM, per tant, no haurem de dur a terme cap tipus de transformació de dades (sinó que usarem les dades ClusDM).

50
 10
 4, 4, 7.5, 8.5, 5.5, 2, 2, 2, 3, 15
 3, 4, 22, 11, 18, 3, 4, 5, 5, 10
 1, 3, 7.5, 5, 11.5, 4, 5, 3, 4, 10
 4, 4, 12.5, 5, 15, 4, 4, 3, 5, 18
 4, 4, 3, 5, 11.5, 5, 4, 5, 5, 19
 4, 2, 3, 5, 3, 5, 1, 3, 3, 20
 4, 5, 3, 5, 5.5, 4, 3, 3, 4, 20
 4, 5, 3, 5, 3, 3, 2, 3, 3, 21
 2, 5, 12.5, 14.5, 3, 3, 2, 2, 4, 15
 4, 3, 3, 5, 5.5, 4, 3, 3, 4, 4
 4, 4, 3, 4, 5.5, 5, 3, 3, 3, 21
 4, 5, 4, 15, 3, 3, 1, 3, 3, 24
 4, 3, 14, 4, 19, 5, 3, 2, 5, 23
 4, 3, 4, 5, 9, 5, 5, 3, 4, 23
 4, 3, 3.5, 11, 3, 3, 3, 3, 2, 10
 3, 3, 18, 11.5, 8, 3, 3, 3, 5, 10
 3, 5, 8, 11.5, 6, 4, 2, 2, 2, 10
 4, 5, 8.5, 6, 18, 5, 3, 2, 4, 20
 1, 2, 6.5, 9.5, 5, 2, 2, 2, 5, 20
 3, 4, 4, 12, 3.5, 3, 1, 3, 1, 5
 4, 4, 4, 5.5, 4, 5, 3, 3, 3, 20
 4, 4, 4.5, 5, 5.5, 5, 3, 3, 3, 25
 3, 3, 4, 12, 3.5, 3, 2, 4, 4, 9
 3, 5, 3.5, 14.5, 3.5, 2, 2, 2, 4, 17
 3, 4, 4, 11, 3, 3, 2, 3, 1, 5
 4, 5, 8.5, 5, 8, 4, 3, 3, 5, 23
 4, 5, 4, 11.5, 3.5, 3, 1, 2, 4, 23
 4, 3, 4, 5.5, 12, 5, 3, 3, 4, 23
 4, 3, 4, 5, 8.5, 4, 3, 3, 2, 19
 4, 2, 8, 8, 8, 3, 3, 3, 4, 16
 4, 2, 7.5, 5, 15, 5, 4, 5, 5, 20
 4, 5, 4, 8.5, 3, 3, 2, 4, 2, 17
 3, 4, 18, 11, 12, 2, 2, 2, 5, 19
 3, 3, 22, 14, 11.5, 3, 3, 3, 4, 18
 3, 5, 18, 12, 14, 2, 3, 3, 4, 19
 3, 3, 12, 11, 8.5, 3, 3, 4, 5, 15
 3, 5, 21, 11, 5, 3, 3, 3, 5, 19
 3, 2, 8, 12, 6.5, 3, 4, 4, 5, 15
 3, 2, 7, 12, 3, 3, 3, 5, 5, 12
 2, 3, 13, 11, 6, 2, 4, 3, 4, 15
 3, 2, 13.5, 13.5, 11.5, 3, 3, 3, 4, 10
 4, 4, 8, 5, 12, 5, 4, 3, 4, 20
 4, 5, 4, 7, 2, 3, 3, 4, 5, 17
 4, 5, 13, 4.5, 12, 4, 4, 3, 4, 12
 4, 4, 4, 5.5, 3, 4, 3, 4, 2, 18

Fig 9.3: fitxer de dades de les Universitats, Tomaso

9.2 Proves

9.2.1 Proves amb ClusDM

Prova 1

En les primeres proves que hem realitzat amb el ClusDM, hem donat els **mateixos pesos** a tots els criteris. Com que tenim 10 criteris, cadascun d'ells tindrà un pes de 0.1. Tot seguit hem intentat classificar les universitats en **5 grups** diferents i els resultats que hem obtingut amb el ClusDM són els següents:

- ➔ the alternatives with preference value can-not-stand are: 20IllinoisTech, 25NewJerseyTech, 17GeorgiaTech
- ➔ the alternatives with preference value hate are: 15FloridaTech, 47AbileneChristianUniversity, 30RochesterTech, 40UniversityofMaine, 1Adelphi, 19Hofstra
- ➔ the alternatives with preference value do-not-like are: 8CaseWestern, 32Stevens, 43UniversityofSanFrancisco, 12CooperUnion, 27Pratt, 9CCNY, 24Morganstate
- ➔ the alternatives with preference value do-not-mind are: 49Emoryo, 50ClarkUniversity, 5Brown, 31Stanford, 48Brandeiso, 4BostonUniversity, 44USC, 26NYU, 14Dartmouth, 28Princeton, 42UniversityofPenn, 46Yale, 18Harvard, 7CarnegieMellon, 10Colgate, 11Columbia, 21JohnsHopkins, 22MIT, 29Rensselaer, 45Worcester, 6CalTech, 3BostonCollege, 13Cornell
- ➔ the alternatives with preference value quite-like are: 36UniversityofCaliforniaDavis, 38UniversityofCaliforniaSanDiego, 39UniversityofCaliforniaSantaCruz, 23UniversityofMontana, 16Floridastate, 41UniversityofOklahoma, 34TexasA&M, 35UniversityofCaliforniaBerkley, 37UCLA, 33Temple, 2ArizonaState

Resultats del report:

- Fase d'agregació: validesa del 58%
- Fase de ranking: validesa del 40%
- Nou vocabulari: validesa del 65%
- Nova funció de negació: validesa del 96%
- Resultats finals: validesa del 65%

Com podem observar en els resultats, les alternatives s'han repartit força bé en els 5 grups i la validesa dels resultats finals és bona (65%), d'altra banda, els grups no són gaire fidels a la classificació original de les universitats americanes. Així doncs, s'han fet proves variant els paràmetres de configuració.

Prova 2

Observant la classificació de les universitats, ens adonem que les universitats més prestigioses són les que tenen el criteri *academics* més alt, per tant, decidim modificar els pesos inicials, incrementant considerablement el pes dels estudiants respecte la resta de criteris. De forma que ara tenim els pesos repartits de la següent manera:

criteri	pes
control	0.1
location	0.05
no-students	0.1
expenses	0.1
no-applicants	0.05
academics scale	0.3
social scale	0.05
quality-of-life	0,05
male:famale ratio	0.1
student:faculty ratio	0.1

Taula 9.3: taula amb els nous pesos ClusDM

En aquest segon conjunt de proves, augmentem el nombre de clústers en 6, per tant, ara tindrem 11 clústers, és a dir, **11 grups**.

Resultats del report:

- Fase d'agregació: validesa del 71%
- Fase de ranking: validesa del 18%
- Nou vocabulari: validesa del 78%
- Nova funció de negació: validesa del 85%
- Resultats finals: validesa del 63%

Tot i que la validesa dels resultats finals és una mica inferior a la obtinguda en la prova anterior (63%), val a dir que el canvi de pesos ha donat els seus fruits. Els resultats obtinguts en aquesta prova són millors que els que s'han obtingut en la prova anterior, ja que la classificació final de les alternatives s'assembla força a la classificació original de les universitats.

D'altra banda, els grups han quedat mal repartits, ja que n'hi ha que compten amb moltes alternatives i n'hi ha d'altres que només en tenen una.

Els resultats finals obtinguts són els que es mostren a continuació:

- ➔ the alternatives with preference value detest are: 20IllinoisTech, 25NewJerseyTech, 15FloridaTech
- ➔ the alternatives with preference value can-not-stand are: 1Adelphi
- ➔ the alternatives with preference value hate are: 33Temple, 40UniversityofMaine, 19Hofstra
- ➔ the alternatives with preference value very-do-not-like are: 47AbileneChristianUniversity
- ➔ the alternatives with preference value do-not-like are: 3BostonCollege
- ➔ the alternatives with preference value not-so-do-not-like are: 9CCNY, 24Morganstate
- ➔ the alternatives with preference value do-not-mind are: 17GeorgiaTech
- ➔ the alternatives with preference value quite-like are: 8CaseWestern, 32Stevens, 12CooperUnion, 27Pratt, 30RochesterTech, 43UniversityofSanFrancisco
- ➔ the alternatives with preference value really-enjoy are: 16Floridastate, 41UniversityofOklahoma, 36UniversityofCaliforniaDavis, 38UniversityofCaliforniaSanDiego, 39UniversityofCaliforniaSantaCruz, 23UniversityofMontana, 2ArizonaState, 34TexasA&M, 37UCLosAngeles, 35UniversityofCaliforniaBerkeley
- ➔ the alternatives with preference value love are: 4BostonUniversity, 26NewYorkU, 48Brandeiso, 49Emoryo, 50Georgetown, 44USC, 29Rensselaer, 45Worcester, 7CarnegieMellon, 10Colgate
- ➔ the alternatives with preference value absolutely-adore are: 14Dartmouth, 28Princeton, 46Yale, 18Harvard, 42UniversityofPenn, 5Brown, 31Stanford, 11Columbia, 21JohnsHopkins, 22MIT, 6CalTech, 13Cornell

Prova 3

Per tal de poder millorar els resultats hem disminuït el nombre de clústers, ara passem a treballar-ne amb 7.

Resultats del report:

- Fase d'agregació: validesa del 63%
- Fase de ranking: validesa del 28%
- Nou vocabulari: validesa del 76%
- Nova funció de negació: validesa del 85%
- Resultats finals: validesa del 63%

Els resultats que obtenim amb aquesta nova prova són força bons, els grups queden ben repartits i la classificació també és correcta. El problema amb el qual ens trobem ara és que la validesa de la fase de ranking no és gaire alta (28%) i volem saber si podem millorar aquest percentatge. Per aconseguir-ho repetim la mateixa prova, però ara fent servir el PCA-Plot, d'aquesta manera aconseguim una informació extra quan realitzem el report.

Resultats del report:

- Fase d'agregació: validesa del 63%
- Fase de ranking: validesa del 22%
- Nou vocabulari: validesa del 76%
- Nova funció de negació: validesa del 91%
- Resultats finals: validesa del 63%

La fase de ranking no millora, però aquest mètode, degut a les eines d'ajuda extra que ens proporciona, ens permet saber més coses sobre les dades. Observem que hi ha molts criteris que no es fan servir a l'hora de realitzar el ranking i que, per tant, podrien ser eliminats sense modificar-la. Aquests criteris són: control, location, no-of-students, male:female ratio, student:faculty ratio, expenses, i quality-of-life.

A continuació mostrem una part de la informació donada pel PCA-Plot durant el report, pel que fa al criteri control:

The criterion *control* has contributed with a low degree in the ranking process, it agrees with the result. This criterion has not contributed to any edge, so that, it could be eliminated without modifying the ranking results.

També hem observat en la informació sobre els criteris, que n'hi ha un (dels quals intervé en la classificació) que no està d'acord amb el resultat final. Aquest criteri és el no_applicants:

The criterion *no applicants* has contributed with a medium degree in the ranking process, but it does not agree with the result.

El que ens està dient aquesta informació és que, com més petit és el nombre de sol·licituds millor és la universitat. Vist des d'un punt de vista lògic no deixa de ser coherent, ja que el fet que una universitat rebi menys sol·licituds vol dir, normalment, que el llistó està més alt, i, per tant, és més prestigiosa.

Prova 4

Finalment, encara que donàvem per bo el resultat obtingut amb 7 clústers, hem decidit realitzar l'estudi fent servir 6 clústers, ja que Tomaso només ens deixa fer servir 6 classes.

Resultats del report:

- Fase d'agregació: validesa del 61%
- Fase de ranking: validesa del 23%

- Nou vocabulari: validesa del 77%
- Nova funció de negació: validesa del 97%
- Resultats finals: validesa del 64%

Per tant, el resultat que hem obtingut finalment és el següent:

- the alternatives with preference value hate are: 25NewJerseyTech, 17GeorgiaTech, 20IllinoisTech, 23UniversityofMontana, 15FloridaTech
- the alternatives with preference value do-not-like are: 30RochesterTech, 40UniversityofMaine, 43UniversityofSanFrancisco, 1Adelphi, 19Hofstra, 47AbileneChristianUniversity, 33Temple
- the alternatives with preference value do-not-mind are: 8CaseWestern, 12CooperUnion, 9CCNY, 27Pratt, 24Morganstate, 32Stevens
- the alternatives with preference value quite-like are: 16Floridastate, 39UniversityofCaliforniaSantaCruz, 2ArizonaState, 38UniversityofCaliforniaSanDiego, 34TexasA&M, 35UniversityofCaliforniaBerkeley, 37UCLosAngeles, 41UniversityofOklahoma, 36UniversityofCaliforniaDavis
- the alternatives with preference value really-enjoy are: 4BostonUniversity, 49Emoryo, 45Worcester, 26NewYorkU, 3BostonCollege, 44USC, 48Brandeiso, 50Georgetown, 7CarnegieMellon, 29Rensselaer, 10Colgate
- the alternatives with preference value love are: 46Yale, 14Dartmouth, 42UniversityofPenn, 22MIT, 18Harvard, 13Cornell, 5Brown, 11Columbia, 28Princeton, 31Stanford, 21JohnsHopkins, 6CalTech

Prova 5

També hem volgut fer una última prova provant de treure tots els criteris que tenien un grau de participació molt baix en la fase de ranking, com per exemple el criteri *location*:

The criterion *location* has contributed with a very low degree in the ranking process, it agrees with the result.

This criterion has not contributed to any edge, so that, it could be eliminated without modifying the ranking results.

Resultats del report:

- Fase d'agregació: validesa del 61%
- Fase de ranking: validesa del 38%
- Nou vocabulari: validesa del 75%
- Nova funció de negació: validesa del 89%
- Resultats finals: validesa del 66%

El resultat obtingut ha millorat una mica l'anterior, però ara no se'ns reparteixen les classes de manera equitativa, de forma que ens quedarem amb el conjunt de dades mostrat en la prova 4.

9.2.2 Proves amb TOMASO

Prova 1

Pel que fa a TOMASO, primer s'ha realitzat una prova general prenent com a referència els resultats obtinguts amb el ClusDM. Hem col·locat les 50 alternatives com a prototipus del model, fixant-nos en les classes de sortida del ClusDM. D'aquesta manera hem pogut comprovar la consistència dels resultats del ClusDM. És a dir, com que no hi ha hagut cap impediment en col·locar les 50 alternatives prototipus prenent com a referència les classes del ClusDM podem concloure que els resultats obtinguts en ClusDM són consistents.

Després d'això, hem començat a dur a terme les proves reals amb el TOMASO per tal de classificar les alternatives. Primer de tot hem provat de classificar les alternatives posant dos prototipus a cada classe. Les alternatives triades com a prototipus han estat les següents:

Classe 1: 21JohnsHopkins, 22MIT

Classe 2: 29Rensselaer, 45Worcester

Classe 3: 34TexasA&M, 35UniversityofCaliforniaBerkeley

Classe 4: 8CaseWestern, 9CCNY

Classe 5: 1Adelphi, 19Hofstra

Classe 6: 20IllinoisTech, 25NewJerseyTech

Els resultats obtinguts en aquesta prova han estat els següents:

1		2		3	
11	4	29	27	34	12
13	5	45	48	35	36
14	6		49	37	38
21	7				43
22	18				44
28	26				
42	31				
46	50				

4		5		6
8	2	1	23	3
9	15	19	47	10
30	16			20
32	17			25
	24			
	33			
	39			
	40			
	41			

Fig 9.4: resultats del TOMASO amb 2 prototipus per classe

Com podem observar en els resultats, les classes han quedat molt mal repartides pel que fa al nombre d'alternatives, i a més a més, tenim una gran quantitat d'alternatives en classes indefinides. Per tant, independentment de si la classificació ha resultat ser bona o dolenta, hem de continuar fent més proves, ja que més de la meitat de les alternatives (en aquest cas 27) han quedat sense classificar. Pel que fa a les alternatives que si que s'han classificat, els resultats han estat força similars als del ClusDM (és a dir, s'assimilen força a la classificació original de les universitats), exceptuant les alternatives 3 i 10, que en TOMASO es troben a la classe 6 i en ClusDM a la classe 2.

Prova 2

En la següent prova que hem realitzat hem afegit un prototipus al model, de manera que les classes que tenim abans de començar amb el procés de decisió són les següents:

Classe 1: 21JohnsHopkins, 22MIT, 6CalTech

Classe 2: 29Rensselaer, 45Worcester, 3BostonCollege

Classe 3: 34TexasA&M, 35UniversityofCaliforniaBerkeley, 41UniversityofOklahoma

Classe 4: 8CaseWestern, 9CCNY, 27Pratt

Classe 5: 1Adelphi, 19Hofstra, 40UniversityofMaine

Classe 6: 15FloridaTech, 17GeorgiaTech, 20IllinoisTech

Els resultats obtinguts han estat els següents:

1		2		3	
5	4	3	2	34	30
6	18	29	7	35	36
11	44	45	16	41	37
13			47		38
14					39
21					43
22					
26					
28					
31					
42					
46					
48					
49					
50					

4		5		6
8	12	1		15
9	32	19		17
10		40		20
23				25
24				
27				
33				

Fig 9.5: resultats del TOMASO amb 3 prototipus per classe

Com podem observar en aquest segon joc de proves, les alternatives tampoc han quedat gaire ben repartides, ja que la immensa majoria han anat a parar a la Classe 1. També cal dir que la Classe 2 i la Classe 3 no han rebut alternatives noves, tenen únicament els prototipus inicials. D'altra banda, les classes indefinides que fan frontera amb aquestes dues classes contenen força alternatives. En aquesta prova, el nombre d'alternatives que no han estat classificades ha estat de 15, bastant inferior a les 27 que teníem en la prova anterior. Si ens fixem en els resultats obtinguts, aquests són força semblants al ranking oficial d'universitats, i tampoc s'allunyen gaire dels resultats obtinguts en ClusDM (a l'apartat 9.3 es compararan els resultats dels quatre mètodes en una taula comparativa).

Per tal d'intentar reduir el nombre d'alternatives classificades en les classes indefinides, s'han realitzat altres proves on s'han estudiat diferents combinacions amb 3 prototipus, però els resultats obtinguts sempre han estat similars o pitjors als de la prova que acabem d'exposar.

Prova 3

Finalment, més per curiositat que no pas per obtenir resultats útils per comparar els mètodes, hem fet una última prova amb quatre prototipus a cada classe (aquesta prova no aportarà gaire informació, ja que estem posant 4 prototipus a cada classe i d'aquesta manera ja classifiquem, prèviament, 24 alternatives). Els prototipus que hem escollit per realitzar aquesta darrera prova són els següents:

Classe 1: 5Brown, 6CalTech, 11Columbia, 13Cornell

Classe 2: 3BostonCollege, 4BostonUniversity, 7CarnegieMelon, 10Colgate

Classe3: 34TexasA&M, 35UniversityofCalifBerkeley, 2ArizonaState, 16FloridaState

Classe 4: 8CaseWestern, 9CCNY, 12CooperUnion, 24Morganstate

Classe 5: 1Adelphi, 19Hofstra, 30RochesterTech, 33Temple

Classe 6: 15FloridaTech, 17GeorgiaTech, 20IllinoisTech, 23UniversityofMontana

I els resultats que hem obtingut són:

1		2		3	
5	50	3	27	2	38
6		4	37	16	
11		7	43	34	
13		10		35	
14		29			
18		44			
21		45			
22		48			
26		49			
28					
31					
42					
46					

4		5		6
8	32	1	41	15
9	36	19		17
12	39	30		20
24	47	33		23
		40		25

Fig 9.6: resultats del TOMASO amb 4 prototipus per classe

En els resultats d'aquesta prova continuen apareixent alternatives en classes indefinides. És cert que els grups surten més ben repartits que en els casos anteriors i que el nombre d'alternatives no classificades és únicament de 10. No obstant això, com ja s'ha explicat, en aquest exemple es partia de quatre prototipus inicials hi hem considerat que no era adequat classificar manualment la meitat de les alternatives abans de resoldre el problema. D'altra banda, s'ha de reconèixer que els resultats obtinguts són millors que els que s'han obtingut amb 2 i 3 prototipus. Per tant, ens hem quedat amb els resultats obtinguts en la prova de tres prototipus.

9.2.3 Proves amb VIPA

Prova 1

La primera prova que hem realitzat amb el VIPA ha estat introduir en el model tots els criteris amb pesos fixos, concretament els mateixos que teníem en ClusDM. Els resultats obtinguts en aquesta prova (recordem que VIPA ens retorna un ranking d'alternatives) són molt semblants als resultats ClusDM i força similars al ranking oficial de les universitats americanes. D'altra banda (igual que en TOMASO), al no rebre cap missatge d'error del sistema al realitzar aquesta prova, hem pogut comprovar, una altra vegada, la consistència del model ClusDM.

Prova 2

En la segona prova que hem dut a terme hem considerat tots els criteris imprecisos, de manera que hem deixat que el sistema els infereixi tots. Tampoc hem afegit cap restricció lineal al model. Aquesta prova només l'hem realitzat per tal d'observar com actua el sistema si no rep cap informació per part del decisor. Els resultats inferits dels pesos per part del sistema han estat els següents: *Control*: 0, *Location*: 0, *Students*: 0.25, *Expenses*: 0.25, *Applicants*: 0, *Academics*: 0.25, *Social*: 0, *Quality*: 0.25, *Male/female*: 0, *Student/faculty*: 0.

Com podem observar, els pesos obtinguts no s'assemblen gaire als pesos originals del ClusDM.

Prova 3

Finalment, hem realitzat la prova que ens servirà per avaluar els resultats en la fase de comparació. En aquesta prova, hem proporcionat al sistema certa informació per tal que aquest acabi de deduir-ne la resta. La informació que ha rebut el sistema per part del decisor, és a dir, per la nostra part, ha estat la següent:

Primer hem introduït una sèrie de restriccions lineals (tal com s'ha explicat en l'apartat 8.3):

		expenses	academics	social	quality	malefamale	studentfacu		
1		1	1	1	1	1	1	=	0.7
		-1				1		=	0
					1		-1	<=	0
						-1	1	=	0
		-1		1				<=	0
					1	-1		<=	0
				1	-1			=	0
			1					>=	0.2
			1					<=	0.4
				1		-1		<=	0

Fig 9.7: Restriccions lineals de la prova VIPA

Aquestes restriccions ens diuen que els pesos dels criteris han de ser: *malefamale* = *expenses*, *quality* <= *studentfaculty*, *studentfaculty* = *malefamale*, *social* <= *expenses*, *quality* <= *malefamale*, *social* = *quality*, $0.2 <= \text{academics} <= 0.4$ i *social* = *malefamale*.

També hem fixat els pesos d'alguns dels criteris, concretament han estat els següents:

Control: 0.1, *Location*: 0.05, *Students*: 0.1, *Expenses*: imprecís, *Applicants*: 0.05, *Academics*: imprecís, *Social*: imprecís, *Quality*: imprecís, *Male/famale*: imprecís, *Student/faculty*: imprecís.

I els resultats que hem obtingut després de realitzar la prova són:

Control: 0.1, *Location*: 0.05, *Students*: 0.1, *Expenses*: 0.1, *Applicants*: 0.05, *Academics*: 0.2, *Social*: 0.1, *Quality*: 0.1, *Male/famale*: 0.1, *Student/faculty*: 0.1.

A continuació, en la figura 9.8, podem observar els resultats que farem servir en el següent apartat per tal d'avaluar aquest software.

Cal recordar que VIPA dóna un interval de valors possibles per al nivell global de preferència de les alternatives. A més aquests intervals no són directament comparables com en els altres mètodes, ja que cada alternativa és optimitzada per separat, per tant, els pesos considerats en cadascuna varien (respectant sempre les restriccions imposades). El fet de sortir sense cap ordre total de preferència en fa difícil la interpretació i per això només mostrem un cop els resultats de la prova. En l'apartat de comparació d'alternatives es classificaran els resultats del ranking VIPA en 6 classes diferents, de manera que podrem interpretar els resultats de forma més intuïtiva.

Cal dir que els resultats obtinguts en aquesta última prova també s'assemblen molt als resultats del ranking de les universitats americanes.

Alternative	Value	Min Value	Max Value
a1		0.49	0.55
a2		0.678	0.738
a3		0.518	0.611
a4		0.714	0.739
a5		0.722	0.807
a6		0.589	0.709
a7		0.644	0.684
a8		0.563	0.583
a9		0.578	0.662
a10		0.526	0.621
a11		0.646	0.735
a12		0.611	0.716
a13		0.733	0.833
a14		0.703	0.78
a15		0.523	0.552
a16		0.623	0.662
a17		0.56	0.64
a18		0.714	0.814
a19		0.431	0.562
a20		0.455	0.495
a21		0.656	0.739
a22		0.679	0.759
a23		0.581	0.601
a24		0.499	0.632
a25		0.443	0.502
a26		0.7	0.74
a27		0.596	0.705
a28		0.696	0.776
a29		0.569	0.642
a30		0.593	0.612
a31		0.731	0.811
a32		0.564	0.58
a33		0.557	0.694
a34		0.66	0.73
a35		0.587	0.686
a36		0.626	0.671
a37		0.667	0.74
a38		0.615	0.655
a39		0.592	0.632
a40		0.507	0.571
a41		0.601	0.633
a42		0.713	0.791
a43		0.62	0.645
a44		0.641	0.716
a45		0.567	0.653
a46		0.748	0.808
a47		0.511	0.603
a48		0.658	0.678
a49		0.69	0.742
a50		0.699	0.757

Fig 9.8: Ranking de les universitats amb VIPA

9.2.4 Proves amb MACBETH

Com que MACBETH es basa en relacions de diferència d'atractiu entre els criteris, no tenim gaires opcions a l'hora de realitzar les proves, ja que ja sabem quins són els criteris que han de ser més atractius que els altres. Per tant, realitzarem dues proves diferents.

En la primera prova considerarem que el criteri *academics* és millor que la resta de criteris, mentre que en la segona prova considerarem que *academics* és millor que un cert conjunt de criteris, i que aquest cert conjunt de criteris, a la seva vegada, és millor que un altre conjunt de criteris.

Prova 1

Per tant, en la primera prova crearem la següent matriu de judicis:

	[academics]	[control]	[location]	[students]	[expenses]	[applicants]	[social]	[life]	[male/female]	[student/facult]	[todo inf.]	Escala actual	
[academics]	nula	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	18.19	extrema
[control]		nula	nula	nula	nula	nula	nula	nula	nula	nula	positiva	9.09	m. fuerte
[location]			nula	nula	nula	nula	nula	nula	nula	nula	positiva	9.09	fuerte
[students]				nula	nula	nula	nula	nula	nula	nula	positiva	9.09	moderada
[expenses]					nula	nula	nula	nula	nula	nula	positiva	9.09	débil
[applicants]						nula	nula	nula	nula	nula	positiva	9.09	muy débil
[social]							nula	nula	nula	nula	positiva	9.09	nula
[life]								nula	nula	nula	positiva	9.09	
[male/female]									nula	nula	positiva	9.09	
[student/facult]										nula	positiva	9.09	
[todo inf.]											nula	0.00	

Juicios consistentes

Fig 9.9: matriu de judicis – cas I

En aquesta matriu es pot observar com la relació de diferència d'atractiu entre el criteri *academics* i la resta de criteris és positiva, mentre que les relacions de diferència d'atractiu entre les parelles de la resta de criteris són nul·les, tal i com s'ha indicat que es duria a terme en aquesta primera prova. Els pesos que genera MACBETH mitjançant la matriu de judicis de la figura 9.9 són els següents:

Control: 0.1819, *Location*: 0.0909, *Students*: 0.0909, *Expenses*: 0.0909, *Applicants*: 0.0909, *Academics*: 0.0909, *Social*: 0.0909, *Quality*: 0.0909, *Male/female*: 0.0909, *Student/faculty*: 0.0909.

Prova 2

En la segona prova, ens hem basat en els pesos que prenen els criteris en ClusDM per tal d'establir les relacions de diferència d'atractiu entre els diferents criteris. Per tant, tenim que *academics* > *control*, *students*, *expenses*, *male/female*, *student/faculty* > *location*, *applicants*, *social*, *quality*.

Per tant, si afegim aquestes relacions a la matriu de judicis, se'ns genera una matriu com la que mostrem a continuació:

Ponderación (criteris)												
	[academics]	[control]	[students]	[expenses]	[male/female]	[student/facult]	[location]	[applicants]	[social]	[life]	[todo inf.]	Escala actual
[academics]	nula	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	17.64
[control]		nula	nula	nula	nula	nula	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	11.76
[students]			nula	nula	nula	nula	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	11.76
[expenses]				nula	nula	nula	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	11.76
[male/female]					nula	nula	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	11.76
[student/facult]						nula	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva	11.76
[location]							nula	nula	nula	nula	positiva	5.89
[applicants]								nula	nula	nula	positiva	5.89
[social]									nula	nula	positiva	5.89
[life]										nula	positiva	5.89
[todo inf.]											nula	0.00

Juicios consistentes

Fig 9.10: matriu de judicis – cas II

Els pesos que genera MACBETH a partir de la matriu de la figura 9.10 són:

Control: 0.1176, *Location*: 0.0589, *Students*: 0.1176, *Expenses*: 0.1176, *Applicants*: 0.0589, *Academics*: 0.1764, *Social*: 0.0589, *Quality*: 0.0589, *Male/female*: 0.1176, *Student/faculty*: 0.1176.

Per tal de realitzar l'estudi, en el següent apartat farem servir els resultats obtinguts en la segona prova, ja que els resultats dels pesos d'aquesta s'assemblen més als pesos usats en les proves amb el ClusDM. D'altra banda, si ens fixem en les dues figures de la pàgina següent, podrem observar que la diferència de puntuació que han rebut les alternatives en les dues proves és mínima. Les dues taules de resultats obtingudes són molt similars, a part que també coincideixen amb el ranking d'universitats oficials.

Opciones	Global
[todo sup.]	100.00
18	72.71
5	71.70
31	70.46
46	69.03
2	68.31
50	68.03
13	68.00
35	67.93
42	67.11
4	66.57
49	66.20
14	65.98
26	64.70
28	63.02
44	62.41
37	62.18
22	61.05
34	60.00
43	59.03
21	58.35
7	58.31
11	58.06
36	56.71
48	55.97
38	55.33
12	55.03
16	54.19
33	52.76
45	52.48
10	52.40
27	52.33
39	52.21
41	51.08
29	50.31
30	49.82
32	49.58
9	49.47
8	48.63
3	48.56
6	48.19
17	47.96
24	46.25
40	46.14
23	45.57
47	45.40
15	43.44
1	41.71
25	36.02
19	35.07
20	34.66
[todo inf.]	0.00

Fig 9.11: resultats MACBETH – cas I

Opciones	Global
[todo sup.]	100.00
18	70.97
46	70.61
13	70.47
31	70.32
5	69.92
35	68.79
42	66.78
4	66.76
2	66.76
49	66.69
26	66.21
14	66.12
50	65.85
37	65.22
28	64.43
34	63.61
22	62.15
44	60.72
43	60.08
12	59.44
21	59.06
48	59.06
36	58.68
7	58.61
11	58.29
38	57.43
27	57.29
33	57.05
16	57.02
39	54.32
10	53.90
41	53.53
30	52.83
9	52.24
6	52.04
45	51.74
29	50.40
47	49.92
8	49.70
32	49.45
24	49.42
17	48.02
40	47.15
23	47.06
1	44.48
15	44.45
3	44.40
19	38.96
25	34.85
20	34.42
[todo inf.]	0.00

Fig 9.12: resultats MACBETH – cas II

9.3 Comparació

En aquest apartat pretenem comparar els resultats obtinguts en les proves realitzades. Primer de tot compararem els pesos dels quatre mètodes mitjançant un gràfic de barres, i seguidament en comentarem els resultats. Després d'això, construirem una taula de comparació on podrem visualitzar les classificacions de les alternatives en els quatre mètodes i observar quin és el grau de coincidència de les diferents classes. Finalment, i per acabar, construirem una altra taula de comparació on podrem observar les relacions de dominància que han aparegut entre les alternatives dels diferents sistemes.

9.3.1 Pesos

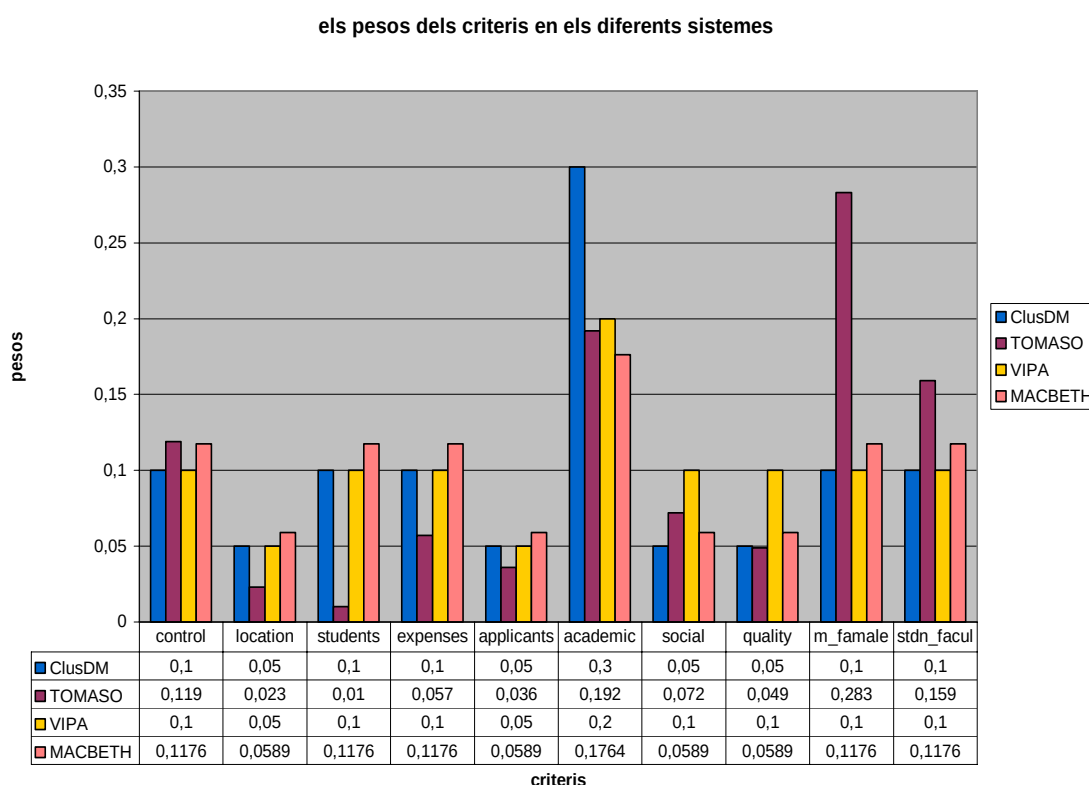


Fig 9.13: comparació dels pesos obtinguts

Abans de comentar els resultats dels pesos, cal recordar que cada software treballa amb aquests de forma diferent. En ClusDM els pesos no s'aprenen, s'introdueixen al sistema juntament amb les dades del model. En VIPA i en MACBETH els pesos s'aprenen gràcies a les restriccions lineals o a les relacions de diferència d'atractiu entre els criteris. En canvi TOMASO és un cas peculiar, ja que els pesos (o índexs d'importància) no s'usen per calcular els resultats. Segons els autors, els índexs d'importància generats pel software donen una idea general de quins podrien haver estat els valors dels pesos en un problema de decisió, però aquests valors no intervenen en el procés. Per tant, és interessant comprovar quines semblances i quines diferències hi ha entre els pesos de ClusDM (no apresos), els pesos de VIPA i MACBETH (apresos) i els pesos de TOMASO (aproximat).

En la figura 9.13 podem observar un gràfic amb els pesos que s'han obtingut pels diferents criteris després de realitzar les proves amb cada software. A simple vista, es

pot observar que els pesos de ClusDM, VIPA i MACBETH són força similars, en canvi, els de TOMASO són lleugerament diferents als de la resta. També podem observar parelles de criteris amb pesos globals similars, com ara *students* i *expenses* (exceptuant el cas TOMASO) i *social* i *quality*. D'altra banda, els criteris *location* i *applicants* han estat els que han obtingut un pes més baix a nivell global, mentre que *academics* ha estat el que ha obtingut un pes més alt, com era d'esperar.

A continuació comentarem un per un els resultats obtinguts per cada criteri:

1. *control*: els resultats són pràcticament iguals en els quatre softwares, es mouen al voltant del 10% del pes total.
2. *location*: TOMASO dóna a aquest criteri un pes molt inferior al que li donen la resta de sistemes. Si la resta de sistemes donen a aquest criteri un pes que està al voltant del 5% total, TOMASO aporta un pes proper al 2%, és a dir, un pes gairebé nul.
3. *students*: aquest criteri és similar a l'anterior. El pes que aporten ClusDM, VIPA i MACBETH està al voltant del 10% del pes total, mentre que, en aquest cas, TOMASO aporta únicament un 1% del pes total. Aquest criteri, en TOMASO, podria considerar-se nul.
4. *expenses*: es repeteixen els casos anteriors. El criteri *expenses* en TOMASO només representa un 5% del pes total, mentre que els altres tres pesos estan igual o per sobre del 10%.
5. *applicants*: en aquest cas els quatre pesos estan al voltant del 5% del pes total, tot i que el pes del criteri en TOMASO és una mica inferior.
6. *academic*: aquest és el criteri amb la mitjana de participació total més elevada. En ClusDM significa un 30% del pes total, mentre que en els altres tres softwares es mou al voltant del 20%.
7. *social*: aquí podem veure com els pesos dels criteris en ClusDM i MACBETH estan al voltant del 5% del pes total, mentre que el pes de TOMASO s'apropa al 7,5% i el de VIPA arriba al 10%.
8. *quality*: Aquí tornem a observar una diferència de puntuació entre VIPA i la resta de sistemes. VIPA dóna al criteri *quality* un 10% del pes total, mentre que la resta de sistemes li donen un pes en torn al 5%.
9. *male/female ratio*: aquest és el criteri on TOMASO pren més diferència respecte als altres sistemes. L'aportació d'aquest criteri en el software TOMASO és gairebé del 30% del pes total, mentre que en els altres softwares l'aportació ronda el 10%.
10. *student/faculty ratio*: Aquí TOMASO torna a prendre avantatge respecte a la resta. En TOMASO se supera el 15% del pes, mentre que en els altres tres sistemes s'està al voltant del 10%.

9.3.2 Alternatives

	ClusDM	TOMASO	VIPA	MACBETH
<i>Classe 1</i>	5, 6, 11, 13, 14, 18, 21, 22, 28, 31, 42, 46	5, 6, 11, 13, 14, 21, 22, 26, 28, 31, 42, 46, 48, 49, 50	4, 5, 13, 14, 18, 26, 28, 31, 42, 46, 50	2, 4, 5, 13, 14, 18, 26, 31, 35, 37, 42, 46, 49, 50
<i>Classe 2</i>	3, 4, 7, 10, 26, 29, 44, 45, 48, 49, 50	4, 18, 44 3, 29, 45	2, 7, 11, 21, 22, 34, 37, 48, 49	12, 21, 22, 28, 34, 43, 44, 48
<i>Classe 3</i>	2, 16, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 41	2, 7, 16, 47 34, 35, 41	6, 12, 16, 27, 30, 36, 38, 39, 41, 43, 44	7, 10, 11, 16, 27, 30, 33, 36, 38, 39, 41
<i>Classe 4</i>	8, 9, 12, 24, 27, 32	30, 36, 37, 38, 39, 43 8, 9, 10, 23, 24, 27, 33	8, 9, 17, 23, 29, 32, 33, 35, 45	6, 8, 9, 17, 23, 24, 29, 32, 40, 45, 47
<i>Classe 5</i>	1, 19, 30, 33, 40, 43, 47	12, 32 1, 19, 40	1, 3, 10, 15, 24, 40, 47	1, 3, 15
<i>Classe 6</i>	15, 17, 20, 23, 25	15, 17, 20, 25	19, 20, 25	19, 20, 25

Taula 9.4: classificació de les alternatives

La taula 9.4 ens fa un resum de com s'han repartit, en els quatre softwares testeats, les alternatives en les diferents classes. La taula que s'ha creat consta de 6 files (una fila per cada classe) i 4 columnes (una columna per cada software). Les alternatives marcades amb verd són aquelles que han coincidit en la mateixa classe en els quatre mètodes. Les alternatives marcades en blau són aquelles que han coincidit en la mateixa classe en tres mètodes, i, finalment, les alternatives marcades en groc són aquelles que han coincidit en la mateixa classe únicament en dos mètodes.

Cal observar que a la columna de TOMASO hi ha més cel·les que a la resta de softwares, concretament hi ha 5 cel·les més. Com ja s'ha explicat, quan TOMASO no té prou informació de les alternatives prototipus per tal de decidir a quina classe ha de col·locar les alternatives, aquest situa les alternatives en classes indefinides intermitges.

Per tal de classificar les alternatives dels mètodes VIPA i MACBETH (aquests softwares només proporcionen un ranking de les alternatives), vam haver de buscar un valor frontera que ens dividís el ranking en sis classes diferents. Aquest valor el vam trobar de la següent manera:

$$\text{valor frontera} = (\text{val max} + \text{val min}) / \# \text{ classes}$$

val max és el valor que pren la millor alternativa del ranking, mentre que *val min* és el valor que pren la pitjor alternativa. Sumant aquests dos valors i dividint-lo pel nombre de classes desitjat, obtenim un valor frontera que ens divideix el ranking en 6 rangs de valors iguals.

A continuació comentarem de quina forma han coincidit les alternatives en les 6 classes. Podem observar 4 casos diferents:

1. *alternatives que han coincidit en la mateixa classe en els quatre mètodes:* 1, 5, 8, 9, 13, 14, 20, 25, 31, 41, 42, 46. Aquestes han estat 12 alternatives, per tant, podem dir que un 24% de les 50 alternatives han anat a parar a la mateixa classe en tots els mètodes. Si consideréssim les alternatives que es troben en les classes intermitges de TOMASO, tindríem 6 coincidències més: 16, 18, 32, 36, 38, 39. Si els donem un valor de $\frac{1}{2}$, passem de tenir un 24% de coincidències a un 30%.
2. *alternatives que han coincidit en la mateixa classe en tres mètodes:* 16, 18, 23, 24, 26, 28, 32, 36, 38, 39, 40, 48, 50. En aquest cas podem comptar 13 alternatives diferents, per tant, podem dir que un 26% de les 50 alternatives s'han trobat en la mateixa classe en tres mètodes diferents. En aquest cas les alternatives de les classes intermitges que incrementarien el nombre de coincidències són: 4, 7, 30, 44. Donant-los el mateix valor que abans, $\frac{1}{2}$, passem de tenir un 26 % de coincidències a un 30%.
3. *alternatives que han coincidit en la mateixa classe en dos mètodes:* 3, 4, 6, 7, 11, 15, 17, 19, 21, 22, 27, 29, 30, 33, 34, 35, 44, 45, 47, 49. Aquest cas és el més típic de tots, ja que s'ha repetit en 20 alternatives. Per tant, el percentatge d'alternatives que s'han trobat en la mateixa classe en dos mètodes diferents és del 40%. Si comptabilitzem les alternatives de les classes intermitges, 2, 4, 7, 12, 37 i 43, passem d'un 40% de coincidències a un 50%. En aquest punt també podem distingir dos casos diferents, ja que hi ha alternatives que han coincidit en

la mateixa classe en dos mètodes i han tornat a coincidir en una altra classe en els dos mètodes restants, per tant:

3.1 *alternatives amb dos parells de coincidències*: 3, 15, 17, 19, 21, 2, 27, 29, 34, 45, 49. Aquest cas representa el 22% de les 50 alternatives, ja que se n'han comptat 11.

3.2 *alternatives amb un parell de coincidències*: 4, 6, 7, 11, 30, 33, 35, 44, 47. Aquest cas representa el 18% de les 50 alternatives, ja que se n'han comptat 9.

4. *alternatives que no han coincidit en cap classe*: 2, 10, 12, 37, 43. Cinc alternatives, és a dir, el 10% del total, no ha coincidit en cap classe. Si comptem les alternatives de les classes intermitges veiem que les alternatives 2, 12, 37 i 43 podrien coincidir amb alguna d'aquestes alternatives. Per tant, si les restem amb el valor de $\frac{1}{2}$ a les 5 alternatives anteriors ens quedarien 3 alternatives. D'aquesta manera reduiríem el percentatge d'alternatives que no han coincidit en cap classe del 10% al 6%.

Després d'aquest anàlisi podem concloure que els resultats han estat força positius, ja que les coincidències entre les classes han estat força elevades. També hem pogut observar que en la majoria dels casos en que dues alternatives no coincideixen, aquestes es troben en classes veïnes. Tot seguit valorarem el ClusDM de forma individual. Valorarem la coincidència d'aquest amb les alternatives de la resta de mètodes.

1. *ClusDM – TOMASO*: 1, 3, 5, 6, 8, 9, 11, 13, 14, 15, 17, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 31, 34, 35, 40, 41, 42, 45, 46. ClusDM i TOMASO coincideixen en 28 alternatives. Això vol dir que els dos mètodes classifiquen el 56% de les alternatives de la mateixa manera. Tal i com hem realitzat en els anàlisis anteriors, tindrem en compte les alternatives de les classes intermitges que podrien coincidir amb les del ClusDM, aquestes són: 2, 4, 7, 12, 16, 18, 32, 36, 37, 38, 39, 44. Si valorem aquestes 12 alternatives en $\frac{1}{2}$, passariem a tenir un 68% de coincidències.
2. *ClusDM – VIPA*: 1, 5, 7, 8, 9, 13, 14, 16, 18, 20, 25, 28, 31, 32, 36, 38, 39, 40, 41, 42, 46, 48, 49. ClusDM i VIPA coincideixen en 23 alternatives. Per tant, aquests dos mètodes classifiquen el 46% de les alternatives de la mateixa manera.
3. *ClusDM – MACBETH*: 1, 5, 8, 9, 13, 14, 16, 18, 20, 24, 25, 31, 32, 36, 38, 39, 41, 42, 44, 46, 48. Aquests dos mètodes coincideixen en 21 alternatives per tant podem dir que en classifiquen el 42% del total de la mateixa forma.

A simple vista, sembla que el software més compatible amb ClusDM sigui TOMASO, però no hem d'oblidar que 18 de les 50 alternatives totals les hem classificat nosaltres prèviament, ja que hem decidit usar 3 prototipus per classe com ja s'ha explicat. Per tant, de les 28 coincidències que teníem entre TOMASO i ClusDM, passariem a tenir-ne 10, i el percentatge de coincidència entre els dos mètodes passaria a ser del 24%. De totes maneres, no podem dir que TOMASO sigui el mètode que més discrepa del ClusDM (56% de coincidència), però tampoc podem afirmar que sigui el més semblant.

9.3.3 Dominància

En aquest apartat volem fer un petit estudi de les relacions de dominància que hi ha entre les alternatives dels diferents softwares. El que es vol fer és, tal i com s'ha fet en l'apartat anterior, veure de quina manera coincideixen aquestes relacions entre els diferents softwares. Abans d'exposar els resultats, cal concretar les diferents característiques de dominància dels nostres softwares.

Per començar, ClusDM no incorpora aquesta opció. Per tant, ens centrarem en els altres tres mètodes. TOMASO permet observar les diferents relacions de dominància que hi ha al model abans de classificar les alternatives, és a dir, permet observar les relacions de dominància entre els diferents prototipus. Després d'aplicar l'eina de dominància en TOMASO, observem que no hi ha cap alternativa prototipus que en domini cap altra, i, per tant, TOMASO tampoc ens aporta cap informació pel que fa al tema de dominància (en el nostre problema).

Pel que fa als altres dos softwares, val a dir que els dos ens mostren una taula de sortida amb totes les relacions de dominància de les diferents alternatives del problema, però també s'ha d'explicar que aquests dos softwares tenen conceptes diferents de dominància.

La taula de confrontació de VIPA ens informa de les alternatives que són dominades mitjançant un valor numèric. Aquesta xifra ens diu quina és la diferència màxima de valor entre dues alternatives quan aquestes són comparades. Si el valor està marcat en vermell (per defecte ho estan tots els valors més petits que 0) tindrem una relació de dominància.

MACBETH s'aproxima més a la definició original de dominància: una alternativa en domina una altra si és almenys tan atractiva com l'altra en tots els criteris, i més atractiva en almenys un criteri.

Per tant, tenim dos sistemes amb dos conceptes diferents de dominància:

1. VIPA es fixa en un valor final de comparació, mentre que
2. MACBETH es fixa en el valor de cada criteri.

De totes maneres, a continuació mostrem una taula (dividida en quatre parts) amb totes les relacions de dominància que trobem en ambdós softwares. Les relacions de dominància les representarem tal i com es mostra a continuació :

-  : relació de dominància VIPA.
-  : relació de dominància MACBETH.
-  : relació de dominància en ambdós softwares.

En la taula, l'alternativa de la fila domina a l'alternativa de la columna.

Després d'observar la taula, podem concloure que no és gaire interessant comparar dos mètodes amb dominàncies que segueixen patrons diferents, ja que, com es pot veure, hi ha moltes més relacions de dominància en VIPA que no pas en MACBETH. D'altra banda, podem dir que totes les relacions de dominància de MACBETH coincideixen amb les de VIPA excepte en un cas. La relació discordant entre totes les relacions de dominància de la taula és la relació MACBETH entre el parell d'alternatives (35,17).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1																									
2																									
3																									
4																									
5																									
6																									
7																									
8																									
9																									
10																									
11																									
12																									
13																									
14																									
15																									
16																									
17																									
18																									
19																									
20																									
21																									
22																									
23																									
24																									
25																									

Taula 9.5: relacions de dominància en VIPA i MACBETH – part I

	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
1																									
2				■	■		■	■		■	■		■	■	■	■		■		■		■			
3																									
4		■		■	■		■	■		■	■		■	■	■	■		■	■	■		■	■		
5		■	■	■	■		■	■		■	■		■	■	■	■		■	■	■		■	■	■	■
6							■								■							■			
7				■	■		■							■	■	■		■		■		■			
8																									
9															■							■			
10																									
11				■	■		■							■	■	■				■		■			
12		■			■		■	■							■	■						■			
13	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■	■		
14				■	■		■	■		■	■		■	■	■	■		■	■	■		■	■		
15																									
16					■		■							■	■	■				■		■			
17																									
18	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		■	■	■		■	■		
19																									
20																									
21				■	■		■						■	■	■	■		■		■		■			
22				■	■		■			■	■		■	■	■	■		■	■	■		■	■		
23							■								■										
24																									
25																									

Taula 9.6: relacions de dominància en VIPA i MACBETH – part II

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
26																									
27																									
28																									
29																									
30																									
31																									
32																									
33																									
34																									
35																									
36																									
37																									
38																									
39																									
40																									
41																									
42																									
43																									
44																									
45																									
46																									
47																									
48																									
49																									
50																									

Taula 9.7: relacions de dominància en VIPA i MACBETH – part III

	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
26																									
27																									
28																									
29																									
30																									
31																									
32																									
33																									
34																									
35																									
36																									
37																									
38																									
39																									
40																									
41																									
42																									
43																									
44																									
45																									
46																									
47																									
48																									
49																									
50																									

Taula 9.8: relacions de dominància en VIPA i MACBETH – part IV

10 Conclusions

Per començar amb les conclusions, crec que els objectius que s'havien fixat abans de començar a realitzar el projecte s'han complert degudament. Primer de tot hem estudiat les principals característiques dels sistemes d'ajuda a la decisió. Seguidament hem realitzat la descripció d'una bona quantitat de sistemes i hem construït una taula comparativa amb les característiques apreses en la fase anterior. Finalment hem realitzat l'estudi comparatiu de tres softwares d'ajuda a la presa de decisions més el ClusDM.

Filant molt prim, podem dir que un dels objectius (secundaris) que no s'ha acabat de complir durant la realització del projecte ha estat el no haver pogut trobar softwares idonis per dur a terme la comparació d'aquests. El que es pretenia abans de començar a desenvolupar el projecte era trobar sistemes amb característiques similars a les del ClusDM, és a dir, es desitjava treballar amb sistemes que acceptessin informació numèrica i lingüística, que classifiquessin les alternatives en clústers ordenats, que treballessin amb funcions d'utilitat, etc. Però el cas és que degut a la immensa varietat de softwares i a la poca disponibilitat d'aquests, hem hagut de realitzar les proves amb algun software que no era del tot interessant per les característiques del ClusDM. La idea de treballar amb TOMASO i MACBETH ja ens agradava, ja que el primer classifica les alternatives en classes ordenades (igual que ClusDM) i el segon permet l'entrada d'informació numèrica i lingüística al sistema (igual que ClusDM). Però pel que fa al VIP Analysis, l'hem hagut d'escollir una mica per falta d'opcions, ja que aquest mètode només treballa amb informació numèrica i tampoc classifica les alternatives en clústers ordenats, fa un ranking d'alternatives. Per tant, hem estat estudiant i treballant amb un sistema que no era gaire adequat en el nostre projecte. De totes maneres, VIPA ha resultat ser un software amb eines força similars a les de MACBETH i això ens ha permès realitzar un bon estudi comparatiu.

Pel que fa a l'experiència personal, la realització d'aquest projecte m'ha permès aprendre molt sobre un camp de la Intel·ligència Artificial que m'era completament desconegut, ja que aquesta branca de la IA no s'estudia durant la carrera. Un altre dels aspectes que destacaria, és el fet d'haver après a treballar en un projecte des de zero, sense haver estudiat la teoria ni els conceptes bàsics prèviament (tot i que he estat molt ben guiat durant tot el projecte). Un altre punt interessant, ha estat haver de llegir la immensa majoria de la documentació del projecte en anglès, cosa que m'ha anat molt bé per aprendre nou vocabulari i tornar a posar en pràctica l'idioma després d'una llarga temporada. Finalment, i per acabar, el fet d'haver realitzat un informe complet del PFC m'ha permès aprendre a redactar documentació tècnica, i també m'ha permès aprendre les pautes bàsiques que s'han de seguir per tal de redactar un document d'aquestes característiques.

11 Referències

11.1 Bibliografia

[Bana et al., 2005] Bana, A., De Corte, J. M., Vansnick, J. C., *M-MACBETH Versión 1.1, Guía del usuario*, julio 2005.

[Bouyssou et al., 2006] Bouyssou, D., Marchant, T., Pirlot, M., Vincke, P., *Evaluation and decision models with multiple criteria*. Stepping stones for the analyst. Ed. Springer, 2006

[Casals, 2005] Casals, J., Valls, A., *Recull de Sistemes Intel·ligents que Justifiquen el Process de Presa de Decisions*, Report de Recerca de la Universitat Rovira i Virgili, DEIM-RR-05-005. 2005.

[Dias et al., 2000] Dias, L. C., Clímaco, J. N., *Additive Agregation with Variable Interdependent Parameters: the VIP Analysis Software*, Journal of the Operational Research Society, Vol. 51, No 9, pp. 1070-1082, 2000.

[Figueira et al., 2005] Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M. (Eds), *Multiple criteria decision analysis. State of the art surveys*, Springer, 2005.

[Fülöp, 2005] Fülöp, J., *Introduction to the Decision Making Methods*, Working paper of the Laboratory of Operations Research and Decision Systems, Computer and Automation Institute, Hungarian Academy of Sciences, 2005.
<http://www.evergreen.edu/bdei/documents/decisionmakingmethods.pdf>

[Jain&Dubes, 1988] Jain, A.L., Dubes, R.C., *Algorithms for clustering data*, Prentice-Hall, 1988.

[kaliszewski, 2006] kaliszewski, I., *Soft Computing for Complex Multiple Criteria Decision Making*, Springer, 2006.

[Keeney&Raiffa, 1976] R.Keeny, H.Raiffa, *Decisions with multiple objecties: preferences and value tradeoffs*, Wiley and Sons, 1976.

[Klir et al., 1988] Klir, G., Folger, T., *Fuzzy Sets, Uncertainty, and Iinformation*, Prentice Hall, 1988.

[Marichal et al, 2003] Marichal, J. L., Meyer, P., Roubens, M., *Sorting multi-attribute alternatives: The TOMASO method*, Computers & Operations Research, 2003.

[Pearson, 1901] Pearson, K. On the lines and planes of closest fit to systems of points in space, Phil. Mag. Ser. B, 2, 559-572,1901.

[Ríos et al., 2002] S.Ríos, C.Bielza, A. Mateos, *Fundamentos de los Sistemas de Ayuda a la Toma de Decisiones*, Ed Ra-Ma (2002).

[Torra, 2006] Vicenç Torra, Sistemes Difusos, *Incertesa i Raonament Aproximat*, Universitat Oberta de Catalunya.

[Valls, 2003] Valls, A., *ClusDM: A Multiple Criteria Decision Method for Heterogeneous Data Sets*, Monografies de l'Institut d'investigació en Intel·ligència Artificial, número 17, 2003.

[Valls et al., 2005] Aida Valls, Vicenç Torra, Joan Casals, *ClusDM User's Guide version 1.0*, Working paper of the Banzai: Grup de Recerca en Intel·ligència Artificial de la URV. 2005

[Vincke, 2003] P. Vincke, *Forum about Robustness Analysis*, EWG-MCDA Newsletter, Series 3, No.8, Fall 2003, <http://www.inescc.pt/~ewgmcda/ForVincke.html>

[Zadeh, 1965] Zadeh, L.A., Fuzzy Sets, *Information and Control*, 8(3), pp.338-353 (1965).

11.2 Recursos Web

[David, 2006] C.David, *Decision Aid*, www.christophedavid.org.

Glosario Multicriterio <http://www.unesco.org.uy/red-m/glosariom.htm>.

[mc_sc2, 2006] *Multiple Criteria Grouping Problems*, http://monet.fe.uc.pt/mc_sc2.

[MLRepository, 1988] <http://www.ics.uci.edu/~mlearn/MLRepository.html>

[USNews, 2006]
http://www.usnews.com/usnews/edu/college/rankings/rankindex_brief.php