

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
FACULTAT D'INFORMÀTICA DE BARCELONA

TESI DOCTORAL

**EAR*:
SISTEMA D'AJUT A L'ADQUISICIÓ I
ESTRUCTURACIÓ DE CONEIXEMENTS**

Enric Plaza i Cervera

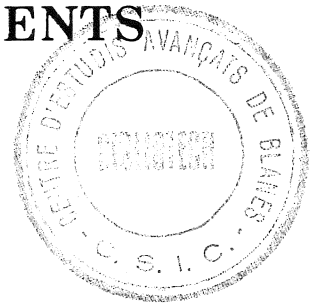
Director: Ramon López de Mántaras

Maig 1987

REGISTRADA
1.119

EAR*: SISTEMA D'AJUT A L'ADQUISICIÓ I ESTRUCTURACIÓ DE CONEIXEMENTS

Enric Plaza i Cervera



*FACULTAT D'INFORMÀTICA DE BARCELONA
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA*

SUMARI:

Aquesta memòria presenta una metodologia i un sistema implementat per a ajudar als enginyers de coneixements en les primeres etapes de l'adquisició de coneixements en la construcció de sistemes experts. La metodologia i el sistema **EAR*** tenen com objectiu de construir una base de coneixements, en un estadi força desenvolupat, amb una descripció a nivell de coneixements, independent de la implementació, guiat per la nostra comprensió actual de l'estructura genèrica dels sistemes experts de classificació heurística. Les tècniques que s'usen en un cicle conceptual anomenat **EAR** (Explicitar-Analitzar-Refinar) permeten l'adquisició i estructuració de l'expertesa fora del paradigma del «rapid prototyping», en el qual el refinament dels coneixements es mescla amb problemes de control i on un esquema d'implementació ja ha d'haver estat decidit. El sistema **EAR*** implementa protocols d'entrevista per a l'explicitació de coneixements de l'expert, guiat per l'anàlisi dels coneixements ja adquirits, tot gestionant un diàleg en el qual s'enfoca l'atenció de l'expert en les àrees de desacord i aplicant-hi els procediments adients de resolució de desacords que implementen el refinament de coneixements. Els protocols d'entrevista també donen suport a l'adquisició i agregació de coneixements de múltiples experts i a un procés estructurat de negociació per al consens i síntesi automàtica de judicis valoratius.

RESUMEN:

Esta memoria presenta una metodología y un sistema implementado para ayudar a los ingenieros de conocimientos en las primeras etapas de la adquisición de conocimientos en la construcción de sistemas expertos. La metodología y el sistema EAR tienen como objetivo la construcción de una base de conocimientos, en un estadio avanzado, con una descripción a nivel de conocimientos, independiente de la implementación, guiado por nuestra comprensión actual de la estructura genérica de los sistemas expertos de clasificación heurística. Las técnicas empleadas en un ciclo conceptual llamado EAR (Explicitar-Analizar-Refinar) permiten la adquisición y estructuración de la pericia lejos del paradigma del «rapid prototyping», en el cual el refinado de los conocimientos se mezcla con problemas de control i donde un esquema de implementación ya debe haber estado decidido. El sistema EAR* implementa protocolos de entrevista para la explicitación de conocimientos del experto, guiado por el análisis de los conocimientos ya adquiridos, gestionando un diálogo en el que se enfoca la atención del experto en las áreas de desacuerdo y aplicando procedimientos adecuados de resolución de desacuerdos que implementan el refinado de conocimientos. Los protocolos de entrevista dan también soporte a la adquisición i agregación de conocimientos de múltiples expertos i a un proceso estructurado de negociación para el consenso y la síntesis automática de juicios valorativos.*

ABSTRACT:

EAR*: An Assistant for Acquiring and Structuring Knowledge

We present a methodology and an implemented system for knowledge acquisition. The methodology is partly based on Personal Construct Psychology although generalized in order to increase its expressive power. Its goal is to build an implementation-independent knowledge-level description of the target knowledge base, guided by our understanding of the general structure of heuristic classification systems. The system implements interview protocols for eliciting the expert knowledge through a dialogue guided by the analysis of the already acquired knowledge. The conceptual mechanism involved is the EAR (Elicit-Analyze-Refine) cycle, focusing the expert on his disagreements about the system analysis and engaging him in the apposite disagreement resolution procedures that implement knowledge refinement. The interview protocols also support acquisition and aggregation of knowledge from multiple experts and a structured process of negotiation for consensus.

Keywords: *Knowledge elicitation, knowledge base design, knowledge structuring, Personal Construct Theory, fuzzy prototypes, learning from examples, contrastive sets, multiple taxonomies, consensus, synthesis of judgements, heuristic classification, heuristics discovery.*

La définition 'naive' de l'ensemble, donnée par Cantor était: «Un ensemble est une collection en un tout d'objets définis et distincts de notre intuition ou de notre pensée. Ces objets sont appelés les éléments de l'ensemble.» (...) Elle exhibe précisément le caractère indéfinissable, sinon circulairement, des premiers termes de la théorie des ensembles (et de toute logique ou mathématique), montre que celle-ci est posée d'emblée ou qu'elle ne peut être constituée qu'en présupposant qu'elle a déjà été constituée.

Legein: distinguer-choisir-poser-rassembler-compter-dire: condition à la fois et création de la société, condition créée par ce qu'elle-même conditionne. (...) Pour pouvoir parler d'un ensemble, ou penser un ensemble, il faut pouvoir distinguer-choisir-poser-rassembler-compter-dire des objets. (...) Il faut pouvoir poser ces objets comme définis, au sens d'une définition décisive-pratique, et distincts. Il faut donc pouvoir poser en distinguant -ou pouvoir faire comme si on pouvait distinguer; et pouvoir poser en définissant -ou pouvoir parler comme si l'on pouvait définir, à savoir de manière que ce qui est visé soit aussi, parle moyen de dire, désigné suffisamment et adéquatement à la visé des autres.

Cornelius Castoriadis, L'Institution Imaginaire de la Société

Capítol I. INTRODUCCIÓ

Aquesta memòria presenta una metodologia i un sistema implementat per a ajudar als enginyers de coneixements en les primeres etapes de l'adquisició de coneixements en la construcció de sistemes experts. La metodologia i el sistema **EAR*** tenen com objectiu de construir una base de coneixements, en un estadi força desenvolupat, amb una descripció a nivell de coneixements, independent de la implementació, guiat per la nostra comprensió actual de l'estructura genèrica dels sistemes experts de classificació heurística. Les tècniques que s'usen en un cicle conceptual anomenat EAR (Explicitar-Analitzar-Refinar) permeten l'adquisició i estructuració de l'expertesa fora del paradigma del «*rapid prototyping*», en el qual el refinament dels coneixements es mescla amb problemes de control i on un esquema d'implementació ja ha d'haver estat decidit. El sistema **EAR*** implementa protocols d'entrevista per a l'explicitació de coneixements de l'expert, guiat per l'anàlisi dels coneixements ja adquirits, tot gestionant un diàleg en el qual s'enfoca l'atenció de l'expert en les *àrees de desacord* i aplicant-hi els procediments adients de resolució de desacords que implementen el refinament de coneixements. Els protocols d'entrevista també donen suport a l'adquisició i agregació de coneixements de múltiples experts i a un procés estructurat de negociació per al consens i síntesi automàtica de judicis.

En essència, **EAR*** incorpora la descripció desenvolupada per Clancey (1984) dels sistemes experts de classificació heurística, és a dir d'aquells sistemes que tracten amb un espai de problemes en el qual existeix un nombre finit de solucions possibles. Aquest coneixement ens permet de d'adaptar uns protocols d'entrevista per a l'explicitació de coneixements de la Psicologia dels Constructes Personals (Kelly, 1955) a les necessitats de la problemàtica de l'adquisició de coneixements. Com a resultat **EAR*** dona suport a una generalització de les tècniques de la Psicologia dels Constructes Personals utilitzant la teoria dels conjunts difusos per tal de donar cabuda a predicats lingüístics del tipus "El diagnòstic de *Clamydia* pel malalt X és *Moderadament Possible*" i a predicats multivaluats en lloc de bivaluats. Aquesta solució s'adopta d'acord amb els estudis de l'anàlisi semàntica que defineix els *conjunts contrastatius* com els conjunts de termes lingüístics (que en un context i en vistes a un objectiu) les persones empren per contrastar, comparar, discriminar, etc. **EAR*** suporta els conjunts contrastatius de termes lingüístics mitjançant distribucions de possibilitat que satisfan les propietats requerides per l'anàlisi semàntica que són rellevants en una interacció home-màquina com la que realitza el sistema. A més la representació dels conjunts contrastatius amb conjunts difusos ens permet integrar en **EAR***, junt amb aquestes tècniques psicològiques, mètodes de sumarització de dades i d'aprenentatge automàtic de descripcions conceptuals de classes (learning from examples) que desenvolupem per a l'abstracció de dades.

El sistema **EAR*** és un programa escrit en VAX *Common Lisp* i implementat en una monousuari AI VAXSTATION de DEC al Centre d'Estudis Avançats de Blanes i utilitza el paquet de gràfics GKS. La mida aproximada del programa, sense comptar la part desenvolupada per a la construcció de gràfics no suportada pel VAXLISP, és d'unes sis mil tres-centes línies de codi (si es calcula un 80% de codi i un 20% de documentació de les funcions). Una descripció del treball en curs és en vies de publicació en el transcurs d'enguany (Plaza i López de Màntaras, 1987).

Capítol II. FONAMENTACIÓ TEÒRICA DEL SISTEMA EAR*

Il faut donc disposer du schème de la séparation, et de son produit essentiel, toujours présumé déjà dans l'opération du schème de la separation, le terme, ou l'élément. A partir de quoi pourrait-on séparer deux objets, si ce n'est à partir de traits ou termes -à la limite d'un seul terme, le point que sépare un segment en deux- déjà posés comme séparés? Le schème de la séparation, ou de la discrétion, n'est pas seulement irréductible; son application présuppose qu'il a déjà été appliqué.

C. Castoriadis

Aquest capítol presenta la fonamentació teòrica de la metodologia i del sistema EAR*, els seus objectius i àmbit d'aplicació, així com els principis i pressupòsits, i per tant també limitacions, dels que parteix. EAR* és un sistema d'ajut als enginyers de coneixements en els primers estadis d'adquisició de coneixements. El seu objectiu és de *dissenyar* l'estructura d'una base de coneixements força desenvolupada, descrita al *nivell de coneixements* (knowledge-level description), independent de la implementació posterior. Les tècniques que s'utilitzen, en un cicle conceptual que anomenem EAR (*Explicitar-Analitzar-Refinar*), permet l'adquisició i estructuració d'expertesa fora del paradigma del *rapid prototyping*, en el qual el refinament dels coneixements es mescla amb problemes de control i on un esquema d'implementació ja ha d'haver estat decidit. El sistema EAR* explicita els coneixements de l'expert guiat per l'anàlisi dels coneixements ja adquirits, tot gestionant un diàleg en el qual s'enfoca l'atenció de l'expert en les *àrees de desacord* i realitzant-hi procediments de refinament de coneixements.

2.1. EAR* com a sistema basat en coneixements

Des d'un punt de vista conceptual, un sistema per a l'adquisició i estructuració de coneixements és un sistema basat en coneixements que necessita i ha d'integrar tres tipus de sabers:

- i) *Coneixements sobre l'estructura de les bases de coneixements:*
les anàlisis i els procediments de refinament usats són guiats pel coneixement del sistema de les estructures que té com objectiu de construir. Sabem que al menys tres tipus de coneixements (Clancey, 1983) han de ser suportats per una base de coneixements:
 - *coneixements heuristics:* comunament expressats en regles amb factors d'incertesa i basats en assumpcions de tipicalitat,
 - *coneixements de suport:* que s'usen per justificar les regles i explicar el raonament.
 - *coneixements estructurals:* relacions jeràrquiques i d'abstracció dels conceptes inclosos a la base de coneixements tals com abstracció definicional, abstracció qualitativa i generalització.
- La propera secció tracta en detall aquest tema i més endavant mostrarem com EAR* suporta mecanismes per als tres tipus de coneixements.
- ii) *Coneixements sobre les anàlisis:*
el sistema ha d'incorporar tècniques d'anàlisi adients per tal de detectar els diferents tipus d'estructures (heurístiques, abstracció, prototípiques) que poden donar-se, a partir de les dades extretes.
- iii) *Coneixements sobre gestió del diàleg:*
per tal de validar les estructures creades per les anàlisis, el sistema ha de menar un diàleg amb l'expert i ha de gestionar la resolució de desacords. Aquest procés inclou presentar l'estructura de forma sintètica i entenedora, ajudar l'expert a expressar clarament els seus desacords, i, segons el tipus de desacord, saber les accions possibles a emprendre per tal de corregir-lo i les tècniques a usar-hi.

Les següents seccions d'aquest Capítol tractaran amb detall com **EAR*** encara aquestes qüestions comuns a qualsevol sistema d'explicitació i estructuració de coneixements. A partir d'ara utilitzarem com a exemples per il·lustrar el desenvolupament de la present memòria dues bases de coneixements dissenyades amb l'ajut d'**EAR***: la primera anomenada **TOOLS** és un assistent sobre eines per a la construcció de sistemes basats en coneixements, i la segona, **TRACT-PNEUMO**, és un consultor sobre el tractament de pneumònies.

2.2. Estructura de les bases de coneixements

De primer, cal tractar més en detall el que se sap avui sobre aquestes entitats que volem dissenyar i que han rebut el nom de "bases de coneixements". ¿Quants tipus d'implementacions hi ha i quines característiques tenen? ¿I quina relació tenen aquestes implementacions amb diferents tipus de tasques (típicament, el diagnòstic mèdic) que es volen cobrir amb els sistemes experts?

De vegades s'ha classificat els sistemes experts segons les categories de les aplicacions (Hayes-Roth et al, 1983). Un altre tipus de categorització pot ser tenir en compte les característiques computacionals de les implementacions ("regles", "frames", "pissarras", "unitats"). Per tal d'unir aquestes dues perspectives cal un pont que relacioni el *tipus de problema* que una tasca comporta amb el *tipus de mètode* que un sistema expert pot usar per a resoldre'l. Clancey (1985) ha realitzat un estudi dels programes dels sistemes experts que dona una *descripció a nivell de coneixements*, independentment de la implementació d'aquests. Aquesta metodologia permet d'analitzar els tipus de problemes i els tipus de mètodes de resolució de problemes introduint un nivell intermedi d'especificació dels coneixements basant-se en:

- a) distingir entre la selecció i la construcció de solucions,
- b) distingir entre els tipus de coneixements explicats a la secció anterior,
- c) entendre la inferència com a seqüències de classificacions lligades per associacions heurístiques.

En resum, la distinció bàsica és entre els mètodes de resolució de problemes que tenen un coneixement a priori del conjunt finit de solucions del problema (mètodes de classificació o analítics) i els que no els tenen i per tant han de *formular* una solució (mètodes de síntesi) configurar-la a partir de components primitius de solucions.

2.3. Mètodes analítics de resolució de problemes

Enfocarem ara la nostra atenció en els mètodes de resolució de problemes analítics, és a dir en aquells que tenen com a objectiu la *selecció* d'una llista pre-enumerada de solucions possibles. Quant als mètodes de resolució de problemes sintètics, per bé que no els tractarem en aquesta memòria, val a dir que el que segueix continua essent vàlid per a la component analítica que necessàriament hi comporten.

2.3.1. Classificació simple

Típicament, el problema a resoldre en una classificació de tipus simple és la identificació d'un objecte desconegut com a membre d'una categoria coneguda, i un exemple paradigmàtic és la identificació d'un ésser vivent dins d'una taxonomia. El procés d'identificació és fer correspondre les característiques d'un objecte desconegut amb les de les categories. Aquestes categories s'organitzen habitualment de forma jeràrquica, on les categories especifiquen les característiques que *necessàriament* ha de tenir-hi un membre. En general, l'organització de les categories és *heteràrquica*, és a dir, és una estructura de jerarquies entremesclades amb parels múltiples. La identificació d'un objecte, en casos en els quals es treballi amb evidència aproximada o incompleta, dona correspondències parcials que fan que la solució, en lloc d'ésser única, es doni habitualment com una llista ordenada de solucions plausibles.

2.3.2 Abstracció de dades

En dominis més complexes, les característiques del problema no venen donades immediatament per les dades sino que cal inferir-les a partir de l'evidència disponible mitjançant l'*abstracció de dades*. Seguint Clancey (1984), hi ha tres tipus de relacions d'abstracció en bases de coneixements:

- a) *abstracció definicional*: és la relació d'abstracció bastida sobre característiques necessàries d'una categoria. Per exemple, "si l'antibiòtic és amfotericina-b, aleshores és un antifúngic".
- b) *abstracció qualitativa*: és una relació de definició sobre dades quantitatives, normalment respecte d'un valor de llindar. Per exemple, "si el recompte de leucòcits és menor de 4000, aleshores hi ha leucopènia", o bé "si el pacient ha tingut alguna reacció negativa a l'administració d'algun derivat de la penicilina, aleshores és alèrgic a les penicilines".
- c) *generalització* dins d'una jerarquia de tipus. Per exemple, "si l'organisme és *aspèrgirus*, aleshores és un fong".

Aquests coneixements expressats per l'abstracció, que usualment no comporten incertesa, els anomenarem en aquesta memòria *coneixements estructurals*, seguint la terminologia d'un altre article (Clancey, 1983) per raons de consistència.

2.3.3 Classificació heurística

En els dos paràgrafs anteriors, el procés de selecció de la solució es realitza buscant una correspondència entre les dades (i llurs abstraccions) i les solucions (i llurs abstraccions). En canvi, en la classificació heurística, endemés, les dades obtenen una correspondència amb les solucions (o les característiques de les solucions en una abstracció) a partir de relacions d'associació directes i no jeràrquiques en les quals s'associa heurísticament a un concepte, dins una jerarquia, una solució o classe de solucions en una altra jerarquia. L'esquema genèric d'aquesta estructura inferencial apareix a la Figura 2.1. Per exemple, si *aspèrgirus* i/o *criptococ* fossin diagnòstics plausibles en la base de

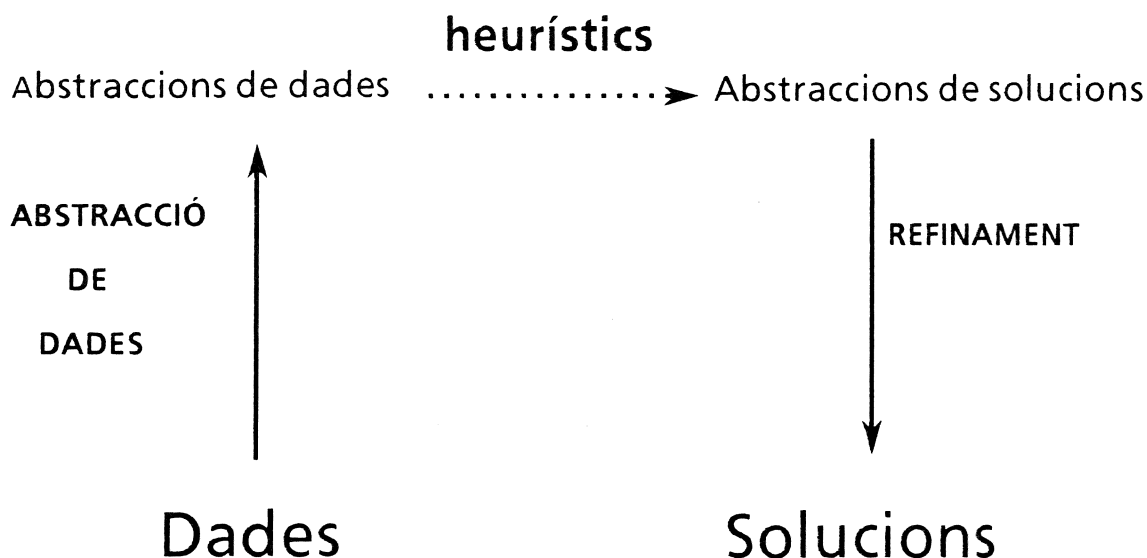


Figura 2.1. Estructura inferencial genèrica de la classificació heurística (Clancey, 1984).

coneixements TRACT-PNEUMO, per tal com ambdós són fongs, els seu tractament associat és, típicament, un antibiòtic antifúngic, com per exemple, l'amfotericina-b (vegeu Figura 2.2).

En el cas del tractament de pneumònies, aquesta estructura genèrica es concreta, com es veurà més detalladament en els capítols següents d'aquesta memòria, en una heterarquia de categories sobre

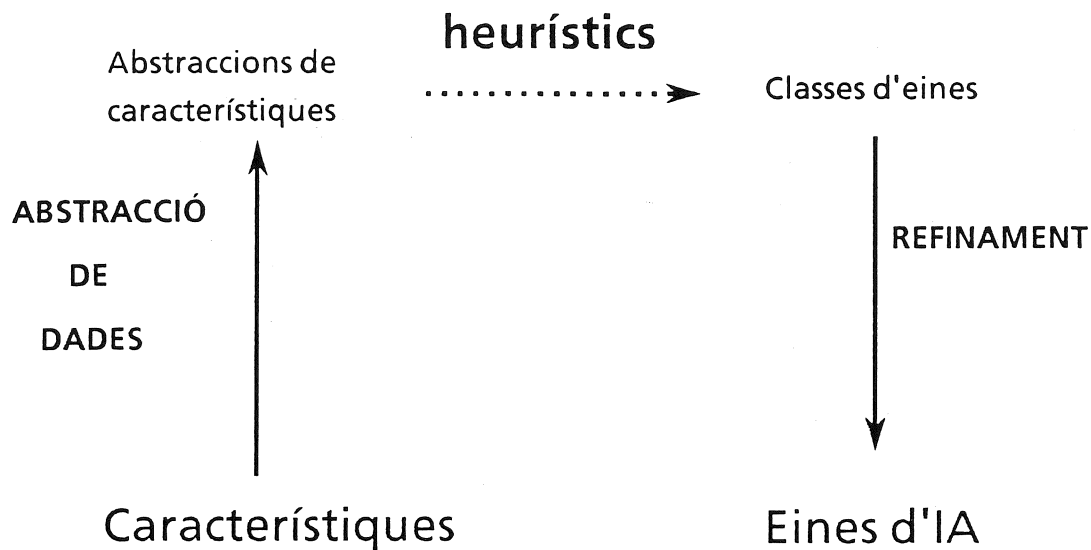


Figura 3.4. Estructura inferencial que exemplifica la descripció independent de la implementació de la base de coneixements TOOLS.

Aquestes associacions s'anomenen *heurístiques* (en contraposició a les relacions jeràrquiques d'abstracció) pel fet que *passen per alt* les relacions intermèdies que es donen usualment. Per aquesta raó l'associació heurística es *vàlida usualment*, i, per tant, pot ser que no es doni en un cas particular. Per exemple, la regla heurística que recomana els antifúngics per al tractament d'un possible diagnòstic de fongs, passa per alt les relacions causals que lliguen l'acció del medicament sobre els fongs, i tampoc no explicita en quines condicions el tractament és aplicable. En essència, les relacions heurístiques associen coneixements sobre situacions *típiques* i redueixen la búsqueda per raó d'aquesta *omissió* de les relacions intermèdies.

2.4. Sistemes de classificació heurística

Com a resum del paràgraf anterior, direm que els sistemes de classificació heurística, associen en general assercions abstractes sobre problemes amb solucions concretes o classes que caracteritzen les solucions plausibles. A més, els sistemes de classificació heurística han de donar cabuda (per bé que en llur implementació no sigui explícit) tant a dades i solucions com a llurs abstraccions, així com als diferents *tipus* de relacions que, com hem vist, les vinculen entre si.

És a dir, aquests sistemes donen suport a una *estructura inferencial* genèrica de la classificació heurística. La descripció duta a terme per Clancey, i que aquí em recollit, és una *descripció a nivell de coneixements*, en contraposició a les descripcions a nivell d'implementació del tipus "Mycin és un sistema basat amb regles amb encadenament enrere". Aquesta descripció a nivell de coneixements possibilita que l'adquisició de coneixements pugui, en principi, deslligar-se de la necessitat de realitzar una implementació particular. És en aquest sentit que **EAR*** incorpora l'esquema genèric de l'estructura inferencial dels sistemes de classificació heurística com a coneixements sobre l'estructura de les bases de coneixements, i que té com objectiu i resultat el disseny d'una base de coneixements descrita a un nivell de coneixements independent de la implementació.

2.4.1 Organització dels sistemes de classificació heurística

Els sistemes implementats de classificació heurística consten de diversos tipus de coneixements, que en aquesta memòria, i d'una manera una mica diferent a les ja citades (Clancey, 1983,1984), agruparem en quatre apartats:

- *Coneixements estratègics*: són aquells que es refereixen a un pla que defineix una ordenació en els objectius i les hipòtesis en la resolució d'un problema. Per exemple, tractar prioritàriament els diagnòstics de pneumònies més habituals (si el pacient no és de cap grup de risc), és una decisió estratègica. Gran part del treball de Clancey s'ha consagrat a mostrar que en molts casos l'estratègia pot expressar-se en termes independents del domini.
- *Coneixements estructurals*: consisteixen en les abstraccions que s'usen per tal d'indexar els coneixements d'un domini. Per exemple, hom pot classificar els diagnòstics en *perillosos* i *inofensius*. Aquesta indexació és la que permet l'acció de les estratègies sobre els coneixements específics del domini.
- *Coneixements heurístics*: són els que relacionen les heterarquies d'abstraccions basant-se en criteris de tipicitat.
- *Coneixements de suport*: són els que permeten explicar i justificar la dinàmica del raonament (bàsicament l'ordenació estratègica, i. e. per què es considera una hipòtesi abans que una altra, i les associacions heurístiques, i. e. justificar les assumpcions de tipicitat) en un sistema expert.

Habitualment, aquests diferents tipus de coneixements no són separats, ni tan sols conceptualment, sino que són, per exemple a Mycin, immersits en la estructura basada en regles que el constitueix. Aquesta confusió implícita de coneixements diferents ha originat problemes quan s'ha tractat d'ampliar o modificar un sistema expert i així, per exemple MYCIN (Buchanan and Shortliffe, 1984), en ampliar-se la seva base de coneixements per tal d'aplicar-lo a l'ensenyament tot construint el nou sistema expert anomenat GUIDON (Clancey, 1983), va ser necessària una veritable *refundació* del sistema, fins al punt que es va crear NEOMYCIN (Clancey & Letsinger, 1984), un sistema que incorporava els coneixements específics del domini del vell MYCIN però expressats en la nova organització de la base de coneixements que s'havia desenvolupat posteriorment.

2.4.2. Estratègies d'inferència

Les fletxes que al §2.3 mostraven l'estructura inferencial genèrica representen les relacions d'inferència *possibles*, que connecten dades amb conclusions. Tanmateix, l'ordre en què realment es realitzin en el procés de cerca dependrà de les estratègies de recull de dades i d'inferència (per tal de relacionar noves evidències amb hipòtesis) que emprí un sistema expert. En general, per bé que les estratègies que poden codificar-se depenen del esquema de representació de coneixements, el procés de cerca pot ser de tres tipus:

- *cerca guiada per les dades*,
- *cerca guiada per les hipòtesis*, i
- *cerca oportunista*, combinant d'una manera flexible la cerca guiada per les hipòtesis i la guiada per les dades.

La cerca guiada per les hipòtesis o per les dades és una descripció a nivell de coneixements i no s'ha de confondre amb expressions que, com "encadenament endavant" o "encadenament enrere", es refereixen al nivell d'implementació. Un bon exemple d'aquesta diferenciació és el sistema expert R1 per a la configuració de sistemes informàtics (McDermott, 1982) en el qual les regles s'apliquen segons un mecanisme d'encadenament enrere dins un procés de cerca guiada per les hipòtesis (la formulació dels subproblemes s'enfoca en els subcomponents espacials d'una solució).

El grau en que una cerca podrà ser enfocada depen bàsicament de la riquesa de la indexació. Quan aquesta és gran, aleshores pot ser explotada per uns coneixements estratègics sofisticats. És per aquesta raó que l'adquisició dels coneixements estructurals juga un paper tan fonamental en l'enginyeria de coneixements que EAR* s'hi centra prioritàriament.

2.5. Adquisició de coneixements per a classificació heurística

En les seccions §2.2 fins §2.4 hem exposat els coneixements que tenim sobre l'estructura de les bases de coneixements per un tipus específic de sistema expert i que el sistema EAR* incorpora com a coneixements de meta-nivell que guien el procés d'adquisició de coneixements, com requerim a la secció

§2.1. Aquesta secció desenvoluparà els objectius i els mètodes que el sistema EAR* té en l'adquisició de coneixements.

2.5.1 Objectius i abast d'EAR*

Per aquesta raó, el sistema EAR* també es limita, en els seus objectius, al disseny de sistemes experts analítics, de classificació heurística, o a la component analítica dels sistemes experts de síntesi. El resultat d'EAR* s'emmarca en el model teòric exposat, és a dir produeix una descripció a nivell de coneixements, independent de la implementació, d'una base de coneixements organitzada segons l'estructura inferencial genèrica que hem mostrat.

Ara bé, *dissenyar* un sistema expert nou en el nivell de coneixements comporta més limitacions que *descriure* en el nivell de coneixements un sistema expert ja implementat. Com hem vist, l'estructura inferencial genèrica dóna les inferències possibles, però és el coneixement estratègic, implementat per un mecanisme de control, el que actualitza les inferències. Per tant, el desenvolupament d'una estratègia va directament lligat amb l'elecció d'un mecanisme particular de control per a la implementació. La distinció que hem assenyalat entre diferents tipus de coneixements (estratègics, estructurals, heurístics, de suport) ens permet de definir quins d'ells poden adquirir-se en un estadi independent de la implementació, com és l'objectiu d'EAR*. Aquests són els que intervenen en l'estructura inferencial genèrica: els coneixements estructurals i els coneixements heurístics.

És una de les tesis d'aquesta memòria que l'adquisició dels coneixements independentment de l'implementació és possible i preferible. Que és possible ho mostraran els Capítols següents d'aquesta memòria. Que és preferible, en contraposició als mètodes basats en el *rapid prototyping* és un tema de debat actualment en la comunitat dels investigadors en intel·ligència artificial. Els arguments empírics al seu favor, com mostra l'exemple, són de pes: és millor escollir o dissenyar un esquema de representació i control que necessiti modificacions mínimes que fer cada vegada que es construeix un sistema expert una implementació ad hoc. Quant als arguments teòrics al seu favor, són raonables: els coneixements estratègics i de suport depenen d'uns coneixements més primordials que han d'estar prou assentats, en una primera fase, abans de prendre decisions que, en bona lògica, es preferible ajornar a una segona fase.

Per tant, EAR* té com objectiu l'adquisició de coneixements estructurals i heurístics que defineixin una estructura inferencial particular independent de la implementació. Aquest resultat, recordant les etapes de l'adquisició de coneixements, correspon a la primera fase del procés. La diferència fonamental, però, respecte de la metodologia clàssica de l'enginyeria dels coneixements, és que el pes en el procés d'adquisició que es centrava en els etapes finals, ara es fa bascular a les inicials, amb les avantatges que això comporta en la reducció de redissenys i reestructuracions de la base de coneixements. Un cop adquirida amb EAR* l'estructura inferencial, prossegueix el procés d'adquisició de coneixements: cal decidir un esquema de representació de coneixements i de control, ara però coneguent l'estructura inferencial gairebé completa; cal implementar l'estructura inferencial en aquest esquema, i cal validar-lo, ara ja tenint en compte l'estratègia emprada i la *performance* del sistema.

2.5.2 Metodologia d'EAR*

Un sistema d'adquisició de coneixements basat en el diàleg amb l'expert, com EAR*, requereix incorporar, com hem vist, tres tipus de coneixements: sobre les estructures de la base de coneixements, sobre la gestió del diàleg home-màquina i sobre les anàlisis que realitzarà sobre l'informació adquirida. A la secció anterior hem explicitat els tipus d'estructures que volem explicitar: coneixements estructurals, heurístics, prototípics i d'abstracció. Les anàlisis que EAR* realitzarà sobre els coneixements de l'expert ja adquirits són en funció d'aquestes estructures de coneixements que volem explicitar. D'aquesta manera, hi calen anàlisis que explicitin els diversos tipus d'estructures (heurístiques, prototípiques, abstraccions) que hi ha en la informació "en brut" adquirida. Sobre aquests diferents tipus d'anàlisis tractaran els propers Capítols, però en resum són els següents:

- *anàlisi d'implicacions*, per a obtenir coneixements estructurals, heurístics i d'abstracció,
- *anàlisi de regles*, per tal d'obtenir heurístiques de baix nivell,
- *anàlisi de similitud*, per tal d'obtenir un repertori de conceptes prou ric i sense ambigüitats i un conjunt d'objectes del domini d'expertesa representatiu del domini real.
- *anàlisi de classificació i generació de prototipus*, per tal d'obtenir una heterarquia d'abstracció i coneixements sobre situacions típiques,

- *anàlisis d'heurístics*, per tal d'obtenir relacions heurístiques d'alt nivell que guïen el procés de cerca en la resolució de problemes.

Per últim, **EAR*** ha d'incorporar coneixements per tal de gestionar el diàleg amb l'expert i per tal d'integrar en un tot coherent els mitjans (l'obtenció d'estructures mitjançant les anàlisis) i els objectius (la construcció de la estructura inferencial). Ens n'ocuparem en la següent secció.

2.5.3 *Explicitar, Analitzar, Refinar*

La integració dels coneixements de l'estructura inferencial, de l'anàlisi i de la gestió del diàleg s'uneixen en un cicle conceptual anomenat **EAR** (*Explicitar, Analitzar, Refinar*) que guïi el procés incremental de construcció d'una base de coneixements. En aquest procés incremental, els coneixements explicitats de l'expert, i estructurats per les anàlisis, seràn incomplets, inconsistents o simplement erronis, i han de validar-se. Aquesta validació ha de realitzar-la el mateix expert de manera que pugui detectar en què no hi és d'acord i modificar-ho. Per tal com l'expert, del que hi entèn, és del seu àmbit d'experiència i no de sistemes experts, **EAR*** ha d'assolir, fins el grau en que sigui possible, les següents funcions conceptuais:

- *Presentar les estructures de coneixements d'una manera entenedora*, usualment en forma gràfica o resumida i permeten de tractar només les informacions que siguin rellevants en cada cas (per tal d'evitar que l'expert es vegi superat per una allau de dades),
- *Enfocar l'atenció de l'expert en les àrees de desacord*, engegant un diàleg que permeti l'expert d'explorar la informació adquirida des de les diferents perspectives que donen les diverses anàlisis,
- *Ajudar l'expert a declarar clarament els seus desacords*, amb aquestes estructures explicitades per les anàlisis per a la seva posterior correcció,
- *Gestionar la resolució dels desacords*, coneixent els tipus de desacords que poden donar-se en cada cas, les accions potencials que poden prendre's per tal de corregir-los i les tècniques pot usar per fer-ho.

En els Capítols vinents veurem com es desenvolupen aquestes nocions en les diferents perspectives d'explicitació i validació de coneixements que **EAR*** incorpora. El quart punt, però, necessita abans una explicació més detallada.

2.5.4 *Gestió de desacords i criteri de validesa*

La validació dels coneixements explicitats s'efectua mitjançant el cicle **EAR**, en el qual aquests són presentats a l'expert, la seva atenció s'enfoca en els desacords i s'efectua un procés de refinament dels coneixements. Aquesta validació té com a criteri de correcció únicament l'apreciació del propi expert (mentre que la validació d'un sistema expert ja implementat pot realitzar-se amb criteris més empírics, usant una bateria de problemes reals i veient quin és capaç de resoldre correctament i quins no). Per aquesta raó, la validació que pot efectuar-se independentment de la implementació depen de la capacitat del mateix expert per explorar i expressar el seu coneixement (ajudat per **EAR***) i de la completeness i consistència de la seva experiència en el seu domini d'expertesa.

El sistema **EAR*** permet l'expert d'*explorar* i *raonar* sobre la seva expertesa des de les múltiples perspectives que li ofereixen les estructures (implicacionals, definicionals, prototípiques, heurístiques) generades per les anàlisis i detectar diferents tipus d'errors a partir d'elles. Aquest mateix procés ajuda l'expert a *aprendre* d'expressar els seus coneixements d'una manera més estructurada: «Nosaltres no escrivim simplement descripcions del que sabem. El propi procés de formalitzar-ne els termes i les relacions canvia el que coneixem, i fa sorgir la formació de conceptes.» (Clancey, 1985). Per aquesta raó, l'ús de la Teoria dels Constructes Personals és útil i rellevant, ja que, com veurem en les pròximes seccions, aporta diverses tècniques que tenen com objectiu *verbalitzar* els sistemes de constructes mentals d'una persona, comparteixen la visió constructivista dels coneixements i consideren l'home un *científic personal*, és a dir, un ésser que per adaptar-se al medi, natural i social, ha de formar unes *teories* personals o sistemes de construccions mentals capaces d'interpretar i predir aquest medi, i que, en vista dels resultats, aprèn i modifica les seves teories en consonància amb la nova experiència.

2.5.5 *Requeriment d'explicació concreta*

Rest a veure el mecanisme pel qual l'expert pot expressar els seus desacords d'una manera *operativa*. Aquest mecanisme l'anomenem *explicació concreta*. El sistema **EAR*** gestiona la resolució de desacords requerint de l'expert una explicació concreta, és a dir, se li demana, no que digui *per què*

allò no és així, sino que *mostri* casos en que allò no és així. Per exemple, si l'expert és en desacord en què "febre" implica "gravetat", el que se li demanarà és que *demostrï* la falsedat de la implicació descrivint un cas en el qual hi hagi "gravetat" però no pas "febre", ja que és aquesta la raó per la qual l'anàlisi ha generat una regla semblant. Un altre exemple és en el context dels anàlisis de similitud dels objectes del domini. Posem per un cas que els objectes són pacients, i que l'expert no creu que dos malalts siguin (de característiques) semblants; en aquesta situació **EAR*** demanarà que defineixi un nou concepte que caracteritzi d'una manera diferent els dos pacients (bàsicament, una característica que els diferenciï és un concepte que s'aplica a un cas però no a l'altre).

2.6. Raonament aproximat amb conjunts contrastatius

L'objectiu de la metodologia Elicitar-Analitzar-Refinar és el disseny d'una base de coneixements independentment de la seva implementació i, donat que s'implementa en el sistema **EAR***, és lícit de demanar-se quin esquema de representació de coneixements s'utilitza per a suportar l'expertesa adquirida. Veurem que es tracta d'una generalització de les taules de repertori, (una taula o base conceptual utilitzada en la Teoria dels Constructes Personals). Aquesta generalització es basa en els conjunts contrastatius que es defineixen en els estudis d'anàlisi semàntica del discurs. Les *raons* per les quals els conjunts contrastatius són rellevants i útils són estretament lligades a les característiques que té el raonament aproximat en la resolució de problemes amb informació incerta o incompleta.

2.6.1 L'apropament lingüístic al raonament aproximat

La qüestió del raonament aproximat és la qüestió de tractar amb informació imprecisa o incompleta en sistemes inferencials, ja siguin artificials o el mateix raonament natural d'un ésser humà. I la qüestió de la vaguetat i l'*exactitud* és una qüestió d'*apropietesa* a un context:

«*"Inexacte" és un blasme, pròpiament; i "exacte", un elogi. I això significa, és clar, que allò que és inexacte no aconsegueix la seva meta tan plenament com allò que és exacte. Llavors, per tant, tot depèn de què en diguem "la meta".*» (Wittgenstein, 1955).

O bé, dit en altres paraules, és el problema el que especifica el nivell de precisió necessari per a la seva resolució, com defèn Gaines (1976) en el seu estudi de la lògica difusa aplicada al raonament aproximat. Per tant, un primer desideratum per l'enginyeria de coneixements en sistemes amb raonament aproximat és d'establir el *nivell de precisió* apropiat en el domini de resolució de problemes per tal d'assolir la meta del sistema expert (i també per tal de comunicar-se millor amb l'usuari final del sistema).

Actualment, la majoria de sistemes experts (Hayes-Roth et al, 1983) i tots els sistemes que empenen tècniques de la Teoria de Constructes Personals (Shaw i Gaines, 1980; Boose, 1985) usen estimacions numèriques d'*inexactitud*, però sorgeix un problema: és difícil per a qualsevol persona assignar estimacions numèriques d'una manera *consistent* en contextos on habitualment no s'usen. Una recerca experimental com la de Freksa i López de Màntaras (1984) mostra que els subjectes als quals s'els demana de donar estimacions numèriques s'equivoquen en gairebé tots els casos d'una manera *no consistent*: tan aviat un subjecte fa judicis sobreestimat com dona estimacions que subestimen els valors reals. Endemés, tampoc no en són conscients del error que cometien: demanats pel marge en què creien que podia variar com a màxim el valor real respecte de les seves estimacions, gairebé en totes elles es quedaven curts, la diferència era superior als marges d'error esperats. En canvi, en les mateixes situacions, quan les opinions s'enunciaven usant descripcions lingüístiques personals, els subjectes les empraven d'una manera *consistent*.

La raó per la qual les estimacions numèriques es creuen vàlides en tots els contextos reposa en una pressuposició errònia: que les persones, i en el nostre cas, els experts, són capaços de fer sempre *distincions* encara més fines sobre els objectes del domini en qüestió. Això no és cert, i obligar les persones a fer-ho causa els errors en les estimacions per tal com s'usa un nivell de precisió que és *irrellevant* respecte de la *meta* que marca el context de resolució de problemes en què es produeix, un fenomen que en la meua tesina anomenava *precisificació* (Plaza, 1984).

L'apropament lingüístic, en l'explicitació de coneixements, afirma que és més apropiat basar-se en la suposició que les persones discriminen, dins un context, mitjançant conjunts contrastatius. Un conjunt contrastatiu pot interpretar-se, des del punt de vista cognitivista, com una col·lecció de

«exemples típics» de conceptes que el subjecte usa per discriminar en el seu raonament i la seva comunicació per tal d'aconseguir una meta. L'estudi de les categories dels colors, per exemple, mostra que la gent és d'acord respecte els termes dels colors i en assenyalar els «exemples típics» dels colors, dins de cada àmbit cultural, i, en canvi, no existeix aquest acord respecte de les fronteres dels termes dels colors (Kay, 1982). Aquests «punts focals» en l'escala de colors i altres estudis en psicologia (vegeu, per exemple, Johnson-Laird, 1983) suggereixen que molts camps contrastatius es representen mentalment mitjançant prototipus o «esquemes» dels seus trets típics, i que els judicis sobre exemplars no típics es basen en alguna mena de "distància" respecte de l'esquema prototípic.

2.6.2 Conjunts contrastatius

El sistema EAR* treballa, doncs, amb conjunts contrastatius, un conjunt de termes lingüístics, dependents del context, els significats dels quals són les «categories naturals» que la persona utilitza en raonar i discriminar per tal de resoldre un problema (aconseguir una meta). Els termes i els conjunts contrastatius hauràn d'esser explicitats en el procés d'adquisició de coneixements, com es evurà en el Capítol IV, dins del context concret de resolució de problemes imprescindible per a que siguin apropiats.

De primer, cal veure les característiques que poden tenir els conjunts contrastatius. En l'anàlisi semàntica dels discurs (Miller i Johnson-Laird, 1976) s'han assenyalat els següents trets:

- **MIDA.** La mida dels conjunts contrastatius pot variar des de conjunts de dos termes (per exemple, {mascle | femella}), fins a un nombre infinit (per exemple, els nombres enters).
- **GENÈRIC/ESPECÍFIC.** Els termes contrastatius poden tenir un sentit molt genèric (com, per exemple, el conjunt contrastatiu {sòlid | líquid | gaseós}), o bé poden tenir un sentit específic i precís, com en els cas de les taxonomies científiques.
- **DIMENSIONALITAT.** Els conjunts contrastatius poden ser unidimensionals (l'edat, per exemple), tenir tres o quatre dimensions (com semblen tenir els colors), o més: sis dimensions, per exemple, tenen els termes de parentiu en algunes cultures.
- **GRADACIÓ.** La relació entre els termes contrastatius pot ser de gradació (com en els cas {fred | calent}), pot ser discreta (per exemple {casat | solter}), o fins i tot poden tenir una gradació discutible, com en el cas del conjunt contrastatiu {cert | fals}.
- **FRONTERES ESTRICTES O DIFUSES.** Les fronteres entre els termes poden ser ben definides i estrictes (com en el cas dels dies de la setmana), o bé ésser més aviat difuses, com per exemple en els termes dels colors.
- **ANCORATGE.** Els termes contrastatius poden ésser completament ancorats (com en el cas de les unitats de mesurament), poden ésser ancorats deícticament (per exemple, els pronoms), o bé poden no ésser ancorats, com per exemple ràpid, lent, etc.
- **TIPUS D'EXPRESSIÓ.** L'expressió en el discurs dels termes contrastatius pot fer-se mitjançant afixs (com el singular/plural), mitjançant paraules, i mitjançant paraules més afixs (els temps verbals anglesos, per exemple).
- **PERTINENÇA.** Els termes que pertanyen a un conjunt contrastatiu poden ser perfectament coneguts (els noms de la rosa dels vents, per exemple), o bé poden ser no completament especificats (per exemple, els noms dels articles de mobiliari).
- **ORDENACIÓ.** L'ordre entre els termes contrastatius pot ser total, parcial, o bé pot no haver-ne (els conjunts no ordenats).
- **COMPATIBILITAT.** La compatibilitat entre els termes d'un conjunt contrastatiu pot ser estrictament exclusiva (com en les taxonomies), o bé pot ser vagament compatible en categories naturals com els noms de les emocions (amor, odi, enveja, etc.).

L'adquisició de coneixements, per tant, haurà de ser capaç d'acceptar la majoria dels diferents tipus de conjunts contrastatius que puguin donar-se. La sessió §2.6.4 tractarà de la manera en què ho fa EAR*. Abans, però, cal introduir breument la teoria dels constructes personals.

2.6.3 Teoria dels Constructes Personals

La Teoria dels Constructes Personals és una teoria psicològica constructivista que va ser fundada per la obra seminal de G. A. Kelly *The Psychology of Personal Constructs*. La seva assumpció teòrica fonamental és que l'home, per tal de controlar i predir el seu entorn, ha de *construir* una representació a partir del flux dels esdeveniments. Les característiques abstretes de la realitat (les *distincions fetes per una persona*) i que la persona considera, subjectivament, rellevants són *constructes*. Un constructe és, des del punt de vista operacional, un parell de conceptes oposats que defineixen entre ells una escala bipolar. Els dos conceptes oposats s'anomenen els *pols del constructe*, i mantenen una

relació que pot ser de negació (per exemple, alèrgic/no-alèrgic) o d'antonímia (per exemple, alt/baix).

El sistema de constructes personals dóna una base a una caracterització i predicció de l'entornament que, al seu torn, a la llum de la nova experiència, pot dur a la revisió dels constructes usats i, eventualment, a la revisió de tot el sistema personal de constructes. Aquest procés, la teoria l'anomena alternativisme constructiu: les revisions permeten de veure el problema des d'una nova perspectiva. El treball de Kelly va desenvolupar la tècnica de la *taula de repertori* per tal d'explicitar els constructes rellevants a un context. La taula de repertori és una matriu que relaciona els constructes rellevants en un context amb els elements d'aquest context; el Capítol III en tractarà amb més detall. Actualment, les tècniques de taula de repertori s'han implementat en ordinador per diversos autors: Easterby-Smith (1980) n'ofereix un resum, però essencialment aquesta aplicació informàtica s'inicià al Center for Human Learning de l'Universitat de Brunel i s'ha desenvolupat per aquest Centre (Thomas i Harri-Augstein, 1984) i pels seus seguidors (Shaw, 1980).

2.6.4 L'espai de distincions: l'estructura mínima

Des del punt de vista teòric els sistemes de constructes poden considerar-se les estructures de coneixements subjacents a la presa de decisions (Shaw i Gaines, 1984). Gaines ha proposat entendre els constructes com a *distincions* i utilitzant el *càlcul de distincions* de G. Spencer-Brown (1969) ha demostrat que la lògica difusa i la lògica probabilística són particularitzacions d'una lògica d'incertesa subjacent, basada en aquest càlcul de distincions. Els sistemes de distincions o de constructes és doncs el nivell més baix d'estructuració dels coneixements dels experts (la presa de decisió en el procés de resolució de problemes) i és, per tant, útil en els primers estadis de l'adquisició dels coneixements.

Per aquesta raó, es va proposar que s'utilitzés la Teoria dels Constructes Personal en l'enginyeria de coneixements (Gaines i Shaw, 1983), i així es va fer posteriorment (Boose, 1986; Plaza i López de Mántaras, 1985). Ara bé, la mateixa raó que la fa útil en els primers estadis de l'adquisició de coneixements (el seu baix nivell d'estructuració) la limita en els altres estadis, on es necessita la creació de noves estructures (vegi's §2.3 i §2.4). Per bé que és útil, la seva aplicació *immediata* a tot el procés d'adquisició de coneixements s'ha indicat (Clancey, 1985) que es limitava a sistemes experts de classificació simple. Com hem vist en la secció §2.3.1, anar més enllà dels sistemes de classificació simple comporta tenir la capacitat d'abstracció, inexistent en una estructura formada únicament en un espai de distincions. Per això cal que l'aplicació de les tècniques de la teoria dels constructes personals sigui *mediada* per les necessitats de l'enginyeria de coneixements, les quals hem descrit en aquest Capítol.

2.6.5 L'espai contrastatiu: estructura de representació minimal

El que ens cal doncs és una estructura de representació que definirem com a *minimal*. Aquesta estructura minimal serà un compromís entre dos requeriments oposats:

- D'una banda, ha d'ésser prou *simple* com per a que sigui útil en els primers estadis de l'adquisició dels coneixements i, en aquest sentit, propera a la intuïció d'emprar-hi les tècniques de la teoria de constructes personals.
- D'altra banda, però, cal una estructura prou *rica* per tenir la capacitat d'abstracció, i poder suportar atributs multivaluats.
- A més, en tercer lloc, volem que compleixi amb els requeriments lingüístics dels conjunts contrastatius que hem definit a la secció §2.6.2.

El sistema EAR* associa a cada constructe personal un conjunt contrastatiu format pels termes que el propi expert usa efectivament per raonar i comunicar-se en el seu àmbit d'expertesa, i que es defineix sobre l'escala establerta entre els dos pols del constructe. Per exemple, en la base de coneixements TRACT-PNEUM, els constructes que defineixen un diagnòstic tenen dos pols (un d'ells associat a la presència de la malaltia en el pacient i l'altra a la seva absència) entre els quals es defineix el següent conjunt contrastatiu:

{Impossible | Molt-Poc-Possible | Leugerament-Possible | Moderadament-Possible
| Possible | Força-Possible | Molt-Possible | Gairebé-Segur | Segur}.

2.6.5.1 Construcció incremental de l'espai contrastatiu

Per tant, el procés d'adquisició de coneixements és un procés incremental de construcció d'un *espai contrastatiu*, on no només s'han d'explicitar els constructes personals de l'expert, ans també els conjunts

contrastatius associats. Específicament, l'espai contrastatiu és format pels objectes del domini d'expertesa, els constructes rellevants amb llurs conjunts contrastatius i els predicats difusos que relacionen objectes amb elements:

$$\{C_i, \Xi_i, O_j, P(C_i, O_j) = \xi_r\}_{i=1\dots n, j=1\dots m}, \text{ on}$$

$\{C_1 \dots C_n\}$, són els constructes rellevants explicitats,

$\{O_1 \dots O_m\}$, són els objectes del domini d'expertesa,

$\xi_r \in \Xi_i$, on ξ_r és un terme del conjunt contrastatiu Ξ_i del constructe C_i ,

$P(C_i, O_j) = \xi_r$, és un predicat difús del tipus " O_j és ξ_r C_i " que assigna el constructe C_i a l'objecte O_j amb un grau lingüístic ξ_r .

2.6.5.2 Semàntica dels predicats difusos

Les assercions que l'expert fa dins l'estructura de representació d'EAR* són *predicats difusos* del tipus " O_j és ξ_r C_i ". Per exemple, "Joan és molt possible que tingui Bacil-K" o "Eva és lleugerament al·lèrgica a l'eritromicina", serien predicats d'aquest tipus. Un predicat difús " O_j és ξ_r C_i " induïx una distribució de possibilitat Π_r entre els pols del constructe C_i que indica la compatibilitat de l'objecte O_j respecte del constructe C_i . Una distribució de possibilitat és una restricció elàstica que estableix el conjunt de valors *possibles* d'una variable respecte del seu univers de discurs i també el grau en que és possible (o compatible) cadascun dels valors per aquest objecte respecte del qual es predica (Zadeh, 1978).

Les distribucions de possibilitat simplificades ens permetran de treballar amb les opinions lingüístiques de l'expert emprant les eines de l'aritmètica dels nombres difusos (Dubois i Prade, 1979; Zadeh, 1980), com veurem als següents Capítols. Val a dir que el cost computacional de treballar amb opinions lingüístiques representades per quatre valors no és gaire més alt que el de treballar amb opinions numèriques, que sols necessiten un valor, i es veu amplemment compensada per la més gran expressivitat i compacitat de la representació. Cal remarcar que

- l'expressió de les opinions en valors lingüístics fa que l'expert sigui menys propens, com hem vist, ha inconsistències en la seva estimació,
- aquesta representació permet d'implementar atributs multivaluats i no purament dicotòmics com era el cas en les tècniques que usaven les taules de repertori de la Teoria dels Constructes Personals.
- aquesta representació ens permetrà d'elaborar l'*abstracció de dades* necessària per a la classificació heurística, com veurem al Capítol VI, i
- quan l'escala d'un constructe té associada una mètrica, l'esquema de representació contrastatiu implementa directament l'abstracció qualitativa. A tall d'exemple, prenguem el valor lingüístic *Alt* del conjunt contrastatiu de l'alçada que mostra la Figura 3.6 (a). La mesura associada ve determinada per un procediment socialment acceptat de mesurar mètricament l'alçada que implica, a més d'un instrument de mesura, una posició determinada del cos. La distribució de possibilitat realitza directament l'abstracció qualitativa que relaciona la mesura "*X té Alçada = 190 cm.*" en "*X és Alt*".

La representació d'un constructe dins l'espai contrastatiu és, per tant

$$C_i = \{P(C_i, O_j) = \xi_r\}_{j=1\dots m}, \text{ on } \xi_r \in \Xi_i,$$

és a dir, el conjunt de predicats lingüístics que el relacionen amb tots els objectes del domini d'expertesa. I la representació d'un objecte, dualment, serà:

$$O_j = \{P(C_i, O_j) = \xi_r\}_{i=1\dots n}, \text{ on } \xi_r \in \Xi_i,$$

és a dir, el conjunt de predicats lingüístics que el relacionen amb tots els constructes explicitats. Per tal com la representació de constructes i d'objectes és un conjunt de conjunts difusos, les funcions d'anàlisi d'EAR* treballaran amb conjunts difusos de tipus 2. Per exemple, el constructe C_i és un conjunt difús de tipus 2 ja que els elements del seu univers de discurs $\{O_1 \dots O_m\}$ ténen un grau de pertinença a C_i donat per ξ_r , que és també un conjunt difús.

2.5.6.3 Semàntica dels conjunts contrastatius

Un conjunt contrastatiu es representarà per un conjunt Ξ_i de distribucions de possibilitat. Ara bé, hem vist, a la secció §2.6.2 les diferents característiques que poden donar-se en conjunts contrastatius. El

primer que ens cal veure en aquest punt és quines característiques dels conjunts contrastatius poden representar-se mitjançant un conjunt de distribucions de possibilitat Ξ_i associat a un constructe C_i .

- **MIDA:** el conjunt de termes contrastatius pot ser de dos fins a un nombre finit indeterminat. Dels casos en què el nombre pot ser infinit, els casos mètrics són els únics tractables: hem vist que el conjunt contrastatiu admet una abstracció qualitativa sobre un conjunt de mesures afinitat. L'únic cas problemàtic seria quan el nombre d'abstraccions lingüístiques fos molt gran. Per bé que això és perfectament representable, els estudis empírics de psicologia ens diuen que és cognitivament difícil per una persona treballar amb més de 9 valors en una escala de judicis valoratius (*judgements*) raó per la qual s'en troberan només en situacions molt particulars. Aquest límit a la capacitat de processament d'informació es coneix com el "nombre màgic 7 ± 2 " (Miller, 1967)
- **GENÈRIC/ESPECÍFIC:** els termes contrastatius poden ser tant genèrics com específics en ésser representats per distribucions de possibilitat.
- **DIMENSIONALITAT:** els conjunts contrastatius Ξ_i són unidimensionals en cada constructe C_i , i per tal de representar-ne els multidimensionals cal emprar diversos constructes.
- **GRADACIÓ:** els termes contrastatius poden ser discrets o bé poden tenir gradació.
- **FRONTERES ESTRICTES O DIFUSES:** L'interval que anomenem d'*penombra* en les distribucions de possibilitat permet definir fronteres entre els termes contrastatius que siguin estrictes o difuses.
- **ANCORATGE:** un conjunt contrastatiu pot ser ancorat absolutament (com en els cas dels mesuraments), o ancorat contextualment. En una base de coneixements habitualment l'ancoratge hi haurà un ancoratge contextual. Ara bé, si dins la mateixa base de coneixements pot variar l'ancoratge del conjunt contrastatiu en diverses situacions, cal representar-lo com diferents conjunts contrastatius Ξ_i de nous constructes C_i . L'ancoratge deíctic no és rellevant en **EAR***.
- **TIPUS D'EXPRESIÓ:** els termes contrastatius s'expressen com a paraules o seqüències de paraules.
- **PERTINENÇA:** els termes contrastatius poden ser plenament coneguts o s'en poden afegir de nous si és el cas.
- **ORDENACIÓ:** els termes contrastatius poden tenir una ordenació parcial o total. Els conjunts de valors no ordenats, emperò, en **EAR*** es representen per un conjunt de constructes. Si bé en principi aquests conjunts de constructes no és declara com a conjunt contrastatiu explícitament, l'anàlisi d'implícacions els detecta (vegeu Capítol III) i el procés d'abstracció de constructes (vegeu Capítol V) gestiona un diàleg que porta a declarar els que encara no fossin explícits.
- **COMPATIBILITAT:** Els termes contrastatius poden ser compatibles en un grau que pot ser des de nul a total. Aquest grau ve determinat per l'encavalcament dels termes. A més, els constructes que formin conjunts contrastatius no ordenats ténen una mesura de llur compatibilitat en l'anàlisi de similitud de constructes que veurem al Capítol vinent.

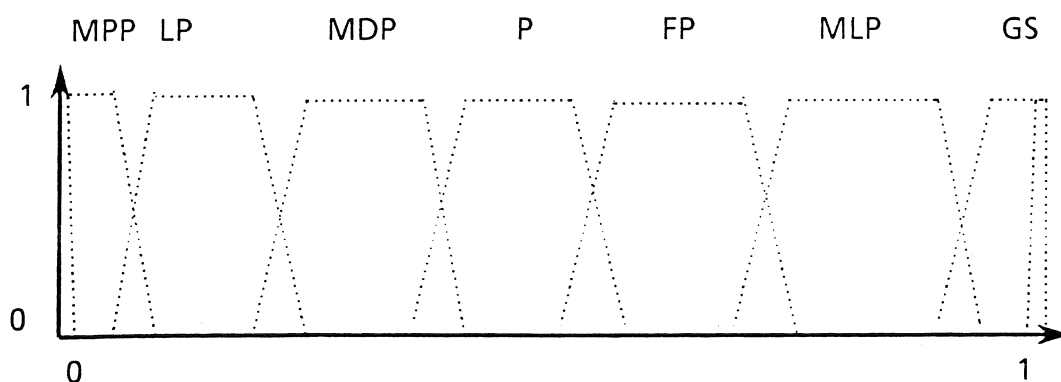


Figura 2.5. Exemple d'un dels conjunts contrastatius utilitzats en el diagnòstic i tractament de pneumònies. Els valors lingüístics representats per distribucions de possibilitat tracten de l'estimació sobre la possibilitat d'un diagnòstic. Els termes contrastatius són els següents: Molt Poc Possible, Lleugerament Possible, Moderadament Possible, Possible, Força Possible, Molt Possible, Gairebé Segur, (i a més Impossible i Segur, representats als extrems sense abreviació.)

La Figura 2.5 mostra el conjunt contrastatiu més complicat de la base de coneixements TRACT-PNEUMO, corresponent als constructes de diagnòstics.

2.6.5.4 Raonament aproximat a l'espai contrastatiu

El raonament aproximat és, en aquest context, un procés d'elucidació en l'espai contrastatiu. Per això, el disseny d'una base de coneixements és la formulació d'un conjunt d'estructures de coneixements i d'heurístics que satisfan aquest espai contrastatiu sota les restriccions posades per l'objectiu de la tasca de resolució de problemes. Per tal de mantenir aquesta satisfactibilitat, quan l'expert és en desacord amb una estructura generada per **EAR***, se li demana una *explicació concreta* que, operacionalment, resulta en l'ampliació de l'espai contrastatiu (amb nous constructes, objectes o termes contrastatius) o en la seva modificació.

Així mateix, l'actuació de l'expert ha de mantenir-se dins les restriccions imposades per la tasca de resolució de problemes de què es tracta. És a dir, no ha d'introduir constructes que no siguin rellevants a l'objectiu d'aquesta tasca ni objectes exteriors al domini d'expertesa que cobreix aquesta mateixa tasca. Aquestes fronteres no són clares en tot moment en l'expert, que habitualment se n'adona a posteriori del seu error i n'elimina l'item estrany. Per exemple, en la construcció de la base de coneixements TRACT-PNEUMO es declarà el constructe *Pacient de Risc*, que més tard s'eliminà degut a que no tenia efecte en el *tractament* de les pneumònies, per bé que si que n'és un constructe rellevant per a la seva *diagnosi*. La raó és que, per al metge, la tasca de diagnosi i tractament no és clarament i estrictament diferenciada, ans s'interpreten. El tractament parteix ja d'un o uns diagnòstics possibles que *contenen* suficient informació en ells mateixos.

Capítol III. EXPLICITACIÓ I ANÀLISI DE CONEIXEMENTS

Pouvoir parler d'un ensemble, ou penser un ensemble, «collecter en un tout» ces objets distincts et définis, signifie certes aussi disposer du schème de la réunion. Il faut pouvoir poser les objets distincts comme rassemblés en un tout, qui est lui-même un objet distinct et défini de type supérieur; ou pouvoir parler comme si on pouvait collecter en un tout cette diversité d'objets. Or l'application de ce schème lui-même présuppose aussi qu'il a déjà été appliqué avant de pouvoir l'être: que chacun des termes ainsi collectés en un tout a déjà été implicitement posé comme collecté en ce tout qui est lui-même, que la diversité des traits qui les définissent et le distinguent (peu importe si elle est numériquement réduite à l'unité) ait été réunie pour poser-former-être cet objet.

C. Castoriadis

El present Capítol tracta dels temes referents al primer mòdul del sistema EAR* que gestiona el primer estadi de diàleg d'explicitació, anàlisi interactiva i refinament de coneixements. Específicament, les funcions d'aquest mòdul s'enfoquen a aconseguir, mitjançant diverses perspectives i tècniques de refinament i anàlisi, dos objectius: a) explicitar un repertori de constructes sense ambigüitat i amb un poder de *discriminació* suficient, i b) adquirir un conjunt d'objectes del domini *representatiu* del domini d'expertesa real. Les seccions següents mostraran amb detall les anàlisis que s'efectuen, el criteri que aquestes serveixen i les tècniques de refinament que s'apliquen. D'altra banda, les utilitats d'aplicació general, per bé que imprescindibles en la interacció home-màquina i molts cops factor crucial en la facilitat i rapidesa d'aquesta interacció, es mostraran únicament en l'essencial.

3.1 L'explicitació interactiva de constructes

3.1.1 Definició dels objectes del domini

El primer estadi de l'adquisició de coneixements és la *Identificació* del domini i l'objectiu de la tasca de resolució de problemes. Les tècniques que veurem a continuació permeten molta facilitat per provar diferents enfocaments del domini i l'objectiu de la resolució de problemes tot explicitant ràpidament un petit repertori de constructes i un conjunt d'objectes del domini que permetran comparar aquests diferents enfocaments. Cal remarcar que, bàsicament, això es tradueix en dues decisions primàries que s'han de fer: a) definir l'objectiu de la tasca de resolució de problemes i que és l'objectiu que ha de tenir en ment l'expert (segons hem vist al Capítol anterior), i b) designar el tipus d'objectes que seran els elements del domini d'expertesa.

3.1.2 Explicitació triàdica

Aquesta tècnica (originària de Kelly) és la de més baix nivell i per aquesta raó s'utilitza en primer lloc. La seva utilitat és que fa comparar a l'expert un conjunt d'objectes del domini agrupats combinatòriament (amb un nombre mínim de tres) en un diàleg que explicita nous constructes personals. L'explicitació triàdica mostra tres objectes del domini i demana un tret que sigui comú a dos d'ells. A continuació demana en què es caracteritza el tercer objecte donat que no té en comú el primer tret explicitat. aquestes dues característiques formen els dos pols oposats d'un nou constructe. Aquest nou constructe és una distinció sobre els objectes explicitats del domini. Per raons de claredat distingirem el *context del domini* (conjunt d'objectes del domini *explicitats* en un moment donat) dels objectes (qualsevulla) del domini d'expertesa real. El procediment continua fins que s'acaben les combinacions o s'abandona. Si els coneixements són d'un domini poc estructurat, aquest pot ser útil i ben llarg, però en dominis més ben estructurats la seva utilitat és limitada. Evidentment, en aplicacions psicològiques i clíniques, en les quals verbalitzar els constructes és un problema difícil, aquesta tècnica palesa tota la seva utilitat.

3.1.4 Explicitació guiada per les anàlisis de similitud

Aquest procés d'explicitació ve guiat pels resultats de dues anàlisis de similitud que s'efectuen:

- *anàlisi de similitud dels constructes explicitats*,
que dóna informació sobre els constructes que es *comporten* d'una manera igual o semblant sobre el conjunt d'objectes del domini, és a dir que discriminen els objectes d'una manera semblant,
- *anàlisi de similitud dels objectes adquirits*,
que dóna informació sobre els objectes que tenen unes característiques (els valors lingüístics contrastatius dels constructes) semblants.

Les anàlisis calculen la similitud com l'invers d'una distància entre els vectors de valors difusos (conjunts difusos de tipus 2) que representen constructes i objectes (com hem vist a §2.6.5.3).

El tipus de distància utilitzada no és important a efectes pràctics, ja que s'utilitzen no els valors de similitud sinó l'ordenació d'aquests valors i aquesta ordenació sembla ser força independent de la distància emprada (en concret, s'han implementat les distàncies euclidiana i de Hamming). L'explicitació guiada per les anàlisis de similitud comporta els següents aspectes:

- La tècnica de *presentació de dades* que EAR* utilitza és l'ordenació de les similituds.
- La raó de fer-ho així és perquè a l'expert li és més fàcil *enfocar la seva atenció en els desacords* quan les dades es presenten realcionades comparativament. És a dir, per l'expert no és fàcil de dir si ell està d'acord o no en què "*Virus* i *Clamydia* s'assemblen 0.986377", però en canvi li és més fàcil d'adonar-se i assenyalar que "No és cert que *Clamydia* i *Virus* siguin més semblants que *Mycoplasma* i *Virus*".
- D'aquesta manera es facilita també l'*expressió clara del desacord* amb la selecció de les opcions del menú en què hi ha desacord.

Aquests punts són tres de les quatre funcions que comporta el cicle Explicitar-Analitzar-Refinar (vegeu §2.5.3). La quarta és la gestió de la resolució dels desacords (mitjançant explicacions concertes) que veurem a continuació i que es diferencia segons si l'anàlisi és d'objectes o constructes, ja que depenen de l'objectiu a què respon cada anàlisi.

Criteri 1: Representativitat del context del domini

El desacord en l'anàlisi de constructes assenyala dos constructes C_i i C_j que són *massa* semblants. Interpretant aquesta asserció amb els coneixements sobre el sentit dels resultats de l'anàlisi de similitud (un dels tipus de coneixements que un sistema d'adquisició ha de posseir) veiem que la similitud de C_i i C_j vol dir que C_i i C_j es *comporten d'una manera semblant* sobre el conjunt d'objectes del domini adquirits. El desacord implica que haurien de comportar-se diferentment en el context del domini, raó per la qual *han d'existir* (si l'argumentació de l'expert és vàlida) objectes del domini encara no adquirits en els quals els valors de C_i i C_j són diferents. La resolució del desacord emprada per EAR* és de demanar una *explicació concreta* a l'expert: se li demana *nous* objectes en què, efectivament, C_i i C_j siguin diferents. És a dir, davant l'*argumentació* que planteja EAR* (que C_i i C_j són semblants) se li demana que argumenti la seva opinió donant un *contraexemple* (un o més objectes en què C_i i C_j són diferents). La Taula 4.2 mostra com es gestiona aquest diàleg anomenat explicitació incremental per constructes.

La *tasca* d'aquesta anàlisi i gestió de resolució de desacords és d'ajudar a la detecció d'objectes que possiblement manquen. L'*objectiu* és l'adquisició incremental d'un conjunt d'objectes del domini prou ric i variat, de manera que sigui *representatiu* del domini d'expertesa real.

Criteri 2: Poder de discriminació i caracterització

Aquest apartat és el dual de l'anterior. El desacord en l'anàlisi d'objectes assenyala dos objectes O_i i O_j que són *massa* semblants. Interpretant aquesta asserció amb els coneixements sobre el sentit dels resultats de l'anàlisi veiem que la similitud de O_i i O_j vol dir que O_i i O_j posseeixen unes característiques semblants en el conjunt de constructes explicitats. El desacord implica que *han de tenir* (si l'argumentació de l'expert és vàlida) més característiques i tals que diferenciessin O_i i O_j . La resolució del desacord emprada per EAR* és de demanar una *explicació concreta* a l'expert: se li demana *nous* constructes que *distingeixin* O_i de O_j . És a dir, donada la semblant caracterització dels objectes, se li demana que argumenti la seva opinió donant un (o més) constructes que disambiguïn aquestes

Opcions del menú PROCES DIALEG :
 TRIADA, VOLUNTARIAR, INCREMENTAL, IMPLICACIONS, REGLES, ESCALAMENT,
 EDITAR-TAULA, ESTRIS, QUIT.
 EAR> INCREMENTAL

Opcions del menú Incremental :
 INCREMENTAL-ELEMENTS, INCREMENTAL-CONSTRUCTES, QUIT.
 EAR> INCREMENTAL-CONSTRUCTES

>> (CEFALOSPORINA-2 AMPICILINA 1.0),
 >> (CEFALOSPORINA-2 ERITROMICINA-D-B 1.0),
 >> (AMPICILINA ERITROMICINA-D-B 1.0).
 HAS DIT QUE CEFALOSPORINA-2 I AMPICILINA NO HAURIEN DE SER TAN SEMBLANTS.
 PENSA EN UN PACIENT QUE SIGUI CEFALOSPORINA-2 PERO NO SIGUI AMPICILINA O
 BE QUE SIGUI NO-CEF-2 PERO NO SIGUI NO-AMPICILINA
 EAR> isa

HAS DIT QUE CEFALOSPORINA-2 I ERITROMICINA-D-B NO HAURIEN DE SER TAN
 SEMBLANTS.
 PENSA EN UN PACIENT QUE SIGUI CEFALOSPORINA-2 PERO NO SIGUI ERITROMICINA-D-
 B O BE QUE SIGUI NO-CEF-2 PERO NO SIGUI NO-ERITROMICINA-D-B
 EAR> mari

HAS DIT QUE AMPICILINA I ERITROMICINA-D-B NO HAURIEN DE SER TAN SEMBLANTS.
 PENSA EN UN PACIENT QUE SIGUI AMPICILINA PERO NO SIGUI ERITROMICINA-D-B O
 BE QUE SIGUI NO-AMPICILINA PERO NO SIGUI
 NO-ERITROMICINA-D-B
 EAR> anna

VOLS CONTINUAR [S] O BE SORTIR [Q]
 EAR> q

Taula 3.1. Mostra de diàleg en explicitació incremental per constructes

caracteritzacions aportant noves distincions entre O_i i O_j . La Taula 4.3 mostra com es gestiona aquest diàleg anomenat explicitació incremental per elements.

La tasca d'aquesta anàlisi i gestió de resolució de desacords és d'ajudar a detectar la manca de discriminació i caracterització sobre els objectes adquirits. L'objectiu és d'ajudar a l'adquisició d'un conjunt de constructes rellevants a la tasca de discriminar i caracteritzar els objectes del domini en una mesura suficient per als objectius de la resolució de problemes en què l'expert es situa.

3.2. Anàlisi i validació d'implicacions

3.2.1 Anàlisi d'implicacions

L'anàlisi d'implicacions va ser desenvolupat per diversos autors per a taules de repertori amb valoracions numèriques (Thomas i Harri-Augstein, 1985; Shaw i Gaines, 1980). En la meua tesina (Plaza, 1984) vaig generalitzar aquesta definició d'implicació per valors numèrics, que es definia com una relació d'inclusió entre els conjunts difusos que representaven pols de constructes. Aquesta generalització defineix la *implicació per valors lingüístics* com una *relació d'inclusió de tipus 2* entre els pols dels constructes representats per conjunts difusos de tipus 2. Recordem que els predicats es fan

Opcions del menú PROCES DIALEG :

TRIADA, VOLUNTARIAR, INCREMENTAL, IMPLICACIONS, REGLES, ESCALAMENT,
 EDITAR-TAULA, ESTRIS, QUIT.

EAR> INCREMENTAL

Opcions del menú Incremental :

INCREMENTAL-ELEMENTS, INCREMENTAL-CONSTRUCTES, QUIT.

EAR> INCREMENTAL-ELEMENTS

>> (JOAN ISA 0.931735), (MARI ANNA 0.939219),
 >> (MARC MERCE 0.950097).

HAS DIT QUE JOAN I ISA NO HAURIEN DE SER TAN SEMBLANTS. PENSA EN UNA
 CARACTERISTICA QUE ELS DISTINGEIXI. EN QUE ES CARACTERITZA JOAN QUE NO HO
 SIGUI ISA

EAR> penicilina-g-d-b

QUE CARACTERITZA ISA EN CONTRAPOSICIO DE PENICILINA-G-D-B

EAR> no-penicilina-g-d-b

CREUS QUE PENICILINA-G-D-B ES MILLOR O MES RELLEVANT [S]
 EN LLOC DE NO-PENICILINA-G-D-B [N]

EAR> s

(NOM DEL CONSTRUCTE)

EAR> tractament-d-b-penicil-g

HAS DIT QUE MARI I ANNA NO HAURIEN DE SER TAN SEMBLANTS. PENSA EN UNA
 CARACTERISTICA QUE ELS DISTINGEIXI. EN QUE ES CARACTERITZA MARI QUE NO HO
 SIGUI ANNA

EAR> febre-q

QUE CARACTERITZA ANNA EN CONTRAPOSICIO DE FEBRE-Q

EAR> no-febre-q

CREUS QUE FEBRE-Q ES MILLOR O MES RELLEVANT [S] EN LLOC
 DE NO-FEBRE-Q [N]

EAR> s

NOM DEL CONSTRUCTE

EAR> diagnostic-febre-q

Taula 3.2. Mostra de diàleg en explicitació incremental per elements.

respecte del pol emergent del constructe i que, en virtut de la relació d'antonímia implícita entre els pols, el pol submergit té uns predicats antònims implícits.

El pol emergent de C_i es representa per un conjunt difús de tipus 2. Un conjunt difús de tipus 2 és un conjunt difús tal que per cada objecte x del seu univers de discurs, la funció de pertinença del conjunt li assigna un subconjunt difús de $[0, 1]$ anomenat *grau difús* o *nivell difús*, i que denotarem:

$$\mu_A(x) \subseteq [0, 1].$$

En EAR^* els nivells són els predicats difusos del conjunt contrastatiu associat. Denotarem un conjunt difús de tipus 2 de la manera següent:

$$A = (x | \mu_A(x)), \text{ on } \mu_A(x) = (\mu | \lambda(\mu|x)),$$

és a dir, a cada element x li correspon un grau difús $\mu_A(x)$ que és un conjunt difús λ definit sobre l'interval unitat $\mu \in [0, 1]$.

Definirem la implicació entre pols de constructe representats com a conjunts difusos de tipus 2 com l'extensió natural de la implicació (*semantic entailment*) entre conjunts difusos ordinaris. La implicació entre dos conceptes a i b presentats per dos conjunts difusos A i B es defineix (Zadeh, 1980):

$$a \Rightarrow b \text{ ssi } A \subseteq B$$

on la inclusió entre conjunts difusos és

$$A \subseteq B \text{ ssi } \mu_A(x) \leq \mu_B(x),$$

on μ_A és la funció de pertinença al conjunt difús A .

DEFINICIÓ 3.1. Una inclusió de tipus 2 pot definir-se (Kaufmann, 1983) usant la *max-composició* o *unió de tipus 2*. La max-composició entre dos conjunts de tipus 2 A i B es defineix:

$$\begin{aligned} A \cup^2 B &= \lambda_{A \cup B}(w|x) = \\ &= (\text{MAX}_{u \in [0, w]} (\lambda_A(u|x)) \wedge (\lambda_B(v|x))) \vee (\text{MAX}_{u=w, v \in [0, w]} (\lambda_A(u|x)) \wedge (\lambda_B(v|x))) \end{aligned}$$

□

DEFINICIÓ 3.2. La *inclusió de tipus 2* es defineix:

$$A \subseteq^2 B \text{ ssi } A \cup^2 B = B,$$

i per tant la *implicació de tipus 2* la definim:

$$a \Rightarrow^2 b \text{ ssi } A \subseteq^2 B.$$

□

Aquesta definició és una generalització natural de la implicació, com veurem a continuació.

3.2.2 Interpretació de les implicacions en EAR*

La interpretació d'aquesta definició d'implicació és la següent: dos pols A i B satisfan una relació d'implicació de tipus 2, denotada $A \Rightarrow^2 B$, quan tots els nivells difusos de A són *menors o iguals* que els de B per cadascun dels objectes del seu univers de discurs (els objectes del context del domini). La relació *menors o iguals* es pot entendre com la relació de menor o igual ($\leq$) entre nombres difusos (Dubois i Prade, 1979; Ramík i Rímanek, 1984). Val a remarcar tres aspectes de l'anàlisi d'implicacions que **EAR*** efectua:

- **Dualitat de la implicació.** Donada la relació d'antonímia en els conjunts contrastatius dels constructes, si dos pols A i B satisfan una relació d'implicació $A \Rightarrow^2 B$, aleshores els seus oposats A° i B° satisfan una relació d'implicació dual $B^\circ \Rightarrow^2 A^\circ$.

- **Equivalència.** Dos constructes A i B són equivalents:

$$A \Leftrightarrow^2 B \text{ ssi } A \Rightarrow^2 B \text{ i } B \Rightarrow^2 A.$$

Naturalment, per raó de la relació d'antonímia suara esmentada, també es donarà $A^\circ \Leftrightarrow^2 B^\circ$.

- **Implicació difusa.** Per tal com la relació d'implicació pot satisfer-se només sobre una part de tots els objectes de l'univers de discurs dels conjunts difusos A i B , l'anàlisi d'implicacions d'**EAR*** genera, a més de les implicacions estrictes (les que es satisfan per tots els objectes), les relacions d'implicació que se satisfan amb un grau de certesa (les que se satisfan en una part del conjunt d'objectes). L'usuari d'**EAR*** defineix el llinar, anomenat **llinar-implicacions**, per sobre del qual vol tenir en compte les implicacions.

Tipus de relacions jeràrquiques

L'anàlisi d'implicacions genera coneixements sobre relacions *asimètriques* que es donen entre els constructes, mentre que l'anàlisi de similitud de constructes generava relacions simètriques entre els constructes (A s'assembla a B tan com B s'assembla a A). Les relacions d'implicació $A \Rightarrow B$ són jeràrquiques, i entenem per això que defineixen una relació de *superordinació* de B sobre A i un relació dual de *subordinació* de A respecte de B . Ara bé, hi ha diversos tipus d'aquestes relacions jeràrquiques,

com hem vist a les seccions §3.3 i §3.4: relacions heurístiques i relacions d'abstracció. Per tant, les relacions d'implicació que genera l'anàlisi d'EAR* poden ser dels següents tipus:

- *relacions heurístiques:*
aquestes relacions tenen el seu suport en coneixements sobre la *tipicitat* de les situacions i, per aquesta raó, habitualment seran generades com a implicacions amb un grau de certesa menor que 1. La subordinació que expressa la relació pot tenir una interpretació *causal* (si l'implicant és la causa de l'implicat) o *empírica* (si l'implicat ve associat, en circumstàncies típiques, a l'implicant).
- *relacions d'abstracció:*
aquestes relacions formen part dels coneixements estructurals:
 - *abstracció definicional,*
la relació de subordinació es basa en les característiques essencials d'una categoria. Per aquesta raó seran implicacions amb grau de certesa 1.
 - *generalització,*
les relacions de subordinació són relacions d'inclusió dins una jerarquia de tipus. Per aquesta raó seran implicacions amb grau de certesa 1.

L'expert potser no distingeix aquests diferents tipus de jerarquitzacions, però el seu saber li permet d'*interpretar* les implicacions generades per l'anàlisi que tenen sentit de la manera que hem mostrat en els exemples d'aquesta secció. En les implicacions en què no hi és d'acord (és a dir, que per a ell *no tenen sentit*) EAR* engega un procés de resolució dels desacords.

3.2.3 Validació d'implicacions

L'anàlisi d'implicacions genera un graf orientat on els nodes són els pols dels constructes i els arcs són les implicacions amb un pes corresponent al grau de certesa de cada implicació. La *presentació de les dades* adopta la forma gràfica amb diverses característiques remarcables:

- Un graf representat gràficament és difícil d'interpretar quan és prou complex, cosa que fàcilment esdevindrà en aquesta anàlisi. Per aquesta raó EAR* presenta el graf agrupat en un conjunt d'arbres, un *bosc*.
- La representació no elimina cap redundància. D'una banda presenta les implicacions i les seves duals entre els pols oposats. A més, les relacions que la transitivitat fa redundants (si $A \Rightarrow B$ i $B \Rightarrow C$, no caldria explicitar $A \Rightarrow C$) també es mostren.

La tasca d'enfocar l'atenció de l'expert té dues fases. Primerament, l'expert explora el bosc de relacions amb una finestra *panoràmica*, és a dir, una finestra que l'expert pot dirigir amb els botons de la rateta per les àrees (en principi no totes visibles alhora) del bosc d'implicacions. En aquesta exploració l'expert interpreta les implicacions significatives (com hem vist a la secció anterior §3.2.2) i detecta les dubtoses o errònies. En una segona fase, l'expert enfoca la seva atenció sobre aquestes implicacions en què dissenteix emprant diferents filtres que seleccionen les implicacions a tractar amb les tècniques de resolució de desacords.

El resultat és una selecció de les implicacions on s'enfocarà l'argumentació de l'expert i d'EAR* (en l'exemple, les implicacions que tenen un dels constructes del filtre). En aquest punt de la interacció l'expert és atent a un reduït nombre d'implicacions que se li presenten en un menú. L'expert pot aleshores *expressar els seus desacords clarament* seleccionant en el menú les implicacions que considera errònies.

Tècniques per a la resolució de desacords en implicacions

La següent etapa del cicle EAR, després d'haver presentat les dades, haver enfocat l'atenció de l'expert i haver assenyalat els desacords, és aplicar-hi tècniques de resolució de desacords. EAR* tracta aquesta tasca exigint una explicació concreta del desacord, com abans, però també cal tenir en compte que els desacords poden deure's a diverses raons, com conceptes ambigus o polisèmics, una caracterització errònia dels objectes o per causa de la incompletesa del context del domini. EAR* implementa diverses tècniques per a la resolució de desacords.

- *Proposició d'un Contraexemple.* El desacord de l'expert envers d'una implicació pot resoldre's declarant un contraexemple de la implicació controvertida. En aquest procediment, el sistema EAR* requereix de l'expert que argumenti la seva opinió amb una explicació concreta en forma d'un nou objecte del domini que *falsi* la relació d'implicació. És a dir, per tal de falsar "Si

- diagnòstic és *Febre-Q* aleshores tractament és *Eritromicina-G dosis baixes*", el sistema demana un malalt la terapia del qual sigui *Eritromicina-G dosis baixes* i que no se li diagnostiqui *Febre-Q*.
- *Revisió dels Valors Assignats en un Constructe*. En valorar els constructes de la implicació, l'expert pot adonar-se que els valors (termes contrastatius d'un constructe) que ha donat als objectes s'han de revisar i, eventualment, modificar. Fins i tot pot decidir que el conjunt contrastatiu és equivocat i declarar un nou conjunt de termes contrastatius. Les raons d'aquestes modificacions poden ser que el conjunt contrastatiu era inapropiat en el context del problema que es vol resoldre o tenia poca discriminació, o bé que l'expert ha variat en el criteri d'assignació de valors en el transcurs de la interacció i cal unificar tots els valors sota un sol criteri.
 - *Tècniques d'Escalament*. Les tècniques d'escalament foren desenvolupades dins la Teoria dels Constructes Personals per Hinkle (1965) per a resoldre problemes d'ambigüitat o polisèmia de constructes. Hi ha dues formes d'escalament: a) *Preguntes PER QUÈ*: Es pregunta l'expert per què el pol emergent és millor o més rellevant que el pol submergit del constructe considerat. La resposta dona un nou constructe que habitualment és superordinat (més general o abstracte) respecte del primer constructe. *Preguntes COM*: Es pregunta l'expert com és o en què es caracteritza un objecte que compleixi el pol emergent en lloc de complir amb el pol submergit del constructe considerat. La resposta dona un nou constructe que habitualment és subordinat (més concret o específic) respecte del primer constructe. Aquestes tècniques d'escalament incorporen nous constructes que permeten modificar el sentit del constructe conflictiu (cas que fos ambigu) o substituir-lo pels nous constructes (cas que fos polisèmic). L'escalament va ser aplicat a l'adquisició de coneixements per Boose (1986) en el cas de constructes polisèmics. **EAR*** les utilitza, a més, com a tècnica de diàleg per a l'explicitació de conjunts contrastatius no ordenats i per completar l'estructura d'abstracció de dades, com es veurà a la secció §5.2.

El procés incremental de refinament de les implicacions

En un principi, l'anàlisi d'implicacions en genera moltes relacionant els pols dels constructes. El requeriment de l'explicació concreta té un efecte *global* i no puntual en els coneixements adquirits: la introducció d'un nou objecte o constructe pot fer variar altres relacions entre constructes a part de les relacions que havien originat el desacord de l'expert. Aquest efecte global fa que el procés de validació i refinament sigui *sistemàtic*: el fet d'afegir un nou exemple com a contraexemple pot fer que desapareixi, a més de la implicació errònia, una altre que l'expert consideri rellevant, i això pot conduir-lo (per exemple) a haver de repensar-se un constructe. En general, en afegir nous objectes, s'eliminen més relacions que no les esperades per aquesta raó.

3.3. Anàlisi i validació de regles heurístiques de baix nivell

Aquest tercer tipus d'anàlisi elucida les relacions implicatives que existeixen entre els *termes* dels conjunts contrastatius dels constructes. És un tipus d'anàlisi que no s'havia fet en esquemes clàssics de tècniques de taula de repertori car només té sentit emprant escales multivaluades en els constructes com és el cas dels conjunts contrastatius d'**EAR***. Anomenarem aquestes relacions implicatives entre termes contrastatius *regles*. Les regles aporten informació sobre relacions heurístiques que es compleixen entre els valors lingüístics dels conjunts contrastatius.

3.3.1 Anàlisi de regles en l'espai contrastatiu

Mentre que l'anàlisi d'implicacions elucidava les relacions impliacatives entre els (pols dels) constructes a partir de l'*ordre* dels termes contrastatius, l'anàlisi de regles elucida les correlacions implicatives entre els termes contrastatius sobre el conjunt d'objectes del domini.

DEFINICIÓ 3.3. Siguin dos constructes C_i, C_j , amb conjunts contrastatius Ξ_i, Ξ_j de C_i, C_j , respectivament, sigui Θ el context del domini $\Theta = \{O_1, \dots, O_m\}$, i siguin dos termes contrastatius $\xi_r \in \Xi_i, \xi_s \in \Xi_j$. Direm que existeix una relació implicativa

$$\xi_r \Rightarrow \xi_s$$

si i només si

$$\forall O_k \text{ t.q. } P(C_i, O_k) = \xi_r, \text{ aleshores } P(C_j, O_k) = \xi_s,$$

i per tant la regla s'expressarà de la manera següent

SI C_i és ξ_r ALESHORES C_j és ξ_s (en Θ).

Com es pot observar, es tracta de la definició clàssica d'implicació

$$A \Rightarrow B \equiv (\neg A \vee B)$$

aplicada als termes contrastatius sobre un univers de discurs Θ . □

Les regles generades poden ser difuses: el grau de certesa de la regla ve determinat per la fracció de l'àmbit en què es compleix. Formalment,

DEFINICIÓ 3.4. Siguin $C_i, C_j, \Xi_i, \Xi_j, \Theta = \{O_1, \dots, O_m\}$, definits a la Definició 3.3. Sigui l'àmbit de ξ_r

$$\Theta_r = \{O_k \in \Theta \mid P(C_i, O_k) = \xi_r\}.$$

Una regla difusa

SI C_i és ξ_r ALESHORES C_j és ξ_s amb certesa ζ ,

té certesa ζ , definida per:

$$\zeta = \frac{\text{card}\{O_k \in \Theta_r \mid P(C_j, O_k) = \xi_s\}}{\text{card}\Theta_r},$$

és a dir, quan la Definició 3.3 es satisfà amb una raó ζ dins l'àmbit Θ_r . □

3.3.2 Regles heurístiques de baix nivell

Un exemple de regles generades en TOOL mostrarà de quina manera l'anàlisi d'implicacions en els termes contrastatius expliciten coneixements heurístics sobre els conjunts contrastatius:

O-A-V-Triplets=(funció-present\funció-limitada\funció-programable)

ALESHORES **Modus-Ponens**=funció-present (amb certesa 1).

O-A-V-Triplets=funció-present

ALESHORES **A-V-Pairs**=funció-inexistent (amb certesa 1).

O-A-V-Triplets=(funció-limitada\funció-programable)

ALESHORES **A-V-Pairs**=funció-present (amb certesa 1).

Veiem com els valors del conjunt contrastatiu de *O-A-V-Triplets* es relacionen amb altres característiques de les eines per a construir sistemes experts, en aquest exemple amb *Modus-Ponens* i *A-V-Pairs*. En el cas de *A-V-Pairs* es mostra que no hi ha cap eina amb *O-A-V-Triplets*, plenament implementats, que tingui *A-V-Pairs*, i en canvi sí que n'hi ha quan *O-A-V-Triplets* s'implementa d'una manera parcial. Les regles proveeixen un coneixement heurístic, és a dir una relació directa i empírica entre constructes. Aquesta relació no jeràrquica, com vàrem veure a la secció §3.3, no es basa en criteris necessaris o essencials com les jeràrquiques, ans en criteris *casuístics*: una relació heurística dóna informació sobre el que s'esdevé en els *casos típics*. Per aquesta raó la condició de la Definició 3.3 indicava que la regla és certa (o és certa en un grau ζ) en el context dels objectes adquirits Θ . El fet que aquesta regla heurística es satisfaci únicament voldrà dir que el cas que la falsaria no es dona (o l'expert no el coneix), i no que hi hagi cap raó causal.

3.3.3 Validació de les regles

Per tal com les regles de baix nivell expressen aquestes restriccions, són molt més nombroses que les implicacions i requereixen altres mecanismes en el seu procés de validació. La *presentació de dades* també és gràfica, però degut al seu nombre, **EAR*** emprà un filtre per centrar l'atenció de l'expert. Aquest consisteix en demanar, mitjançant un menú, el o els constructes les regles dels quals vol revisar. Seqüencialment, **EAR*** presenta gràficament les regles que conclouen aquest constructe i les regles que el tenen com a premissa. El següent pas per enfocar l'atenció de l'expert s'aconsegueix permetent-li *explorar* els casos dubtosos. Pot seleccionar amb la rateta un constructe d'una regla qualsevol i **EAR*** mostra els seus valors que ha donat en aquest constructe. A més, l'expert pot expressar el seu desacord amb aquests valors i modificar-los si ho creu adient. D'altra banda, si el desacord no involucra només una valor particular, com és el cas més habitual, sino que és un desacord més general, l'expert pot proposar un contraexemple, o, finalment, engegar un diàleg d'escalament, semblantment a com s'ha exposat a la secció anterior.

Capítol IV. CONSENS I SÍNTESI DE JUDICIS VALORATIUS DE MÚLTIPLES EXPERTS

Il est immédiat que les schèmes de la séparation et de la réunion rendent possible le schème de la décomposition, permettant de retrouver dans un tout donné les tous de type inférieur ou les éléments distincts et définis à partir desquels il a été composé. Plus généralement, il est évident que les schèmes de la séparation et de la réunion s'impliquent et se présupposent mutuellement. mais aussi: dire que tel ensemble est un ensemble d'éléments -ou bien est lui-même un élément, qu'un objet est posé comme objet -ou bien comme collection d'objets, implique que l'on dispose du schème fondamental de quant à..., (pros ti, quaetenus) ou en tant que... (è). Enfin et surtout: séparation et réunion mettent en œuvre l'opération fondamentale du legein (l'impliquent et sont impliquées par elle), la désignation, qui présuppose la possibilité de l'individuation et du rassemblement de purs ceci (tode ti) comme tels.

C. Castoriadis

Aquest Capítol ataca el problema de l'adquisició de coneixements a partir de més d'un expert i descriu com es resol en el segon mòdul d'EAR*. Aquest aspecte ha estat poc tractat en l'enginyeria de coneixements, i, quan s'ha fet, ha estat d'una manera *ad hoc* o parcial. El primer apartat presenta de manera general la problemàtica que apareix quan el procés d'adquisició de coneixements incorpora més d'un expert. La segona secció presenta una metodologia conversacional per assolir el consens provinent dels desenvolupaments de la Teoria dels Constructes Personals anomenada *tecnologia conversacional*. El tercer presenta una generalització de les teories de síntesi de judicis valoratius per tal que siguin aplicables a valors lingüístics representats com distribucions de possibilitat. Una descripció d'aquest mòdul d'EAR* apareix a (Plaza et al, 1987).

4.1. La problemàtica de la multiplicitat d'experts

En el Capítol III hem explicat el procés d'explicitació i refinament de coneixements en el qual un expert individual pot expressar lliurement el que sap a la seva manera, tot emprant els conceptes i termes que li semblen rellevants i referint-se als objectes del seu domini d'expertesa que formen part de la seva experiència. Aquest conjunt de coneixements l'anomenarem la *perspectiva* de l'expert individual del domini d'expertesa. Com hem vist, aquesta perspectiva es representava en una taula de repertori difusa amb valors lingüístics.

Per tal com cada expert s'expressa a la seva manera i es refereix al seu àmbit d'experiència, és palès que les estimacions o judicis valoratius dels experts no poden agregar-se *sintàcticament* a menys que siguin expressades en un marc comú en el qual siguin *comparables*. Les tècniques matemàtiques d'agregació d'evidència (Yager, 1981) o les teories de síntesi de judicis valoratius (*theory of synthesis of judgements*) (Aczel i Alsina, 1986) prescindeixen d'aquesta dificultat, habitualment ignorant-la. Tanmateix, recollir els judicis valoratius de diverses perspectives i agregar-los segons un criteri matemàtic (és a dir, sintàctic, sense tenir en compte els aspectes semàntics) pot dur fàcilment a obtenir informacions errònies o purament sense sentit.

Abans d'efectuar una agregació d'opinions o judicis és necessari crear un llenguatge comú. Això pot ser trivial en el cas d'un domini d'expertesa que sigui una ciència altament estructurada, com la física; pot ser fàcil, però no trivial, en disciplines força estructurades com la medicina; i pot ser un problema ardu en camps on el saber és poc estructurat (com la gestió d'organitzacions) o àdhuc subjectiu (com en l'especulació en borsa).

En dues paraules, per tal d'adquirir i agregar coneixements de múltiples experts, cal:

- Determinar l'àrea comú d'expertesa, és a dir:
 - ★ Definir els àmbits del domini que són compartits, i

- ★ Definir els coneixements compartits.
- Determinar les diferències individuals, és a dir:
 - ★ Definir els àmbits del domini millor coneguts individualment,
 - ★ Definir els coneixements no compartits, i
 - ★ Definir i disambiguar els coneixements només aparentment compartits.

Per tant, el procés de consens de judicis valoratius de múltiples experts tindrà dues fases:

- *El procés conversacional de consensuació*,
un procés que ha de permetre els experts
 - ★ expressar els seus coneixements,
 - ★ detectar els seus desacords o malentesos, i
 - ★ debatre els desacords
 per tal de construir un llenguatge comú en el qual els seus judicis siguin comparables.
- *L'agregació dels judicis valoratius*,
que s'efectuarà dins un llenguatge comú, sobre els experts rellevants, i en els àmbits d'expertesa que s'han definit en la primera fase usant funcions de sintetització de judicis.

La primera fase es compon de diversos estadis i es desenvoluparà a la propera secció d'aquest Capítol. En acabat, la secció §4.3 s'ocuparà de la fase de síntesi de judicis.

4.2. El procés conversacional de consensuació

El procés de consensuació té com objectiu la construcció d'un llenguatge o marc comú en el qual els judicis dels experts siguin comparables i, a ser possible, que arribin també a un consens en els mateixos judicis. És a dir, a partir de les perspectives individuals expressades per les taules de repertori de cada expert, el procés de consensuació té com objectiu arribar a una única taula de repertori (el llenguatge comú) amb uns valors lingüístics consensuats. La metodologia que utilitza **EAR*** és una generalització de la *tecnologia conversacional* desenvolupada en l'escola dels constructes personals (Thomas i Harri-Augstein, 1985) per tal de treballar amb termes contrastatius lingüístics.

Essencialment la tecnologia conversacional és un conjunt de *procediments conversacionals ben definits i lliures de contingut* que:

- regulen, d'una manera precisa, el procés pel qual es genera la conversació, i
- deixen els participants completament lliures d'aportar els seus propis continguts amb els seus propis termes.

Com es veurà a les seccions següents, la noció de *conversació* no s'empra merament com a sinònim d'interacció entre persones, ans vol remarcar que es tracta d'una comunicació que involucra *l'intercanvi de significats* i la *comprensió* de les perspectives dels altres. El procés conversacional de consensuació es desenvolupa en quatre etapes en les seccions vinents.

4.2.1 L'intercanvi de perspectives

Per tal que es desenvolupi una verdadera conversació cal que els experts participants adquireixin una *comprensió* dels punts de vista dels altres, encara que aquesta no sigui total. Fins i tot quan apareixen desacords o malentesos entre els experts, la conversació possibilita que les opinions dels participants es modifiquin com a resultat d'aquesta comunicació.

En aquest primer estadi, es demana als experts individuals que *es posin en el lloc d'un altre*. És a dir, es requerirà l'expert A per a que es comporti *com si fos* l'expert B. Cada expert té representada la seva perspectiva com una taula de repertori, i denotarem $T_A(A)$ la taula de repertori d'un expert A. Per a cadascuna d'aquestes perspectives individuals **EAR*** construeix una *taula-marc* $T(A)$. $T(A)$ és la taula de repertori de l'expert A buida, és a dir una taula composta pel conjunt de constructes $\{C_1, \dots, C_n\}$ i objectes del domini $\{O_1, \dots, O_m\}$ explicitats per A sense les assignacions lingüístiques que els relacionen. Si la taula de repertori de l'expert A és

$$T_A(A) = \{C_i, \Xi_i, O_j, P(C_i, O_j) = \xi_a\}_{i=1\dots n, j=1\dots m}, \text{ on } \xi_a \in \Xi_i,$$

aleshores la taula-marc de l'expert A és

$$T(A) = \{ C_i, \Xi_i, O_j, P(C_i, O_j) = \text{NIL} \}_{i=1\dots n, j=1\dots m}$$

L'enginyer de coneixements assigna a un altre expert B la tasca d'omplir la taula marc $T(A)$ comportant-se com si ell fos l'expert A. D'aquesta manera, l'expert B pren la perspectiva d'A, expressada en $T(A)$, per encarar-se al domini d'expertesa. El resultat d'aquest procés és que B construeix la seva pròpia $T_B(A)$,

$$T_B(A) = \{ C_i, \Xi_i, O_j, P(C_i, O_j) = \xi_b \}_{i=1\dots n, j=1\dots m}, \text{ on } \xi_b \in \Xi_i,$$

és a dir, la versió de B de la taula de repertori d'A.

Aquest intercanvi de perspectives permet a cada expert d'*explorar* i *familiaritzar-se* les perspectives dels altres d'una manera *estructurada*. Cada expert se n'adona dels constructes nous i dels objectes nous que troba dins d'una estructura individual (la taula de repertori) que fa que siguin rellevants i significatius. Això difícilment es produiria si les informacions recollides d'altres experts simplement s'apleguessin en un sac i es donessin sense cap mediació als experts.

Anàlisi de la comprensió de les perspectives

Les dues taules de repertori, la de l'expert A i la versió de B són en un mateix marc comú $T(A)$. El sistema EAR* realitza unes anàlisis de similitud entre la taula $T_A(A)$ i la versió $T_B(A)$ amb les funcions de càlcul de similitud presentades a la secció §4.1. Aquestes anàlisis tenen com objectius:

- *elucidar les àrees en què hi ha malentesos*
- *detectar quins experts ténen més dificultat en comprendre's.*

Les funcions de similitud calculen diversos aspectes de la comprensió que l'expert B té de la perspectiva d'A:

- els objectes d'A que B comprèn menys clarament,
- els constructes d'A que B comprèn menys clarament, i
- el grau global de comprensió que té B de la perspectiva d'A.

El sistema EAR* efectua una anàlisi de similitud entre els constructes

$$\{S(C_i \in T_A(A), C_i \in T_B(A))\}_{i=1\dots n}$$

i presenta a l'expert B en una finestra una ordenació dels constructes que ell ha donat un ús (una significació) més dissimilar respecte de l'ús que originalment li donà A. Semblantment, EAR* realitza una anàlisi de similitud entre els objectes

$$\{S(O_j \in T_A(A), O_j \in T_B(A))\}_{j=1\dots m}$$

i presenta a l'expert B en una finestra una ordenació dels objectes que ell ha donat un ús (una significació) més dissimilar respecte de l'ús que originalment li donà A. Aquestes anàlisis *enfoquen l'atenció* de l'expert B en les àrees on *menys comprèn* la perspectiva d'A. D'aquesta manera, l'expert B pot tornar a reconsiderar la seva versió de la perspectiva d'A i intentar, amb més coneixement de causa, jugar el paper de opinar com si fos A.

D'altra banda l'anàlisi de similitud global de taules de repertori dona el grau mig de similitud $S(T_A(A), T_B(A)) = \sigma_{A,B}$ entre la versió de B i la perspectiva original d'A. El grau $\sigma_{A,B}$ és el *grau de comprensió* que té B del punt de vista d'A. Aquesta anàlisi s'efectua a tots els experts que hagin intercanviat la seva perspectiva. Ja en aquest primer estadi del procés de consensuació, l'enginyer de coneixements té prou informació per estimar quins experts poden ser més conflictius o idiosincràtics, i en particular pot saber quins experts ténen més dificultat en entendre a quins d'altres, i actuar en conseqüència.

4.2.2 La construcció d'un context comú

El segon estadi del procés conversacional de consensuació té com objectiu de determinar les parts del domini que són compartides i el seu resultat és un conjunt d'objectes del domini comú a tots els

experts. En casos més complicats podria ser necessari que l'enginyer de coneixements definís diverses parts del domini d'expertesa i escollís els experts rellevants per cada part. De qualsevol manera, una part compartida del domini es representa per un *context comú*: un conjunt d'objectes del domini *compartits i no redundants*.

El procés de generació d'un context comú $\Theta_C = \{O_1, \dots, O_{m_C}\}$ es basa en l'estadi anterior: els experts s'han familiaritzat amb els objectes explicitats pels altres experts. D'aquesta manera els experts s'han adonat dels objectes que eren nous per ells i dels que, si bé en nom diferent, eren pràcticament iguals a algun dels seus propis objectes (*objectes redundants*). Aquesta comprensió prèvia possibilita el procediment per generar el context comú, que consta de quatre punts:

- reunir els objectes de tots els experts participants
- definir els objectes que no s'inclouran al context comú
- definir els objectes que s'inclouen i, a més,
- subsumir els objectes redundants com a sinònims d'un sol objecte comú.

Per cada expert es construeix, a partir de la seva taula de repertori $T_A(A)$, una nova taula de repertori $T_{A_C}(A)$ amb el context comú $\Theta_C = \{O_1, \dots, O_{m_C}\}$ afegint-hi els objectes nous i eliminant-ne els redundants. Seguidament, els experts acaben de completar les seves noves taules de repertori tot avaluant els nous elements i, habitualment, reconsiderant els seus propis judicis valoratius a la llum de la seva experiència en la primera etapa i en l'expansió del seu domini d'objectes. Com a conclusió, cada expert A té representada la seva perspectiva com un conjunt de constructes personal individuals K_A que es relacionen amb un conjunt d'objectes compartit Θ_C .

4.2.3 La construcció d'un llenguatge compartit

En arribar a aquest punt, l'experiència dels experts és expressada en un context del domini comú. L'objectiu del tercer estadi és obtenir un llenguatge compartit per la comunitat d'experts i el seu resultat és un *marc de consens*. Un *marc de consens* per l'expert A , $TC(A)$, és un context comú Θ_C , més un conjunt de constructes compartits $K_C = \{C_1, \dots, C_{n_C}\}$, *no redundants i no ambigus*.

El procés de generació d'un marc de consens TC , es basa en l'experiència del primer estadi (els experts s'han familiaritzat amb els constructes dels altres participants) i en l'informació adquirida en el segon estadi en construir el context comú. Efectivament, donat que Θ_C és compartit per tots els constructes de tots els participants, designant aquesta unió de tots els constructes $K = \{K_1 \cup \dots \cup K_l\}$ per l participants, ara és possible realitzar una anàlisi de similitud dels constructes de K . El sistema calcula la similitud entre parelles de constructes de K i presenta les dades com una ordenació dels constructes més similars. Aquesta anàlisi té com a primer objectiu enfocar l'atenció de l'expert en dos tipus de desacord:

- constructes semblants que són dissimilars en l'anàlisi, i
- constructes no semblants que són similars en l'anàlisi.

Aquests constructes són *ambigus* i cal que siguin revisats pels experts abans d'admetre'ls en el marc de consens. El segon objectiu de l'anàlisi de similitud és detectar els constructes *redundants*, és a dir, aquells constructes que, tot i que puguin tenir noms diferents, responen a un mateix constructe compartit per tots els participants encara que sigui amb matitzacions individuals.

El procediment de generació del marc consensuat és semblant al de l'estadi anterior i consta de quatre punts:

- reunir els constructes de tots els experts participants
- definir els constructes que no s'inclouran al context comú
- definir els constructes que s'inclouen, resolent les ambigüitats, i
- subsumir els constructes redundants com a sinònims d'un sol constructe compartit.

La negociació del marc consensuat

Cal remarcar que aquesta fase de refinament dels constructes no és simplement igual al refinament del Capítol IV: en tractar-se de constructes de diversos experts la validació i refinament necessita de la *negociació* entre els experts. Els experts negociaran sobre constructes que *a priori*, segons opinen, haurien d'assemblar-se mentre que l'anàlisi mostra que es comporten ben diferentment. Aquesta negociació farà palès que els experts tenen diferents significats per constructes "similars" i pot donar com a resultat dos nous constructes amb significats explícits i compartits que substitueixin els antics que prèviament eren, aparentment, homònims.

Posem per exemple el procés de disseny d'una base de coneixements sobre llibres d'intel·ligència artificial anomenada LLIBRES. El constructe *Teòric/Aplicat* és construït per un expert A. D'altra banda, un expert B també ha usat un constructe *Teòric/Aplicat* que es comporta d'una manera ben diferent. Cada expert observà de nou les assignacions dels termes lingüístics que havia emprat l'altre en *Teòric/Aplicat* sobre el conjunt de llibres ara ja compartit. Els dos significats diferents s'explicitaren: l'expert A entenia per *Teòric* simplement *Abstracte* mentre que el significat de l'expert B per *Teòric* era més proper de *Formalització* o *Teoria Formal*. La negociació conclogué eliminant-ne els constructes ambigus i incorporant els nous constructes *Abstracte/Aplicat* i *Formalitzador/Aplicat*, amb significats compartits i explícits.

El procés de negociació, de fet, és repartit entre els estadis tercer i quart. Des d'un punt de vista teòric, la negociació pot adscriure's a l'estadi de construcció del llenguatge compartit quan la negociació tracta dels constructes, i pots adscriure's a l'estadi de construcció de taules consensuades quan la negociació tracta dels valors lingüístics dels conjunts contrastatius. Tanmateix, a la pràctica, la negociació pot involucrar ambdós aspectes. La distinció entre els dos tipus de negociació és més de concepte que no una ordenació seqüencial en el temps.

4.2.4 La construcció de taules consensuades individuals

El sistema instancia una taula amb el marc de consens per a cada expert individual $TC(A)$, incloent-hi els judicis valoratius que ja haguessin declarat en els estadis anteriors. Seguidament, es demana als experts que omplin la taula aplicant els nous constructes als objectes del context comú. En acabat, tots els experts tenen la seva perspectiva personal en un llenguatge comú i expressada dins un marc en el qual els judicis individuals són comparables.

Les anàlisis de similitud d'objectes i constructes entre perspectives explicats a la secció §4.2.1 s'apliquen de nou. Les taules consensuades individuals són comparades i es detecten les àrees de més gran desacord per tal d'enfocar la discussió i la negociació dels expert participants. Els experts discutiran els seus desacords en els judicis valoratius i finalment arribaran a un acord, consensuant el judici, o no, en el qual cas caldrà aplicar les funcions de sintetització de judicis de la pròxima secció.

Socioanàlisi dels experts i estratègies de negociació

Tanmateix, la negociació entre parells d'experts és una manera poc estructurada d'assolir un consens en una comunitat i l'enginyer de coneixements haurà de desenvolupar una estratègia global sota la qual tingui lloc la negociació. *EAR** efectua una *socioanàlisi* de la comunitat d'experts calculant el grau d'acord entre les perspectives individuals. Aquesta anàlisi és la que es realitzava a la secció §4.2.1 per calcular la similitud entre una versió $T_B(A)$ i la taula de repertori original $T_A(A)$ en l'intercanvi de perspectives.

La socioanàlisi entre perspectives consensuades individuals ajuda l'enginyer de coneixements i els experts a adonar-se de la "sociologia" de la comunitat d'experts. Per exemple, si existeixen *lobbies*, subgrups amb biaixos específics, és a dir una sociologia amb alta similitud dins els subgrups i baixa similitud entre els subgrups. O bé si es dona un *govern de la majoria*, és a dir un grup majoritari d'experts amb alta similitud i unes poques opinions dissidents. L'estructura sociològica és el marc on es poden interpretar les àrees de desacord entre les perspectives. L'enginyer de coneixements ha de decidir una estratègia de negociació en consonància amb el patró sociològic per tal que els experts enduguin un estadi de negociació amb sentit sobre les àrees de desacord. Per exemple, si hi han subgrups d'opinió molt tancats en la comunitat d'experts, una estratègia a adoptar seria "Primer, negociar el consens dins dels

'lobbies', i, després, entre ells". I en el cas del 'govern de la majoria' una estratègia seria "Negociar el consens només dins el grup majoritari i després negociar individualment amb els dissidents".

4.3. La síntesi de judicis valoratius

Com a resultat del procés conversacional de consens s'arribarà a un marc comú en el qual pot haver-se assolit un consens total o només parcial. En el primer cas, les taules consensuades individuals hauran donat pas a una sola taula consensuada compartida pels experts. En el segon cas, els judicis valoratius encara no consensuats s'agregaran utilitzant la teoria de la sintetització de judicis, com veurem a la secció §4.3.2. Abans, però, l'enginyer de coneixements ha de decidir si és útil, o té sentit, sintetitzar els judicis valoratius de tots els experts.

4.3.1 Estils cognitius i patrons sociològics

Si no s'ha aconseguit arribar al consens durant el procés conversacional, l'enginyer de coneixements ha de tenir en compte, de bell nou, el patró sociològic dels desacords entre els experts. Cal prendre en consideració si les diferències entre els experts són només de grau o bé responen a punts de vista estratègics sobre el problema que són fonamentalment diferents.

Per exemple, en el diagnòstic i teràpia mèdica, la diferència entre metges *conservadors* (aquells que donen tractament de ventall ampli, i possiblement menys potent, per tal de cobrir el major nombre dels diagnòstics plausibles) i metges *arriscats* (aquells que donen un tractament específic, i possiblement més potent, per cobrir únicament els diagnòstics altament plausibles) és una diferència estratègica. L'enginyer de coneixements, en un cas com aquest, pot decidir que no tindria sentit de mesclar aquests dos estils cognitius i, bé desenvolupar dues bases de coneixements distintes, bé una de sola. A més, també els patrons sociològics en què s'ha assolit el consens parcial s'ha de tenir en compte. Per exemple, en cas d'un patró de "govern de la majoria" pot ser molt raonable considerar rellevants només els experts membres del grup majoritari i eliminar els dissidents del procés de consensuació i sintetització de judicis.

4.3.2 La sintetització de judicis valoratius

La situació en què es troben els membres de la comunitat d'experts després del procés conversacional de consensuació, donat un llenguatge compartit entre ells, és l'adient per a poder aplicar funcions de la teoria de sintetització de judicis: es tracta de sintetitzar els judicis de n experts referents a una *mesura* o a una *raó* (*ratio*). Aczel i Alsina (1986) establiren els *criteris* que serien desitjables en la síntesi de judicis per tal que, partint d'ells, es podés definir les funcions o famílies de funcions més adients als criteris que fossin rellevants a un procés de sintetització.

Donats els judicis $x_1, x_2, \dots, x_l$ per l experts, els judicis pertanyen a un (interval) continu P , positiu i que pugui contenir $x_1, x_2, \dots, x_l$ i també llurs potències i recíprocs. La *funció de sintetització* f va de P^l a un interval J i s'anomena $f(x_1, x_2, \dots, x_l)$ el *resultat de la síntesi* dels judicis $x_1, x_2, \dots, x_l$. Amb les condicions de separabilitat i unanimitat (Aczel i Alsina, 1986), la funció de sintetització serà de la forma:

$$f(x_1, \dots, x_l) = \psi^{-1} \left(\frac{\psi(x_1) + \dots + \psi(x_l)}{l} \right).$$

on Ψ és una funció contínua i estrictament monòtona. És a dir, serà una *mitjana quasiaritmètica*. Entre aquestes mitjanes podem recordar les mitjanes aritmètica, geomètrica, harmònica i exponencial. A més, si afegim el *criteri de reciprocitat* (és a dir, que compleixi que si es jutja a dos cops més pesat que b , aleshores es compleixi que b és la meitat de pesat que a), es demostra que $\Psi = \log_e$ i f és la mitjana geomètrica:

$$f(x_1, \dots, x_l) = \sqrt[l]{x_1 \dots x_l}.$$

La sintetització de judicis lingüístics

L'avantatge de la perspectiva d'Aczel i Alsina és que es tracta d'un estudi general de la sintetització de judicis: únicament s'ha de complir que els judicis valoratius pertanyin a un continu P amb les propietats que hem vist. Així, Alsina (1986) pot definir funcions de síntesi de distribucions de

probabilitat com les funcions de la forma:

$$S_t(F_1, \dots, F_l)(x) = t^{-1} \left(\frac{1}{l} \sum_{i=1}^l t(F_i(x)) \right),$$

on t és una funció contínua estrictament decreixent de $[0, 1]$ a $[0, \infty]$ amb $t(1) = 0$.

Ara bé, en **EAR*** els conjunts contrastatius són distribucions de possibilitat definides sobre l'interval unitat $[0, 1]$. Per tal d'aplicar-hi les funcions de síntesi de judicis considerem els valors lingüístics a sintetitzar $x_1, x_2, \dots, x_l$ com a *nombre difusos* (com ja hem fet al Capítol anterior) definits sobre $\mathbb{R}^+$ i usarem les operacions de suma, producte, etc de l'*aritmètica difusa* (Dubois i Prade, 1979) per implementar les funcions de síntesi de judicis. En la primera versió d'**EAR*** s'empra la mitjana geomètrica, per les raons que s'han donat, encara que també s'hi inclou l'aritmètica i es podria, donat un cas concret, implementar qualsevol altre mitjana pseudoaritmètica emprant la representació lingüística dels conjunts contrastatius i l'aritmètica difusa (Plaza, Alsina et al, 1987).

El sistema **EAR*** sintetitza els judicis valoratius encara no consensuats de les perspectives $\{TC(A_1), \dots, TC(A_l)\}$ expressades en el llenguatge comú **TC** en una única taula de repertori consensuada i sintetitzada $TS(A_1, \dots, A_l)$. Aquesta taula, en el cas de múltiples experts, és la que s'usarà en l'enginyeria per a l'estructuració de coneixements que realitza el tercer mòdul d'**EAR*** i es descriu en el Capítol vinent.

Capítol V. ESTRUCTURACIÓ DELS CONEIXEMENTS I DESCOBRIMENT AUTOMÀTIC D'HEURÍSTIQUES

Si séparation et réunion sont répétées, la possibilité est donnée de former de nouveaux ensembles à partir des ensembles déjà posés; inversement, cette possibilité exige la possibilité de répéter les opérations de séparation et réunion. Elle exige donc le schème fondamentale de l'itération -qui est, du reste, déjà en œuvre dans la position d'un ensemble (ceci et ceci et ceci... sont des éléments de l'ensemble), et qui (...) est un schème essentiel du langage. Mais l'itération de la séparation ou de la réunion sur des ensembles donnés produit une hiérarchie, sur laquelle se concrétise ici le schème de l'ordre -schème qui est déjà (...) à l'œuvre dans la possibilité de toutes les opérations dont on vient de parler. Or une hiérarchie d'ensembles, pour les raisons déjà dites, est ipso facto une hiérarchie de prédicats; autant dire que cette possibilité contient déjà toute la syllogistique classique.

C. Castoriadis

Aquest Capítol descriu el tercer mòdul d'EAR*, el qual dona suport al disseny dels nivells superiors de l'estructura inferencial de les bases de coneixements (BC). El resultat d'aquest mòdul és una descripció a nivell de coneixements independent de la implementació d'una BC per sistemes de classificació heurística basada en el nostre saber sobre l'estructura de les BCs. L'objectiu d'aquest mòdul d'estructuració és acabar de completar l'estructura inferencial de la BC. Aquest objectiu s'acomplirà per les diverses tasques que configuren les seccions d'aquest Capítol.

Cal remarcar que les tasques que realitza aquest mòdul d'estructuració diferencia radicalment EAR* de qualsevol altre enfocament de l'adquisició de coneixements, i, de fet, n'integra dos en un marc més general. Així, per bé que el sistema ETS (Boose, 1986) fa servir tècniques de la Teoria dels Constructes Personals (sense valors lingüístics i explotant la seva utilitat només parcialment), aquest sistema no té capacitat per donar suport a diferents nivells d'abstracció i a mètodes de classificació heurística, sinó només de classificació simple. D'altra banda, els enfocaments d'aprenentatge de categories manquen tant de la capacitat d'adquirir relacions heurístiques (que relacionen directament dues estructures jeràrquiques) com de representar jerarquies que siguin múltiples, ja que habitualment l'aprenentatge té com objectiu construir una jerarquia estricta. Per exemple, el treball de Fu i Buchanan (1985) o el de Cheng i Fu (1985).

5.1. L'estructura d'abstracció de les solucions

Aquesta secció s'enfocarà doncs en la construcció d'una jerarquia múltiple de les solucions, és a dir, l'heterarquia que figura a l'esquerra de l'esquema genèric de l'estructura inferencial (vegeu Figura 5.1). Les solucions són els objectes del domini o bé llurs abstraccions en aquesta heterarquia. Així, per exemple, en la base de coneixements TOOL les solucions coincideixen amb els objectes del domini: són les eines de construcció de sistemes experts; en canvi, en la base de coneixements TRACT-PNEUMO els objectes del domini són pacients, mentre que una solució és un tractament, és a dir una classe que agrupa els pacients que, per raons no sempre iguals, s'els prescriu un mateix tractament.

5.1.1 Coneixements categorials i prototípics

En contraposició a les tècniques de la Teoria dels Constructes Personals descrites al Capítol III, que fonamentalment s'interessaven en tasques analítiques (ja que la introducció d'un nou constructe en la taula de repertori és la creació d'una nova distinció), en aquest Capítol ens interessa desenvolupar mètodes sintètics per agrupar objectes (o constructes). Per tal com els constructes ja tenen alguna estructura jeràrquica (donada per les implicacions, vegeu §4.2), ens cal explicar quin sentit té una estructura jeràrquica pels objectes del domini.

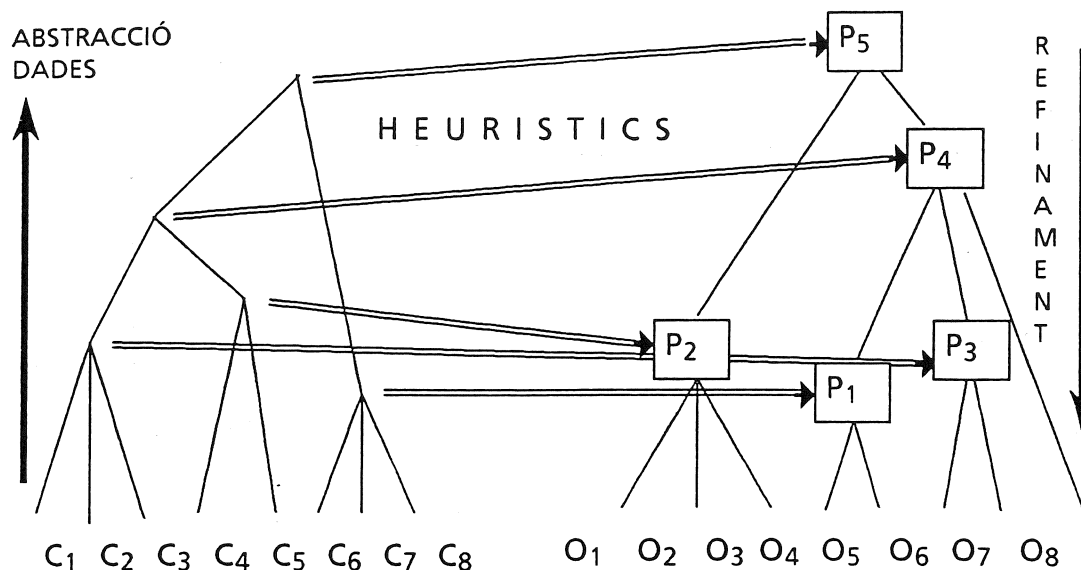


Figura 5.1. Estructura inferencial genèrica per a sistemes de classificació heurística, tal i com la genera EAR*. Denotem C_i els constructes, O_j els objectes del domini, i P_k els prototipus de les classes.

5.1.1.1 La noció de sumari

En la representació d'una categoria, des de la psicologia i la intel·ligència artificial, hi és subjacent la noció de *sumari*. Representar, per exemple, la classe dels ocells, no serà pas donar una descripció de totes les subclasses d'ocell, ans serà donar una representació que sigui un sumari de tots els ocells. La raó que sigui així, com remarca Roch (1978) és d'economia cognitiva: es redueix la quantitat d'informació quan s'usa un sol sumari.

La noció clàssica de categoria agafa en prèstec, de fet, la noció de conjunt: els elements d'una categoria es defineixen per un conjunt de característiques *necessàries i suficients* que llurs atributs han de satisfer. Aquesta noció de categoria ha dut a problemes, amb el resultat que dècades d'estudis han fracassat en esbrinar les *característiques definitòries* (és a dir, necessàries i suficients) de moltes categories i, com a conseqüència, moltes categories *no tenen* característiques definitòries. Una altre de les suposicions de la perspectiva clàssica de les categories és que la *subsumpció és estricta* (si una categoria B subsumeix una categoria A ($A \subset B$), les característiques definitòries de B són un subconjunt de les d'A ($D_B \subset D_A$)).

Cal remarcar que la majoria de mètodes d'aprenentatge (i en particular dels de formació de conceptes) es basen en aquestes dues pressuposicions que la psicologia ha hagut d'abandonar per tal d'explicar les categories naturals. Específicament, la pressuposició de la subsumpció estricta va lligada a l'objectiu d'aquests mètodes d'aprenentatge, el qual és de construir una única classificació jeràrquica que, implícitament, defineix una subsumpció d'aquest tipus. El fet llistat suara en tercer lloc, s'explica per la necessitat que té la categorització de raonar sobre heterarquies (jerarquies múltiples). EAR* ha d'encarar-se doncs amb dos reptes:

- Abandonar els mètodes de formació de conceptes que es basen en descripcions necessàries i suficients, i
- Abandonar l'objectiu rector d'aquests mètodes de construir una única jerarquia.

Per tant, haurem de formular una nova definició de categoria i un nou objectiu en el procés de categorització:

- La definició de categoria reprendrà la noció de *sumari* però ara basant-la en la noció de *prototipus* de la psicologia cognitiva i s'aplicarà a la *tasca de formació de conceptes* emprant la teoria de conjunts difusos per definir *sumaris lingüístics*.
- L'objectiu de la categorització serà construir una heterarquia mitjançant jerarquies múltiples rellevants per a l'expert en la seva activitat de resolució de problemes.

5.1.1.2 Les nocions de tipicalitat i prototipus

La recerca experimental en psicologia ha recollit evidències en contra de la perspectiva clàssica de les categories, i les més ben conegudes són els *efectes de tipicalitat*, també anomenada prototipicalitat. Dels efectes de tipicalitat, el més crític és el fet que les persones poden categoritzar més eficientment els elements considerats típics que els considerats menys típics. A més, en els casos típics hi ha acord entre les diferents persones que emeten els seus judicis, mentre que no n'hi ha en els casos menys típics (Rosch, 1978).

La teoria psicològica conclou que les categories es representen amb característiques no necessàries. La representació d'una categoria, en canvi, seria un "*prototipus*" que descriuria les característiques dels *membres típics* de la classe. D'aquesta manera els elements d'una classe no són tots iguals: alguns són típics, d'altres són perifèrics. La relació de pertinença d'un element a una categoria ja no és la de pertinença a un conjunt clàssic, sinó que Rosch i Mervis (1975) introdueixen una mesura anomenada *semblança de família* (*family resemblance*), seguint la proposta que feia Wittgenstein (1955) per les categories naturals després de la seva crítica a la perspectiva clàssica. Segons aquesta mesura de similitud un subjecte decideix si un objecte és membre d'una categoria o no. En canvi, els elements d'una categoria són *típics* en un cert grau (Rosch i Mervis, 1975).

EAR* construirà les classes d'una manera no difusa: els elements seran membres d'una classe nítidament i no en un cert grau. A més, el sistema representarà una categoria mitjançant un prototipus que reculli les característiques típiques d'aquesta. En aquesta memòria ens basarem en una distinció entre típic i prototípic proposada per Zadeh però no publicada (Zadeh, 1985), i en l'essència de la noció de *frame* o *schema* com a prototipus tal i com s'entén en la comunitat de la intel·ligència artificial:

- **TIPICALITAT.**
 - ★ Referit a una característica l'entendem com la *mitjana*, si aquesta és amb valors ordenats, o la *moda*, si no ho és, de les característiques que tenen els membres de la categoria. Per exemple, "els ocells volen."
 - ★ Referit a un membre de la categoria, es aquell que té unes característiques iguals o semblants a les típiques de la categoria. per exemple, "el pardal és un ocell típic."
- **PROTOTIPICALITAT.**
 - ★ Només pot referir-se a la categoria com a tal. Incorpora, a més de les característiques típiques, una mesura de quan *usual* és la tipicitat de cada característica. En una característica amb valors ordenats aquesta mesura pot ser una desviació típica o un rang que determina l'interval de valors *usuals* o *esperats* en els membres de la categoria. En una característica amb valors no ordenats aquesta mesura reflectirà el grau en què el valor típic reflecteix una majoria més o menys gran dels membres de la categoria.
 - ★ En ambdós casos, el prototipus conté una mesura de l'*adequació del resum* que el prototipus té d'una característica, respecte del conjunt de membres de la classe. Aquesta adequació estima el grau en què una característica serà rellevant o important per definir la classe.

5.1.2 Agrupament conceptual i classificacions múltiples

L'*agrupament conceptual* (*conceptual clustering*) és un procés d'abstracció originat i definit per Michalsky com una extensió dels processos de classificació numèrics (Michalsky i Stepp, 1985a, 1985b). L'agrupament conceptual pot considerar-se com un tipus de *formació de conceptes* o *aprenentatge per observació*, en contraposició als mètodes de *identificació de conceptes* o *aprenentatge a partir d'exemples*. En el segon cas, el mètode ataca el problema de derivar descripcions conceptuais de classes definides per un mestre. En el primer cas, intenta atacar el problema de la *creació* de classes, i mètodes recents han aportat algunes solucions parcials al problema de l'origen de les classes (Fisher i Langley, 1985). Segons aquests autors, l'agrupament conceptual es compon de tres subprocessos, distints però relacionats:

- *el procés de derivar un esquema de classificació jeràrquica, que realitza la cerca en l'espai de les jerarquies,*
- *el procés d'agregar objectes en classes individuals, que realitza la cerca en l'espai de les agregacions, i*
- *el procés d'assignar una descripció conceptual a les classes d'objectes que realitza la cerca en l'espai de les caracteritzacions.*

L'últim subprocés pot igualar-se als processos d'identificació de conceptes. Ara bé, com hem vist a la secció anterior, la tasca d'aprendre la descripció o identificació d'una classe serà radicalment diferent si la perspectiva és la de la teoria de conjunts i la psicologia clàssica de les categories, en que l'objectiu és de derivar-ne les característiques necessàries i suficients de la categoria, o bé la perspectiva que adopta aquesta memòria en la qual l'objectiu és descriure una classe mitjançant un prototipus, en el sentit definit a la secció §5.1.1.2. Per aquesta raó, el mètode d'identificació de conceptes que **EAR*** empra s'aparta d'arrel dels altres mètodes usuals en aprenentatge simbòlic (*machine learning*).

Donat que **EAR*** té com objectiu aprendre les classes que fa servir l'expert en el seu raonament, sembla prou natural d'utilitzar mètodes d'identificació de conceptes: l'expert proposaria les classes i el sistema en deriva la seva descripció conceptual en forma de prototipus. Per tal com no en tots els dominis l'expert té explícitament conceptualitzades les classes d'objectes **EAR*** condueix un diàleg amb l'expert per tal d'ajudar-lo a definir les classes que l'expert consideri significatives.

Nogensmenys, l'utilització de mètodes d'agrupament conceptual presenta desavantatges:

- *és un procés computacionalment costós, s'ha d'explorar d'alguna manera l'espai de les jerarquies,*
- *els criteris d'optimalitat de les classes de la jerarquia no són dependents del domini dels objectes, de manera que la jerarquia produïda respon a criteris que l'expert no entén, i l'enginyer de coneixements, per un domini d'expertesa donat, no sap, en els diferents mètodes d'agrupament conceptual, quin d'aquests criteris seria millor usar. Per exemple, els resultats varien dràsticament si al mètode se li especifica que ha de construir quatre classes o dotze. A més, els criteris d'optimització conceptual de l'agregació d'objectes (el segon subprocés) tampoc no depenen del domini dels objectes amb què es treballa. Per últim, però no menys important,*
- *l'objectiu del procés és construir una única jerarquia, en canvi, els experts, en el seu raonament, i les persones en les categories naturals usen jerarquies múltiples, donat que les relacions de subsumpció, com hem vist, no són estrictes. Per tant, hem de renunciar també al primer subprocés de l'agrupament conceptual: formular un esquema de classificació jeràrquica.*

Aquest últim punt és el més fonamental. L'agrupament conceptual necessita un criteri d'optimalitat que guï el procés a una estructura jeràrquica. El raonament de l'expert necessita heterarquies o boscos i costrenyir-lo a emprar-ne una de sola no té sentit. Un bon exemple es dona en els sistemes experts en medicina i, a part de Clancey, també Szolovits ha remarcat aquesta necessitat en els sistemes basats en coneixements (Szolovits. 1985). En concret, la representació d'organitzacions jeràrquiques de coneixements es pot realitzar com a *jerarquies mesclades* o com a *jerarquies pures múltiples* i Szolovits suggereix que és útil mantenir *diferents representacions per a diferents aspectes del problema*; per exemple, en diagnòstic mèdic, dues taxonomies són: la temporal (Malaltia Aguda, Crònica, Repetida, ...) i la de localització (òrgan afectat, part afectada de l'òrgan, ...).

Recentment, Mazlack (1986) remarcava des d'un punt de vista teòric la necessitat d'estructures que implementessin la categorització (en la forma de prototipus) i l'estructura plural de classificacions jeràrquiques per als sistemes de raonament aproximat. No podem més que ser-hi d'acord i **EAR*** ofereix una implementació que suporta aquestes propostes en l'adquisició de coneixements. En concret, les eines de construcció de categories que Mazlack proposa (categories amb gradació o no, amb fronteres clares o no, elements de contrastació, classificacions no estrictament jeràrquiques, etc) es realitzen en **EAR*** mitjançant la representació amb valors lingüístics dels conjunts contrastatius, la generació automàtica de prototipus i la construcció de múltiples jerarquies.

*El mètode d'abstracció de solucions d'EAR**

El sistema EAR* adopta aquesta decisió heurística, de manera que diferents criteris d'agrupació crearan *taxonomies* (jerarquies pures) múltiples; a més, en el diàleg amb l'expert que condueix, EAR* guia l'expert a agrupar les classes per criteris per tal de organitzar les jerarquies separadament. Des de la perspectiva de l'aprenentatge simbòlic, EAR* realitza un aprenentatge guiat per l'expert que juga el rol de mestre que implica l'aprenentatge a partir d'exemples. Tanmateix, donat que el diàleg amb l'expert el condueix el sistema, interrogant l'expert sobre les classes i sobre les taxonomies, l'aprenentatge no és totalment passiu, com és el cas en l'aprenentatge a partir d'exemples en sentit pur. D'altra banda, EAR* no realitza automàticament un procés d'agrupament conceptual. Definiríem el mètode d'abstracció de solucions que fa servir EAR* com un *mètode d'agrupament conceptual assistit*. Si recordem els subprocessos d'agrupament conceptual, i els reformulem per al mètode d'abstracció de solucions d'EAR*, aquest consta de:

- *el procés de derivar un esquema de múltiples classificacions jeràrquiques*, que s'efectua en un diàleg en el qual l'expert crea les taxonomies que creu rellevants i el sistema les distingeix com organitzacions diferents que responen a criteris distints als quals l'expert ha de cenyir-se,
- *el procés d'agregar objectes en classes individuals*, que s'efectua en un diàleg en el qual l'expert crea les classes que creu significatives mentre el sistema l'interroga respecte dels objectes encara sense classificar i sobre el criteri de classificació (la taxonomia en la qual és rellevant),
- *el procés d'assignar una descripció conceptual a les classes d'objectes* es realitza automàticament pel sistema, com s'explica a la secció següent, i és presentat a l'expert per a la seva validació.

L'expert, en el diàleg d'estructuració de taxonomies, engega molts cops un procés d'exploració de classes i taxonomies, ja que aquestes no són explícitament definides en el seu saber. Ara bé, aquesta exploració es veu constrenyida per les exigències del sistema quan condueix el diàleg i que hem assenyalat en aquests tres punts. Per aquesta raó considerem que EAR* far servir un mètode d'agrupament conceptual assistit. Quan l'expert coneix ja prèviament les estructures categorials i taxonòmiques, aquest mòdul d'abstracció de solucions d'EAR* té poc a fer, i la seva tasca esdevé una d'aprenentatge passiu a partir d'un mestre i realitzant la identificació de conceptes. Nogensmenys, en aquest cas, EAR* encara pot ser útil describint conceptualment les classes en forma de prototipus i emprant aquestes descripcions per a la generació automàtica d'heurístiques d'alt nivell, com veurem a la secció §5.3.

5.1.3 Generació de prototipus: aprenentatge a partir d'exemples

Aquesta secció explicarà el procediment heurístic que segueix EAR* per generar automàticament un *prototipus* d'una classe d'objectes donada. Aquest prototipus és la *descripció conceptual* de la classe, resultat d'un procés d'aprenentatge a partir d'exemples. Per tal d'aconseguir aquest objectiu, la tasca d'identificació conceptual ha de pendre decisions a dos nivells:

- *Ha de descobrir els atributs rellevants*, és a dir, ha de decidir, segons un criteri heurístic, els construtes que són rellevants per a caracteritzar conceptualment la classe i que anomenem *atributs*.
- *Ha de sumaritzar els atributs*, és a dir, ha de decidir, seguint un procediment heurístic, quina descripció conceptual s'adiu millor al comportament de l'atribut sobre els objectes de la classe.

Atributs rellevants per a la caracterització conceptual

En primer lloc tractarem del criteri heurístic que determina la rellevància dels atributs per descriure una classe. Conceptualment, un constructe C_i serà més rellevant en la caracterització conceptual d'una classe $\Theta_\Pi = \{O_1, \dots, O_k\}$ com més *homogeni* sigui el seu comportament sobre els objectes de la classe. És a dir, donat el conjunt contrastatiu Ξ_i de C_i , i les assignacions dels termes contrastatius $\{P(C_i, O_j) = \xi_j \mid O_j \in \Theta_\Pi, \xi_j \in \Xi_i\}$, el constructe serà menys rellevant com més *dispersos* estiguin els valors

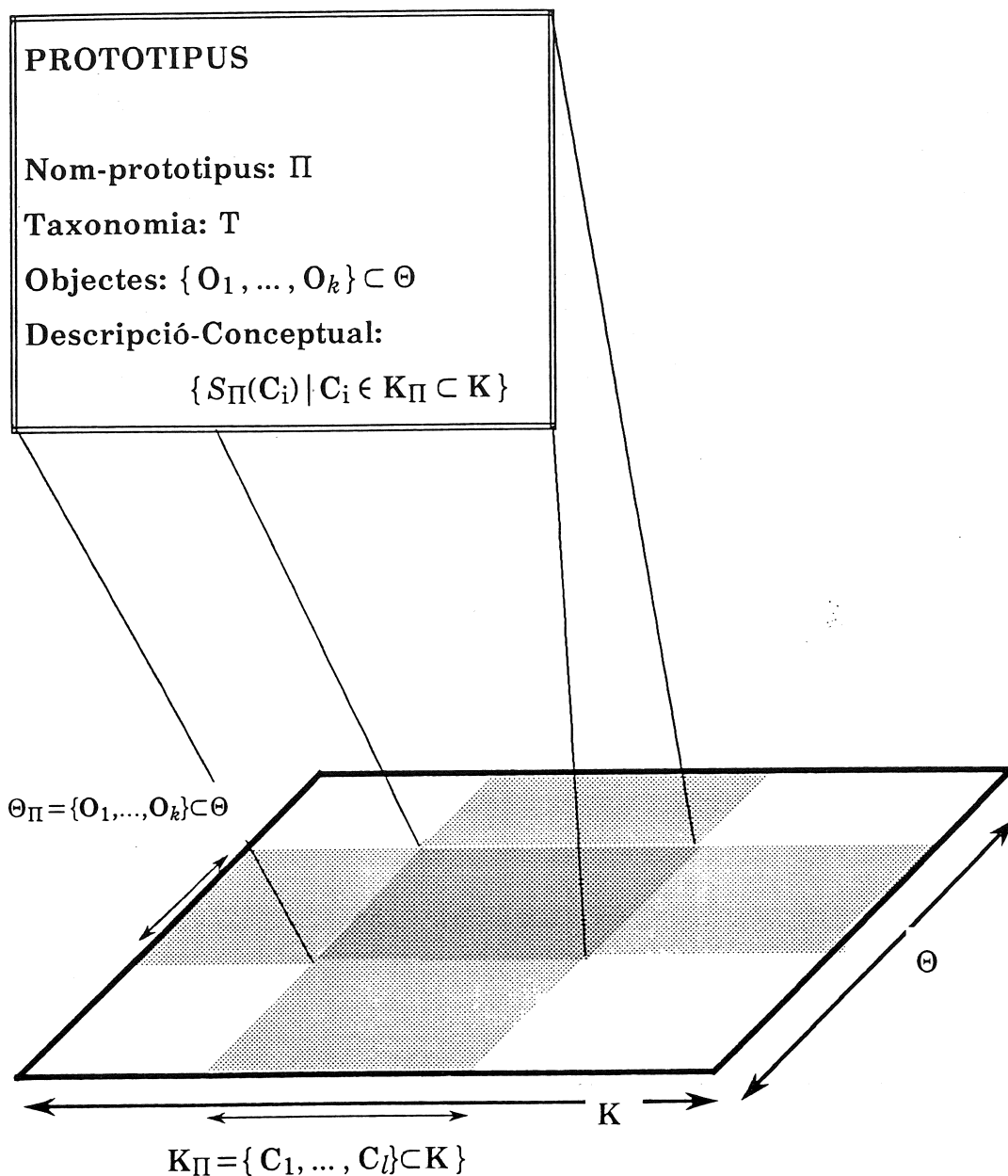


Figura 5.2. Prototipus Π definit en un espai contrastatiu format pels constructes K i els objectes Θ . Π és el prototipus d'una classe composta pels objectes $\{O_1, \dots, O_k\}$, un subconjunt Θ_{Π} de Θ . Els constructes rellevants a la caracterització de la classe són $\{C_1, \dots, C_l\}$, un subconjunt K_{Π} de K , i que constitueixen els atributs de la classe. El prototipus posseeix una sumarització $S_{\Pi}(C_i)$ del comportament dels atributs $C_i \in K_{\Pi}$ sobre els objectes de la classe. El conjunt de sumaritzacions forma la *descripció conceptual* de la classe. El prototipus genera un espai (K_{Π}, Θ_{Π}) que és una abstracció de l'espai contrastatiu (K, Θ) .

lingüístics assignats $\{\xi_1, \dots, \xi_k\}$ en la classe, i serà més rellevant com més *agrupats* estiguin aquests valors en la classe. A tall d'exemple, observem els casos extrems:

- *Atributs clarament rellevants:*
Un atribut serà clarament rellevant quan C_i tingui un únic valor $\xi = \xi_1 = \dots = \xi_k$ sobre els objectes de la classe. Per exemple, si tots els malalts d'una classe tenen el valor *Lleu* per al constructe *Gravetat*, aquest és clarament rellevant per descriure conceptualment els membres de la classe amb "*Gravetat és Lleu*".
- *Atributs clarament irrellevants:*
Un atribut serà clarament irrellevant quan tots els valors ξ_j del conjunt contrastatiu Ξ_i siguin equiprobables sobre la població d'objectes $\{O_1, \dots, O_k\}$ de la classe. Per exemple, sigui el constructe *Gravetat* amb $\Xi_{Gravetat} = \{Lleu, Moderadament-Greu, Greu\}$ i una classe de nou objectes $\{O_1, \dots, O_9\}$; si cada terme contrastatiu s'aplica a tres dels objectes, és evident que l'única descripció conceptual que es pot fer és que, respecte de la *Gravetat* dels malalts, qualsevol valor és possible en la classe, i, per tant, aquest constructe és un atribut absolutament irrellevant per a caracteritzar la classe.

Considerarem per tant que el grau de rellevància d'un atribut per a la descripció conceptual d'una classe ve estimat per l'invers del grau de dispersió dels valors lingüístics assignats $\{\xi_1, \dots, \xi_k\}$ als objectes $\{O_1, \dots, O_k\}$ de la classe.

El procediment d'EAR* és de considerar els valors lingüístics ξ com a nombres difusos, tal i com s'ha fet anteriorment, i defineix el grau de dispersió δ com la *desviació típica* (respecte de la mitjana calculada) dels valors lingüístics assignats $\{\xi_1, \dots, \xi_k\}$ en la classe. La decisió d'escollir els constructes que són rellevants es parametriza amb el valor d'un llindar, anomenat **llindar-dispersió**. La regla del primer nivell de decisió és:

- Per cada constructe C_i ,
 - ★ si $\delta_{C_i} < \text{*llindar-dispersió*}$, incorporar el constructe com atribut rellevant generant-ne la seva sumariització ($C_i, S_{\Pi}(C_i)$),
 - ★ altrament, considerar el constructe irrellevant ($C_i, \perp$).

Tot seguit tractarem del mètode de sumariització. Cal remarcar en aquest punt que la construcció d'una caracterització conceptual és un *procés d'abstracció*. D'una banda, l'expert, en definir una classe, defineix un subconjunt d'objectes del context del domini Θ . D'altra banda, el sistema fa una abstracció del conjunt de constructes K . La Figura 5.2 mostra com de l'espai contrastatiu (K, Θ) s'abstrau un espai (K_{Π}, Θ_{Π}) .

Sumariització lingüística dels atributs

L'única recerca en adquisició de coneixements que fa ús de sumariitzacions automàtiques, a part d'EAR*, del qual en tenim coneixement, és el treball amb bases de dades de Wiederhold, Walker, Blum i Downs (1986). La noció de sumariització que ells usen és diferent de la nostra, que és semblant a una definició abstracta de Yager (1982). Interpretant aquesta definició en el context dels objectius de construcció de prototipus de classes, EAR* posseeix, per primer cop, un *mètode automàtic* de sumariització lingüística.

El segon nivell en què el mètode d'aprenentatge a partir d'exemples pren decisions és en el de realitzar un sumari dels atributs considerats rellevants pel primer nivell de decisions. L'ús de sumariitzacions com a mètode per a l'adquisició de coneixements és, a la pràctica, totalment nou. La noció de sumari que necessitem ha de tenir dues propietats:

- *El sumari ha de ser lingüístic:*
el sumari és una component de la descripció *conceptual* de la classe.
- *El sumari ha de indicar la seva validesa:*
d'acord amb la nostra definició de prototipus, un prototipus ha de saber l'*adequació* amb què els seus sumaris descriuen els membres de la classe.

DEFINICIÓ 5.1: Donada una classe Π amb els objectes $\Theta_{\Pi} = \{O_1, \dots, O_k\}$, i el constructe C_i amb conjunt contrastatiu Ξ_i , definim la *sumariització* de C_i com una asserció de la forma

$"C_i \text{ és } \xi^+ \text{ amb una validesa } v \text{ (en la classe } \Pi)"$,

que denominem *sumari* i el denotarem

$$S_{\Pi}(C_i) = v(\xi^+),$$

on,

- ξ^+ és el *sumaritzador*. Aquest ξ^+ és un terme de Ξ_i o la disjunció de diversos termes ($\xi_1 \vee \xi_2 \vee \dots \vee \xi_w$) de Ξ_i .
- v és el *quantificador*. Aquest v es defineix

$$v = \frac{\text{card}\{O_j \mid O_j \in \Theta_{\Pi}, P(C_i, O_j) = \xi_r \subseteq \xi^+\}}{\text{card } \Theta_{\Pi}}$$

és a dir, com la raó entre els objectes de la classe que cobreix el sumaritzador i els objectes de la classe. $\square$

Aquesta definició de sumarització és un mètode heurístic que busca un compromís entre dos *desiderata* contradictoris dels sumaris:

- *Especificitat del sumari*,
un sumari amb moltes disjuncions $\xi^+ = \xi_1 \vee \xi_2 \vee \dots \vee \xi_w$ és poc informatiu car la restricció dels valors possibles és massa laxa, mentre que un d'específic ($\xi^+ = \xi_r$) és molt més informatiu en determinar una restricció més estricta.
- *Validesa del sumari*,
excepte en els casos extrems, un sumari més específic que un altre (per exemple, dos sumaris possibles com $\xi_1 \vee \xi_2 \subset \xi_1 \vee \xi_2 \vee \xi_3$) en una classe tindrà una adequació menor (ja que el sumari recobrirà menys objectes) i per tant tindrà un grau de validesa menor $v(\xi_1 \vee \xi_2) < v(\xi_1 \vee \xi_2 \vee \xi_3)$.

Per tal de superar aquestes dues injuncions contradictòries, el *mètode heurístic de sumarització d'EAR** pren un compromís basat en el càlcul de la desviació típica. En concret el mètode de sumarització lingüística consta de tres estadis:

- càlcul de la mitjana m_{C_i} i de la desviació típica σ_{C_i} ,
- donat l'interval definit per $[m_{C_i} - \sigma_{C_i}, m_{C_i} + \sigma_{C_i}]$, realitza una aproximació lingüística que cerca la disjunció de termes contrastatius $\xi^+ = \xi_1 \vee \xi_2 \vee \dots \vee \xi_w$ més semblant (és a dir, que defineixen un interval més proper), i
- càlcul de la validesa del sumari $v(\xi^+)$.

En els casos extrems d'atributs clarament rellevants o irrellevants, naturalment, la tasca d'identificació conceptual genera, en el primer cas, un sumari d'un sol terme contrastatiu amb grau de validesa 1, i, en el segon cas, genera el valor d'irrellevància $\perp$.

El quantificador v es dona en forma també lingüística, per exemple "*A-V-Pairs és Funció-Limitada o Funció-Present molt sovint*". El quantificador, que estima el grau de validesa del sumaritzador, és més entenedor per a l'expert expressat com en l'exemple que no formulat com a predicats sobre la validesa, de la forma "*'A-V-Pairs és Funció-Limitada o Funció-Present' és un sumari FORÇA (o 0.78) vàlid*". El quantificador rep aquest nom de la teoria de la possibilitat en la que les distribucions de possibilitat, definides sobre un univers del discurs que representa una quantitat (absoluta o relativa) respecte d'una població, s'anomenen així.

Val a remarcar aquí que el sumaritzador també incorpora una abstracció en l'espai contrastatiu format per

$$\{C_i, \Xi_i, O_j, P(C_i, O_j) = \xi_r\} \quad i=1\dots n, j=1\dots m$$

com veiem a la secció §3.6.5.2. En efecte, els sumaritzadors creen uns nous termes contrastatius, més generals, construïts com a disjuncions dels termes preexistents. Així, l'espai contrastatiu amb què *EAR** treballa (molt substancialment, quan genera heurístiques d'alt nivell) és

$$\{C_i, \Xi_i^*, O_j, P(C_i, O_j) = \xi_r\} \quad i=1\dots n, j=1\dots m$$

on els conjunts contrastatius augmentats Ξ_i^* es componen dels termes contrastatius antics Ξ_i més els termes contrastatius creats pels processos de sumarització.

Validació dels prototipus

Els prototipus són generats dins d'un procés de diàleg que descriurem en la secció vinent. Dins d'aquest diàleg l'expert ha de validar els prototipus generats heurísticament pel sistema en diferents circumstàncies: de vegades estarà simplement explorant una classe que li sembla significativa, d'altres estarà declarant una classe que ell comprèn perfectament. En el primer cas, l'expert empra el mètode d'identificació de conceptes d'EAR* com a eina d'exploració, mentre que en el segon l'usa per a validar, respecte dels seus coneixements, una descripció conceptual de la classe. En ambdós tipus d'interacció EAR* gestiona el mateix diàleg de validació.

La tècnica de *presentació de dades* en el diàleg de validació de prototipus inclou una finestra del prototipus amb les sumaryzacions lingüístiques realitzades pel mètode d'identificació de conceptes. El diàleg permet *enfocar l'atenció de l'expert en els desacords* explorant els atributs que són inclosos com a rellevants i els que són rebutjats com irrellevants per l'heurística de sumarytzació. El diàleg també permet l'*expressió clara dels seus desacords* ja que l'expert declara quins atributs haurien de formar part del prototipus i quins no.

5.1.4 Construcció de taxonomies múltiples

Ja hem discutit la necessitat de les organitzacions heteràrquiques i les motivacions per adoptar una representació amb multiplicitat de jerarquies pures que en EAR* s'anomenen *taxonomies*. La *presentació de dades* d'una taxonomia adopta forma gràfica en una finestra panoràmica. Les classes d'una taxonomia es divideixen en:

- *Classes validades*,
són classes per les quals ja s'ha creat, i l'expert ha validat, un prototipus. Aquestes classes tenen un nom (el que es dona al declarar vàlid el prototipus) i són sensibilitzades per l'acció del botó de la rateta, creant una finestra que mostra immediatament la descripció conceptual de la classe.
- *classes no validades*,
són classes que no tenen nom (només les inicials de la taxonomia i un número) ni un prototipus validat.

El diàleg de validació s'enfoca principalment envers les classes encara no validades. L'expert ha de validar-les, si són classes *significatives* o bé eliminar-les si no ho són.

Les diferents taxonomies són organitzacions jeràrquiques que responen a diferents estructuracions heurístiques dels objectes o solucions. La creació de taxonomies dependrà de com s'explicitin aquestes estructuracions heurístiques. EAR* té tres modalitats de creació de taxonomies, que explanarem tot seguit, i que responen a les diverses formes en la qual aquesta explicitació pot produir-se.

MODALITAT 1. CREACIÓ D'UNA TAXONOMIA EX-NIHILO

És el cas en què l'expert *proposa* una taxonomia. L'estructura jeràrquica és prou coneguda per l'expert i l'únic que li cal fer és utilitzar la funció del sistema *DECLARAR-CLASSE* per construir-ne les classes i engegar el diàleg de creació i validació de llurs prototipus.

MODALITAT 2. CREACIÓ D'UNA TAXONOMIA NUMÈRICA

Si el domini d'expertesa és poc organitzat el sistema genera una classificació numèrica que serveixi de punt de partença per explorar les possibles classes significatives i validar-ne els prototipus. El diàleg que gestiona el sistema deriva un esquema de múltiples classificacions jeràrquiques exigint que l'expert agrupi les classes significatives en grups diferents si responen a criteris semblants o diferents. EAR* crea una taxonomia nova per cadascun d'aquests grups de prototipus, incorporant les classes que encara falten per validar (o eliminar) i els prototipus rellevants. L'expert, posteriorment, explora aquestes taxonomies, en modifica l'estructura i pot eliminar les que fossin errònies o crear-ne de noves amb la tercera modalitat.

MODALITAT 3. CREACIÓ A PARTIR D'UNA ALTRA TAXONOMIA

Aquesta modalitat és igual que l'anterior en el mecanisme, però diferent quant el concepte. La Modalitat 2 correspon a l'inici del procés d'exploració i estructuració que l'expert mena a partir d'una classificació sintàctica que li permet detectar classes significatives que, en principi, es relacionaran en diverses taxonomies. En canvi, la Modalitat 3 respon a la situació en la qual l'expert decideix que l'agrupació d'objectes i classes que té fins el moment no repon a un sol criteri i que pot realitzar dues organitzacions jeràrquiques diferents que siguin significatives.

La tasca d'estructuració i validació de les taxonomies finalitza quan s'han eliminat totes les classes no significatives i s'han validat totes les classes significatives en totes les taxonomies. En acabar aquest procés, totes les classes tenen una descripció conceptual que **EAR*** a après amb el mètode d'identificació de conceptes. Com hem vist, cadascun d'aquests prototipus Π definia un nou espai (K_{Π} , Θ_{Π}) que és abstracció de l'espai contrastatiu (K , Θ) i s'han generat nous termes contrastatius d'àmbit més general. Una taxonomia validada és una estructura jeràrquica que, degut a la relació d'subsumpció entre classes i subclasses, forma un *espai de diversos nivells d'abstracció*, i cada taxonomia constitueix una organització amb nivells d'abstracció diferent. Aquests diferents nivells d'abstracció formen l'*estructura d'abstracció de les solucions* i són la base (junt amb els resultats de la secció vinent que és l'estructura d'abstracció de les dades) del mecanisme de generació automàtica d'heurístics.

5.2. L'estructura d'abstracció de les dades

En el Capítol III, les tècniques d'explicitació, anàlisi i validació de coneixements estructurals ja generaven constructes de baix i alt nivell (constructes subordinats i superordinats) amb l'anàlisi d'implícacions. Aquest conjunt d'implícacions entre els constructes explicitats forma una heterarquia i **EAR*** les representa com un bosc d'implícacions. L'objectiu de la tasca d'abstracció de constructes és de completar l'estructura d'abstracció de les dades. Ara bé, el que ens cal per a la generació d'heurístiques no són prototipus en aquesta jerarquia, ja que els prototipus eluciden *allò que hi ha de comú o compartit en una col·lecció*; en canvi, el que ens interessa són *unitats de discriminació a diferents nivells d'abstracció* per tal de distingir i decidir entre les classes dels distints nivells. Les unitats de discriminació seran *conjunts contrastatius de constructes*. L'exemple de la Figura 5.11 il·lustrarà aquesta noció. Els constructes subordinats d'un altre es poden considerar com el seu conjunt contrastatiu. Així, *modus-ponens*, *resolució*, *arbre-de-decisió* són diferents formes de *generació de fets* i, per tant, són termes del conjunt contrastatiu *generació de fets*.

En l'exemple s'entén semànticament que els constructes subordinats formen un conjunt contrastatiu. Tanmateix això no és necessari i considerarem que, encara que l'expert no li dongui un sentit, tota col·lecció de constructes subordinats a un constructe C_i

$$\Xi(C_i) = \{C_j \mid C_j \Rightarrow^2 C_i\}$$

forma un conjunt contrastatiu. Vàrem veure a la secció §2.6 que la representació dels conjunts contrastatius amb distribucions de possibilitat és vàlida per a termes contrastatius que són totalment o parcialment ordenats, però no acceptava termes contrastatius no ordenats, i remetiem a aquest Capítol indicant que es podien representar d'una altra manera. En efecte, els termes contrastatius no ordenats els representàvem com constructes independents, i ara els reagrupem com a conjunt contrastatiu de constructes sota un constructe superordinat $\Xi(C_i)$.

Els conjunts contrastatius sense interpretació semàntica són útils per a la generació automàtica d'heurístiques d'alt nivell, i això per una raó: els constructes, amb els valors dels termes contrastatius, defineixen una ordenació sobre el conjunt dels objectes del domini Θ

5.2.1 Unitats de discriminació estratègiques

Un exemple extrem pot servir per clarificar les propietats dels conjunts contrastatius de constructes com unitats de discriminació i la seva utilitat en la generació automàtica d'heurístiques d'alt nivell. En la base de coneixements TOOL hi ha dos constructes molt booleans *Decision-Tree* i *Examples* que s'apliquen a algunes eines (les que generen un arbre de decisió a partir d'exemples) i no s'apliquen gens a les altres eines. De forma poc sorprenent, les taxonomies de TOOL agrupen en una o més classes

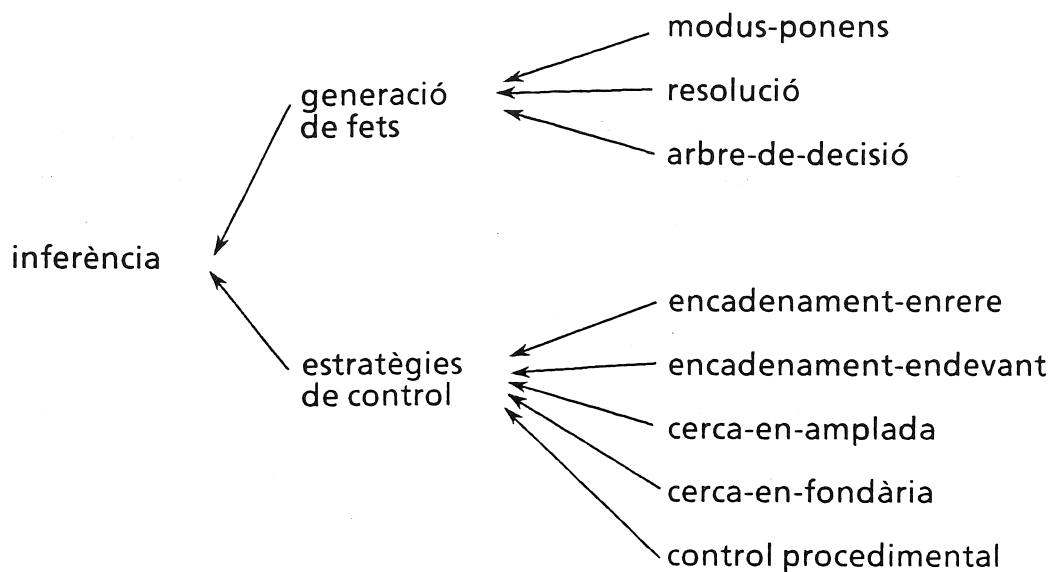


Figura 5.11. En aquest exemple amb constructes de la base de coneixements TOOL s'observen els constructes superordinats (*generació de fets*, *inferència*, *estratègies de control*) i els subordinats. Els subordinats (*modus-ponens*, *resolució*, *arbre-de-decisió*) són un conjunt contrastatiu de *generació de fets*.

(de baix o d'alt nivell) aquestes eines. Per tant, aquests dos constructes creen una ordenació dels objectes del domini extrema i booleana, separant les eines que posseeixen l'atribut de les que no. *Els constructes que formen un conjunt contrastatiu discriminen (ordenen) els objectes d'una manera semblant* i per això els anomenem *unitats de discriminació*. Aquí, 'semblant' significa sota la restricció de l'ordenació del constructe superordinat.

Per tal de construir heurístiques d'alt nivell, **EAR*** ha de "*descobrir*" aquesta relació altament discriminant d'un parell de constructes respecte dels objectes i les classes d'objectes. L'*estratègia* d'aquest mòdul d'estructuració és construir, amb l'expert, les estructures necessàries per fer-ho: la creació d'unitats de discriminació en l'estructura d'abstracció de dades i la creació de prototipus en l'estructura d'abstracció de les solucions. Completar l'estructura d'abstracció de les dades serà per tant *completar els conjunts contrastatius de constructes*. Les tècniques d'escalament, amb les preguntes *PER QUÈ* i *COM* sobre constructes obtenien com a resultat constructes més generals (superordinats) i més concrets (subordinats) respectivament. Donat que acceptem els conjunts contrastatius encara que no tinguem interpretació per ells, l'anàlisi d'implicacions específica els constructes que són en algun conjunt contrastatiu i els que no hi són. La tasca de completar l'estructura d'abstracció comporta:

- detectar els constructes que no són subordinats de cap altre,
 - ★ aplicar-li preguntes *PER QUÈ* per aconseguir nous constructes que el subordinin,
 - ★ si l'expert no en coneix cap declarar-los *constructes superordinats*, posant-los en el conjunt C_H .
- detectar els constructes que no són superordinats de cap altre,
 - ★ aplicar-li preguntes *COM* per aconseguir nous constructes que en siguin superordinats seus,
 - ★ si l'expert no en coneix cap declarar-los *constructes subordinats* posant-los en el conjunt C_L .

La idea que hi ha al darrera d'acceptar també els conjunts contrastatius sense interpretació és que poden ser útils com unitats de discriminació. Això no vol dir que l'explicitació de conjunts contrastatius de constructes amb interpretació no es pugui realitzar usant les tècniques d'escalament pures. L'estratègia del sistema és enfocar l'atenció de l'expert en aquells constructes que encara no eren sotmesos a relacions de subordinació o superordinació i validar que això és correcte o no (introduint en

aquest cas nous constructes que generin aquesta relació jeràrquica que mancava). És possible que no s'explicitin, per exemple, tots els constructes superordinals, però en realitat no cal, ja que els constructes de molt alt nivell dins un domini solen ser gairebé tautologies i no posseeixen a penes poder de discriminació: dins les eines de construcció de sistemes experts el constructe *Inferència* de l'exemple, un poc fictici, de la Figura 5.11, és una tautologia en el sentit que totes les eines tenen mecanismes d'inferència i el que és discriminant són aquests mecanismes concrets (per això no apareix en la taula de repertori de TOOL).

Un cop finalitzat el diàleg de validació de l'organització jeràrquica dels constructes **EAR*** construeix l'estructura d'abstracció de les dades tornant a efectuar, amb els nous constructes, l'anàlisi d'implícacions (que generaren els conjunts contrastatius de constructes necessaris per a la posterior generació d'heurístiques) i l'anàlisi de regles (que genera l'estructura jeràrquica dels constructes conformant-ne l'estructura d'abstracció de dades de l'estructura inferencial de la classificació heurística).

5.2. Descobriment automàtic d'heurístics

Les tasques d'abstracció de constructes i d'objectes de les seccions precedents en aquest Capítol construeixen incrementalment els espais d'abstracció de les dades i les solucions. El seu primer objectiu és el d'explicitar els coneixements de naturalesa jeràrquica que l'expert té del seu domini. Un segon objectiu, igual d'important, és donar suport a les heurístiques: aquestes dues heterarquies són també els 'punts' del 'pont' que és l'esquema d'inferència de la classificació heurística de la Figura 6.1. La clau de volta d'aquest pont són les heurístiques d'alt nivell, relacions directes i no jeràrquiques que es basen en coneixements d'allò que és (o esdevé) típicament o usualment. Aquesta secció bastirà un mètode de generació de *relacions heurístiques d'alt nivell* (per comoditat, en direm *heuristics*) sobre aquests dos punts. Per tal de fer això, el sistema haurà d'explorar l'espai abstracte comú a ambdós heterarquies i 'descubrir' els heurístics que els relacionen,

5.3.1 Nivells d'abstracció a l'espai contrastatiu

Com hem vist a la secció §5.1, un prototipus Π d'una classe de solucions, defineix, sobre l'espai contrastatiu (K, Θ) , un abstracció (K_{Π}, Θ_{Π}) . Cada prototipus és membre d'una taxonomia T_m , que denotarem

$$T_m(\Pi_1, \dots, \Pi_{T_m}),$$

en la qual hi ha relacions de subsumpció entre llurs classes ($\Pi_f \supset \Pi_p$ on Π_f és descendent de Π_p) definides per l'estructura d'arbre jeràrquic. Cada taxonomia $T_m(\Pi_1, \dots, \Pi_{T_m})$, crea, mitjançant llurs relacions de subsumpció, una *jerarquia de nivells d'abstracció diferent*. El conjunt de les taxonomies de l'expert

$$\Lambda_S = (T_1(\Pi_1, \dots, \Pi_{T_1}), \dots, T_E(\Pi_1, \dots, \Pi_{T_E}))$$

constitueix l'estructura d'abstracció de les solucions.

Semblantment, les relacions d'implícació entre els constructes són relacions de subsumpció o subordinació. Aquestes defineixen diverses taxonomies; en particular cada constructe superordinal C_{H_i} defineix un arbre amb els constructes que l'impliquen quan identifiquem la relació *descendent-de* amb la relació *implica*:

$$A(C_{H_i}) = \{C_j \mid C_j \Rightarrow^2 C_{H_i}\},$$

on $C_{H_i} \in C_H$ (el conjunt dels constructes declarats superordinals) i les fulles són els constructes declarats subordinals membres de C_L . Cada jerarquia $A(C_{H_i})$ crea, mitjançant llurs relacions de subsumpció, una jerarquia de nivells d'abstracció diferent. El conjunt de les jerarquies d'aquestes unitats de discriminació

$$\Lambda_S = \{A(C_{H_i}) \mid C_{H_i} \in C_H\}$$

constitueix l'estructura d'abstracció de les dades.

Ara bé, a diferència de l'estructura d'abstracció de les solucions, ara l'abstracció s'efectua només sobre els constructes de l'espai contrastatiu (K, Θ) , i no sobre els objectes. Cadascun d'aquests nivells d'abstracció considera només una col·lecció concreta de constructes $\{C_1, \dots, C_l\}$, que *discrimina*

(mitjançant les ordenacions que efectuen) sobre tots els objectes de Θ . Per tal de generar els heurístics, **EAR*** haurà d'explorar, com veurem a la secció següent, aquestes dues estructures d'abstracció, descobrint les relacions que hi ha entre els diferents nivells de les dues estructures.

5.3.2 Heurístiques d'alt nivell

La noció clau sobre la generació dels heurístics és el de relacionar els nivells abstractes de les dues estructures d'abstracció mitjançant llur intersecció en l'espai contrastatiu (K, Θ) . *Els heurístics relacionaran unitats de discriminació de l'estructura d'abstracció de les dades amb prototipus de l'estructura d'abstracció de les solucions de la manera següent:*

- Una unitat de discriminació amb constructes $\{C_1, \dots, C_l\}$ pot relacionar-se heurísticament amb aquells prototipus que tinguin com a atributs rellevants (la majoria de) els constructes de la col·lecció $\{C_1, \dots, C_l\}$. Diguem que la unitat de discriminació es relaciona (té un espai d'abstracció comú) amb els prototipus $\{\Pi_1, \dots, \Pi_{C_l}\}$,
- Els prototipus $\{\Pi_1, \dots, \Pi_{C_l}\}$ contenen sumaris dels *valors típics* dels membres de la seva classe. El conjunt contrastatiu de constructes discriminarà, segons els valors de $\{C_1, \dots, C_l\}$ sobre els objectes de Θ , quina classe és la més versemblantment útil en els casos típics.

L'algorisme explora tots dos espais d'abstracció, comparant tots els conjunts contrastatius amb tots els prototipus, cercant l'espai dels constructes comú a ambdós $C_x = \{C_1, \dots, C_l\} \cap K_\Pi$. Quan aquest espai no és trivial ($\text{card}C_x > 1$) **EAR*** calcula el *grau d'associació heurística* entre $\{C_1, \dots, C_l\}$ i Π tenint en compte la validesa dels sumaris conceptuals del prototipus i la força en què pot deduir-se tot el prototipus Π a partir dels constructes de C_x .

DEFINICIÓ 5.2: Sigui un conjunt contrastatiu de constructes $\{C_1, \dots, C_l\}$ i un prototipus $\Pi = (K_\Pi, \Theta_\Pi)$ amb un conjunt de constructes comú $C_x = \{C_1, \dots, C_l\} \cap K_\Pi$ no trivial ($\text{card}C_x > 1$), definim el *grau d'associació heurística* η entre $\{C_1, \dots, C_l\}$ i Π , com

$$\eta = \frac{\sum_{C_i \in C_x} \alpha(C_i)}{\text{card}K_\Pi}$$

on $\alpha(C_i)$ és l'*avinença* de l'atribut C_i amb els objectes Θ_Π de Π , és a dir la validesa del sumari ξ^+ de $S_\Pi(C_i) = \nu(\xi^+)$, que és el quantificador ν del sumari, és a dir, que és $\nu = \alpha(C_i)$. $\square$

EAR* obté així relacions heurístiques a diversos nivells en la forma

$$SI(C_1 = \xi_{C_1} \wedge \dots \wedge C_l = \xi_{C_l}) \text{ ALESHORES CLASSE } \Pi \text{ (amb certesa } \eta \text{)}"$$

on ξ_{C_i} és el sumari per C_i del sumari $S_\Pi(C_i) = \nu(\xi_{C_i})$ per a la classe Π , i η és el grau de l'associació (*matching*) entre el conjunt contrastatiu de constructes $\{C_1, \dots, C_l\}$ i el prototipus Π .

5.3.3 Tipus d'heurístics generats

Això proporciona un gran ventall d'heurístics, des de els més *genèrics* (amb poques premisses, baix grau d'associació i que usualment conclouen classes molt generals) fins a els més *específics* (amb moltes premisses, un grau d'associació més alt i que usualment conclouen classes més especialitzades). Observem-ho en més detall:

- *heurístics genèrics*
Un cas extrem d'*heurístic genèric* és el del parell de constructes **DECISION-TREE** i **EXAMPLES** que mencionàvem a la secció anterior §6.2 per il·lustrar com creavem una ordenació pràcticament booleana entre les eines que tenien aquests dos atributs (**Funcio-Present**) i les que no (**Funcio-Inexistent**). Un heurístic tan genèric com aquest es feria servir, pel motor d'inferències en el sistema expert implementat que usés la base de coneixements **TOOL**, a l'inici de la consulta on el sistema ha de prendre les decisions de quines dades demanar de l'usuari que siguin discriminants, tot i que, evidentment, encara les conclusions intermèdies amb tan poques dades tindran uns graus de certesa baixos.

- *heurístics específics*

En canvi, en el cas contraposat d'un *heurístic específic*, l'exemple més extrem seria aquell que tingués com a premissa la descripció conceptual del prototipus de la classe que és a la conclusió (evidentment la certesa seria 1). Un cas més real és el d'un heurístic que té com a premissa la majoria dels atributs rellevants d'una classe i que dedueix únicament aquesta classe. En general, els heurístics específics conclouran un nombre petit de classes, amb certesa més alta i seran útils al sistema expert implementat en els estadis més avançats del procés inferencial.

D'aquesta manera hem vist com l'exploració dels espais d'abstracció de les dades i de les solucions permet a **EAR*** descobrir les relacions d'associació directes i no jeràrquiques basades en criteris de correlació en casos típics que el mateix sistema havia adquirit al llarg de tot el procés d'explicitació dels diferents tipus de coneixements experts. També hem vist que els heurístics generats van des dels més genèrics i d'ample discriminació entre moltes classes de solucions (amb certes moderades o baixes) fins als heurístics més específics i de ventall de deducció de classes estret (amb certes apreciables o altes) que serveixen per enfocar la tasca de cerca del futur sistema expert tan en l'inici com en el posterior procés de resolució de problemes.

5.4. El disseny de la base de coneixements

En aquesta última secció veurem la part final del sistema **EAR***. En el primer apartat tractarem de com es completa la descripció independent de la implementació de l'*estructura inferencial* d'una base de coneixements (BC) i com es realitza concretament aquesta descripció. Finalment, discutirem l'engarç d'aquesta descripció d'una BC, que és el resultat del procés d'adquisició de coneixements realitzada amb el suport d'**EAR***, amb la continuació d'aquest procés per altres medis, i en especial la interpretació d'aquesta descripció.

5.4.1 L'estructura de refinament

El resultat d'**EAR*** és una descripció independent de la implementació de l'estructura inferencial d'una base de coneixements per sistemes de classificació heurística. Aquesta estructura inferencial està descrita amb els resultats d'**EAR*** de la forma següent:

- *l'estructura d'abstracció de les dades*,
es descriu amb els resultats de les anàlisis de les implicacions i de les regles de baix nivell de les seccions §3.2 i §3.3.
- *l'estructura d'abstracció de les solucions*,
es descriu amb els resultats del mòdul d'estructuració de taxonomies i generació de prototipus de la secció §5.1.
- *les relacions heurístiques d'alt nivell*,
es descriuen amb els resultats de la generació d'heurístics de la secció §5.3.

Ara bé, l'estructura inferencial fa un ús específic de l'estructura d'abstracció de les solucions: l'utilitza com a *estructura de refinament de les solucions*. Aquesta estructura vé definida per les relacions entre les descripcions conceptuais dels prototipus en les taxonomies. Però, per tal com l'estructura de refinament no és legible fàcilment, **EAR*** explicita les relacions entre els prototipus en ordre descendent, de classes més genèriques a més concretes, que és l'ordre en què s'efectuarà la tasca de refinament de les solucions.

5.4.2 La interpretació de la descripció d'una BC

Per bé que la lectura de la descripció té l'aspecte d'un conjunt de regles, també es poden entendre com les relacions que lliguen una estructura de jerarquies mesclades de *frames*. De fet, la idea rera prototipus i *frame* o *schema* és la mateixa, i l'estructura de refinament és fàcilment interpretable en un sistema expert implementat amb *frames*. La descripció a nivell de coneixements de la BC que obté **EAR*** permet l'enginyer de coneixements escollir un esquema de representació de coneixements i de control adient, o bé dissenyar-ne un de més apropiat.

La tasca de l'enginyer de coneixements serà a continuació *interpretar* aquesta descripció dels coneixements dins la semàntica de l'esquema de representació de coneixements i de control escollit. Aquesta tasca, que s'ha de realitzar en qualsevol procés d'adquisició de coneixements, no és trivial. Com ajut a l'enginyer de coneixements, **EAR*** ofereix no només un llistat de les estructures creades (implicacions, regles, prototipus, heurístics) sinó també ajuts a la comprensió de llur interrelació. Un d'ells l'hem esmentat a la secció anterior, és l'explicitació de l'estructura de refinament entre classes. Altres llistats són el resultat d'una anàlisi de l'interrelació de les estructures en què intervenen els constructes dels conjunts contrastatius: les implicacions i les regles que els interrelacionen, i els heurístics en què intervenen. Una altre llistat enfoca les relacions de les classes i conté, per cada prototipus de classe, la relació de tots els heurístics amb els quals es pot deduir aquesta classe. Per últim, les facilitats gràfiques i la selecció de les dades que **EAR*** suporta fa que, com hem vist al llarg d'aquesta memòria, l'enginyer de coneixements pugui inspeccionar els sectors dels coneixements adquirits que li interessin. Pot seleccionar una taxonomia per inspeccionar-la i invocar el prototipus de qualsevol classe, seleccionant-la amb el botó de la rateta, per exemple. O pot inspeccionar totes les regles que contenen com a conclusió o premissa un o uns determinats constructes. Aquestes diferents perspectives ajuden l'enginyer de coneixements a explorar i familiaritzar-se amb l'estructura de coneixements experts per la qual ha d'escollir un esquema de representació i control i ha d'interpretar dins el marc d'aquest esquema.

Bibliografia

- Aczel, J. & Alsina, C. (1986).
On synthesis of judgements. *Socio-Econ. Plann. Sci.*
- Banister, D. & Mair, J. M. M. (1968).
The evaluation of personal constructs. Academic Press: London.
- Beyth-Marón, R. (1982),
How probable is probable? A numerical taxonomy translation of verbal probability expressions.
Journal of Forecasting, 1, 257-269.
- Bonissone, P. P. & Decker, K. S. (1985),
Selecting uncertainty and granularity: An experiment in trading-off precision and complexity.
KBS Working Paper, General Electric Corporate Research, Schenectady, New York.
- Boose, J. H. (1986).
Expertise transfer for expert system design. Elsevier: Amsterdam.
- Breuker, J. & Wielinga, B. (1984),
Techniques for knowledge elicitation and analysis. Report 1.5, Esprit Project 12. Universitat d'Amsterdam: Amsterdam.
- Breuker, J. & Wielinga, B. (1986),
Use of models in the interpretation of verbal data. In A. Kidd (Ed.), *Knowledge elicitation for building expert systems*. Plenum Press.
- Buchanan & Shortliffe (Eds.) (1984),
Rule-based expert systems: the MYCIN experiments of the Stanford heuristic Programming Project. Addison Wesley.
- Butler, K. A. & Corter, J. E. (1986),
Use of psychometric tools for knowledge acquisition: a case study. In W. A. Gale (Ed.), *Artificial Intelligence and Statistics*. Addison Wesley.
- Cheng, Yizong & Fu, King-Sun (1985),
Conceptual clustering in knowledge organization. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 7, 5, 592-598.
- Clancey, W. J. (1983).
The epistemology of a rule-based expert system. *Artificial Intelligence*, 20, 215-251.
- Clancey, W. J. (1985).
Heuristic classification, *Artificial Intelligence*, 27, 289-350.
- Clancey, W. J. & Letsinger, R. (1982),
NEOMYCIN: Reconfiguring a rule-based system for application to teaching. In Clancey and Shortliffe (Eds.) *Readings in medical artificial intelligence: the first decade*. Addison Wesley.
- Cortés, C. U. & Plaza, E. (1985)
Descriptor's relevance in classification processes. *Proceedings First International Fuzzy Systems Association Congress*. Mallorca.
- Corter, J. E. & Tverski, A. (1984),
Extended similarity trees. Joint Meeting of the Psychometric and Classification Societies. Santa Barbara, Calif., July 1984.
- Davis, R. & Lenat, D. B. (1979),
Knowledge based systems in artificial intelligence. McGraw-Hill: New York.

- Diday, E. (1986)
Une représentation visuelle des classes empiétantes: les pyramides. *Automatique-Productique Informatique Industrielle*, 20, 475-526.
- Dijk, T. A. van (1980),
Texto y Contexto. Ed. Cátedra: Madrid.
- Dubois, D. & Prade, H. (1979),
Fuzzy Sets and Systems: Theory and Applications. Academic Press, New York.
- Easterby-Smith, M. (1980),
The design, analysis and interpretation of repertory grids. *International Journal of Man-Machine Studies*, 11, 501-519.
- Fisher, D. & Langley, P. (1985)
Approaches to conceptual clustering. *Proceedings IJCAI-85*, p. 691-697.
- Foerster, H. von (1974),
Notes pour une épistémologie des objets vivants. In E. Morin & M. Piattelli-Palmarini, *L'Unité de l'Homme*. Ed. Seuil: Paris.
- Freksa, C. & López de Mántaras, R. (1984),
A learning system for linguistic categorization of "soft" observations. Colloque Assoc. Recherche Cognitive, p. 331-345. Orsay, France.
- Fu, Li-Min & Buchanan, B. G. (1984),
Enhancing performance of expert systems by automated discovery of meta-rules. *IEEE*.
- Fu, Li-Min & Buchanan, B. G. (1985),
Learning intermediate concepts in constructing a hierarchical knowledge base. In *International Joint Conference on Artificial Intelligence '85*, p.559-665.
- Gaines, B. R. (1976),
Foundations of fuzzy logic, *International Journal of Man-Machine Studies*, 13, 69-78.
- Gaines, B. R. (1984),
Fundamentals of decision: probabilistic, possibilistic and other forms of uncertainty in decision analysis. In L. A. Zadeh & B. R. Gaines (Eds.), *Fuzzy sets and decision analysis. TIMS Studies in Management Sciences*, 20. Elsevier Publ.
- Gaines, B. R. & Shaw, M. L. G. (1983),
Foundations of expert systems. In J. Kacprzyk & R. Yager (Eds.), *Management decision support systems using fuzzy sets and possibility theory*. TUV Verlag: Köln.
- Ginsberg, A., Weiss, S. & Politakis, P. (1985),
SEEK2: A generalized approach to automatic knowledge base refinement. *Proc. IJCAI-85*, 367-374.
- Godó, L., López de Mántaras, R., Sierra, C. & Verdaguer, A. (1987)
managing linguistically expressed uncertainty in MILORD: Application to medical diagnosis. *Proc. 7th International Workshop on Expert Systems and their Applications*, 571-611.
- Hayes-Roth, F., Klahr, P. & Mostow, D. J. (1986),
Knowledge acquisition, knowledge programming and knowledge refinement. In P. Klahr and D. A. Waterman (Eds.), *Expert systems: techniques, tools and applications*. Addison Wesley.
- Hayes-Roth, F., Waterman, D., Lenat, D. (1983),
Building expert systems. Addison-Wesley: Reading, MA.
- Hinkle D. N. (1965),
The change of personal constructs from the view point of a theory of implications. Ph. D. Dissertation, Ohio University, Ohio.
- Johnson-Laird, P. N. (1983),
Mental Models. Cambridge University Press.

- Kandel, A. (1986),
Fuzzy Mathematical Technique and Applications. Addison-Wesley: Reading, MA.
- Kay, J. (1982),
 Colour perception and the meaning of colour terms. Reserch Report: University of California at Berkeley.
- Kauffmann, A. (1983),
Complements sur les Concepts Flous. Recherchehs et Applications. Tomme II. Mimeo. no publicat.
- Kelly, G. A. (1955),
The Psychology of Personal Constructs. W. W. Norton & Co.: New York.
- Lyons, J. (1980),
Semántica. Ed. Teide: Barcelona.
- López de Màntaras, R., Plaza E., Agustí, J. (1987).
 Knowledge elicitation and anlysis for approximate reasoning systems. In *Advances in Artificial Intelligence*. Kogan Page Ltd.
- Mazlack, L. J. (1986),
 Taxonomic ambiguities in category variations needed to suport machine conceptualization, In Z. W. Ras & M. Zemankova (Eds.), *Proceedings of ACM-SIGART International Symposium on Methodologies for Intelligent Systems*, October 22-24, Koxville: Tenn.
- Michalski, R. S. & Stepp, R. (1983a),
 Automatic construction of classifications: Conceptual clustering versus numerical taxonomy. *IEEE Tarnsactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 5, 396-409.
- Michalski, R. S. & Stepp, R. (1983b),
 Learning from observation: Conceptual clustering. In Michalski, R. S., Carbonell, J. C. & Mitchell, T. M. (Eds.), *Machine Learning*. Tioga Publ.:Palo Alto, Cal.
- Michalski, R. S., Carbonell, J. C. & Mitchell, T. M. (1984).
Machine Learning. Tioga Publ.:Palo Alto, Cal.
- Miller, G. A. (1967),
 The magical number seven plus or minus two: some limits on our capacity for procesing information. In *Psychology of Communication*. Pnguin Books.
- Miller, J. A. & Johnson-Laird, P. N. (1976).
Language and Perception. Cambridge Univ. Press : Cambridge.
- McCloskey, M. & Glucksberg, S. (1978)
 Natural categories: Well-defined or fuzzy sets? *Memory and Cognition*, 6, 462-472.
- McDermott J. (1892),
 R1: Areule-based configurer of computer systems. *Artificial Intelligence*, 19, 39-88.
- Plaza, E., Alsina, C., Lopez de Mantaras, R., Aguilar, J. & Agusti, J. (1986).
 Consensus and knowledge acquisition. In R. R. Yager and B. Bouchon (Eds.) *Uncertainty Management in Knowledge-based Systems*. Lecture Notes in Computer Science. Springer Verlag.
- Plaza, E. & López de Màntaras, R. (1985),
 Knowledge acquisition and refinement using a fuzzy conceptual base. *Proc. NAFIPS Workshop on Fuzzy Expert Systems and Decision Support Systems*. Georgia St Univ:Atlanta.
- Plaza E. & López de Màntaras R. (1987),
 EAR*: Asystem for acquiring and structuring knowledge. In Y. Kodratoff (Ed.), *Machine (and Human) Learning*. Michael Morgan Ltd.
- Politakis, P. & Weiss, S. (1984),
 Using empirical analysis to refine expert system knowledge. *Artificial Intelligence*, 22, 23-84.
- Ramík, J. & Rímánek, J. (1984),
 Inequality relations between fuzzy numbers. *Fuzzy Sets and Systems*, 16, 122-138.

- Rosch, E. (1978)**
Principles of categorization. In E. Rosch & B. B. Lloyd (Eds.), *Cognition and Categorization*. Erlbaum: Hillsdale, N.J.
- Rosch, E. & Mervis, C. B. (1975).**
Family resemblances. *Cognitive Psychology*, 7, 1-20.
- Shaw M. (1980),**
On becoming a personal scientist. Academic Press: New York.
- Shaw M. & Gaines B. (1980).**
New directions in the analysis and elicitation of personal construct systems. *Int. J. Man-Machine Studies*, 13, 81-116.
- Shaw M. & Gaines B. (1984),**
Deriving constructs underlying decision. In H. J. Zimmerman, L. A. Zadeh & B. R. Gaines (Eds.), *Fuzzy sets and decision analysis. TMS Studies in Management Sciences*, 20, 47-65. Elsevier Publ.
- Smith, E. E. & Medin, D. L. (1981)**
Categories and Concepts. Harvard Univ. Press: Cambridge, MA.
- Spencer-Brown, G. (1969),**
The Laws of Form. George Allen & Unwin: London.
- Szolovits, P. (1985),**
Types of knowledge as bases for reasoning in medical AI programs, In I. De Lotto & M. Stefanelli (Eds.), *Artificial Intelligence in Medicine*. Elsevier Science Publishers.
- Thomas, L. F. & Harri-Augstein, E. S. (1985).**
Self-organised learning. Routledge & Kegan: London.
- Varela, J. (1983),**
Principles of Biological Autonomy. Elsevier: New York.
- Wiederhold, G. C. M., Walker, M. G., Blum, R. L. (1986),**
Acquisition of knowledge from data. In Z. W. Ras & M. Zemankova (Eds.), *Proceedings of ACM-SIGART International Symposium on Methodologies for Intelligent Systems*, October 22-24, Knoxville: Tenn.
- Wielinga, B. J. & Breuker, J. A. (1986)**
Models of Expertise. *Proceedings ECAI-86*.
- Wittgenstein, L. (1955), *Investigacions filosòfiques*, Ed. Laia (1983): Barcelona.**
- Yager, R. R. (1981),**
A procedure for ordering fuzzy subsets of the unit interval. *Information Sciences*, 24, 143-161.
- Yager, R. R. (1982),**
A new approach to the summarization of data. *Information Sciences*, 28, 69-86.
- Zadeh, L. A. (1980),**
Fuzzy sets versus probability. *IEEE Proceedings*, Vol. 68, No.3.
- Zadeh, L. A. (1983).**
PRUF - A meaning representation language for natural language. *International Journal Man-Machine Studies*, 10, 359-460.
- Zadeh, L. A. (1985).**
Comunicació personal. Université de Louvain-la-Neuve, Belgique.
- Zadeh, L. A. (1986).**
Outline of a theory of usuality based on fuzzy logic. In A. Jones, A. Kaufmann, and H. J. Zimmerman Eds., *Fuzzy sets theory and applications*. Reidel Publ.: Amsterdam.