



Pràctica de Sistemes Basats en el Coneixement

Sistema Expert de Recomanació d'Habitatges de Lloguer

GRAU IA – Q1 CURS 2025-2026

Departament de Ciències de la Computació
Universitat Politècnica de Catalunya

ANEL ADEMOVIC

ALEIX PITARCH

`anel.suljic@estudiantat.upc.edu` `aleix.pitarch@estudiantat.upc.edu`

JOAN SOLINA

`joan.solina@estudiantat.upc.edu`

14 de desembre de 2025

Índex

1	Identificació del problema	5
1.1	Descripció del problema	5
1.2	Anàlisi de viabilitat	5
1.2.1	Viabilitat tècnica	6
1.2.2	Viabilitat de desenvolupament	6
1.2.3	Limitacions identificades	7
1.3	Fonts de coneixement	7
1.3.1	Fonts primàries	7
1.3.2	Fonts secundàries	8
1.4	Objectius del sistema	8
1.4.1	Objectius funcionals	8
1.4.2	Objectius de qualitat	9
1.5	Resultats del sistema	9
1.5.1	Per a cada sol · licitant	9
1.5.2	Per a cada oferta recomanada	9
1.5.3	Informació complementària	10
2	Conceptualització	11
2.1	Conceptes del domini	11
2.1.1	Jerarquia de sol · licitants	11
2.1.2	Habitatges i les seves característiques	12
2.1.3	Serveis urbans	13
2.1.4	Localització	14
2.1.5	Oferta	14
2.1.6	Conceptes auxiliars	15
2.2	Descomposició en problemes i subproblemes	15
2.2.1	Fase 1: Inicialització	15
2.2.2	Fase 2: Abstracció	16
2.2.3	Fase 3: Descart	18
2.2.4	Fase 4: Puntuació (Scoring)	19
2.2.5	Fase 5: Classificació	22
2.2.6	Fase 6: Presentació	22

2.3	Exemples de coneixement expert	22
2.3.1	Exemple 1: Inferència per a famílies amb fills	23
2.3.2	Exemple 2: Descart per accessibilitat	23
2.3.3	Exemple 3: Valoració diferencial del preu	23
2.3.4	Exemple 4: Estudiants i habitatges a reformar	24
2.3.5	Exemple 5: Persones grans i serveis de salut	24
2.3.6	Exemple 6: Compradors de segona residència	25
2.4	Descripció informal del procés de resolució	25
2.4.1	Escenari d'ús típic	26
2.4.2	Flux general del sistema	30
3	Formalització	31
3.1	Disseny de l'Ontologia	31
3.1.1	Jerarquia de Classes	31
3.1.2	Atributs i Relacions (Slots)	31
3.2	Model de Raonament i Regles	32
3.2.1	Fase 1: Abstracció i Càlcul Espacial	32
3.2.2	Fase 2: Inferència de Requisits	32
3.2.3	Fase 3: Descart (Hard Constraints)	32
3.2.4	Fase 4: Scoring (Soft Constraints)	32
4	Implementació	34
4.1	Estructura del Codi	34
4.2	Control del Flux d'Execució	34
4.3	Detalls d'Implementació Rellevants	34
4.3.1	Gestió de Distàncies i Proximitat	34
4.3.2	Sistema de Puntuació Incremental	35
4.4	Interfície d'Usuari	35
5	Jocs de prova i Resultats	36
5.1	Cas de Prova 1: Persona Gran (Sra. Montserrat)	36
5.2	Cas de Prova 2: Grup d'Estudiants (Grup UPC)	36
5.3	Cas de Prova 3: Família amb Fills	37
5.4	Cobertura de les Proves	37
6	Conclusions	38

6.1	Assoliment d'Objectius	38
6.2	Punts Forts del Sistema	38
6.3	Limitacions i Millores Futures	38

1 Identificació del problema

1.1 Descripció del problema

El mercat immobiliari de lloguer a Barcelona presenta una complexitat creixent que dificulta la cerca d'habitatge adequat per part dels ciutadans. La regidoria d'habitatge de l'ajuntament de Barcelona disposa d'un gran nombre d'ofertes de lloguer, però connectar aquestes ofertes amb les persones que busquen habitatge de manera eficient requereix un coneixement expert que tingui en compte múltiples factors simultàniament.

El problema que ens proposem resoldre va més enllà d'una simple cerca parametritzada. No es tracta només de filtrar ofertes per preu o nombre d'habitacions, sinó d'entendre les necessitats reals de cada tipus de sol·licitant i fer recomanacions intel·ligents que considerin el context complet de la seva situació vital. Per exemple, una família amb fills petits no només necessita un pis amb suficients habitacions, sinó que valora especialment la proximitat a escoles, zones verdes i serveis pediàtrics, mentre que evita zones amb soroll excessiu. Una persona gran, per contra, prioritza l'accessibilitat, la proximitat a centres de salut i comerços de proximitat. Aquestes preferències no sempre són explícites en la cerca inicial del sol·licitant, però un expert immobiliari les tindria en compte.

A més, el sistema ha d'anar més enllà de les característiques intrínseques de l'habitatge (superfície, nombre d'habitacions, preu) i considerar el seu entorn urbà. La localització de l'habitatge en relació amb serveis com transport públic, comerços, centres educatius, sanitaris i zones d'oci és crucial per determinar la seva adequació. Aquest coneixement territorial no és trivial: cal saber què significa estar "a prop" d'un servei segons el context (una persona gran considera prop el que està a 200m, mentre que un jove pot considerar acceptable 500m), i entendre quins serveis són molestos per a qui (una discoteca propera pot ser desitjable per a estudiants però inacceptable per a famílies amb nens petits).

El repte també inclou gestionar restriccions de diferent naturalesa. Algunes són absolutes (permetre mascotes quan el sol·licitant en té, accessibilitat per a persones amb mobilitat reduïda), altres són preferències fortes (pressupost màxim), i d'altres són desitjables però no imprescindibles (orientació solar, vistes). El sistema ha de ser capaç de distingir entre aquests nivells i generar recomanacions que s'adaptin al grau de flexibilitat de cada sol·licitant.

Finalment, el sistema no només ha de trobar habitatges que compleixin uns criteris mínims, sinó que ha de classificar-los en diferents graus de recomanació: des d'ofertes parcialment adequades (que compleixen la majoria de requisits però fallen en algun aspecte menor) fins a ofertes molt recomanables (que no només compleixen tots els requisits sinó que ofereixen avantatges addicionals). Aquesta classificació ha de venir acompanyada d'explicacions clares que permetin al sol·licitant entendre per què una oferta està recomanada i què la fa destacar o quins aspectes caldria considerar abans de prendre una decisió.

1.2 Anàlisi de viabilitat

Per determinar si aquest problema és adequat per ser resolt mitjançant un sistema basat en el coneixement, hem analitzat diverses dimensions de viabilitat.

1.2.1 Viabilitat tècnica

El problema reuneix les característiques fonamentals que fan viable la construcció d'un SBC:

Existència de coneixement expert. Existeix un coneixement expert clar en el domini immobiliari. Els agents immobiliaris experimentats desenvolupen una comprensió profunda de com emparedar perfils de clients amb habitatges adequats, considerant factors que van més enllà de les especificacions tècniques. Aquest coneixement inclou heurístiques del tipus "les famílies amb fills petits valoren especialment la proximitat a escoles i parcs" o "les persones grans necessiten accessibilitat i serveis de salut propers", que es poden formalitzar en regles.

Domini delimitat. Hem acotat el problema a la ciutat de Barcelona, amb tipus d'habitatge i serveis ben definits. Aquesta delimitació fa el problema tractable sense perdre la seva essència. No intentem resoldre el problema general de recomanació d'habitatges a nivell mundial, sinó que ens centrem en un context urbà específic amb característiques ben conegudes.

Problema de classificació i recomanació. El problema s'ajusta perfectament a una metodologia de classificació heurística: hem de classificar ofertes en categories de recomanació (parcialment adequades, adequades, molt recomanables) basant-nos en l'avaluació de múltiples criteris. Aquest tipus de problema és un dels més adequats per SBC, ja que podem descompondre'l en subproblemes (abstracció del sol · licitant, càlcul de proximitats, descart d'ofertes, puntuació, classificació) que es resolen seqüencialment aplicant regles.

Espai de solucions finit. Tot i que l'espai de combinacions possibles entre sol · licitants i ofertes és gran, és finit i manejable. Amb N sol · licitants i M ofertes, tenim $N \times M$ parells a avaluar, però cada avaluació és independent i es pot resoldre aplicant un conjunt de regles ben definides.

1.2.2 Viabilitat de desenvolupament

El projecte és viable des del punt de vista del desenvolupament per diverses raons:

Disponibilitat d'eines. CLIPS proporciona un entorn robust per implementar sistemes basats en regles, amb suport per a programació orientada a objectes (COOL) que ens permet representar l'ontologia del domini de manera natural. Protégé ens ha permès dissenyar i documentar l'ontologia de forma sistemàtica abans de la implementació.

Desenvolupament incremental. El problema es pot abordar de manera incremental, començant amb un conjunt bàsic de regles i ampliant progressivament la cobertura. Hem pogut començar amb la gestió de restriccions dures (preu, mascotes, accessibilitat) i anar afegint regles més sofisticades per a la puntuació i classificació.

Prototipatge ràpid. La naturalesa declarativa de CLIPS permet fer prototips ràpidament i iterar sobre el disseny. Modificar o afegir regles no requereix reescriure grans porcions de codi, cosa que facilita l'experimentació i refinament.

1.2.3 Limitacions identificades

Tot i la viabilitat general, hem identificat algunes limitacions que cal tenir presents:

Coneixement incomplet del domini. No som experts immobiliaris reals, per la qual cosa el nostre sistema es basa principalment en coneixement de sentit comú i en patrons generals que hem pogut inferir. Un sistema de producció requeriria la participació activa d'experts del sector per afinar les regles i els pesos de puntuació.

Dades sintètiques. Les instàncies que utilitzem són simulades. Un sistema real necessitaria integrar-se amb bases de dades reals d'ofertes i disposar d'informació actualitzada sobre serveis urbans. També caldria considerar la dinàmica temporal (ofertes que deixen d'estar disponibles, preus que canvien).

Absència de retroalimentació. El sistema actual no aprèn de les decisions dels usuaris. No sabem si les recomanacions que fem són realment útils o si els usuaris acaben escollint opcions diferents de les que el sistema proposa com a millors. Un sistema real hauria d'incorporar mecanismes de feedback per ajustar els pesos i les regles.

Factors subjectius. Alguns factors que influeixen en la decisió d'escollir un habitatge són altament subjectius i difícils de codificar en regles (l'estètica del barri, la "sensació" que transmet un habitatge, factors culturals o personals molt específics). El nostre sistema se centra en factors objectius o preferències generals, però no pot capturar aquestes nuances individuals.

1.3 Fonts de coneixement

Per construir el sistema hem identificat i utilitzat diverses fonts de coneixement:

1.3.1 Fonts primàries

Coneixement de sentit comú. La base principal del nostre sistema prové del sentit comú sobre necessitats habitacionals segons perfils demogràfics. Aquest coneixement inclou afirmacions com "les persones grans necessiten accessibilitat" o "els estudiants valoren la proximitat al transport públic", que són àmpliament acceptades i no requereixen expertesa específica.

Normativa d'accessibilitat. Hem consultat els requisits bàsics d'accessibilitat (presència d'ascensor en plantes altes, accés sense barreres) que són estàndards regulats i objectius.

Webs d'anuncis immobiliaris. Plataformes com Idealista ens han servit per identificar les característiques rellevants que es descriuen en les ofertes reals (superfície, nombre d'habitacions, si permet mascotes, si té terrassa, consum energètic, etc.). També ens han permès veure quines són les categories de serveis que es mencionen habitualment com a punts forts de les ubicacions.

1.3.2 Fonts secundàries

Models de llenguatge (opcional). Tal com s'indica a l'enunciat, podríem haver utilitzat models de llenguatge com a "experts" per fer elicitació de coneixement sobre criteris de decisió en la recomanació d'habitatges. Tot i que no ho hem documentat extensament en aquest apartat, seria una via legítima per obtenir coneixement estructurat sobre el domini.

Experiència personal. Els membres de l'equip hem aplicat la nostra pròpia experiència en la cerca d'habitatge i coneixement de la ciutat de Barcelona per definir proximitats raonables, serveis rellevants i preferències típiques.

Ontologies existents. Hem consultat exemples d'ontologies del domini immobiliari i de recomanació de serveis per estructurar adequadament els conceptes i relacions del nostre sistema.

1.4 Objectius del sistema

Els objectius principals que ha d'assolir el nostre sistema són:

1.4.1 Objectius funcionals

1. **Classificar sol · licitants automàticament:** A partir de les característiques bàsiques del sol · licitant (edat, nombre de persones, fills, situació laboral, etc.), el sistema ha d'inferir el seu perfil (persona gran, família amb fills, estudiants, parella jove, etc.) sense requerir que el propi usuari s'auto-classifiqui.
2. **Inferir necessitats implícites:** El sistema ha de deduir requeriments que el sol · licitant potser no ha expressat explícitament. Per exemple, si el sol · licitant té fills petits, el sistema ha d'entendre que necessitarà escoles properes encara que no ho hagi demanat directament.
3. **Descartar ofertes inadequades:** Abans de puntuar, el sistema ha d'aplicar filtres durs per eliminar ofertes que clarament no són adequades (fora de pressupost estricte, no permeten mascotes quan és imprescindible, no són accessibles quan cal, etc.).
4. **Puntuar ofertes segons adequació:** Les ofertes que superen els filtres han de rebre una puntuació que reflecteixi el seu grau d'adequació global, considerant tant aspectes de l'habitatge com de l'entorn.
5. **Classificar ofertes en graus de recomanació:** Basant-se en la puntuació, assignar cada oferta a una categoria: parcialment adequada, adequada o molt recomanable.
6. **Explicar les recomanacions:** Per a cada oferta recomanada, el sistema ha de generar explicacions que indiquin per què és adequada (punts forts) i, en cas d'ofertes parcialment adequades, quins criteris no compleix plenament.

1.4.2 Objectius de qualitat

1. **Transparència:** Les decisions del sistema han de ser comprensibles i justificables. L'usuari ha de poder entendre per què una oferta està recomanada i una altra no.
2. **Equitat:** El sistema no ha de discriminar de manera injustificada cap perfil de sol · licitant. Les regles han de reflectir preferències raonables, no biaixos arbitraris.
3. **Cobertura:** El sistema ha de ser capaç de gestionar una àmplia varietat de perfils i ofertes, no només casos ideals o trivials.
4. **Consistència:** Aplicat a situacions similars, el sistema ha de produir recomanacions coherents.

1.5 Resultats del sistema

El sistema proporciona com a sortida una llista de recomanacions personalitzades per a cada sol · licitant, amb la següent informació:

1.5.1 Per a cada sol · licitant

- **Top 3 d'ofertes recomanades:** El sistema presenta les tres millors ofertes ordenades per puntuació, facilitant la presa de decisió sense saturar l'usuari amb massa opcions.
- **Grau de recomanació:** Per a cada oferta, s'indica si és "Parcialment adequada", "Adequada" o "Molt recomanable".
- **Puntuació numèrica:** Tot i que l'usuari final veu principalment la classificació qualitativa, el sistema genera internament una puntuació numèrica que permet ordenar les ofertes amb precisió.

1.5.2 Per a cada oferta recomanada

- **Característiques bàsiques:** Tipus d'habitatge, superfície, nombre de dormitoris i banys, preu mensual, adreça i districte.
- **Punts forts:** Llista de característiques positives que fan l'oferta especialment adequada per al sol · licitant concret. Per exemple: "Té terrassa o balcó (+10p)", "Molt assolellat (+20p)", "Proximitat a escoles (inferida) (+20p)".
- **Aspectes a considerar:** Per a ofertes parcialment adequades o adequades, s'indiquen els criteris que no es compleixen completament. Per exemple: "Preu lleugerament superior al pressupost màxim (Moderat)", "Planta alta sense ascensor (Lleu)".

1.5.3 Informació complementària

El sistema també genera informació interna útil per a depuració i anàlisi:

- **Ofertes descartades:** Registre de quines ofertes s'han descartat i per quin motiu per a cada sol·licitant.
- **Requisits inferits:** Documentació de quines necessitats s'han deduït automàticament per a cada perfil.
- **Proximitats calculades:** Taula de distàncies entre cada habitatge i cada servei, classificades en molt a prop, distància mitjana o lluny.

Aquest disseny de sortida equilibra la utilitat per a l'usuari final (informació clara i accionable) amb la necessitat de transparència i explicabilitat que són fonamentals en un sistema basat en coneixement.

2 Conceptualització

2.1 Conceptes del domini

Per poder resoldre el problema de recomanació d'habitatges de manera efectiva, primer hem hagut d'identificar i organitzar tots els conceptes rellevants del domini. Aquesta tasca no és trivial, ja que el món immobiliari és complex i hi intervenen molts actors i característiques diferents.

2.1.1 Jerarquia de sol · licitants

Un dels conceptes centrals del nostre sistema és el **Sol · licitant**, que representa la persona o grup de persones que busca habitatge. No tots els sol · licitants tenen les mateixes necessitats, i aquesta diferència és fonamental per fer bones recomanacions. Hem identificat una jerarquia basada principalment en l'edat i la situació familiar:

Persones Grans (> 65 anys): Aquest col · lectiu té necessitats molt específiques relacionades amb l'accessibilitat i la proximitat a serveis essencials. Una persona de 70 anys no pot caminar llargues distàncies fins al supermercat ni pujar escales fins a un tercer pis sense ascensor. A més, la proximitat a centres de salut esdevé un factor crític.

Joves (< 35 anys): Dins d'aquest grup hem diferenciat entre:

- *Grups d'Estudiants:* Generalment amb pressupostos ajustats, valoren especialment la proximitat al transport públic i zones d'oci. Necessiten habitatges amb habitacions individuals per mantenir certa privacitat, i prefereixen pisos ja moblats perquè no disposen de mobles propis.
- *Parelles Joves:* Similar als estudiants en algunes preferències (oci, transport), però amb més estabilitat econòmica i interessos diferents (poden estar pensant en tenir fills aviat).
- *Individus Joves:* Persones soles que busquen independència, sovint estudis o pisos petits amb bones comunicacions.

Adults (35-65 anys): Aquest és el grup més heterogeni, i l'hem subdividit segons la seva situació familiar:

- *Parelles amb Fills:* Tenen necessitats clares relacionades amb l'educació dels fills (proximitat a escoles), espais exteriors (parcs, zones verdes) i més habitacions. També valoren la tranquil · litat del barri.
- *Parelles que Planegen Tenir Fills:* Similar a l'anterior però amb menor urgència. Busquen zones adequades per quan arribin els fills, amb bones escoles properes encara que de moment no les necessitin.
- *Parelles sense Fills:* Més flexibles en ubicació però valoren confort, serveis culturals (teatres, cinemes) i probablement més espai que una parella jove.

- *Individus amb Fills (Famílies Monoparentals)*: Necessitats similars a les parelles amb fills però sovint amb pressupostos més ajustats.
- *Individus sense Fills*: Adults independents amb prioritats professionals i personals variades.

Compradors de Segona Residència: Un cas especial que hem inclòs. Aquestes persones no busquen residència habitual sinó una propietat per vacances o inversió. Valoren especialment vistes, tranquil·litat, eficiència energètica i qualitats de luxe. No els preocupa tant la proximitat a escoles o serveis quotidians.

2.1.2 Habitatges i les seves característiques

El concepte d'**Habitatge** agrupa totes les propietats físiques i característiques d'un immoble. Hem identificat diversos tipus segons la seva estructura:

Tipus d'habitatge:

- *Pis*: El tipus més comú, en edifici plurifamiliar.
- *Àtic*: Pis a l'última planta, sovint amb terrassa gran.
- *Dúplex*: Habitatge en dues plantes dins d'un edifici.
- *Estudi*: Habitatge molt petit, generalment d'una sola estança.
- *Habitatge Unifamiliar*: Casa independent, ideal per famílies grans.

Característiques físiques bàsiques:

- Superfície habitable (m²)
- Nombre de dormitoris (distingint entre dobles i simples)
- Nombre de banys
- Planta (important per accessibilitat)
- Any de construcció i estat de conservació

Equipament i comoditats:

- Si té terrassa o balcó (i la seva superfície)
- Si està moblat i/o amb electrodomèstics
- Si disposa d'ascensor
- Sistemes de climatització (calefacció, aire condicionat)
- Si permet mascotes
- Si té plaça d'aparcament

- Armaris encastrats i traster

Característiques ambientals:

- Orientació solar (matí, tarda, tot el dia, mai)
- Si és exterior o interior
- Nivell de soroll (baix, mitjà, alt)
- Tipus de vistes (mar, muntanya, ciutat, cap)
- Consum energètic (A a G)

2.1.3 Serveis urbans

Els **Serveis** representen tots els equipaments i zones d'interès que hi ha a la ciutat i que poden influir en l'adequació d'un habitatge segons la seva proximitat. Hem creat una taxonomia força completa:

Serveis Educatius:

- Llars d'infants (0-3 anys)
- Escoles (primària i secundària)
- Instituts
- Universitats

Serveis de Salut:

- Centres de salut (CAPs)
- Hospitals
- Farmàcies

Serveis Comercials:

- Supermercats
- Mercats municipals
- Centres comercials
- Hipermercats

Transport:

- Estacions de metro

- Parades de bus
- Estacions de tren
- Autopistes (accés)
- Aeroport

Zones Verdes:

- Parcs
- Jardins
- Zones esportives

Serveis d'Oci:

- Bars i restaurants
- Cinemes i teatres
- Discoteques
- Gimnasos
- Estadis

2.1.4 Localització

La **Localització** és el concepte que fa de pont entre habitatges i serveis. Cada habitatge i cada servei tenen una localització que inclou:

- Coordenades (X, Y) per calcular distàncies
- Adreça completa
- Districte i barri
- Codi postal

2.1.5 Oferta

Una **Oferta** representa un habitatge disponible per llogar en un moment donat. Inclou:

- Referència a l'habitatge concret
- Preu mensual de lloguer
- Data de publicació
- Disponibilitat (si/no)

2.1.6 Conceptes auxiliars

A més dels conceptes principals, hem definit conceptes auxiliars que s'utilitzen durant el procés de raonament:

Proximitat: Relació entre un habitatge i un servei que indica:

- La distància en metres
- Classificació qualitativa (molt a prop, distància mitjana, lluny)
- Categoria del servei

Requisit Inferit: Necessitat que el sistema dedueix automàticament per a un sol · licitant:

- Categoria de servei necessari
- Si és obligatori o preferible
- Motiu de la inferència

Recomanació: Resultat de l'avaluació d'una oferta per a un sol · licitant:

- Puntuació numèrica
- Grau de recomanació (parcialment adequat, adequat, molt recomanable)
- Punts positius
- Criteris no complerts

2.2 Descomposició en problemes i subproblemes

El problema global de recomanar habitatges és massa complex per resoldre'l d'un sol cop. L'hem descomposat en una seqüència de subproblemes que es resolen de manera ordenada, cadascun construït sobre els resultats dels anteriors. Aquesta descomposició segueix la metodologia de classificació heurística, que és especialment adequada per a problemes on hem de categoritzar elements (ofertes) segons múltiples criteris.

2.2.1 Fase 1: Inicialització

Objectiu: Preparar totes les dades base necessàries per al raonament posterior.

Subproblema 1.1: Càrrega de dades

- Carregar la ontologia amb totes les classes i relacions
- Instanciar tots els habitatges, serveis i ofertes disponibles
- Crear o capturar el perfil del sol · licitant

Subproblema 1.2: Càlcul de proximitats

Aquest és un subproblema crucial que prepara informació espacial que s'utilitzarà constantment més endavant. Per a cada parella (habitatge, servei):

1. Obtenir les coordenades de l'habitatge i del servei
2. Calcular la distància de Manhattan: $d = |x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|$
3. Classificar aquesta distància:
 - Molt a prop: $< 200\text{m}$
 - Distància mitjana: $200\text{-}400\text{m}$
 - Lluny: $> 400\text{m}$
4. Emmagatzemar aquesta informació com a fet

Per què calculem això per endavant? Perquè quasi totes les regles posteriors necessitaran saber si un habitatge està a prop d'un cert tipus de servei, i és molt més eficient calcular-ho una vegada que repetir el càlcul cada vegada.

Subproblema 1.3: Expansió de categories

Un detall important: també creem relacions de proximitat per a categories generals. Per exemple, si detectem que un habitatge està a prop d'una "Escola", també afirmem que està a prop d'un "Servei Educatiu". Això ens permet escriure regles més generals sense haver de contemplar tots els subtipus específics.

Subproblema 1.4: Crear recomanacions inicials

Per a cada parella (sol · licitant, oferta disponible), creem una recomanació buida amb puntuació 0 i sense grau assignat. Aquestes recomanacions s'aniran omplint en les fases següents.

2.2.2 Fase 2: Abstracció

Objectiu: Transformar les dades brutes del sol · licitant en un perfil significatiu i inferir necessitats implícites.

Subproblema 2.1: Classificació del sol · licitant

A partir de les característiques demogràfiques (edat, nombre de persones, fills, situació laboral), el sistema ha de classificar automàticament el sol · licitant en una de les categories de la jerarquia. Això no és trivial perquè les categories es poden solapar i cal establir prioritats:

1. Si és segona residència \rightarrow CompradorSegonaResidència
2. Altrament, si edat $> 65 \rightarrow$ PersonaGran
3. Altrament, si estudia a la ciutat \rightarrow GrupEstudiants
4. Altrament, si edat ≤ 35 i més d'1 persona \rightarrow ParellaJove

5. Altrament, si edat ≤ 35 i 1 persona \rightarrow Jove

6. Altrament, si edat > 35 :

- Si té fills \rightarrow ParellaAmbFills o IndividuAmbFills (segons núm. persones)
- Si planeja fills \rightarrow ParellaFutursFills o IndividuFutursFills
- Altrament \rightarrow ParellaSenseFills o IndividuSenseFills

Aquesta classificació és determinista però té en compte múltiples factors i segueix un ordre de prioritats basat en el nostre coneixement del domini.

Subproblema 2.2: Inferència de requisits

Un cop classificat el sol·licitant, podem inferir necessitats que probablement no haurà expressat explícitament. Aquest coneixement prové de l'experiència experta en el sector immobiliari:

Per a Famílies amb Fills:

- Necessita serveis educatius propers (escoles)
- Prefereix zones verdes (parcs on els nens puguin jugar)

Per a Persones Grans:

- Necessita serveis de salut propers
- Necessita serveis comercials propers (menys mobilitat)

Per a Estudiants:

- Necessita transport públic
- Prefereix zones d'oci

Per a Parelles amb Plans de Fills:

- Prefereix escoles properes (per al futur)
- Prefereix zones verdes

Per a Joves en edat laboral sense vehicle:

- Necessita transport públic

Per a persones amb vehicle que treballen fora de la ciutat:

- Prefereix proximitat a autopistes

Aquests requisits s'emmagatzemen com a fets, indicant si són obligatoris (han de complir-se sí o sí) o preferibles (sumaran punts però no són imprescindibles). De moment, hem definit la majoria com a preferibles per evitar descartar massa ofertes.

2.2.3 Fase 3: Descart

Objectiu: Eliminar ofertes que clarament no són adequades abans de fer cap càlcul de puntuació.

Aquest subproblema implementa restriccions dures que no admeten excepcions. Si una oferta viola alguna d'aquestes restriccions, es descarta directament i ja no es considera més:

Subproblema 3.1: Restriccions econòmiques

- Si el preu supera el pressupost màxim i el sol·licitant té marge estricte \rightarrow DESCARTAR
- Si el preu és inferior al pressupost mínim i el sol·licitant té marge estricte \rightarrow DESCARTAR

El pressupost mínim pot semblar estrany, però alguns sol·licitants el defineixen perquè consideren que ofertes massa barates poden amagar problemes o ser estafes.

Subproblema 3.2: Restriccions sobre mascotes

- Si el sol·licitant té mascotes i l'habitatge no les permet \rightarrow DESCARTAR

Subproblema 3.3: Restriccions d'accessibilitat

- Si el sol·licitant necessita accessibilitat i l'habitatge està en planta alta sense ascensor \rightarrow DESCARTAR

Subproblema 3.4: Serveis a evitar

- Si el sol·licitant vol evitar un cert tipus de servei (ex: discoteques) i n'hi ha un molt a prop \rightarrow DESCARTAR

Subproblema 3.5: Requisits inferits obligatoris

- Si s'ha inferit un requisit com a obligatori i no hi ha cap servei d'aquesta categoria a prop o distància mitjana \rightarrow DESCARTAR

De moment aquesta darrera regla no s'activa gaire perquè hem marcat la majoria de requisits com a preferibles, però és important tenir-la per a casos més extrems.

Subproblema 3.6: Superfície mínima

- Si la superfície és inferior a 10m^2 per persona \rightarrow DESCARTAR

Aquest és un criteri de sentit comú: 3 persones no poden viure dignament en 25m^2 .

Subproblema 3.7: Restriccions específiques de perfil

Alguns perfils tenen restriccions addicionals:

- Estudiants: descartar habitatges a reformar (no tenen temps ni diners)
- Persones amb vehicle: descartar habitatges sense aparcament
- Persones grans: descartar si serveis de salut estan lluny
- Compradors segona residència: descartar estudis (massa petits)

2.2.4 Fase 4: Puntuació (Scoring)

Objectiu: Assignar punts a les ofertes que han superat el descart segons la seva adequació.

Aquest és el subproblema més complex perquè és on rau la major part del coneixement expert. Hem dissenyat un sistema de puntuació additiu on cada característica positiva suma punts i cada deficiència en resta. L'estratègia és:

Subproblema 4.1: Puntuació per adequació de pressupost

El preu és fonamental, però no és només "dins pressupost" o "fora pressupost":

- Preu excepcional (>30% d'estalvi sobre el màxim): +50 punts
- Preu molt bo (20-30% d'estalvi): +40 punts
- Preu perfecte (dins el rang mínim-màxim): +30 punts
- Preu adequat (marge flexible, fins 15% sobre màxim): +20 punts
- Preu lleugerament alt (dins marge flexible): -10 punts

Subproblema 4.2: Puntuació per característiques de l'habitatge

Diferents perfils valoren diferents coses:

Característiques generals (sumen per a tots):

- Té terrassa o balcó: +20 punts
- Molt assolellat (tot el dia): +20 punts
- Té vistes: +20 punts
- Té piscina comunitària: +20 punts

Per a Joves:

- Terrassa (extra): +5 punts (els joves valoren molt les terrasses)
- Piscina (extra): +5 punts
- Amb electrodomèstics: +20 punts

Per a Estudiants:

- Moblat: +20 punts (imprescindible per a estudiants)

Per a Adults i Persones Grans:

- Aire condicionat: +20 punts
- Calefacció: +20 punts
- Traster: +20 punts

Per a Persones Grans i Segones Residències:

- Nivell de soroll baix: +20 punts

Per a Segones Residències:

- Vistes al mar o muntanya: +20 punts
- Consum energètic A o B: +20 punts
- A reformar: +20 punts (poden fer-la a mida amb pressupost)

Per a Famílies i Estudiants:

- Més d'un bany: +20 punts
- Piscina: +5 punts

Per a Parelles i Famílies:

- Almenys una habitació doble: +20 punts

Per a Estudiants i Individus:

- Suficients habitacions individuals: +20 punts

Subproblema 4.3: Puntuació per serveis propers

Aquí és on s'apliquen els requisits inferits i les preferències:

Transport públic (molt a prop o distància mitjana):

- Per a Joves i Estudiants: +10 punts

Universitat (molt a prop o distància mitjana):

- Per a Joves: +20 punts

Autopista (molt a prop o distància mitjana):

- Si s'ha inferit la necessitat: +20 punts

Serveis comercials (molt a prop o distància mitjana):

- Per a Adults: +20 punts

Serveis de salut:

- Molt a prop per a Persones Grans: +10 punts addicionals

Oci:

- Transport, bars, discoteques, gimnasos per a Joves: +10 punts
- Cinemes, teatres, restaurants per a Adults: +10 punts
- Teatres, restaurants per a Persones Grans: +10 punts

Servei preferit explícitament:

- Si el sol·licitant ha indicat que prefereix un servei i està molt a prop o distància mitjana: +5 punts

Requisit inferit satisfet:

- Si un requisit inferit (escola per fills, zona verda, etc.) està molt a prop: +20 punts

Subproblema 4.4: Penalitzacions

També restem punts per deficiències:

- Nivell de soroll alt: -10 punts
- Planta alta sense ascensor: -10 punts
- Poca llum natural (orientació "Mai"): -10 punts
- Baixa eficiència energètica (F o G): -10 punts

Subproblema 4.5: Registre de punts positius i criteris no complerts

Mentrestant que anem puntuant, també generem fets que expliquen per què s'han donat o restat punts:

- **punt-positiu:** "Té terrassa o balcó", "Pressupost perfecte", etc.
- **criteri-no-complert:** "Nivell de soroll alt", "Planta alta sense ascensor", etc.

Aquests fets són els que després es mostraran a l'usuari per justificar la recomanació.

2.2.5 Fase 5: Classificació

Objectiu: Assignar un grau de recomanació qualitatiu a cada oferta segons la seva puntuació.

Aquest és un subproblema relativament simple un cop tenim les puntuacions. Apliquem uns llindars:

- Puntuació ≥ 70 : **Molt Recomanable**
- Puntuació ≥ 40 : **Adequat**
- Puntuació > 0 : **Parcialment Adequat**
- Puntuació ≤ 0 : No es recomana (no s'inclou en els resultats)

Aquests llindars s'han escollit experimentalment per assegurar que les categories tinguin sentit. Una oferta "Molt Recomanable" ha de tenir diversos punts forts, no només complir el mínim.

2.2.6 Fase 6: Presentació

Objectiu: Generar la sortida en un format útil per a l'usuari.

Subproblema 6.1: Ordenació

Per a cada sol·licitant, ordenem les seves recomanacions per puntuació descendent.

Subproblema 6.2: Selecció del Top 3

Prenem només les 3 millors ofertes per sol·licitant per no saturar l'usuari amb massa informació.

Subproblema 6.3: Formatació i explicació

Per a cada oferta del Top 3, mostrem:

- Dades bàsiques de l'habitatge
- Grau de recomanació
- Llista de punts forts (extrets dels fets `punt-positiu`)
- Llista d'aspectes a considerar (extrets dels fets `criteri-no-complert`)

2.3 Exemples de coneixement expert

Per il·lustrar millor com hem capturat el coneixement expert del domini, presentem alguns exemples concrets de regles i el raonament que hi ha darrere:

2.3.1 Exemple 1: Inferència per a famílies amb fills

Coneixement expert: "Les famílies amb fills petits necessiten tenir escoles properes i zones verdes on els nens puguin jugar. Això no és negociable, encara que la família no ho demani explícitament."

Formalització:

```
SI sol·licitant.numeroFills > 0
LLAVORS
  - Inferir necessitat de ServeiEducatiu (preferible)
  - Inferir necessitat de ZonaVerda (preferible)
  - Motiu: "Família amb fills necessita escoles i zones verdes"
```

Impacte: Quan es puntuen ofertes per aquesta família, les que tinguin escoles i parcs molt a prop rebran +20 punts extres. Les que no en tinguin no es descartaran (perquè no és obligatori), però quedaran pitjor posicionades.

2.3.2 Exemple 2: Descart per accessibilitat

Coneixement expert: "Una persona que necessita accessibilitat (sigui per edat avançada, per problemes de mobilitat o per conviure amb persones grans) no pot viure en un pis alt sense ascensor. Això és una barrera infranquejable."

Formalització:

```
SI sol·licitant.necessitaAccessibilitat = si
  I habitatge.teAscensor = no
  I habitatge.plantaPis > 0
LLAVORS
  DESCARTAR oferta
  Motiu: "No accessible: sense ascensor i planta alta"
```

Impacte: Aquestes ofertes mai apareixeran en les recomanacions per a sol·licitants que necessitin accessibilitat, independentment de quantes altres virtuts tinguin.

2.3.3 Exemple 3: Valoració diferencial del preu

Coneixement expert: "Trobar un habitatge un 30% més barat del que estaves disposat a pagar és una oportunitat excepcional que cal destacar. Però un habitatge lleugerament més car del màxim (10-15%) pot ser acceptable si té altres virtuts, sempre que el client no hagi dit que el pressupost és infranquejable."

Formalització:

```
SI preu < pressupostMaxim * 0.7
LLAVORS punts += 50, motiu: "Preu excepcional (>30% estalvi)"

SI pressupostMinim <= preu <= pressupostMaxim
```

```
LLAVORS punts += 30, motiu: "Pressupost perfecte"
```

```
SI pressupostMaxim < preu <= pressupostMaxim * 1.15
```

```
  I margeEstricta = no
```

```
LLAVORS
```

```
  punts += 20, motiu: "Pressupost adequat"
```

```
  PERO punts -= 10 addicionals
```

```
  I registrar: criteri-no-complert "Preu lleugerament superior"
```

Impacte: Un habitatge perfecte però 10% més car pot ser "Molt Recomanable" si té molts punts forts, però s'advertirà l'usuari que supera el pressupost. Un habitatge 30% més barat sumarà molts punts i potser compensarà algunes mancances.

2.3.4 Exemple 4: Estudiants i habitatges a reformar

Coneixement expert: "Els estudiants necessiten un habitatge on puguin entrar a viure immediatament. No tenen temps, diners ni coneixements per reformar un pis. Per tant, descartem directament qualsevol habitatge que estigui catalogat com 'a reformar'."

Formalització:

```
SI sol·licitant ES-UN GrupEstudiants
```

```
  I habitatge.estatConservacio = "AReformar"
```

```
LLAVORS
```

```
  DESCARTAR oferta
```

```
  Motiu: "Estudiants necessiten habitatge llest per habitar"
```

Contrapunt: Per a compradors de segona residència, un habitatge a reformar suma +20 punts, perquè ells sí tenen recursos i volen personalitzar-lo.

2.3.5 Exemple 5: Persones grans i serveis de salut

Coneixement expert: "Per a una persona gran, tenir un centre de salut molt a prop és molt més valuós que tenir-lo a distància mitjana, perquè la mobilitat és limitada. A més, si els serveis de salut estan lluny, l'habitatge directament no és adequat."

Formalització:

```
// Inferència
```

```
SI sol·licitant ES-UN PersonaGran
```

```
LLAVORS
```

```
  Inferir necessitat de ServeiSalut (preferible)
```

```
// Descart
```

```
SI sol·licitant ES-UN PersonaGran
```

```
  I NO existeix ServeiSalut a MoltAProp o DistanciaMitjana
```

```
LLAVORS
```

```
  DESCARTAR oferta
```



```

    Motiu: "Serveis de salut massa lluny per persona gran"

// Puntuació extra per molt a prop
SI sol·licitant ES-UN PersonaGran
    I existeix ServeiSalut a MoltAProp
LLAVORS
    punts += 10 addicionals
    Motiu: "Centre de salut molt proper (ideal per persona gran)"

```

Impacte: Les persones grans només veuran ofertes amb centres de salut relativament propers, i dins d'aquestes, es prioritzaran les que els tinguin molt a prop.

2.3.6 Exemple 6: Compradors de segona residència

Coneixement expert: "Qui compra una segona residència busca una cosa diferent: no li preocupen escoles ni supermercats propers, però sí les vistes, la tranquil·litat, la qualitat de l'habitatge i l'eficiència energètica (perquè la casa pot estar buida molts dies). També poden permetre's comprar quelcom a reformar per fer-ho al seu gust."

Formalització:

```

SI sol·licitant ES-UN CompradorSegonaResidencia
LLAVORS:
    // Valoren vistes especials
    SI habitatge.tipusVistes = "Mar" O "Muntanya"
    LLAVORS punts += 20

    // Valoren tranquil·litat
    SI habitatge.nivellSoroll = "Baix"
    LLAVORS punts += 20

    // Valoren eficiència
    SI habitatge.consumEnergetic = "A" O "B"
    LLAVORS punts += 20

    // No els molesta reformar
    SI habitatge.estatConservacio = "AReformar"
    LLAVORS punts += 20

    // Descarten estudis (massa petits)
    SI habitatge ES-UN Estudi
    LLAVORS DESCARTAR

```

2.4 Descripció informal del procés de resolució

Ara que hem vist tots els components per separat, descrivim com funciona el sistema de manera integrada quan un sol·licitant vol trobar habitatge:

2.4.1 Escenari d'ús típic

Imaginem que una família de 4 membres (dos adults de 38 anys i dos fills de 6 i 10 anys) busca pis a Barcelona. Tenen un pressupost màxim de 1.500€ mensuals (però són una mica flexibles), tenen un gos, i el pare treballa a la ciutat mentre la mare teletreballa.

Pas 1: Captura de dades

El sistema pregunta o rep les dades bàsiques:

- Nom: "Família Garcia"
- Edat del sol·licitant principal: 38 anys
- Nombre de persones: 4
- Fills: 2 (edats: 6, 10)
- Pressupost: 600€ - 1.500€ (flexible)
- Té mascotes: Sí (1 gos)
- Té vehicle: Sí
- Necessita accessibilitat: No
- Treballa a la ciutat: Sí

Pas 2: Inicialització

El sistema:

- Carrega totes les ofertes disponibles (diguem-ne 8)
- Calcula distàncies entre els 8 habitatges i tots els serveis de la ciutat (metro, escoles, hospitals, parcs, etc.)
- Crea 8 recomanacions buides (una per oferta)

Pas 3: Abstracció

El sistema analitza el perfil:

- Edat $38 > 35 \rightarrow$ és adult
- Té fills \rightarrow és ParellaAmbFills

Després infereix necessitats:

- "Família amb fills necessita escoles" \rightarrow Requisit: ServeiEducatiu (preferible)
- "Família amb fills prefereix zones verdes" \rightarrow Requisit: ZonaVerda (preferible)

Pas 4: Descart

El sistema revisa les 8 ofertes:

- Oferta 1: Pis de 95m², 1.350€, permet mascotes → PASSA
- Oferta 2: Àtic de 120m², 1.800€, permet mascotes → PASSA (preu alt però flexible)
- Oferta 3: Estudi de 35m², 650€, NO permet mascotes → DESCARTAT (no mascotes)
- Oferta 4: Pis de 70m², 1.100€, NO permet mascotes → DESCARTAT (no mascotes)
- Oferta 5: Casa de 200m², 3.500€, permet mascotes → DESCARTAT (preu excessiu)
- Oferta 6: Pis de 80m², 950€, NO permet mascotes → DESCARTAT (no mascotes)
- Oferta 7: Pis de 95m², 1.650€, permet mascotes → PASSA (marge flexible)
- Oferta 8: Estudi de 35m², 200€, NO permet mascotes → DESCARTAT (massa petit i preu sospitós)

Queden 3 ofertes: 1, 2 i 7.

Pas 5: Puntuació

Per a l'Oferta 1 (pis de 95m², 1.350€):

- Preu dins pressupost perfecte: +30 punts
- Té terrassa: +20 punts
- Assolellat tot el dia: +20 punts
- Té vistes: +20 punts
- Té plaça d'aparcament: inherent (no suma extra perquè és necessari)
- Escola molt a prop (requisit inferit satisfet): +20 punts
- Parc a distància mitjana (requisit inferit satisfet): +20 punts
- 2 habitacions dobles: +20 punts
- Més d'un bany: +20 punts
- Total: 170 punts

Per a l'Oferta 2 (àtic de 120m², 1.800€):

- Preu lleugerament superior (1.800 vs 1.500): $+20 - 10 = +10$ punts net
- Registra: criteri-no-complert "Preu 20% superior"
- Terrassa gran (40m²): +20 punts
- Assolellat tot el dia: +20 punts
- Vistes a la muntanya: +20 punts

- Escola a distància mitjana: +20 punts
- Parc a distància mitjana: +20 punts
- 2 habitacions dobles: +20 punts
- 2 banys: +20 punts
- Àtic (planta 5): +0 (no hi ha regla específica, però és un plus implícit)
- Total: 150 punts

Per a l'Oferta 7 (pis de 95m², 1.650€):

- Preu superior però dins marge: +20 - 10 = +10 punts
- Registra: criteri-no-complert "Preu 10% superior"
- Sense terrassa: 0
- Orientació matí (no tot el dia): 0
- Sense vistes destacables: 0
- NO té escola propera: 0 (i no suma el bonu)
- Parc lluny: 0
- 1 habitació doble: +20 punts
- 1 bany: 0
- Total: 30 punts

Pas 6: Classificació

Segons les puntuacions:

- Oferta 1: 170 punts → **Molt Recomanable**
- Oferta 2: 150 punts → **Molt Recomanable**
- Oferta 7: 30 punts → **Parcialment Adequat**

Pas 7: Presentació

El sistema mostra el Top 3 (que en aquest cas són les 3 úniques que queden):

SOL·LICITANT: Família Garcia

#1 - oferta-1 - *** Molt Recomanable *** (170 punts)

Tipus: Pis

Superfície: 95 m²

Dormitoris: 3 | Banys: 2

Preu: 1.350 EUR/mes
Adreça: Carrer Aragó 250
Districte: Eixample

PUNTS FORTS:

- [+] Pressupost perfecte (+30p)
- [+] Té terrassa o balcó (+20p)
- [+] Molt assolellat (+20p)
- [+] Té bones vistes (+20p)
- [+] Preferència detectada molt a prop: Escola (+20p)
- [+] Preferència detectada molt a prop: Parc (+20p)
- [+] Disposa d'habitació doble (+20p)
- [+] Més d'un bany (+20p)

#2 - oferta-2 - *** Molt Recomanable *** (150 punts)

Tipus: Àtic
Superfície: 120 m²
Dormitoris: 3 | Banys: 2
Preu: 1.800 EUR/mes
Adreça: Carrer Verdi 45
Districte: Gràcia

PUNTS FORTS:

- [+] Té terrassa o balcó (+20p)
- [+] Molt assolellat (+20p)
- [+] Té bones vistes (+20p)
- [+] Disposa d'habitació doble (+20p)
- [+] Més d'un bany (+20p)

ASPECTES A CONSIDERAR:

Preu lleugerament superior al pressupost (Moderat)

#3 - oferta-7 - *** Parcialment Adequat *** (30 punts)

Tipus: Pis
Superfície: 95 m²
Dormitoris: 3 | Banys: 1
Preu: 1.650 EUR/mes
Adreça: Carrer València 180
Districte: Eixample

PUNTS FORTS:

- [+] Disposa d'habitació doble (+20p)

ASPECTES A CONSIDERAR:

Preu lleugerament superior al pressupost (Moderat)
No hi ha escoles molt properes
Zones verdes lluny

2.4.2 Flux general del sistema

En resum, el procés segueix sempre aquesta seqüència:

1. **Entrada** → Dades del sol · licitant
2. **Inicialització** → Càlcul de proximitats, creació de recomanacions buides
3. **Abstracció** → Classificació del sol · licitant, inferència de necessitats
4. **Descart** → Eliminació d'ofertes inadequades (filtre dur)
5. **Puntuació** → Avaluació detallada de les ofertes restants
6. **Classificació** → Assignació de grau de recomanació
7. **Presentació** → Generació del Top 3 amb explicacions
8. **Sortida** → Recomanacions personalitzades

Aquesta descomposició en fases amb objectius clars fa que el sistema sigui modular, mantenible i fàcil d'entendre. Cada fase prepara les dades per a la següent, i el coneixement expert es distribueix de manera natural entre les diferents regles de cada fase.

3 Formalització

3.1 Disseny de l'Ontologia

L'ontologia s'ha implementat utilitzant Protégé i exportada a CLIPS. A continuació es detalla l'estructura formal de classes i propietats.

3.1.1 Jerarquia de Classes

L'arbre de classes principal és el següent:

```
USER
+-- Solicitant
|   +-- Joves (GrupEstudiants, ParellaJove)
|   +-- Adults (ParellaAmbFillls, Individu, etc.)
|   +-- PersonaGran
|   +-- CompradorSegonaResidencia
+-- Habitatge
|   +-- Pis
|   +-- Atic
|   +-- Duplex
|   +-- HabitatgeUnifamiliar
+-- Servei
|   +-- ServeiSalut (Hospital, CAP...)
|   +-- ServeiOci (Bar, Cinema...)
|   +-- Transport (Metro, Bus...)
+-- Oferta
+-- Localitzacio
```

3.1.2 Atributs i Relacions (Slots)

Els atributs s'han definit amb tipus estrictes per facilitar el raonament a les regles:

- **Relacions d'Objectes:**

- `teLocalitzacio`: Vincula Habitatge/Servei amb Localitzacio.
- `teHabitatge`: Vincula Oferta amb Habitatge.
- `prefereixServei` / `evitaServei`: Multislots a Solicitant que contenen instàncies de serveis específics.

- **Atributs de Dades:**

- `preuMensual` (FLOAT): Per comparacions numèriques.
- `disponible` (SYMBOL: si/no).
- `orientacioSolar` (STRING: "TotElDia", "Mati", etc.).

3.2 Model de Raonament i Regles

El sistema utilitza un motor d'inferència basat en regles de producció (forward chaining) organitzat en mòduls o fases temporals.

3.2.1 Fase 1: Abstracció i Càlcul Espacial

Es defineix una funció de distància euclidiana:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Les regles categoritzen aquesta distància en conceptes qualitatiu:

- $d < 500m \rightarrow \text{MoltAProp}$
- $500m \leq d < 1000m \rightarrow \text{DistanciaMitjana}$
- $d \geq 1000m \rightarrow \text{Lluny}$

Això permet escriure regles com: "Si hi ha una escola **MoltAProp**, suma punts".

3.2.2 Fase 2: Inferència de Requisits

En aquesta fase es generen fets intermedis `requisit-inferit`.

- *Regla:* Si `numeroFills > 0` \rightarrow Assert `requisit-inferit(Educacio, Obligatori: no, Motiu: "Família")`.
- *Regla:* Si `classe és PersonaGran` \rightarrow Assert `requisit-inferit(Salut, Obligatori: si)`.

3.2.3 Fase 3: Descart (Hard Constraints)

S'eliminen les ofertes que violen restriccions crítiques. Es genera un fet `oferta-descartada` i es documenta el motiu. Exemples de regles de descart:

- `Preu > Pressupost Màxim` (si el marge és estricte).
- `Habitatge sense ascensor AND Pis > 0 AND Sol · licitant requereix accessibilitat`.
- `Habitatge sense mobles AND Sol · licitant és GrupEstudiants`.

3.2.4 Fase 4: Scoring (Soft Constraints)

Les ofertes supervivents reben punts. Es parteix d'una puntuació base (0) i es modifica mitjançant `modify ?rec`.

- +20 punts si té habitació doble (per parelles).

- +25 punts si el transport públic és **MoltAProp**.
- -10 punts si el preu supera el pressupost però està dins del marge flexible (15%).
- +50 punts si és una "ganga" (preu < 70% del pressupost).

4 Implementació

El sistema s'ha implementat completament en ****CLIPS 6.3****. El codi s'ha estructurat en diversos fitxers per mantenir la modularitat i facilitar el manteniment, seguint les bones pràctiques d'enginyeria del programari.

4.1 Estructura del Codi

- **ontologia.clp**: Conté la definició de classes (`defclass`) generada automàticament des de Protégé i refinada manualment. Defineix l'estructura d'objectes (COOL).
- **instancies_ciutat.clp**: Conté el conjunt de dades de prova: 6 perfils de sol · licitants variats, 10 localitzacions, 60 serveis i 24 habitatges amb les seves ofertes corresponents.
- **regles.clp**: El nucli del sistema expert. Conté els `deftemplates` per a fets de control i totes les regles de negoci.
- **main.clp**: Implementa la interfície d'usuari per línia de comandes, permetent crear nous perfils interactivament i mostrant els resultats finals formatats.

4.2 Control del Flux d'Execució

S'ha utilitzat un mecanisme de control basat en un fet global (`fase (actual ?x)`). Les regles tenen prioritat (*salience*) o condicions al LHS que comproven la fase actual. Això assegura que el sistema no comenci a puntuar abans d'haver descartat les ofertes inviables.

Les transicions de fase són:

```
init → abstraccio → descart → scoring → classificacio → presentacio
```

4.3 Detalls d'Implementació Rellevants

4.3.1 Gestió de Distàncies i Proximitat

Per evitar calcular distàncies $N \times M$ constantment, a la fase d'abstracció es generen fets proximitat una sola vegada:

```
(defrule abstraccio-calcular-proximitats
  (fase (actual init))
  ?hab <- (object (is-a Habitatge) (teLocalitzacio ?locH))
  ?serv <- (object (is-a Servei) (teLocalitzacio ?locS))
  ...
  =>
  (bind ?metres (calcular-distancia ?x1 ?y1 ?x2 ?y2))
  (assert (proximitat (habitatge ?hab) (servei ?serv)
    (distancia (classificar-distancia ?metres))))
)
```

Aquesta tècnica millora el rendiment i simplifica les regles posteriors, que només han de fer *matching* amb el símbol **MoltAProp**.

4.3.2 Sistema de Puntuació Incremental

S'ha implementat un `deftemplate` **Recomanacio** que manté l'estat de l'avaluació. Les regles de *scoring* modifiquen aquest fet:

```
(defrule resolucio-puntuar-piscina
  (fase (actual scoring))
  ...
  ?rec <- (Recomanacio (puntuacio ?pts))
  =>
  (modify ?rec (puntuacio (+ ?pts 5)))
  (assert (punt-positiu ... (descripcio "Te piscina"))))
)
```

A més, es genera un historial de **punt-positiu** i **criteri-no-complert** per poder explicar a l'usuari final per què ha rebut aquella puntuació (explicabilitat).

4.4 Interfície d'Usuari

El fitxer `main.clp` utilitza funcions de lectura (`read`, `readline`) per capturar les necessitats de l'usuari dinàmicament. Aquestes dades es converteixen en instàncies de la classe **Solicitant** (o les seves subclasses, inferides mitjançant regles a la fase d'inicialització) perquè el motor d'inferència les processi igual que les instàncies estàtiques.

5 Jocs de prova i Resultats

Per validar el sistema, s'han dissenyat jocs de prova que cobreixen els diferents perfils d'usuari identificats a la conceptualització. A continuació s'analitzen dos casos representatius que mostren com el sistema s'adapta a necessitats oposades.

5.1 Cas de Prova 1: Persona Gran (Sra. Montserrat)

Perfil: Dona de 72 anys, viu sola, necessita accessibilitat i transport públic. Pressupost 1500€. Prioritza salut i silenci. **Resultats Obtinguts:**

- **Oferta Recomanada:** *oferta-avis-1* (Pis a l'Eixample).
- **Puntuació:** Alta (Molt Recomanable).
- **Justificació del Sistema:**
 - "Serveis de salut molt propers"(+25p).
 - "Transport públic molt a prop"(+25p).
 - "Te ascensor"(Requisit dur complert).
- **Descarts:** El sistema ha descartat correctament l'*oferta-parella-1* (Pis 4t sense ascensor a Gràcia) aplicant la regla **resolucio-descartar-no-accessible**. També ha descartat ofertes amb soroll alt a zones de festa.

5.2 Cas de Prova 2: Grup d'Estudiants (Grup UPC)

Perfil: 4 joves, pressupost ajustat per persona, necessiten pis moblat i prop de la universitat. **Resultats Obtinguts:**

- **Oferta Recomanada:** *oferta-estudiants-1* (Pis Zona Universitària).
- **Puntuació:** Molt Recomanable.
- **Justificació del Sistema:**
 - "A prop d'una universitat"(+20p).
 - "Ja moblat"(+25p).
 - "Dormitoris individuals per tothom"(+20p).
- **Descarts:** El sistema ha descartat automàticament tots els pisos que apareixen com moblat no mitjançant la regla **resolucio-descartar-estudiant-sense-mobles**, ja que l'expert (LLM) va indicar que els estudiants rarament compren mobles.

5.3 Cas de Prova 3: Família amb Fills

Perfil: Parella amb 2 fills (6 i 9 anys). Busquen espai i escoles. **Anàlisi:** El sistema valora positivament els pisos amb més de 100m² i amb 3 o més habitacions. Es dispara la inferència `abstraccio-familia-amb-fills` que afegeix la necessitat d'Escoles. El sistema puntua alt l'*oferta-familia-1* (Les Corts) perquè té escoles i parcs a menys de 500m.

5.4 Cobertura de les Proves

Els jocs de prova han validat:

1. **Restriccions Dures:** Pressupost estricte vs flexible, mascotes, ascensor.
2. **Inferència:** Detecció automàtica de necessitats (escoles, autopista per qui treballa fora).
3. **Càlcul Espacial:** Correcta classificació de distàncies (MoltAProp vs Lluny).
4. **Explicabilitat:** El sistema és capaç de llistar els motius positius i negatius.

6 Conclusions

6.1 Assoliment d'Objectius

En aquesta pràctica s'ha dissenyat i implementat amb èxit un Sistema Basat en el Coneixement per a la recomanació d'habitatges. S'han complert els objectius inicials:

- S'ha formalitzat el coneixement expert en una ontologia complexa amb classes, subclasses i relacions.
- S'ha utilitzat CLIPS per implementar un motor de regles modular (fases).
- El sistema és capaç de raonar sobre dades implícites (inferència de necessitats) i no només fer filtrat SQL.
- La integració del coneixement extret via LLM ha permès enriquir les regles amb criteris realistes (ex: importància del mobiliari per a estudiants).

6.2 Punts Forts del Sistema

1. **Modularitat:** La separació en fitxers d'instàncies, ontologia i regles, i l'ús de fases d'execució, fa que el sistema sigui fàcilment ampliable.
2. **Sensibilitat al Context:** El sistema tracta diferent la mateixa distància segons l'usuari. Una discoteca a prop és positiva per a un estudiant però negativa per a una família (regla d'evitació de serveis).
3. **Explicabilitat:** A diferència d'una caixa negra (com una xarxa neuronal), aquest sistema expert pot justificar exactament per què una oferta és bona, llistant els criteris aplicats.

6.3 Limitacions i Millores Futures

- **Càlcul de distàncies:** Actualment s'usa la distància euclidiana directa. Una millora seria integrar una API de mapes per calcular distàncies reals caminant o en transport públic.
- **Lògica Difusa (Fuzzy Logic):** Els límits de distància (500m) o preu són rígids. Implementar lògica difusa permetria una transició més suau (ex: "bastant a prop").
- **Dinamisme:** Les ofertes són estàtiques. En un entorn real, caldria connectar el sistema a una base de dades en temps real.

En conclusió, la pràctica ha permès aprofundir en el cicle de vida de l'enginyeria del coneixement, des de la conceptualització abstracta fins a la implementació concreta de regles de producció, demostrant la utilitat dels SBC en problemes de presa de decisions complexes.