



Universitat de Girona

DESENVOLUPAMENT D'UN PROTOCOL PER L'APLICACIÓ DE SISTEMES BASATS EN EL CONEIXEMENT A LA GESTIÓ D'ESTACIONS DEPURADORES D'AIGÜES RESIDUALS URBANES

Ignasi RODRÍGUEZ-RODA LAYRET

Dipòsit legal: Gi. 1809-2012

<http://hdl.handle.net/10803/96474>



Desenvolupament d'un protocol per l'aplicació de sistemes basats en el coneixement a la gestió d'estacions depuradores d'aigües residuals urbanes està subjecte a una llicència de [Reconeixement 3.0 No adaptada de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/)

© 1998, Ignasi Rodríguez-Roda Layret



Universitat de Girona

DEPARTAMENT D'ENGINYERIA QUÍMICA, AGRÀRIA, I
TECNOLOGIES AGROALIMENTÀRIES.

LABORATORI D'ENGINYERIA QUÍMICA I AMBIENTAL

**DESENVOLUPAMENT D'UN PROTOCOL PER L'APLICACIÓ DE
SISTEMES BASATS EN EL CONEIXEMENT A LA GESTIÓ
D'ESTACIONS DEPURADORES D'AIGÜES RESIDUALS URBANES**

Memòria que per optar al grau de Doctor presenta
IGNASI RODRÍGUEZ-RODA LAYRET

Girona, febrer de 1998.

MANEL POCH ESPALLARGAS, Catedràtic de la Universitat de Girona, i
JAVIER LAFUENTE SANCHO, Professor titular de la Universitat Autònoma de
Barcelona.

CERTIFIQUEN:

Que el llicenciat Ignasi Rodríguez-Roda Layret ha dut a terme, sota la seva direcció, el treball que, amb el títol "Desenvolupament d'un protocol per a l'aplicació de sistemes basats en el coneixement a la gestió d'estacions depuradores d'aigües residuals urbanes", presenta en aquesta memòria, la qual constitueix la seva Tesi per a optar al Grau de Doctor.

I perquè en prenguem coneixement i tingui els efectes que correspongui, presentem davant la Facultat de Ciències de la Universitat de Girona l'esmentada Tesi, signant aquesta certificació a

Girona, 9 de febrer de 1.998.

Manel Poch Espallargas

Javier Lafuente Sancho

*Not until a machine could write a sonnet or compose a concerto
because of thoughts and emotions felt, and not by the chance fall
of symbols, could we agree that machine equals brain - that is,
not only write it but know that it had written it.*

Professor Jefferson

a la Núria Layret Bosch, per que la vida és lluita.

Non recito cuiquam, nisi amicis

Horacio

Agraiments

La lectura de la tesi sembla ser punt obligat de reflexió interna. Sempre es reconfortant fer-hi una repassadeta al que han suposat tots aquests anys d'estudi i exposar-ne la síntesi en forma d'agraïments. La gent deixa anar aquí el que no ha sabut expressar amb la convivència diària, i suposo que per això precisament aquesta és la secció més consultada del document final que ens converteix en doctors. Moltes vegades ens ha faltat aquell somriure, aquelles paraules franques que la gent que ens envoltava, aquells que ens han ajudat a mantenir el nostre equilibri emocional en un estat suficientment satisfet com per seguir tirant endavant, necessitava sentir i que, deixats anar per la fredor del món en que vivim, poques vegades hem arribat a transmetre. Arribat, doncs, aquest patètic instant de sinceritat, necessitem d'aquestes paraules, fredes i impersonals, per agrair tot el que hem rebut. Jo no en soc una excepció, ni molt menys. No he sabut donar les gràcies, ni tampoc confio en saber fer-ho ara. Ha passat massa temps des que el Manel, sense ser conscient del que estava provocant, em va explicar alguna cosa dels sistemes experts, les depuradores, els PCA's per classificar els vins de Porto i un sensfí de les idees que bullien pel seu cap en aquell moment. Vàrem tancar el pacte després de comprometre'm a jugar els espectaculars partidets de futbol dels divendres al departament d'EQ de la UAB. Així va començar tot, i encara estem junts. Seguidament em varen confirmar qui seria el meu segon director de tesi, en Javier, autèntic terratrèmol i màxim exponent d'estrès, activitat i coneixement. Desbordant i insistent en que aprenguéssim C++, no va tardar en calar les meves més evidents limitacions. No és de savis descobrir que la distància fa més mal que la sinceritat, però d'ell sempre he rebut tot el que he demanat. Gran amistat la que uneix Javier i Manel (culminada en un recent veïnatge), i gran espectacle veure'ls treballar junts i encara, després de tants anys, emocionar-se parlant de "la teoria de los conjuntos disjuntos" [Pol Nord, 1996], de matar mosques a trets de canó [UAB, 1997], etc...

Pel que respecte a l'entorn que, directors a banda, més estretament a treballat amb mi dins el món de la recerca, esmentar que em vaig iniciar amb en Pau, qui em parlava d'heurística i inferència al seu estil de cilis garratibats i erts, alhora que al·lucinava de la meua incultura geogràfica, la meua poca consciència nacionalista, i del significat de la primera R del meu cognom. Poc va durar la seva companyia, i vaig haver d'anar a buscar aliats al Departament de Llenguatges i Sistemes Informàtics de la UPC. Allí al principi també eren poquets. Tot es resumia en Javi, l'artista i creador de Linneo*, l'Ulises com a director i responsable del grup, qui, a falta de pituitària, segueix tenint cura del seu foie personal, regat al llarg dels anys amb els millors caldos existents, i en Miquel, aquell noi ordenat i sistemàtic que, sense saber-ho, es va convertir en el meu principal company de cara a

resoldre assumptes delegats des d'adalt, a escriure, repassar, corregir i re-escriure papers i projectes, a citar-nos periòdicament a qualsevol dels múltiples despatxos assignats, a treballar dies caps de setmana, nits, festius, etc... En definitiva, que el que no haguem fet nosaltres junts no ho farà ningú. Per sort, més tard també s'hi varen incorporar en Ramon, el Julio, en Luigi, i en JM (per fi un altra perico), amb les seves teories de transicions, de filosofia oriental i, especialment, amb la seva lluita diària per demostrar els efectes demolidors de l'esport per la salut humana. Per cert, l'Ulises reclama, amb justícia, que es faci esment al fet que l'índex de la tesi va ser principalment gestat entre Itzapalapa i Guadalajara.

Poc vàrem aguantar a la metròpoli, i no van ser necessaris més de dos minuts per decidir emigrar cap a la tantes vegades immortal Girona. No hi ha cap dubte que aquesta ha estat la decisió relacionada amb el treball més encertada que he pres a la meua vida. Aquí a la UdG la feina s'ha diversificat, i sembla que es comença a formar un grup prou extens de cervellets exaltats per tal de contradir la maleïda afirmació d'en Beck al respecte de que les depuradores funcionen soles. Potser si que tenia part de raó, i per això la gent que hi treballa sol saber tan poques coses, però des de l'Horreo (Jesús, Quim, Steffi & Gnatius) intentem aportar-hi un xic de llum. L'últim dels nexes d'unió entre la feina i l'amistat se l'emporten els "chicos de la UAB" (Juan, David, Julián, Elvira i Emeza). Amb tots ells, suficientment potents per callar la boca a més d'un top ten a Santiago, hem compartit seminaris, projectes, visites, congressos, i un sensfí d'emocions. Col·laboracions esporàdiques m'han permès intimar una mica amb dues grandíssimes persones de les quals he procurat aprendre i captar part del seu coneixement: són el Jon Iza, des del País Basc, i en René Bañares, allí a la freda Edinburgh. Tampoc voldria oblidar tota la gent que, sense pertànyer al món universitari, també m'ha ofert la possibilitat de treballar i aprendre del que són les condicions reals d'operació d'una depuradora. Allí no mesuren μ ni K_s , tampoc determinen les DTRs dels seus reactors a diari, però deixen una aigua estupendament neta i a punt per abocar a qualsevol conca, per més sensible que sigui aquesta. Destaca la dedicació que em van dispensar a Manresa (en Ricard, l'Anna, en Josep Maria i l'Elisa). Actualment els hi toca el rebre a Girona (Gabriela, Dolors i Lluís), i entremig han existit Cassà-Llagostera (Rafa I, Rafa II, Manel i Toni) i Sils-Vidreres (Santi i l'home de Sils). Aviat vindrà el torn de Lloret, tot i que ara per ara sembla ser l'enclau particular d'en Quim. Darrera aquestes plantes hi són les empreses explotadores, gràcies a les quals em pogut entrar, opinar, empenyar, i fins i tot ficar-hi mà de tant en quant: Junta de Sanejament, Aigües de Barcelona, Netaigua, Dargisa, Saur i Consorci de la Costa Brava.

Està clar que no tot és feina en aquesta vida, ni tan sols pels doctorands. Així, he anat deixant un munt d'amics pel camí. Començant per l'època d'estudiant (Paka, Rafilla, Indíaco, Pachus i Espineto), seguint pel departament de la UAB (el sempre present Joan, de cor feble i recentment ressuscitat en forma de SIA conservar a la EPS, juntament amb l'escòria habitual tipus Cairó, Tintó, Raúl el difós, Alberto, Paredes, etc.. en José Luís, la Sanfeliu, el Xevi Font, lo Gabarras, la Rosi, etc. i el Carles Campmajó, exiliat forçat, però sense deixar de ser el millor), i acabant per aquí a Girona, amb un grup capdavanter encapçalat pel culé d'en Quim Comas, i seguit d'aprop pel Jesulín (principal responsable de l'edició d'aquest document. Les reclamacions per a ell), la Maria, la quitxalla (amb les histèriques Glòria i Steffi, els discrets bessons Twingos, el terrorista Toni Call, la Sònia, l'Elvira, i en general tota la munió de nova sàvia), els superjefes del despatx veí (Marilos, Manel, Adriana i l'esperit d'en Miquel) i els esclaus (no tinc temps, ni memòria, ni espai, per reproduir el nom de tots els soferts anònims que han currat estius i nits, especialment nits, per aquí). Capítol apart mereix il padrino Clarà, el delegat més ineficaç que mai hagués pogut fitxar l'equip de les estrelles Lequia FC, i possible futur pària de la UdG (el temps ja ho dirà). Altres amics (tipus Amiel, Molina, Pujadas, Ciuri i respectives), tot i que l'única interacció que han tingut amb el treball ha estat més aviat negativa, també mereixen un petit reconeixement escrit i formal.

I els que han caigut pel camí. En Raulín, el Jaume (el trànsfuga becari de l'EQATA), el Ferran (l'incombustible amic dels porquets, i revisor personal dels conceptes més naturals de la introducció), l'Evita (le Belgian), part de la quitxalla (Marta Costa, Jordi Homs, etc.) i la Isabel G. (nosaltres encara et recordem).

Estic segur que m'estic oblidant d'algú. No m'ho tingueu en compte. Els anys passen, les neurones s'oxiden, el parkinson ataca, avui és diumenge i mil excuses més que justifiquen les meves llacunes mentals. A qui sempre he tingut present és a la meva família. Començant per la Magda (tu sí que vals!), segurament el darrer reducte d'optimisme de la societat, i seguint per pares, germans, sobrevinguts, llagosterencs i els milers de nebots que m'han arribat. Per quan els fills? aviat, aviat...

Un últim aspecte que voldria agrair especialment és l'oportunitat que m'ha ofert la universitat en general, i molt especialment en Manel i el Javier, de poder voltar pel mon. En pocs anys he estat a Lund, de ruta per Alemanya, a Perugia, a Edinburg (atabalant dues vegades al René), a Mèxic, a Perlora, a

Santiago, a Valladolid, i a Bilbo. Espero seguir viatjant i coneixent món, per tal de seguir aprenent i enriquir la meua pobre base de coneixement.

Be, i això és tot. Amb el que heu llegit fins ara no n'hi ha prou per entendre el fonament de la tesi, però també soc conscient que pocs passareu d'aquí. Així que aprofito per animar a qualsevol llicenciat de futur poc clar a que no en dubti tant alhora de capbussar-se en aquest interessant món de la recerca i la docència a la universitat. Com heu vist, amics i experiències no en falten. I si tireu més endavant, veureu que ciència i resultats tampoc.

Gràcies a tots, molts d'ànims i procureu no estresar-vos (però recordeu que la vida és molt curta, tampoc us atureu). De fet, i per acabar d'adobar el seguit de cites literàries que apareixen al llarg de la tesi, m'agradaria concloure amb les sàvies paraules de Plató, al respecte que "res de les coses humanes és digne de gran preocupació". Així que ja sabeu, pessimisme al poder.

Ignasi R.-Roda



ÍNDEX:

INDEX	11
0 Presentació	17
1 Introducció	21
1.1 Antecedents	21
1.2 Problemàtica de les aigües residuals	22
1.3 Composició de l'aigua residual urbana	23
1.4 Tractament	27
1.5 El procés de llots actius	28
1.6 Els microorganismes	30
1.6.1 El flocul	30
1.6.2 Els filamentosos	32
1.6.3 Els protozous	33
1.6.4 La cadena tròfica	35
1.7 Diferents configuracions de llots actius	37
1.8 Modificacions per l'eliminació de nitrogen	42
1.8.1 Una etapa	42
1.8.2 Dues etapes	46
1.8.3 Tres etapes	47
2 Descripció de la EDAR de Girona	51
2.1 Descripció física	51
2.2 Seguiment de la EDAR	52
2.3 Control de la EDAR de Girona	53
3 Estat actual de la gestió a les EDAR	59
3.1 Informació disponible a les EDAR	59
3.2 Operació actual de les EDAR	61
3.3 Possibles camps d'estudi per a una millor gestió de les EDAR	63
3.4 Aproximació clàssica al problema de la gestió de les EDAR	65
3.5 Incorporació de tècniques d'Intel·ligència Artificial	67
4 El Sistema Expert	73
4.1 Introducció	73

4.1.1	Què són els sistemes basats en coneixement?	73
4.1.2	Com funciona un Sistema Expert?	75
4.1.3	Camps d'aplicació	79
4.2	Proposta de desenvolupament d'un Sistema Expert per a l'operació d'una EDAR	81
4.2.1	El motor d'inferència	81
4.2.2	La base de coneixement	81
4.2.2.1	Adquisició de coneixement de la bibliografia	81
4.2.2.2	Adquisició de coneixement dels experts	82
4.2.2.3	Adquisició de coneixement de les dades històriques	83
4.2.2.4	Síntesi	86
4.3	Desenvolupament del Sistema Expert per a la EDAR de Girona	86
4.3.1	El motor d'inferència	86
4.3.2	Coneixement específic de la EDAR de Girona	87
4.3.2.1	Entrevista	88
4.3.2.2	Dades històriques	94
4.3.3	Coneixement general per a qualsevol EDAR	100
4.3.3.1	Escumes	102
4.3.3.2	Desnitrificació incontrolada	106
4.3.3.3	Esponjament del fang	110
4.3.3.4	Desfloculació	112
4.3.4	Funcionament	112
5	El Sistema de Raonament Basat en Casos	117
5.1	Introducció	117
5.1.1	Què és un Sistema de Raonament Basat en Casos?	117
5.1.2	Com funciona un Sistema de Raonament Basat en Casos?	118
5.1.3	Camps d'aplicació de Sistemes de Raonament Basat en Casos	119
5.2	Proposta de desenvolupament d'un Sistema de Raonament Basat en Casos per a EDAR	120
5.2.1	El cas	120
5.2.2	La base de casos	123
5.2.3	El cicle	125
5.2.3.1	Fase de recuperació	125
5.2.3.2	Fase d'adaptació	129

5.2.3.3 Fase d'avaluació	130
5.2.3.4 Fase d'aprenentatge	131
5.3 Desenvolupament del Sistema de Raonament Basat en Casos per a la EDAR de Girona	136
5.3.1 El cas	136
5.3.2 Construcció de la base de casos	137
5.3.3 Avaluació parcial	140
5.3.3.1 Normalitat	141
5.3.3.2 Terbolesa	143
5.3.3.3 Tempesta	144
5.3.3.4 Bulquing filamentós	146
5.3.3.5 Xoc de càrrega	148
5.3.3.6 Influent poc carregat	150
6 LES XARXES DE TRANSICIÓ	153
6.1 Introducció	153
6.1.1 Que són les Xarxes de Transició?	153
6.1.2 Com funciona una Xarxa de Transició?	154
6.1.3 Camps d'aplicació de les Xarxes de Transició	155
6.2 Proposta de desenvolupament d'una Xarxa de Transició de predicció per a una EDAR	155
6.3 Desenvolupament de les Xarxes de Transició per a la EDAR de Girona	157
6.3.1 Processament de la informació	157
6.3.2 Construcció de la xarxa de transicions	162
6.3.3 Interpretació dels resultats	163
6.3.4 Conclusions	170
6.3.5 Estudis addicionals	173
7 Integració i validació del sistema	181
7.1 Antecedents	181
7.2 La integració	184
7.3 Arquitectura del sistema	186
7.4 Exemple d'estudi	190
7.5 Avaluació	192
7.5.1 Validació dels agents	194
8 Protocol generalitzat pel desenvolupament del sistema integrat supervisor	199

8.1 Introducció	199
8.2 Aspectes a considerar.....	199
8.3 Extracció del coneixement	202
8.3.1 Coneixement general	202
8.3.2 Coneixement específic	204
8.4 El Sistema Expert	207
8.5 El Sistema de Raonament Basat en Casos	209
8.6 Les Xarxes de Transició.....	210
8.7 El protocol	212
9. Conclusions	221
10. Bibliografia.....	225
11. Apèndix	234

El que està escrit amb facilitat sol ser difícil de llegir

Sheridan

0. Presentació

0. Presentació

La present tesi recull una proposta de protocol per a la implementació d'un sistema supervisor que integri diferents tècniques per complementar i millorar la gestió que actualment es porta a terme a les estacions depuradores d'aigües residuals urbanes

El protocol proposat sintetitza i destil·la les pròpies experiències dels darrers anys en el desenvolupament de les diferents tècniques per a les estacions depuradores de Manresa i Sant Joan de Vilatorrada, Cassà de la Selva - Llagostera, Sils - Vidreres i Girona

L'estructura del document es divideix en quatre parts principals. Una primera part introductòria, formada pels capítols 1, 2 i 3, que mostra al lector els trets bàsics de la depuració de les aigües residuals (amb especial èmfasi a la seva vessant microbiològica), detalla la EDAR de Girona, llista les principals limitacions amb que topa la gestió actual de les EDAR en general, i permet introduir la proposta d'utilització de determinades tècniques més avançades.

Una segona part, corresponent als capítols 4, 5 i 6, que serveix per presentar les principals tècniques tractades a la tesi: els sistemes experts, els sistemes de raonament basats en casos, i les xarxes de transició. Cadascun d'aquests tres capítols mostra una idèntica estructura: definició i fonaments de la tècnica, precedents bibliogràfics, adaptació i possibilitats d'aplicació al domini de les EDAR, i finalment una mostra del camí seguit pel seu desenvolupament específic a la EDAR de Girona, juntament als petits estudis de validació que s'han pogut realitzar.

La tercera part, capítol 7, mostra la integració entre les tres tècniques presentades, el sistema de control clàssic i l'estació depuradora. Resumeix el cicle supervisor de funcionament, així com l'arquitectura on s'inquieix tot el sistema, alhora que s'explica com portar a terme l'avaluació global en cas d'implementació real.

Finalment, el capítol 8 conclou el protocol de desenvolupament i implementació del sistema, com a conclusió a la conceptualització i als exemples d'aplicació mostrats als capítols precedents.

La granota no s'acaba l'aigua on viu

Proverbi inca

1. Introducció

1. Introducció

1.1 Antecedents

La definició d'aigua residual inclou tota combinació de líquids o aigües que transporten residus procedents de residències, instal·lacions públiques i centres comercial i industrials, a les que, eventualment, s'hi poden afegir aigües subterrànies, superficials i pluvials (Metcalf, 1991).

La forta explotació de recursos que suposa la creixent industrialització del món, ha comportat un agreujament del problema de les aigües residuals. Amb el pas del anys, no solament és major la quantitat d'aigua residual generada, sinó que també n'ha augmentat la seva concentració, així com la quantitat de nous compostos de síntesi que conte (s'estima que fins a 10,000 nous productes apareixen cada any).

La natura presenta un complexa ecosistema que interrelaciona la totalitat de canvis que poden afectar la vida dels éssers que hi habiten, i que li permet superar les petites perturbacions que modifiquin aquest equilibri natural. Dins aquest ecosistema global, el cicle hidrològic és el que garanteix la circulació i disponibilitat de les aigües (apart de les reserves naturals, cada any arriben a la terra en forma de pluja o neu uns 113,000 bilions de m³ (Lean i Don Hinrichsen, 1986)). L'home, que antigament solament era una petita etapa d'aquest cicle, n'ha esdevingut el factor determinant, i la mare natura s'ha vist superada en la seva lluita per mantenir unes mínimes condicions que afavoreixin el desenvolupament de la vida.

L'impressionant volum d'aigua residual que produeixen concentracions de poblacions de milions d'habitants com Mèxic D.F., Sao Paulo o Nova York, o les elevades concentracions d'estranyes combinacions de compostos que caracteritzen els corrents dels subproductes de determinats processos químics que sustenten la indústria moderna, mostren amb claredat que la condició humana no sembla tenir límits ni complexes alhora de superar la capacitat d'autodepuració que presenta l'ecosistema, cada cop més debilitat i susceptible.

Queda clar que l'home resulta ser el principal responsable de la contaminació dels recursos hidràulics, però també és l'únic que pot actuar sobre aquestes fonts contaminants, per tal de reduir l'impacte d'aquests residus fins a un límit assimilable per l'entorn natural, i facilitar el restabliment de l'equilibri natural.

Tot i que la present tesi toca de ple el món de les estacions depuradores d'aigües residuals, principalment urbanes, no cal oblidar que la política correcta no radica en depurar allò que contaminem, sinó que cal actuar sobre els hàbits i processos en general, per tal de controlar i racionalitzar l'elevat consum de recursos, minimitzant la quantitat de residus generats.

1.2 Problemàtica de les aigües residuals

La composició característica de l'aigua residual suposa que el seu estancament pugui produir una sèrie de conseqüències que dificultin la vida al seu voltant.

- Per una banda, l'elevada presència de microorganismes patògens (principalment procedents de l'aparell digestiu humà i animal) afavoreix la transmissió de malalties com la gastroenteritis, el còlera, la disenteria, el tifus o l'hepatitis A, tal i com encara succeeix a zones subdesenvolupades, on les precàries condicions de vida i la nula canalització i tractament de les seves aigües residuals, provoca constants i perilloses epidèmies entre els infants (s'estima que diàriament moren fins a 25,000 persones a causa de l'ús d'aigua en mal estat (Lean i Don Hinrichsen, 1986)).
- L'alt contingut de matèria orgànica de l'aigua residual facilita l'activitat microbiana, bé per via anaeròbia, amb la conseqüent aparició d'olors molt desagradables, bé per via aeròbia, fet que implica una disminució del nivell d'oxigen dissolt a l'aigua i dificulta la vida aquàtica.
- Els sòlids en suspensió d'origen inorgànic no són tan problemàtics com els orgànics, però en grans quantitats poden provocar acumulacions que dificultin o modifiquin el curs natural de les aigües naturals.
- Els nutrients presents a l'aigua residual faciliten el creixement de plantes aquàtiques. Quan aquest creixement és sobtat i desmesurat, provoca l'eutrofització de l'aquífer, amb la conseqüent mortaldat de peixos i plantes.

- Les petites traces de metalls o compostos tòxics, continguts a l'aigua residual urbana, també poden arribar a ser letals si es permet un augment significatiu de la seva concentració per acumulació

1.3 Composició de l'aigua residual urbana

Tot i que fins ara s'ha citat d'una manera qualitativa i general la composició de l'aigua residual urbana, hi ha una sèrie de paràmetres que permeten quantificar i normalitzar el seu nivell de contaminació. D'entre aquests paràmetres, es diferencien els físics (temperatura, aigua, color i terbolesa) i els químics (principalment sòlids, matèria orgànica, nutrients, pH, alcalinitat, duresa, clorurs i greixos).

Físics

- Temperatura: varia en funció de l'estació de l'any, però sol ser lleugerament superior que a l'aigua corrent. Té efectes sobre l'activitat microbiana, la solubilitat dels gasos, i la viscositat.
- Color: l'aigua residual presenta un color gris clar, però s'enfosqueix amb el pas del dies o en condicions de septicitat. Qualsevol altra color que presenti és producte de la presència de determinats compostos (tints, sang, crom, residus làctics, etc.).
- Olor: l'aigua residual fresca es caracteritza per una olor lleugerament desagradable que denota presència d'olis i detergents. Quan envelleix apareixen olors pudents resultants de la descomposició de productes més complexes.
- Terbolesa: manca de transparència deguda a la presència d'una àmplia varietat de sòlids en suspensió presents a l'aigua residual

Químics

- Sòlids totals (ST)
 - Sedimentables: fracció de sòlids, orgànics i inorgànics, que sedimenta en 1 hora a un con d'Imhoff. Representa aproximadament el fang que es pot eliminar al tanc de sedimentació (ml/l).
 - Suspensió (SST): fracció de sòlids, orgànics i inorgànics, que no són dissolts. Solament es poden eliminar per coagulació o filtració (mg/l).
 - ◆ Fixes: compostos minerals o fracció no combustible dels SST (mg/l).

- ◆ Volàtils: compostos orgànics o fracció combustible dels SST (mg/l).
- Dissolts: fracció de sòlids, orgànics i inorgànics, que no és filtrable. Inclou tots aquells sòlids inferiors a 1 milimicra (mμ).
- ◆ Fixes: compostos minerals o fracció no combustible dels sòlids dissolts totals (mg/l).
- ◆ Volàtils: compostos orgànics o fracció combustible dels sòlids dissolts totals (mg/l).
- Matèria orgànica.
 - DBO₅: representa la fracció orgànica biodegradable present a l'aigua residual, i és una mesura de l'oxigen dissolt requerit pels microorganismes per consumir aquesta matèria orgànica en 5 dies i a 20 °C (mg/l).
 - DQO: mesura de la fracció de matèria orgànica que és degradable per l'acció d'agents químics oxidants (dicromat de potassi) sota condicions d'acidesa. També es mesura per la quantitat estequiomètrica d'oxigen dissolt requerit (mg/l).
 - COT: carbó orgànic total contingut a la matèria orgànica. Determinat mitjançant la conversió d'aquest carbó a CO₂ a altes temperatures i en presència d'un catalitzador (mg/l).
- Nitrogen total.
 - Nitrogen orgànic: inclou el nitrogen lligat a les proteïnes, als aminoàcids i a la urea (mg/l).
 - Amoni: primer producte de la descomposició del nitrogen orgànic (mg/l).
 - Nitrogen Kjeldahl: paràmetre resultant de la suma dels dos anteriors, l'amoni i el nitrogen orgànic (mg/l).
 - Nitrts i nitrats: formes més oxidades del nitrogen (mg/l).
- Fòsfor total.
 - Orgànic: fracció del fòsfor que es troba lligat a la matèria orgànica (mg/l)
 - Inorgànic: fracció inorgànica del fòsfor que existeix com a ortofòsfats i polifòsfats (mg/l)
- pH: indicatiu de la natura bàsica o àcida de l'aigua residual.

Component	Rang mitjà	Valor típic
Sòlids totals	375 - 1800	740
Sedimentables (ml/l)	5 - 20	10
Suspensió (mg/l)	120 - 360	230
Fixes	30 - 80	55
Volàtils	90 - 280	175
Dissolts (mg/l)	250 - 800	500
Fixes	145 - 500	300
Volàtils	105 - 300	200
Matèria orgànica (mg O ₂ /l)		
DBO ₅	110 - 400	210
DQO	200 - 780	400
COT	80 - 290	150
Nitrogen total (mg N/l)	20 - 85	40
Nitrogen orgànic	8 - 35	20
Amoni	12 - 50	20
Nitrits i nitrats	0	0
Fòsfor total (mg P/l)	4 - 15	8
Orgànic	1 - 5	3
Inorgànic	3 - 10	5
pH	6.7 - 7.5	7
Alcalinitat (mg CaCO ₃ /l)	50 - 200	100
Duresa (mg CaCO ₃ /l)	180 - 350	240
Clorurs (mg/l)	30 - 100	50
Greixos (mg/l)	50 - 150	100

Taula 1.1 Composició típica d'una aigua residual urbana.

- Alcalinitat: deguda a la presència d'ions bicarbonat, carbonat i hidròxid a l'aigua residual, ofereix resistència als canvis de pH (mg CaCO₃/l).
- Duresa: deguda principalment als ions calci i magnesi dissolts a l'aigua (mg CaCO₃/l).
- Clorurs: proporcionen major conductivitat a l'aigua i n'augmenten la seva densitat (mg/l).
- Greixos: fracció de matèria orgànica soluble en hexà. Inclou greixos i olis d'origen animal i vegetal (mg/l).

La taula 1.1 mostra els rangs típics de concentració de cadascun d'aquests paràmetres químics a una aigua residual urbana (Qasim, 1994).

Component	Càrrega unitària (g / persona dia)
DBO ₅	95
DQO	180
SST	104
Nitrogen orgànic	9
Nitrogen amoniacal	9
Fòsfor total	4

Taula 1.2 Estimació de la càrrega contaminant diària per capita

Alhora de fer estimacions de la quantitat i qualitat de l'aigua residual generada per una població, s'estableixen una sèrie de valors mitjans de referència per persona i dia. Aquests valors, recollits a la taula 1.2, es calculen a partir de les concentracions mitjanes de contaminant, amb una generació aproximada de 450 litres per capita.

Paràmetre	Concentració	Percentatge de reducció
DBO ₅ (mg O ₂ / l)	25	70 - 90 %
DQO (mg O ₂ / l)	125	75 %
SS (mg/l)	35	90 %
Fòsfor total (mg-P / l)	2	80 %
	1 (> 100,000 h.-e.)	
Nitrogen Total (mg-N / l)	15	70 - 80 %
	10 (> 100,000 h.-e.)	

Taula 1.3 Quadre principal de la directiva del Consell 91/271/CEE

La directiva del Consell 91/271/CEE del Diari Oficial de las Comunitats Europees, simplificada a la taula 1.3, insta a la depuració dels principals components de l'aigua residual urbana que s'aboqui a llera pública, fixant un límit de fins a 25 mg/l per la DBO₅, amb un percentatge mínim de reducció del 70-90 %, mentre que pels SS el límit queda fixat en 35 mg/l amb un percentatge mínim de reducció del 90%. En quant als abocaments a zona sensible (amb risc d'eutrofització), s'hi addiciona un límit pels nutrients establert en 1 mg/l (i 80% de reducció) pel fòsfor, i 10 mg/l pel nitrogen total (amb 70-80 % mínim d'eliminació). Aquests límits són lleugerament més permissibles en cas que la depuradora tracti cabals petits (d'entre 10,000 i 100,000 habitants equivalents).

1.4 Tractament

Diverses operacions i processos unitaris són requerits per tal de tractar adequadament les aigües residuals. Diferents combinacions d'aquests agents, físics, químics i biològics, conformen el diagrama de procés de cada estació depuradora. El procés global sempre segueix una seqüència lògica de tractament.

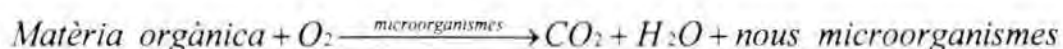
- Una primera etapa, anomenada pretractament, que realitza un primer desbast groller dels sòlids més grans arrossegats per l'aigua residual que arriba del col·lector. La finalitat del pretractament és evitar possibles obturacions posteriors, així com eliminar l'efecte abrasiu d'aquests materials sobre mecanismes com les bombes i vàlvules que es troben al llarg del procés. Aquesta operació física es sol realitzar mitjançant una seqüència de reixes, amb diferent obertura i automatisme, però també existeix la possibilitat d'incloure un triturador que redueixi la mida de les partícules i n'eviti la seva separació. L'addició d'un desarenador a continuació permet separar les sorres més fines i els greixos o olis presents, aprofitant la major velocitat de sedimentació de les primeres, i la flotació dels segons, fet que s'afavoreix amb l'aportació d'un cabal controlat d'aire i el característic disseny del desarenador.
- Una segona etapa on l'aigua es deixa reposar unes hores a un tanc de sedimentació primària, per tal que decanti la matèria orgànica sedimentable, així com la resta de sorres o partícules inorgàniques que no han quedat retingudes al pretractament. Els sòlids sedimentats són enviats cap a una línia de tractament específic, la línia de fangs, essent habitual el seu pas previ per un garbell que separi les petites partícules inorgàniques contingudes. Quan la càrrega és força elevada, o el temps de retenció és insuficient, es pot complementar la decantació natural de la matèria en suspensió amb l'addició de coagulants químics que afavoreixin la seva floculació. Aquest tractament químic és gairebé obligat quan l'aigua contingui metalls o algun tòxic que pugui malmetre el funcionament de la posterior etapa biològica.
- Seguidament l'aigua arriba ja a l'etapa més important del procés. El fonament d'aquesta etapa no és altra que accelerar el procés biològic que es donaria a la natura, és a dir, la degradació, per part d'una població multiespecífica de

microorganismes, de la matèria orgànica dissolta a l'aigua residual. Aquesta reacció té lloc a uns tancs, normalment airejats, anomenats bioreactors. Més endavant es detallen les configuracions habituals, els mecanismes i l'operació que possibiliten aquest binomi depuratiu bacteri-substrat. Tot i que amb anterioritat es deixava l'eliminació de nutrients per a una etapa més avançada del procés, a l'actualitat la seva aplicació s'ha fet tan popular que es pot englobar dins la pròpia etapa biològica, també anomenada tractament secundari.

- Seguint el camí que recorre l'aigua dins la EDAR, la última de les etapes habituals és una nova decantació a uns sedimentadors secundaris. L'objectiu és assolir una bona separació entre l'aigua tractada i la biomassa present. El sobrenadant, ben clarificat, sol ser abocat directament cap al llit receptor on segueix el seu cicle natural, tot i que pot rebre un nou tractament més avançat, com la cloració, el filtrat amb llits de sorra, l'adsorció en carbó actiu o l'osmosi inversa, per tal de disminuir els nivells dels contaminants encara presents a l'aigua.
- Paral·lelament, les dues fases de decantació generen una elevada quantitat de sòlids, anomenats fangs o llots, que precisen un tractament específic per reduir el seu volum, pes i característiques. Aquesta nova seqüència de processos s'engloba a una nova línia de tractament, la línia de fangs, que sol constar d'un espessiment, una digestió, i una deshidratació final.

1.5 El procés de llots actius

El procés més habitual de tractament biològic de les aigües residuals és l'anomenat sistema de llots actius. Consisteix en una oxidació bacteriana del residu orgànic, seguit d'una separació entre els sòlids en suspensió i l'aigua tractada. Simplificant el procés, es pot considerar que els microorganismes utilitzen l'oxigen present a l'aigua per tal de consumir el substrat o aliment, en aquest cas les molècules orgàniques biodegradables contingudes a l'aigua residual. El resultat d'aquest consum serveix als microorganismes per mantenir les seves funcions vitals, alhora que genera una elevada producció de nous individus (WEF, 1994). En certa manera, el que s'aconsegueix es transformar la fracció soluble de matèria orgànica en un material insoluble, fet que facilita la seva posterior separació amb una simple decantació.



La major part dels microorganismes separats al decantador és retornada cap el reactor biològic per tal de mantenir el nivell de depuració necessari, mentre que una petita fracció és apartada diàriament del sistema i enviada cap a la línia de fangs, per tal d'evitar un augment i envelliment excessiu de la biomassa present al sistema. Aquestes dues accions, clau per garantir el correcte desenvolupament del procés de llots actius, són les anomenades recirculació i purga.

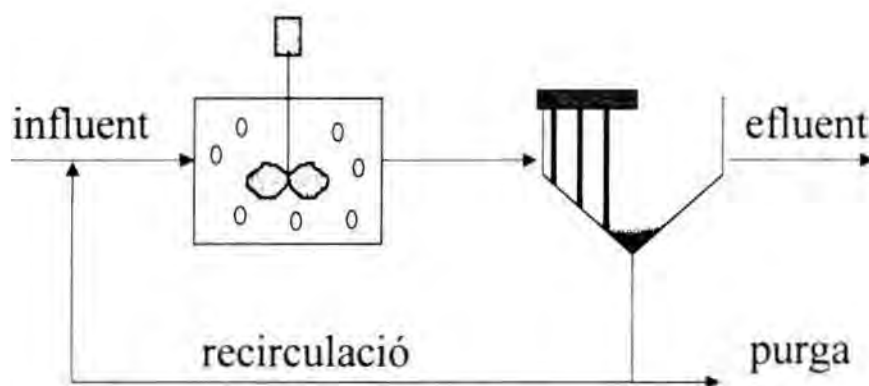


Figura 1.1 Procés de llots actius.

La figura 1.1 mostra l'esquema bàsic de tot tractament de llots actius, amb un reactor biològic airejat que rep l'influent, un decantador, i el sistema de retorn conformat per la recirculació i la purga.

Dins el món de les aigües residuals, existeixen multitud de noms que s'utilitzen per tal de referir-se als microorganismes responsables de la depuració. Així, hom s'hi pot referir com biomassa, sòlids (procedent de l'anàlisi que es realitza per determinar-ne la quantitat), licor mescla (referint-se a la barreja entre l'aigua i els microorganismes del bioreactor), llots o fangs (quan la concentració microorganismes és elevada), i fins i tot alguns enginyers els malanomenen bitxos. Tots ells es volen referir a la població multispecífica que conforma la micro-plantilla de la EDAR, doncs els microorganismes són els principals treballadors i vertaders responsables de la depuració.

La principal responsabilitat del cap de planta és la de conduir aquest microunivers que conformen els llots actius, controlant l'ambient en el qual s'ha de desenvolupar la població de microorganismes. L'objectiu és constituir un ecosistema particular i estable, que elimini els contaminants de l'aigua, i que decanti amb facilitat.

1.6 Els microorganismes

Els microorganismes presents al sistema de llots actius són del mateix tipus que els existents als sistemes naturals, però les especials condicions que es donen dins el bioreactor i el decantador n'ha seleccionat unes espècies determinades.

El component majoritari són els bacteris, procariotes que es poden trobar en concentracions superiors als 10^6 individus per mil·lilitre. La majoria d'aquests bacteris són heteròtrofs aerobis o facultatius, Gram negatiu, mòbils, i de forma esfèrica, cilíndrica o helicoidal (Horan, 1990). Principalment són originaris del tub digestiu de mamífers.

Entre els bacteris heteròtrofs més corrents destaquen els gèneres *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Arthrobacter*, *Citromonas* i *Zooglea* (Jenkins *et al.*, 1993).

També n'hi ha d'heteròtrofs aerobis facultatius desnitrificants, i quimioautòtrofs que oxiden l'amoni (*Nitrosomonas*), els nitrats (*Nitrobacter*) o els sulfurs (*Thiothrix*) (Berk i Gunderson, 1993).

1.6.1 El flocul

La biomassa dels llots actius presenta una característica especial, que és la seva capacitat per formar flocs i decantar quan s'atura l'agitació. Aquest fet és degut a la gran proporció de certs bacteris floculants (com per exemple *Zooglea*) que segreguen polimers extracel·lulars. Aquest tipus de bacteris són seleccionats al sistema per la reinoculació constant que se'ls hi dona per la recirculació establerta entre el decantador secundari i el bioreactor.

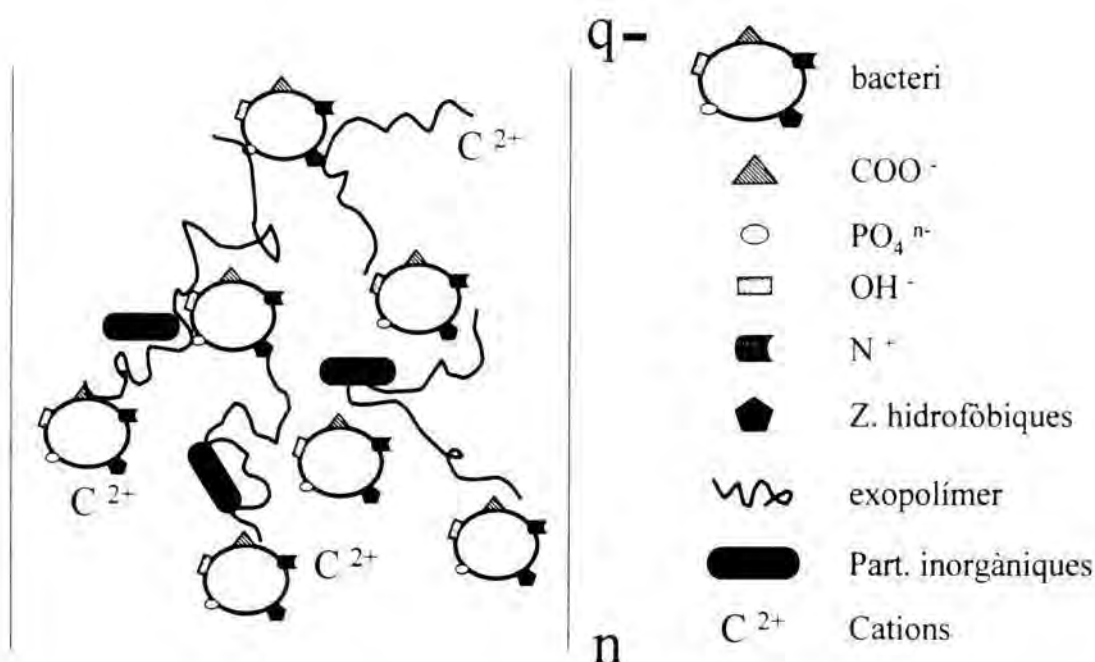


Figura 1.2 Estructura principal d'un flocul

Tot i que la cèl·lula procariota és la unitat primordial dels processos bioquímics de depuració, en el cas dels llots actius el flocul és qui pren el paper principal, no solament per ser responsable directe sobre la correcta separació entre l'aigua tractada i els sòlids, sinó per la seva influència sobre altres operacions del procés, com la deshidratació dels fangs, la incorporació de material col·loidal al flocul en forma de sòlids sedimentables, l'eliminació de metalls per adsorció als polímers extracel·lulars, o la major resistència dels microorganismes a compostos tòxics. Queda clar, doncs, que gran part dels problemes operatius al procés biològic de la EDAR són deguts a diferents anomalies associades a l'estructura del flocul. La figura 1.2 mostra aquesta estructura bàsica, formada bàsicament per un conjunt de bacteris, amb els seus respectius radicals, i units entre si pel mucilag o polímer exocel·lular, que també reté partícules inorgàniques i cations divalents. La consistència final del flocul és principalment deguda a la presència de bacteris filamentosos, que conformen l'esquelet sobre el qual queda constituït.

Al flocul està l'origen de gradients i microambients diversos dins l'aparent uniformitat del reactor, i el flocul és també la base física d'un microsistema format principalment per bacteris, però al que també hi tenen cabuda protozous, rotífers, nemàtodes i altres invertebrats. Tot i que aquest darrers solament representen un 5 % de la biomassa total, i la seva importància sembla secundària, també faciliten el correcte funcionament del

procés (Curds, 1982). S'alimenten de bacteris del líquid intersticial, contribuint a la clarificació de l'aigua i a l'eliminació de patògens, segreguen mucoses que ajuden a la floculació, i amb la seva vigorosa mobilitat trenquen els flocs de mida excessiva. Els protozoous també poden rascar la superfície del floc i alimentar-se dels bacteris arrancats, provocant efectes positius sobre aquesta biomassa bacteriana, que es renova amb més facilitat i es manté més activa.

1.6.2 Els filamentosos

La sòlida aparença del floc es fonamenta en la seva construcció sobre una estructura formada per bacteris filamentosos. L'equilibri ideal entre dos tipus de bacteris (formadors de flocs i filamentosos) és el que comporta l'existència de flocs grans i compactes que faciliten la sedimentació i provoquen un sobrenadant clar i un valor baix de l'índex volumètric de fangs o IVF. Aquesta estructura ideal queda reflexada al quadre B de la figura 1.3. No obstant, quan per determinades circumstàncies es produeix un fort desequilibri entre la quantitat de bacteris formadors de flocs i els filamentosos presents, l'estructura del floc pot tendir cap a una disgregació total amb petites i febles agrupacions de bacteris que generen un sobrenadant molt tèrbol, un valor molt baix d'IVF (en cas d'absència total de filamentosos), o cap a un augment excessiu de la mida dels flocs que implica problemes de compactació i evita la sedimentació d'aquest flocs esponjosos, amb el corresponent augment del valor de l'IVF i el perill que s'escapi la biomassa del procés quan el mantell de fangs superi les possibilitats de contenció del decantador secundari (quan hi ha proliferació excessiva de filamentosos que estableixen ponts d'unió entre els flocs). Els quadres A i C de la figura 1.3 mostren l'estructura que presenta el floc en aquests dos darrers casos (Jenkins *et al.*, 1993).

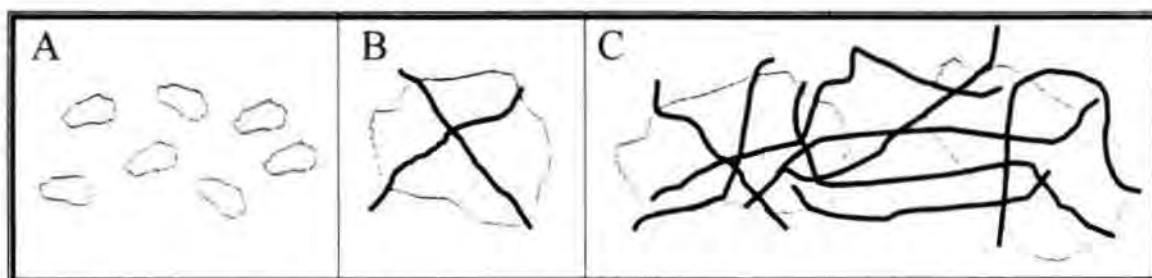


Figura 1.3 Diferents relacions floc - filamentosos.

1.6.3 Els protozous

Ja s'ha fet esment a la presència i importància que els protozous tenen dins el procés de depuració de llocs actius. Els protozous són protists heteròtrofs, que no constitueixen un grup natural. Es tracta d'un grup molt heterogeni d'organismes eucariotes unicel·lulars, que solament poden desenvolupar-se a expenses de la matèria orgànica. Al ser fàcilment identificables al microscopi, i molt sensibles als tòxics i als canvis de les condicions d'operació, són molt bon indicadors de l'estat dels processos de depuració.

Els principals tipus de protozous presents al sistema de llocs actius es poden classificar segons flagel·lats, rizòpodes, ciliats (holotrics, hipotrics i peritrics), i suctoris. També hi ha metazous, destacant d'entre la resta els rotífers, i fins i tot es poden trobar nemàtodes i altres invertebrats.

Flagel·lats. Protozous petits (5 - 20 μm), de forma allargada o oval, i d'elevada mobilitat mitjançant un o més flagels. Algunes espècies s'alimenten de matèria orgànica dissolta, i la seva presència és clarament indicativa de pobres rendiments d'eliminació de DBO, mentre que d'altres són bacterívors. Són els organismes dominants als primers estadis de la successió del fang actiu, fins que són substituïts pels ciliats. Quan la seva presència és important a un fang actiu madur, són indicatius d'algun problema al procés, com per exemple una càrrega excessiva, fermentacions, o un xoc de tòxics.

Rizòpodes (amebes). D'aspecte, forma i mida variats (20 - 400 μm), es mouen mitjançant pseudòpodes. Hi ha tecamebes que presenten un esquelet o teca mineral. La presència de determinats tipus sol ser indicatiu de certs fenòmens. Per exemple, la identificació de la tecameba *Euglypha* insinua una bona eliminació de matèria orgànica, combinat amb unes edats cel·lulars superiors a 10 dies.

Ciliats. Són el grup més important i abundant dels protozous presents als llocs actius. Valors de fins a 10^6 ciliats/litre són habituals (quan hi ha més de 10^7 ciliats/litre el funcionament de la EDAR és òptim), essent valors inferiors a 10^4 ciliats/litre indicatius d'una depuració insuficient. Gairebé sempre es caracteritzen per la presència de cilis, i poden tenir un micronucli i un macronucli. Al ser un grup molt variat, presenten uns hàbits alimentaris molt diversos, existint microfags bacterívors i depredadors d'altres.

ciliats. Poden estar associats al flocul, bé sigui fixats per un peduncle (sèssils), bé sense unió física (reptants), o nedar lliures pel líquid intersticial.

- **Ciliats holotrics.** Amb ciliació somàtica a la cara dorsal i la boca a la cara ventral. Són ciliats nedadors, amb alguna excepció associada al flocul. El més conegut és el parameci, i n'hi ha de depredadors, com l'*Amphileptus* o *Linotus*, de bacterívors, com *Chlidonella uncinata* (lligada a condicions de mala eliminació de nitrogen), o *Colpidium* (abunda en condicions de mala eliminació de carboni). La proliferació de petits paramecis (mida inferior als 130 µm) sol donar-se en situacions d'alta càrrega i suficient oxigenació, mentre que els de mida superior no són tan habituals i indiquen bona eliminació de carboni. Els bacterívors són abundants als primers estadis de la successió, però són substituïts per ciliats hipotrics i peritrics, que viuen associats al flocul i són més eficients alhora d'alimentar-se de bacteris lliures.
- **Ciliats hipotrics o espiotrics.** La ciliació somàtica es troba exclusivament a la cara ventral, i està formada per cilis compostos agrupats en cirrus, una mena d'apèndix més forts, que a part de nedar els hi permet desplaçar-se i reptar sobre les superfícies sòlides. La majoria estan associats al flocul, tot i que amb freqüència se'ls veu nedant pel líquid intersticial. Un dels més típics és l'*Euplotes*, i és indicatiu de bona eliminació de carboni i suficient oxigenació. *Aspidisca lynceus* no tolera concentracions d'amoni superiors a 10 - 15 mg/l, i per tant la seva presència assegura una bona nitrificació. Un altra exemple pot ser *Oxytricha fallax*, present a edats cel·lulars elevades i bona qualitat de l'aigua.
- **Ciliats peritrics.** Són ciliats sèssils, fixats al substrat (en aquest cas el flocul) per un peduncle que pot ramificar-se i donar lloc a colònies arboriformes. La seva ciliació somàtica és molt reduïda, però la bucal es troba molt desenvolupada. La seva forta associació al flocul els converteix en els més ben adaptats, i són molt eficients en la filtració de bacteris lliures. *Vorticella microstoma* és típica de càrregues elevades i situacions transitòries, mentre que *Vorticella convallaria* és característica de bons rendiments depuratiu.

Suctoris. A l'igual que els peritrics, són ciliats sedentaris fixats al flocul per un peduncle. Són els únics que no presenten cilis en la seva forma adulta, i tampoc

presenten boca. S'alimenten mitjançant uns tentacles succionadors, i són depredadors d'altres ciliats. Alguns exemples poden ser *Tokophyra* i *Acineta*.

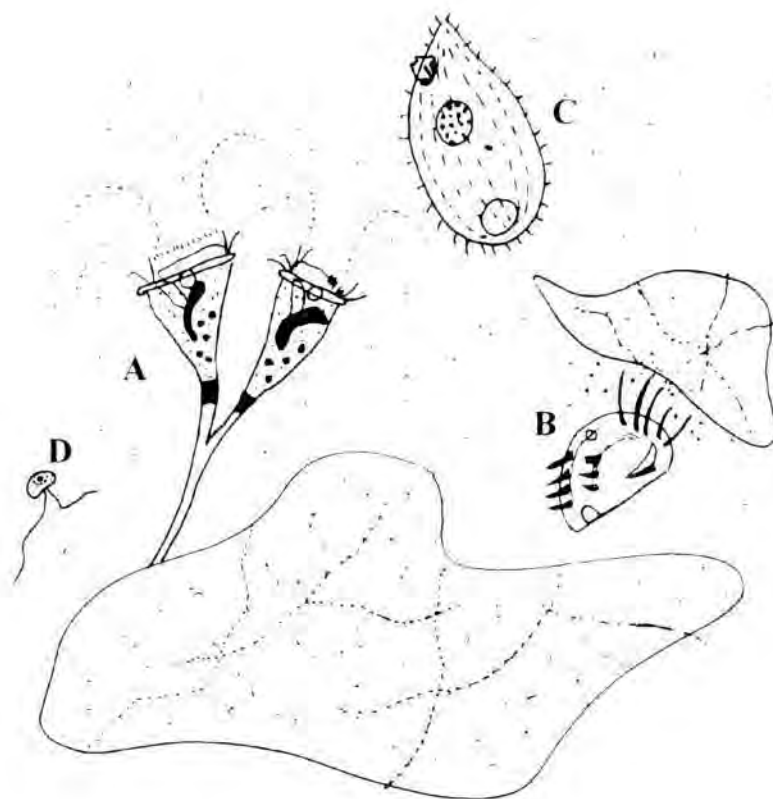


Figura 1.4 Relació establerta entre els principals protozous i el flocul.

La figura 1.4 mostra la situació i forma aproximada dels principals tipus de protozous presents al líquor mescla del bioreactor d'un sistema de llots actius. La identificació A correspon a una petita colònia de *Carchesium*, ciliats sèssils fixats al flocul pel peduncle, la B representa l'*Aspidisca lynceus*, ciliat reptador o "crawling" associat al flocul, C és *Colpidium*, ciliat bacteriòfag que neda lliure pel líquid intersticial, i D és un petit flagelat de la espècie *Bodo saltans*.

1.6.4 La cadena tròfica

Els llots actius poden ésser considerats com un ecosistema extrem, subjecte a importants fluctuacions, i amb dependència directa a una font externa de nutrients. Encara que faltin els productors primaris, es donen moltes de les característiques típiques dels ecosistemes naturals: s'estableixen relacions tròfiques a diferents nivells, i la quantitat total de biomassa depèn de l'energia disponible (en aquest cas la càrrega orgànica que

contingui l'influent) pels nivells tròfics més baixos (els bacteris). La proporció de la biomassa total disminueix als nivells tròfics superiors, i la diversitat d'espècies està molt relacionada amb l'estabilitat del sistema. Hi ha nínxols ecològics associats bé al flòcul, bé al líquid intersticial. Els primers, condicionats per l'edat cel·lular, estan ocupats per espècies de dinàmica més lenta que els segons, condicionats pel temps de residència hidràulic i ocupats per espècies de ràpid creixement.

A més, a l'igual que als ecosistemes naturals, s'estableix una successió temporal d'espècies a partir de la posta en marxa del sistema, successió que parteix d'una preponderància inicial d'espècies pioneres de creixement ràpid, associades a l'aigua, com bacteris, flagel·lats i ciliats bacterívors poc eficients, mentre que evoluciona cap a un sistema més complex i estructurat, dominat per espècies associades al flòcul com els ciliats hipotrics i peritrics, ciliats depredadors i d'altres invertebrats. Seguint el similitud amb els sistemes naturals, després d'una pertorbació forta, com la que pot suposar un xoc de tòxics, es dona una regressió al nivell d'organització de l'ecosistema, i es reinicialitza la successió.

Aquesta successió des que es posa en marxa el procés, o a partir d'alguna pertorbació significativa, és paral·lela a una evolució positiva de la qualitat de l'aigua, pel que sembla existir una correlació que permeti utilitzar l'anàlisi ecològic per caracteritzar el funcionament de la EDAR. A més, algunes de les espècies de protozoous presents als llots actius són descrites al Sistema dels Saprobis (Kolkwitz i Marsson, 1909; Liebmann, 1962), index biòtic de qualitat de l'aigua als sistemes naturals. Així, la presència d'una espècie oligosaprobia serà indicativa de la bona qualitat de l'aigua intersticial i de l'efluent, mentre que la presència d'alguna espècie polisaprobia indicarà tot el contrari. Una altra característica important és la relativa independència de la població establerta respecte a la que arriba amb l'influent. Aquest fet facilita la utilització dels mateixos criteris pel control ecològic de sistemes de llots actius situats a diferent localització geogràfica, com per exemple l'Índex Biòtic de Madoni (Madoni, 1994).

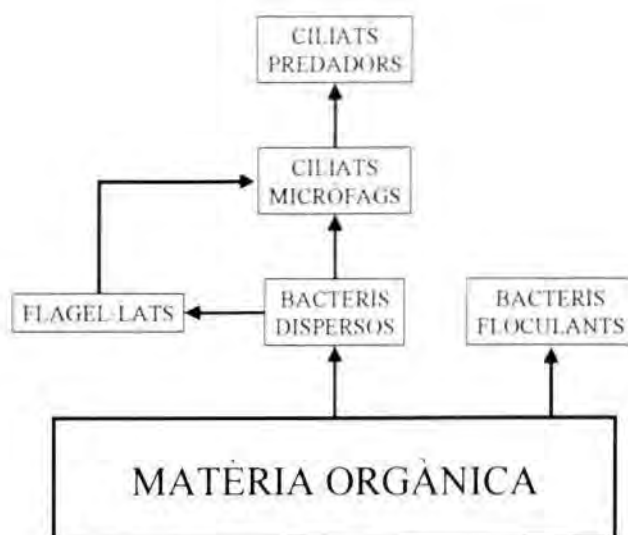


Figura 1.5 Cadena tròfica establerta al procés de llots actius.

La figura 1.5 mostra una simplificació de la cadena tròfica que s'estableix dins l'ecosistema generat pel procés de llots actius. La totalitat de la matèria orgànica dissolta és consumida pels habitants del nivell tròfic inferior, els bacteris. D'aquests bacteris, una fracció queda atrapada pel mucil·lag que constitueix el flocul (bacteris floculants), mentre que la resta roman lliure ocupant el líquid intersticial (bacteris dispersos). El nivell tròfic següent és responsabilitat dels petits flagel·lats, predadors d'aquest bacteris dispersos, i alhora font d'aliment dels ciliats microfags, que amb el moviment dels seus cilis buccals creen una turbulència que arrossega els bacteris lliures, els petits flagel·lats, i la matèria orgànica particulada cap al seu interior. Finalment, el nivell superior de la cadena queda ocupat pels ciliats predadors, amb plena llibertat de moviment pel licor mescla, i que s'alimenten dels filtradors.

1.7 Diferents configuracions de llots actius

El procés de llots actius es pot aplicar a la EDAR segons diverses condicions d'operació, en funció de la càrrega de matèria orgànica que arriba als microorganismes.

Tipus de Càrrega	SRT (edat cel·lular, dies)	F/M (Kg DBO ₅ /d Kg SSVLM)
Alta	3 - 5	0.4 - 1.5
Mitja	5 - 15	0.2 - 0.4
Baixa	15 - 30	0.05 - 0.2

Taula 1.4 Càrregues típiques pel procés de llots actius

La taula 1.4 (Qasim, 1994) mostra els tres tipus de càrrega resultant (alta, mitja i baixa), juntament amb el rangs habituals d'edat cel·lular (temps que els microorganismes romanen al reactor biològic) i la càrrega massica o F/M, valor resultant del quocient entre els Kg de DBO₅ que arriben diàriament al bioreactor i els Kg de microorganismes presents

Procés	SRT	F/M	C _v	SSLM	t _A	R:Q
MC	5 - 15	0.2 - 0.6	800 - 1920	2500 - 4000	3 - 5	0.25 - 1.0
FP	5 - 15	0.2 - 0.4	320 - 640	1500 - 3000	4 - 8	0.25 - 0.75
EC contacte	5 - 15	0.2 - 0.6	960 - 1200	1000 - 3000	0.5 - 1.0	0.5 - 1.5
EC estabilitz.				4000 - 10000	3 - 6	
AE	5 - 15	0.2 - 0.4	640 - 960	2000 - 3500	3 - 5	0.25 - 0.75
AP	20 - 30	0.05 - 0.15	160 - 400	3000 - 6000	18 - 36	0.5 - 1.5
CO	10 - 30	0.05 - 0.3	80 - 480	3000 - 6000	8 - 36	0.75 - 1.5

Taula 1.5 Paràmetres de disseny

D'entre aquest tres tipus de càrrega, el nombre i tipus de reactor pot ser modificat per tal d'establir diferents configuracions d'operació. D'entre les principals variacions que poden presentar el procés de llots actius, destaquen els sistemes convencionals de mescla complerta (MC) o flux pistó (FP), l'estabilització per contacte (EC), l'alimentació esglaonada (AE), l'aeració prolongada (AP) i els carrusels d'oxidació (CO). La taula 1.5 mostra els seus paràmetres típics de disseny (SRT o edat cel·lular en dies, F/M en Kg DBO₅/d Kg SSVLM, C_v o Càrrega volumètrica en Kg DBO₅/d m³, SSLM en mg/L, t_A o temps d'aeració en hores, i R : Q o quocient entre cabals de recirculació i d'entrada)

Mescla completa (MC). A un procés de llots actius de MC, les característiques del licor mescla són les mateixes al llarg de tot el tanc d'aeració. Això implica que l'aigua residual influent es distribueix d'una manera uniforme i ràpida pel bioreactor, obtenint-se unes característiques idèntiques a qualsevol punt en quant a sòlids, consum d'oxigen, i concentració de matèria orgànica.

Degut a que les condicions del corrent de sortida són les mateixes que les de dins el reactor, la quantitat de substrat que es troba a disposició dels microorganismes és molt

baixa. Per aquesta raó, la configuració de mescla completa pot suportar càrregues puntuals de matèria orgànica, sense malmetre excessivament la qualitat de l'efluent.

Flux pistó (FP). Els tancs que treballen en règim de FP són els més vells i comuns dels bioreactors del sistema de llots actius, i han estat dissenyats per assolir els requeriments de mescla i l'aport d'oxigen d'acord als sistemes d'aeració per difusor. Contempla la possibilitat de treballar amb un reactor molt estret i llarg, o compartimentalitzar-ne un d'existent per tal de dirigir el flux de l'aigua residual (figura 1.6).

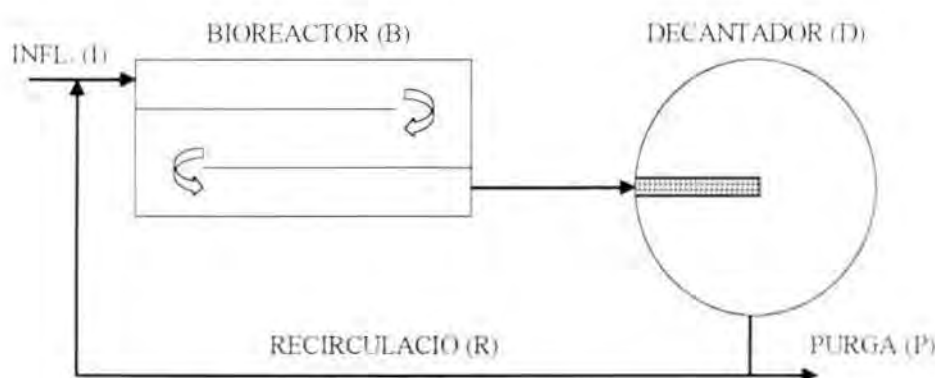


Figura 1.6 Configuració de flux pistó compartimentalitzat

Una de les principals característiques d'aquest tipus de reactors és l'elevada concentració de matèria orgànica que reben els sòlids en suspensió a la part inicial del sistema. Aquesta càrrega disminueix al llarg del reactor, i fins i tot al tram final es pot donar el cas que la major part del consum d'oxigen sigui degut a la respiració endògena o a la nitrificació. El fet que el requeriment d'oxigen variï al llarg del reactor implica la utilització d'un sistema d'aport d'oxigen, usualment difusors, gradual.

La principal habilitat d'aquesta configuració és que assegura cert grau de tractament de la matèria orgànica influent, encara que es doni un fort pic de cabal. A més, sembla que l'alta relació substrat-microorganismes del primer tram afavoreix el creixement dels bacteris formadors de flocul en front els filamentosos, i per tant, facilita la seva separació al decantador secundari.

Estabilització per contacte (EC). L'EC requereix un petit tanc de contacte en el qual s'adsorbeix el substrat, un decantador secundari, i un tanc d'estabilització on s'aïreja el fang recirculat, amb un volum aproximadament sis vegades superior al del tanc de

contacte (figura 1.7). Normalment s'utilitza a EDAR amb petits cabals i elevats temps de residència cel·lular. L'aeració de la recirculació pot suposar reduccions del requeriment d'oxigen de fins a un 30 - 40 % del necessari a un tanc convencional de flux pistó.

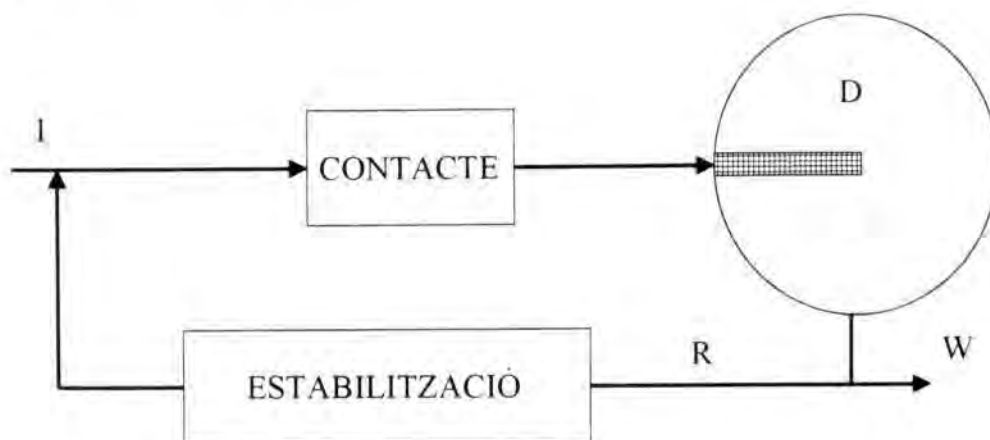


Figura 1.7 Configuració d'estabilització per contacte.

Aquesta configuració ofereix resistència a altes càrregues i pics de cabal, doncs el tanc d'estabilització augmenta el temps d'activitat dels microorganismes, alhora que redueix el perill de rentat del sistema.

Alimentació esglaonada (AE). Aquesta configuració introdueix una petita modificació al procés convencional de FP, i consisteix en la introducció de l'influent d'aigua residual per dos o més punts del reactor, normalment al llarg del primer 50 - 75 % de la seva longitud (figura 1.8). D'aquesta manera el consum d'oxigen és relativament similar a tot el reactor, i es pot eliminar la dificultat afegida de controlar l'aeració gradual.

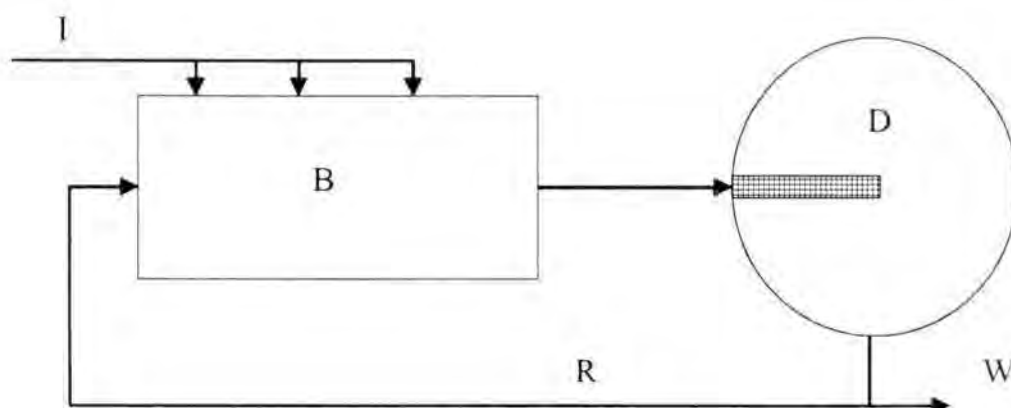


Figura 1.8 Configuració d'alimentació esglaonada.

Aeració prolongada (AP). Utilitza les mateixes configuracions que la MC o el FP, però reté l'aigua dins el tanc d'aeració durant 18 hores o més. Aquest procés opera a altes edats cel·lulars (o baixes relacions F/M), i en aquestes condicions sol manca substrat per alimentar la totalitat de microorganismes presents. Així, la biomassa ha d'utilitzar les seves pròpies reserves cel·lulars per tal de mantenir les seves funcions vitals, obtenint-se un efluent amb poca concentració de matèria orgànica residual i una baixa producció de fangs, que a més arriba prou mineralitzat com per reduir notablement la línia de fangs. No obstant, l'AP tendeix a formar un floc lleuger i feble que dificulta la seva sedimentació posterior.

Moltes EDAR amb aeració prolongada no disposen de decantació primària, doncs sembla que la matèria orgànica particulada pot afavorir tant l'activitat com la sedimentació de la biomassa desenvolupada. A més, l'obtenció d'un fang secundari prou digerit desaconsella l'obtenció de matèria orgànica particulada a una etapa primària, per tal d'evitar la construcció d'una complexa i voluminosa línia de fangs. El principal desavantatge de l'AP és l'elevat requeriment d'oxigen i de volum per unitat de residu influent.

Carrusels d'oxidació (CO). Els carrusels d'oxidació són una variació del procés d'aeració prolongada. Consisteix en fer circular mecànicament l'aigua residual al voltant d'un reactor ovalat, a una velocitat aproximada d'entre 0,2 i 0,37 m/s per tal d'evitar la sedimentació dels sòlids en suspensió presents (figura 1.9). La circulació s'aconsegueix mitjançant la situació estratègica, a diferents punts del reactor, d'uns rotors tipus raspall que trenquen la superfície de l'aigua i aporten l'oxigen requerit pels microorganismes. També poden disposar de turbines submergides que vehiculen l'aigua sense aportar oxigen, facilitant la creació de zones amb diferents condicions d'operació.

Precisament, el fet que es puguin definir diferents zones d'operació, permet pensar en aquest tipus de reactors alhora d'incloure processos que precisen de diferents etapes de reacció, com aquells que incorporen criteris d'eliminació de nutrients.

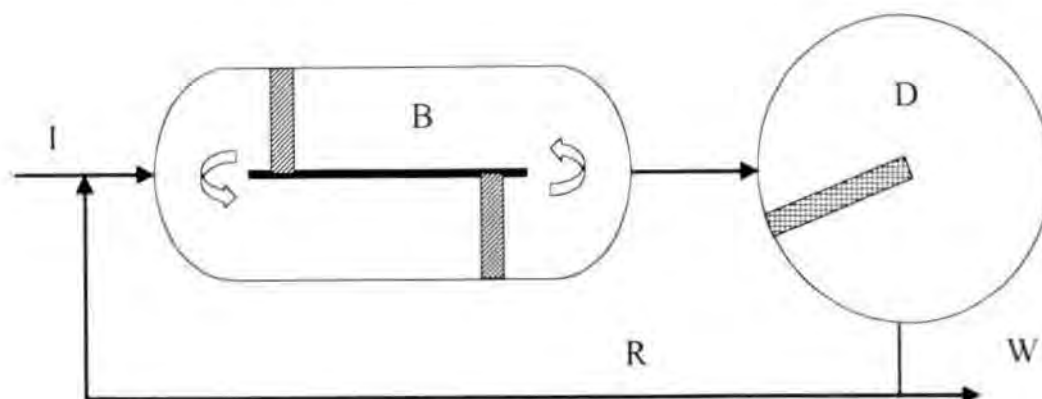


Figura 1.9 Carrusel d'oxidació

1.8 Modificacions per l'eliminació de nitrogen

Quan la EDAR es fixa com a objectiu l'eliminació biològica del nitrogen, cal adequar el sistema convencional de llots actius a les diferents reaccions del procés. La primera etapa consisteix en la conversió de l'amoni influent a nitrats, en condicions d'elevada concentració d'oxigen dissolt i edats cel·lulars suficients per evitar el rentat dels bacteris nitrificants, mentre que la segona etapa converteix aquests nitrats generats en nitrogen gas que s'escapa a l'atmosfera. En aquest cas les condicions requerides són d'absència d'oxigen molecular i presència d'una font carbonosa suficient.

Les configuracions resultants poden agrupar-se en tres categories diferenciades en funció de si es decideix establir una, dues, o tres etapes de llots actius. Seguidament s'enumeren alguns detalls de les principals configuracions existents (WEF, 1992).

1.8.1 Una etapa

WUHRMANN. Presenta una primera etapa aeròbica a la que es realitza la nitrificació, i una segona anòxica on es desnitrifica. Al no haver-hi addició d'un donant d'electrons exogen, el disseny es basa en la matèria orgànica residual que passa de la primera etapa o en la respiració endògena de la biomassa per proveir de fonts energètiques la desnitrificació. S'han assolit rendiments entre 29-89% en estudis de laboratori o en planta pilot. Variacions al disseny de Wuhrmann han estat desenvolupades per tal de paliar la manca d'un donant d'electrons exogen a la segona etapa. Això pot solucionar-se

bypassant de la primera etapa una fracció del cabal influent (per exemple un 15%) o afegint una font suplementària de carboni, que pot ser metanol, a la zona anòxica

LUDZACK-ETTINGER. Molt semblant a l'anterior, però intercanviant l'ordre de les dues fases. L'avantatge radica en el fet que es subministra DBO fàcilment degradable a la zona anòxica com a donant exogen d'electrons. El rendiment d'eliminació de nitrogen és funció del cabal de recirculació. S'ha assolit una reducció del 88% de nitrogen total amb concentració de 130 mg/l a l'influent i una recirculació de 8:1. Una millora consisteix en la incorporació d'una recirculació interna de licor mescla des de la fase airejada fins a l'anòxica (figura 1.10)

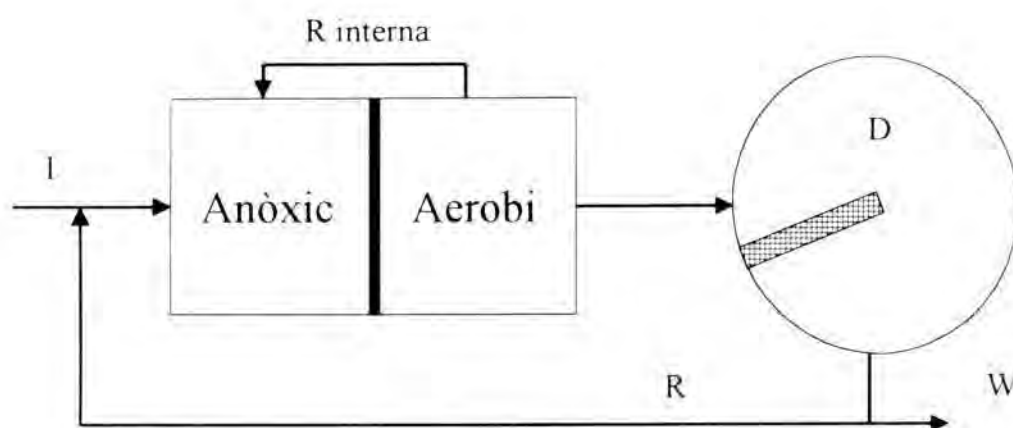


Figura 1.10 Configuració de Ludzack-Ettinger.

Aquesta recirculació permet volums anòxics menors per a un requeriment donat d'eliminació de nitrats, requereix una menor quantitat d'aportació d'oxigen i forma fangs que sedimenten millor. En cap cas s'obtiniran efluent amb continguts de menys de 5-7 mg/l de nitrat.

BARDENPHO. 4 zones anòxiques i aeròbies amb recirculació de licor mescla de la primera zona aeròbia a la primera zona anòxica, amb uns rangs de 4-6 vegades el cabal d'entrada. S'intenta realitzar una eliminació completa del nitrogen, cosa que no pot assolir-se amb els processos anteriors. La segona zona anòxica utilitza el nitrat produït a la zona aeròbia com acceptor d'electrons, i el carboni orgànic endogen com a donant. El pas final airejat elimina el N_2 de la solució, alhora que minimitza el fòsfor contingut, a l'augmentar la concentració d'oxigen.

Aquesta configuració permet assolir uns nivells aproximats a 2-4 mg/l de nitrogen total a l'efluent en funció de la relació nitrogen oxidable:carboni a l'influent dels llots actius. Alguns estudis indiquen que la relació TKN:COD ha de ser inferior a 0.08 per a tenir desnitrificació completa

SEQÜENCIACIÓ DE REACTORS BATCH (SBR). Consisteix en crear, a un sol reactor, la combinació seqüencial adequada de condicions aeròbies/anòxiques. Cal tenir en compte el temps de reacció, el nivell d'aigua al tanc i la concentració d'oxigen. SBR és apropiat per a sistemes relativament petits amb cabals molt variables. L'inconvenient principal és el fet de treballar en discontinu (figura 1.11). La font de carboni necessària per a realitzar la desnitrificació es troba present a l'inici de cada cicle.

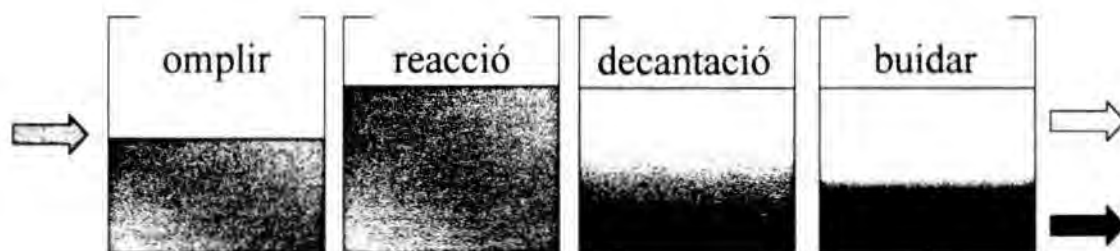


Figura 1.11 Cicle establert per l'operació d'un SBR.

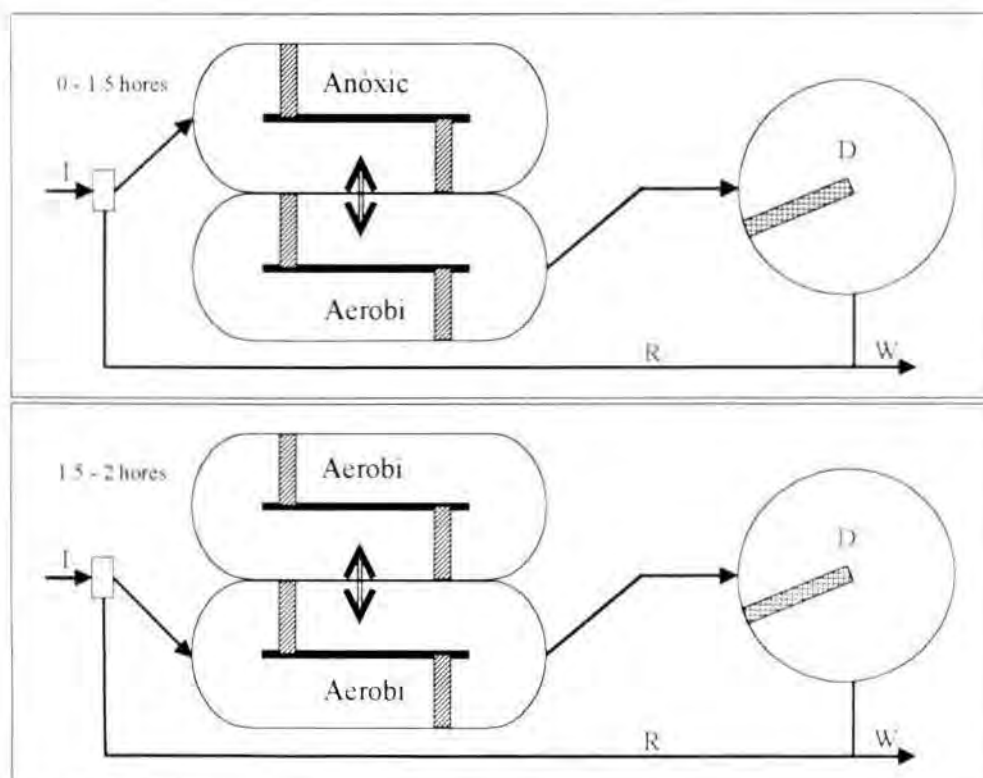
CARRUSELS D'OXIDACIÓ. Ja s'ha fet esment a la versatilitat dels carrusels d'oxidació, fàcilment adaptables per a realitzar l'oxidació de carboni, la nitrificació i la desnitrificació. Si els punts d'injecció d'aire són prou distants es poden crear zones anòxiques. La localització i la mida d'aquestes zones anòxiques variarà amb el temps, doncs aquest dependrà de la qualitat i el cabal de l'influent. És per això, que en cas de voler N/D a un carrusel d'oxidació, cal fer un seguiment molt exhaustiu del nivell d'oxigen al llarg del mateix. També l'energia proporcionada per a mantenir la mescla en suspensió ha de ser controlada.

El sistema ha de ser prou flexible per poder operar correctament, cosa que implica tenir comportes regulables i/o airejadors de dues velocitats per poder variar la quantitat subministrada d'oxigen d'acord als diferents pics diaris o estacionals (d'altra manera fóra impossible desenvolupar zones anòxiques en períodes de baixa càrrega). Els nivells d'eliminació de nitrogen en aquest tipus de procés no són gaire elevats degut al llarg SRT requerit, així com a la baixa concentració de DQO fàcilment biodegradable i les

concentracions marginals d'oxigen. Tenir una gran quantitat de licor mescla en suspensió al sistema pot paliar aquestes mancances. De fet, certs estudis asseguren haver assolit rendiments d'eliminació de nitrogen superiors al 90%.

CARRUSELS EN FASES ALTERNES. Desenvolupat a Dinamarca, aquest procés recorda al SBR doncs ambdós creen seqüencialment condicions aeròbies, anòxiques i anaeròbies en un o més tancs en sèrie; no obstant difereixen en què aquest presenta una entrada i sortida constant de cabal. Aquesta tecnologia permet evitar les recirculacions de cabal, doncs els nitrats formats a la fase prèvia (fase nitrificant, aeròbia) són utilitzats a la següent fase (desnitrificant, anòxica).

El disseny més comú és l'anomenat Biodenitro, que opera amb quatre fases diferenciades. A la figura 1.11 es pot observar que l'alimentació s'alterna als dos carrusels (meitat del temps per cadascun d'ells), i que les condicions dels mateixos també varia (2.5 hores aeròbic i 1.5 hores anòxic). Hi ha una petita finestra que comunica els dos carrusels per evitar excessives diferències de nivell. El fet d'alternar l'aliment assegura que els microorganismes sempre tindran una font rica en DBO fàcilment degradable.



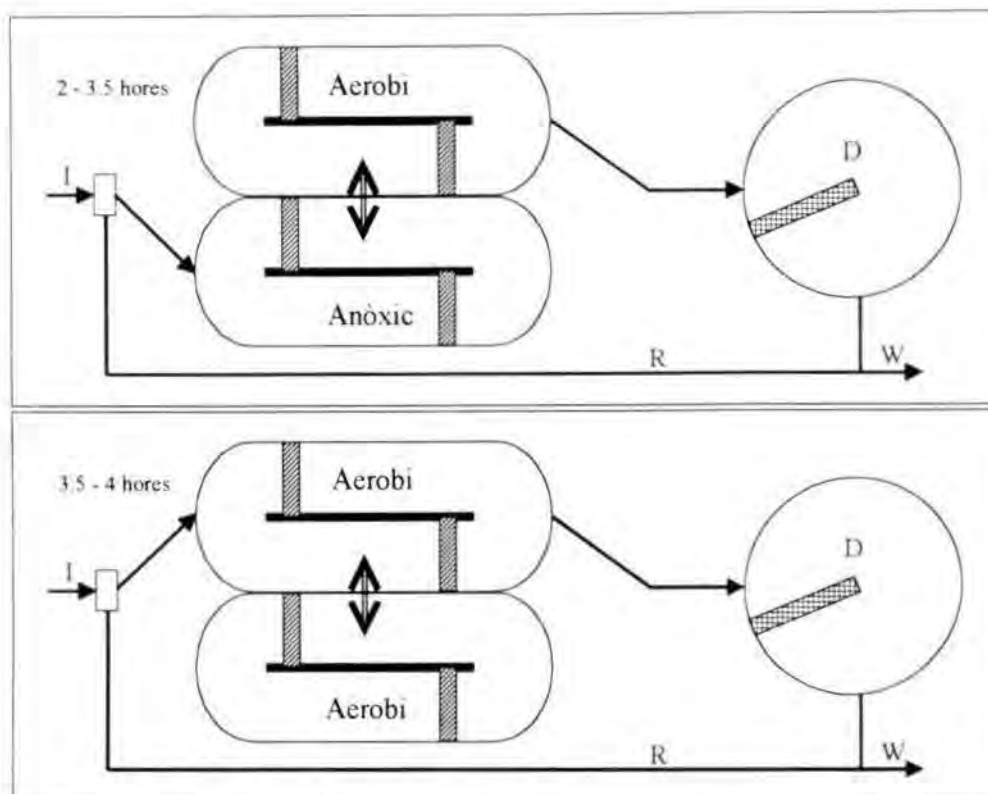


Figura 1.11 Carrusel en fases alternes o Boidenitro.

1.8.2 Dues etapes

En aquest cas es disposa de dos processos separats, cadascun d'ells amb el seu propi clarificador i la seva recirculació independent, la qual cosa facilita el poder mantenir les poblacions separades, evitant així gran part dels problemes creats per la interrelació entre els processos. Hi ha moltes disposicions possibles, però les tres més usuals són:

PROCÉS A El procés aerobi és l'encarregat d'oxidar el carboni i nitrificar l'amoni existent, mentre que l'anòxic, el qual necessita un suplement de DQO (font carbonosa), és el responsable de la desnitrificació. L'aigua tractada passa per una fase ràpida d'aeració abans de ser sedimentada al segon clarificador (figura 1.12).

PROCÉS B La configuració és semblant, però es by-passa una fracció de l'influent cap a la fase anòxica per poder suprimir la font externa de carboni. Com a inconvenient cal remarcar que una part del nitrogen entrant no serà tractat, i per tant l'eliminació mai pot ser completa.

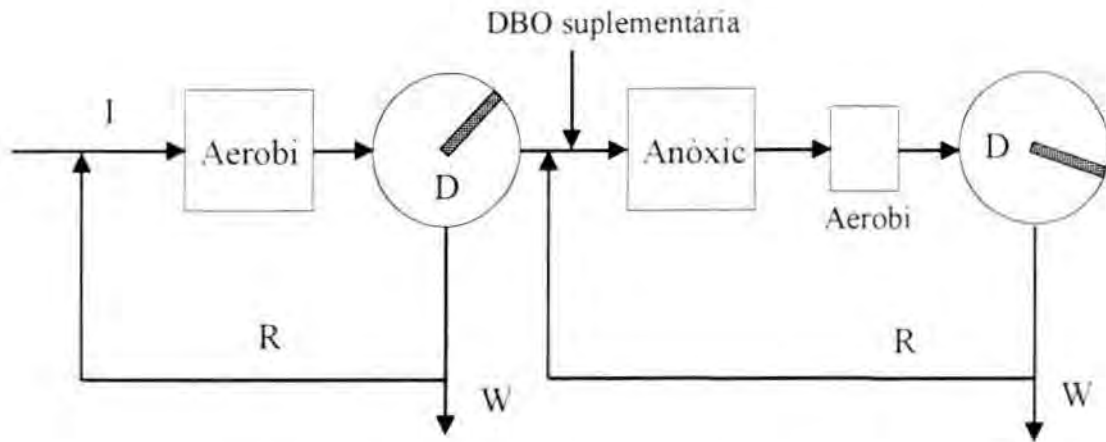


Figura 1.12 Configuració del procés A de doble etapa.

PROCÉS C Aquí es canvia la configuració passant la fase desnitrificant al primer terme, fet que evita de nou l'addició de font externa de carboni. A més, es pot reduir l'aeració necessària, doncs una gran part de la matèria orgànica s'elimina amb la desnitrificació. Evidentment cal afegir recirculació de l'aigua nitrificada cap a la primera fase i, de la mateixa manera que abans, no es pot evitar que una part dels nitrats sempre surti cap a l'exterior. Aquesta fracció serà més o menys important en funció del cabal de recirculació.

1.8.3 Tres etapes

La proposta consisteix en la separació completa de les poblacions bacterianes responsables de l'oxidació del carboni, de la nitrificació i de la desnitrificació. Així, s'estableixen dues primeres etapes airejades, la primera per eliminar la matèria orgànica, i la segona per nitrificar l'amoni present, previs a una tercera etapa anòxica per eliminar en forma gasosa els nitrats generats. Aquesta configuració, encara que és la més antiga de les descrites, sembla tornar a prendre força a l'actualitat, doncs tot i tenir els desavantatges d'haver d'afegir una font externa de carboni i de l'alt cost de la instal·lació, la total separació de les poblacions permet un major control del procés, així com una optimització particular per cadascun d'ells.

San Feliu, Galligans, La Seu, Devesa
Onyar i Montjuic. El Ter als peus.
Boira grisenca sobre els rius estesa.
Convents, El Güell, Banys Àrabs i museus
Laureà Dalmau

2. L'Estació Depuradora d'Aigües Residuals de Girona

2. Descripció de la EDAR de Girona

El sistema de sanejament de Girona està format per una xarxa de col·lectors que recull les aigües residuals i pluvials procedents de Girona, Salt, Sarrià, Sant Julià de Ramis, Vilablareix i part de Fornells i de Bescanó. Aquestes aigües són enviades cap a l'estació depuradora situada a Campdorà, inaugurada l'abril de 1986, amb una capacitat de tractament de fins a 40000 m³/dia (Ajuntament de Girona, 1990).

2.1 Descripció física

La línia d'aigües està constituïda per un desbast previ a la xarxa col·lectora, un pretractament amb reixes de gruixuts i de fins, desarenador-desengreixador i canal Parshall on hi ha instal·lat el mesurador de cabal, decantació primària (volum total de 4250 m³) efectuada en tres decantadors circulars i afavorida amb floculants químics per tal d'augmentar-ne el rendiment, digestió aeròbia (volum_T = 8000 m³) que té lloc en tres basses rectangulars airejades mitjançant difusors de microbombolla, i decantació secundària (volum_T = 6000 m³) formada de nou per tres decantadors que separen els fangs activats de l'aigua ja tractada, que es finalment abocada al riu Ter (figura 2.1)

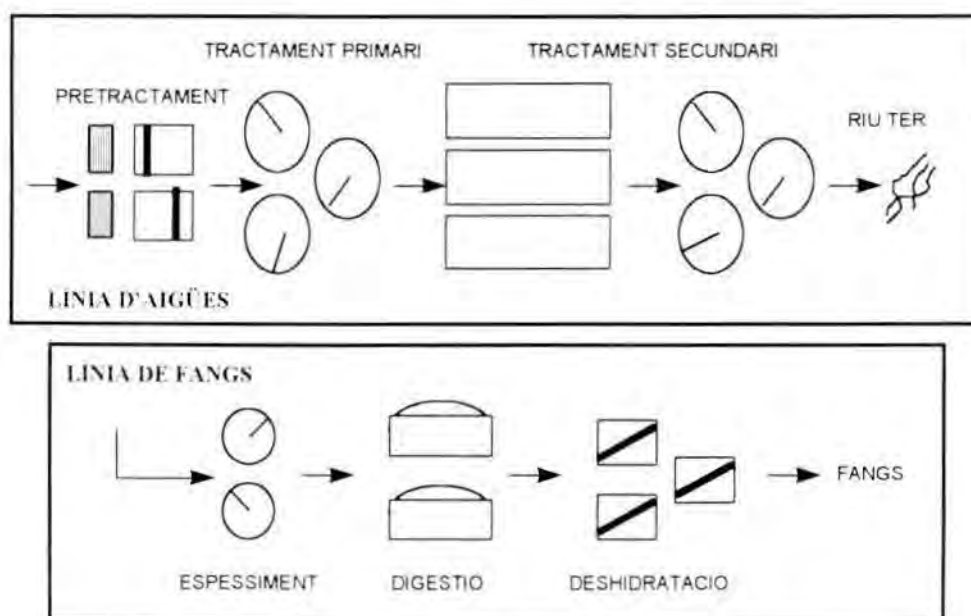


Figura 2.1 Esquema de la EDAR de Girona

Els fangs del fons dels decantadors primaris i la biomassa en excés dels secundaris, són enviats separatament cap a la línia de fangs, passant els primers per uns garbells rotatius i espessint-se finalment en dos espessidors circulars independents ($\text{volum}_T = 1200 \text{ m}^3$). Seguidament el fang espessit entra a dos digestors anaerobis ($\text{volum}_T = 7000 \text{ m}^3$) on, alhora que es degrada la matèria orgànica, es forma el biogàs utilitzat com a combustible per mantenir la temperatura necessària als digestors i per generar part del corrent elèctric utilitzat a la planta. Finalment, als fangs digerits se'ls hi addiciona polielectrolit i es passen per tres filtres banda on s'hi elimina l'excés d'aigua. Totes les aigües excedents de la línia de fangs (molt carregades), són retornades cap a capçalera de planta, on s'ajunen amb el corrent d'entrada, i reinicien el procés de depuració.

2.2 Seguiment de la EDAR

De cara a la feina de caracterització i seguiment del funcionament de l'estació depuradora, interessa disposar del màxim d'informació i el més aviat possible. És per això que des de l'edifici de control de l'estació depuradora es recull constantment una sèrie de mesures immediates de variables com ara els cabals: el d'entrada a la planta, l'influent als reactors biològics, el de recirculació de fangs des dels decantadors secundaris fins a les basses, el de purga o fangs en excés, el de biogàs generat i el d'aire afegit a les basses, així com la conductivitat i el pH a diversos punts de la línia d'aigües, la temperatura dels digestors, les dosis de floculant i polielectrolit afegides, i finalment informació de l'estat de motors i aparells en general.

Pel que respecte a les variables de tipus analític que afecten la línia d'aigua, l'estació depuradora de Girona pren mostra integrada corresponent a les últimes 24 hores a diferents indrets de la línia (entrada, sortida dels decantadors primaris o entrada als bioreactors i sortida de la planta) i n'analitza aquells paràmetres que li permeten fer un seguiment més acurat. La llei determina que el nivell de sòlids en suspensió i de matèria orgànica a l'efluent sigui per sota els límits fixats. Això implica la mesura rutinària de SS (sòlids en suspensió), SSV (sòlids en suspensió volatils), DQO (matèria orgànica químicament degradable) i DBO (matèria orgànica biodegradable) als tres punts citats amb anterioritat. Tot i que la planta encara no està obligada a eliminar els nutrients de la seva aigua, se'n fa un seguiment per tal de saber quins són els nivells habituals. NKT

(nitrogen orgànic + amoniacal), NH_4^+ i fòsfor total són analitzats tres cops per setmana als tres punts habituals de recollida de mostra de la línia d'aigua.

Per tal de conèixer l'estat en que operen els bioreactors i quin tipus d'ecosistema s'hi està desenvolupant, també s'analitza a l'aigua dels bioreactors: SSLM (sòlids en suspensió al licor mescla), SSVLM (sòlids en suspensió volàtils al licor mescla), i V30 (per establir la sedimentabilitat de la biomassa). També es fan observacions microscòpiques diàries, a les quals es determina la biodiversitat, l'espècie predominant, l'abundància relativa de microflagelats i de bacteris filamentosos i l'Índex Biòtic de Madoni.

Entrada		Decantació		Sortida		Reactors	
Conduct.,	Q_{entrada}	Conduct., pH, SS,		Conduct.,	Q_{sortida}	Q_{purga}	$Q_{\text{recirculació}}$
pH, SS, SSV, DQO,		SSV, DQO, DBO_5 ,		pH, SS, SSV, DQO,		$Q_{\text{aïres}}$	V30, SSLM,
DBO_5 , TKN, NH_4^+ i		TKN, NH_4^+ , P i Sals		DBO_5 , TKN, NH_4^+ i		SSVLM, i	Observ
P		de Fe.		P		microscòpica	

Taula 2.1 Seguiment de la línia d'aigües de la EDAR de Girona

Pel que respecte a la línia de fangs, s'estableixen tres punts bàsics de caracterització analítica, els espessidors, els digestors anaerobis i el corresponent a la sortida dels filtres banda. En ells s'hi analitza pH, ST (sòlids totals) i STV (sòlids totals volàtils). A dins els digestors també s'estudia la relació entre l'acidesa volàtil i l'alcalinitat total, i del fang resultant es mira la sequedat i els volàtils.

Espressidors	Digestors aerobis			Filtres banda	
<i>sortida</i>	<i>interior</i>	<i>entrada</i>	<i>sortida</i>	<i>fang sortida</i>	<i>aigua retorn</i>
pH, ST i STV	Alcalinitat total, Acidesa volàtil, pH, ST i STV	pH, ST i STV	pH, ST i STV	Sequedat i STV	pH, ST i STV

Taula 2.2 Seguiment de la línia de fangs de la EDAR de Girona

2.3 Control de la EDAR de Girona

Paradoxalment a la intensa caracterització analítica portada a terme a la EDAR de Girona (figura 2.2), l'estratègia de control imposada no és excessivament complexa.

Solament actuen dos sistemes automàtics de control (sobre l'oxigen dissolt de les basses biològiques, i sobre la temperatura de dins els digestors anaerobis), mentre que la resta d'accions són preses pel cap de planta, que es qui, en funció de l'estat inferit de l'estudi de les dades analítiques i del pannell de control, decideix el cabal de purga i la dosi necessària de reactius químics a afegir. El disseny hidràulic de l'arqueta de recirculació ja estableix un percentatge proper al 100% entre cabal recirculat i influent a la planta.



Figura 2.2 Vista aèria de la EDAR de Girona (Foto: J. Carreras)

La història, l'heurística i la bibliografia, han portat a fixar uns punts de consigna que es mantenen constants sempre que la EDAR no pateixi cap tipus de situació imprevista. Aquests consignes consisteixen en mantenir el nivell d'oxigen dissolt al voltant de 2 mg/L a les basses d'activació (a l'estiu aquesta consigna disminueix fins a 1.5 mg/L), el cabal de recirculació proper al 100 % respecte al d'entrada (limitat per by-pass fins els

39,000 m³/d), i el cabal de purga suficient per mantenir edats cel·lulars entre els 4 i els 7 dies (aproximadament uns 500 m³/d). Altres consignes de la planta estableixen una dosi aproximada de 50 mg/L de sals de ferro afegits per ajudar la decantació primària, així com la quantitat de calç i polielectrolit afegits al fang per afavorir la inertització i deshidratació dels llots digerits.

*The real problem is not whether
machines think, but whether men do.*

B. F. Skinner

3. Estat actual de la gestió

3. Estat actual de la gestió a les EDAR

La publicació de la Directiva comunitària de 21 de maig de 1991 (91/271/CEE) sobre el tractament de les aigües residuals urbanes, ha suposat la implantació d'una norma precisa en quant al grau de sanejament i de depuració exigible en els diversos nuclis de població, així com també en quant al cronograma per al seu compliment. Ha establert l'obligatorietat de depurar biològicament les aigües residuals d'origen urbà per a totes les aglomeracions urbanes de més de 2.000 habitants equivalents¹ (h.-e.), exceptuant les de menys de 150.000 h.-e. que aboquen a mar i de forma adequada la resta de poblacions més petites, i estableix el termini fins al 31 de desembre de l'any 2005 (Junta de Sanejament, 1996). El Parlament de Catalunya va acordar, a més, avançar el compliment de la Directiva comunitària a l'any 1988 pel que fa al tractament de les aigües residuals dels nuclis de més de 2.000 h.-e. Aquest fet ha suposat l'aparició de gairebé 200 Estacions Depuradores d'Aigües Residuals urbanes (EDAR) a Catalunya (segons el darrer informe del 23/I/98 del Departament de Medi Ambient de la Generalitat (Gencat, 1998), Catalunya tracta ja 1.808.229 m³ diaris d'aigües residuals), amb la conseqüent generació d'elevats costos de gestió i manteniment (propers als 10.000 milions de pessetes l'any 1996). Aquestes xifres evidencien que una bona gestió de les EDAR catalanes, a part de garantir la qualitat de les conques hidrogràfiques catalanes, pot reportar interessants beneficis econòmics a la Junta de Sanejament i a les empreses explotadores responsables de les plantes.

3.1 Informació disponible a les EDAR

Una part important de l'òptima gestió de les EDAR es fonamenta en la quantitat i la qualitat de la informació que reculli el cap de planta, així com del seu correcte processament. Disposar de poques dades implica realitzar un seguiment incomplet i incert del procés. Per contra, quan es recull massa informació, a part de les possibles redundàncies i/o divergències, es produeix una saturació de dades que difícilment poden

¹ L'habitant equivalent (h.-e.) és un paràmetre que permet quantificar de forma comparable la càrrega contaminant de la població però també d'altres abocaments, fins i tot els industrials. La Directiva entén per h.-e. la càrrega orgànica biodegradable amb una demanda biològica de cinc dies (DBO₅) de 60 grams d'oxigen per dia.

ésser assimilades correctament pel cap de la EDAR. En cap cas l'operació que se'n faci del procés resulta del tot eficaç.

Actualment, tot i que els ràpids avenços tecnològics prometen instrumentalitzar d'una manera més completa i barata les EDAR, el nombre de dades que es pot recollir rutinàriament a la planta encara es prou limitat, i depen bàsicament dels sensors en línia disponibles, de l'analítica realitzada al laboratori, d'estudis microscòpics de la biomassa, i de tot tipus d'observacions físiques de determinats aspectes de la planta.

Si s'estudia d'una manera detallada el tipus de dades corresponents a la línia d'aigües d'una EDAR, es pot establir la següent classificació (veure Taula 3.1):

- Dades ON-LINE procedents de sensors. Tot i que les plantes més antigues només solen disposar dels valors d'oxigen dissolt (OD) als bioreactors i el cabal d'entrada (Q), les plantes més modernes procuren instrumentalitzar força la planta per tal d'instal·lar-hi petits llaços automàtics de control i, en conseqüència, es pot arribar a disposar dels valors en línia de pH, Conductivitat (Conduct.), Potencial d'oxido-reducció (Redox), cabals de purga (Q_p) i recirculació (Q_R) i, excepcionalment, DQO i nutrients: amoni (NH_4^+), nitrats (NO_3^-), nitrits (NO_2^-) i fosfats (PO_4^{3-}).
- Dades OFF-LINE, obtingudes al laboratori. En els pitjors casos (plantes petites i poc problemàtiques) es realitzen analítiques puntuals de l'aigua d'entrada i de sortida de la planta amb una freqüència setmanal, que inclouen els valors de Demanda Química d'Oxigen (DQO), Demanda Biològica d'Oxigen (DBO_5) i Sòlids en Suspensió (SS), a més de l'índex de sedimentabilitat del licor mescla (V30). Per plantes més grans el seguiment és més acurat, i inclou l'analítica diària i integrada de DQO, DBO_5 , SS, Sòlids en Suspensió Volàtils (SSV), NH_4^+ , NO_3^- , NO_2^- , NKT i PO_4^{3-} i algun metall pesant a diferents punts de la línia d'aigües de la EDAR, juntament amb la caracterització del licor mescla dels bioreactors i dels fangs de la recirculació, on es mesura la V30, la quantitat de sòlids i la seva fracció volàtil (MLSS i MLVSS). També hi ha EDAR que realitzen amb certa periodicitat assaigs de toxicitat (amb tècniques respiromètriques o amb Microtox).

- Observacions microscòpiques i subjectives, que poden ésser de tipus rutinari al microscopi, on s’observa aspecte i mida del flocul, biodiversitat, presència de determinats protozous i abundància relativa de bacteris filamentosos, o bé observacions subjectives de tipus esporàdic al llarg de la planta com son certes olors o colors característiques de condicions molt determinades com la septicitat de l’aigua o abocaments industrials

ON-LINE	OFF-LINE	OBSERVACIONS
Minim	Minim	Minim
Q i OD	DQO, DBO ₅ , SS i V30	cap
Màxim	Màxim	Màxim
pH, Conduct., Redox, T,	SSV, Nutrients, Metalls,	Microscopi (protozous,
Q _R , Q _F , DQO, NH ₄ ⁺ , NO ₃	MLSS, MLVSS, TOC,	flocul i filaments), color,
NO ₂ ⁻ i PO ₄ ⁻³	Toxicitat, etc...	olor i aspecte aigua,

Taula 3.1 Recull habitual d’informació a la línia d’aigües d’una EDAR.

Per altra banda, la ja habitual centralització a un PC de les dades de consum de tota la maquinària existent dins la EDAR, permet establir un sistema d’alarmes que detecti i avisi a l’instant de qualsevol aturada d’un motor, consums excessius, etc., a més de permetre un emmagatzament en suport informàtic del que conforma la “història” de la planta.

3.2 Operació actual de les EDAR

Amb la totalitat d’aquesta informació, el cap de planta ha d’establir l’estratègia d’operació que garanteixi la correcta depuració de l’aigua residual. Tot i la complexitat del procés, no són gaires els punts sobre els quals es pot actuar. La taula 3.2 proposa les principals actuacions que es poden arribar a aplicar a una EDAR prou automatitzada, flexible i versàtil.

Si són pocs els paràmetres sobre els quals es pot actuar per tal de garantir el bon funcionament de la EDAR, encara són menys els llaços de control automàtics que habitualment trobem establerts a les EDAR catalanes, essent els tres següents els més habituals:

Aeració	Addició de polielectrolíts
Cabal de recirculació	Addició de nutrients
Cabal de purga	Addició d'alcalinitat
Recirculacions internes	Addició d'additius
By-passos	Addició de biocides (Cl_2 , H_2O_2 ...)
Laminació de l'influent	Canvi de configuració del procés
Addició de coagulants/floculants	Actuacions mecàniques (dutxes, "skimmers",)

Taula 3.2 Recull de les accions de control més habituals a una EDAR.

- Control de l'oxigen dissolt als bioreactors. Per tal de fixar l'aportació d'OD que permeti l'eliminació de matèria orgànica per part dels microorganismes aerobis dels bioreactors, la EDAR sol disposar d'un control de tipus automàtic. A partir de la dada del sensor d'OD i del punt de consigna establert com a òptim pel procés, valor que resultarà diferent en funció de si la planta desitja nitrificar/desnitrificar o si solament es vol eliminar la matèria orgànica de l'aigua, i també del tipus de bioreactor (tanc agitat, carrusel, flux pistó, òrbal, etc.), el llaç de control determina el cabal d'aire a aportar pels difusors, o la velocitat de gir i/o freqüència de les turbines o rotors. En plantes més antigues que encara disposen d'un llaç de control d'anella oberta, es pot establir una seqüència d'engegada/aturada de les turbines o bufadors, o es poden estimar els kg d'oxigen aportats en funció dels kW consumits.
- Recirculació. Per tal de mantenir el nivell idoni de biomassa tant al bioreactor com al decantador secundari, sol existir una seqüència diària que determina el nombre de bombes de recirculació engegades en cada moment, o el cabal pot venir definit per la velocitat de gir d'una bomba de cargol o d'Arquimedes, de control majoritàriament manual.
- Purga. Amb la finalitat de determinar l'edat cel·lular adequada pel tipus de procés portat a terme, el més habitual es fixar una seqüència diària de la/les bomba/es encarregades d'eliminar la quantitat de fang en excés. Aquesta seqüència està plenament condicionada per l'estat de la línia de fangs i per l'horari dels operaris de la planta.

Altres llaços de control existents a les EDAR poden ser el que regula l'accés de cabal a la planta (es pot trobar al col·lector o realitzant un by-pass sobre l'influent), la laminació d'aquest influent, i el que controla la dosificació de coagulants i/o polielectrolit quan la planta complementa el tractament biològic amb l'addició de reactius químics.

L'actuació, sempre i quan la planta no visqui algun episodi extraordinari (tempestes, abocaments industrials, creixement sobtat de microorganismes indesitjables, escumes, *etc.*), sol ser de tipus rutinari, i sobre els llaços de control ja esmentats solament hi ha el cap de planta, que és qui pot decidir qualsevol canvi d'estratègia en l'operació del procés (Figura 3.1). El problema real apareix quan l'EDAR no respon com seria d'esperar, i cal canviar les consignes dels llaços de control o fins i tot la configuració de la planta, per tal de reconduir el procés.

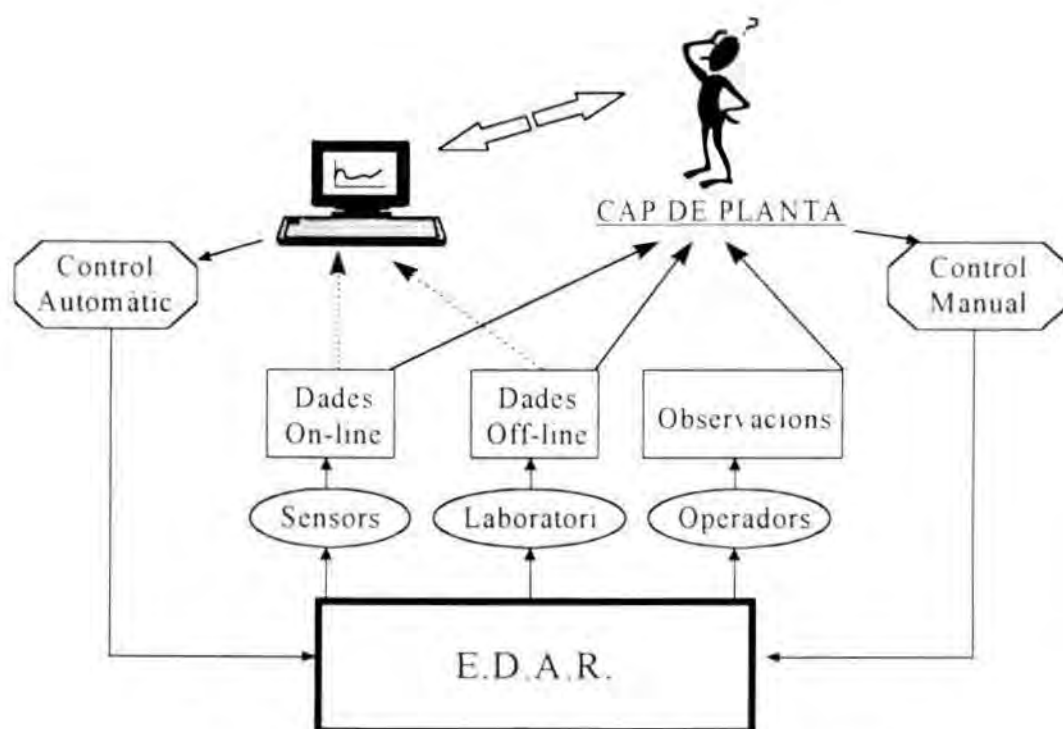


Figura 3.1 Adquisició de dades i gestió actual de les EDAR

3.3 Possibles camps d'estudi per a una millor gestió de les EDAR

Estudiant les mancances que apareixen alhora d'operar d'una manera correcta les EDAR, apareix un ampli llistat de millores que la ciència i la recerca poden aportar per tal d'optimitzar el procés. Tot seguit es presenta un recull que contempla algun

d'aquests aspectes, classificats en funció de si fan referència a la monitorització de les variables, o bé si estan relacionats amb l'adquisició de nou coneixement.

Dades i Senyals.

- desenvolupament de nous sensors,
- millora tècnica i econòmica dels sensors ja existents,
- millor adquisició i transferència dels senyals (canals de comunicació),
- noves tècniques de filtrat de les dades,
- nous sistemes d'actuació,
- bons protocols per regir l'intercanvi de dades,
- telegestió, etc.

Coneixement

- numèric
 - ◊ tractament de les dades històriques,
 - ◊ identificació (sèries temporals, etc.),
 - ◊ nous algoritmes de control,
 - ◊ modelització numèrica (models tipus caixa negra com xarxes neuronals, algoritmes genètics, etc.)
- mecanístic
 - ◊ recerca bàsica general, amb especial rellevància pel que respecte als mecanismes reals que regeixen la degradació de la matèria orgànica i la posterior floculació-decantació de la biomassa (pel cas dels llots actius),
 - ◊ extracció i estructuració del coneixement heurístic que posseeixen els caps de planta, operadors i experts del procés en general,
 - ◊ incorporació com a paràmetre de seguiment de l'observació microscòpica de la fauna microbiològica desenvolupada, i automatització del reconeixement d'imatges,
 - ◊ formulació de nous models determinístics

3.4 Aproximació clàssica al problema de la gestió de les EDAR

La dificultat que comporta el compromís de gestionar d'una manera òptima les EDAR, es un problema que històricament ha estat afrontat des d'un punt de vista clàssic, procedent de l'Enginyeria Química, i que es fonamenta en l'aplicació de diferents algorismes de control i en la informació de tipus numèric que els sensors i l'anàlisi proporcionen als models matemàtics de simulació (siguin tipus caixa negra o determinístics). No obstant, aquesta aproximació clàssica s'ha vist plenament dificultada per les característiques particulars que regeixen el procés, les quals són llistades a continuació:

- L'etapa principal del procés és de tipus biològic. Això implica que la principal responsable de l'eficàcia en la depuració és una població multiespecífica d'éssers vius, que actua en funció d'un munt de variables i interrelacions encara poc establertes per la ciència.
- El coneixement que se'n té del procés està molt poc estructurat. Les relacions entre les diferents variables que hi intervenen no estan perfectament establertes, i solament es disposa d'estudis i aproximacions a certs fenòmens.
- L'entrada de la planta no es pot controlar. A l'inrevés que a la majoria de processos industrials, on es fixa la quantitat i el tipus de reactius, a una EDAR hi arriba un cabal i uns nivells de contaminants absolutament variables. Això comporta que les condicions d'operació siguin de tipus dinàmic i que el procés mai treballi sota règim d'estat estacionari.
- El procés viu freqüents episodis de característiques extraordinàries que encara dificulten més la seva gestió. Per episodi extraordinari s'entén un xoc de cabal degut a tempestes sobtades, un abocament puntual de tipus industrial que posa a prova la resistència de la fauna desenvolupada, etc.
- Molta de la informació amb la que es treballa a la planta és de tipus qualitatiu, corresponent a observacions dels operadors o del propi cap de planta. Moltes vegades aspectes com l'olor o el color de l'aigua, o observacions de tipus microscòpic dels microorganismes presents, resulten de vital importància a l'hora de determinar l'estat de la planta. Una aproximació clàssica, incapaç de gestionar aquest tipus d'informació qualitativa, mai podrà considerar aquest aspecte crucial pel bon control de la EDAR.

- Hi ha una mancança de sensors en línia que permetin conèixer a l'instant les característiques de l'aigua a diferents punts del procés. A més, aquests sensors són poc fiables, i de variables massa globals. Per exemple, es pot conèixer el valor d'oxigen dissolt als bioreactors on es produeix la degradació de matèria orgànica, però l'agrupació en floculs dels microorganismes provoca l'existència d'uns microclimes, dins els quals es desconeix absolutament les condicions d'oxigenació.
- Hi ha un retard important en l'analítica de diferents paràmetres al laboratori. Fan falta més de dues hores per conèixer el valor de matèria orgànica químicament degradable present a l'aigua, i fins a 5 dies per conèixer la biodegradabilitat de la mateixa.

Aquest conjunt de circumstàncies ha dificultat molt el desenvolupament de tècniques de control clàssic apropiades per a una bona gestió i control de les EDAR. Tot i que amb anterioritat s'ha fet esment a la no estacionaritat del procés i a la dificultat que presenta la seva modelització, quan la planta treballa en règim de normalitat pot ser operada correctament i, fins i tot, es pot arribar a modelitzar el seu comportament.

Tot i que des dels anys seixanta han aparegut infinitat de models del procés de llots actius, tant de tipus mecanístic com d'empírics, sembla que finalment el model determinístic desenvolupat per la International Association on Water Pollution Research (IAWPRC) (Henze *et al.*, 1987, 1995) és el més acceptat i vàlid dins el món de la depuració d'aigües residuals urbanes. Aquest model, basat en una interpretació mecanística del comportament dels microorganismes, ofereix una resposta prou acurada del procés i permet operar segons un ampli marge de diferents configuracions (un o més reactors en sèrie o paral·lel, recirculacions internes i externes, diferents condicions d'aeració), característiques variants de l'influent (en cabal, matèria orgànica, sòlids en suspensió i nutrients), i diferents paràmetres operacionals (edat cel·lular, temperatura i concentració d'oxigen dissolt).

L'existència de diferents models, més o menys reconeguts, permet la construcció de simuladors com per exemple GPS-X (Hydromantis, 1995) que ajuden a la predicció del procés davant tot tipus de situacions que es desitgi simular. Així, és de gran ajuda pel cap de l'EDAR el fet de disposar del model calibrat de la seva planta, doncs pot estudiar la diferent resposta del seu procés de llots actius en funció de les diferents estratègies

d'actuació que pugui aplicar per tal de fer front a les usuals perturbacions. La figura 3.2 mostra un esquema general de la interfície de GPS-X.

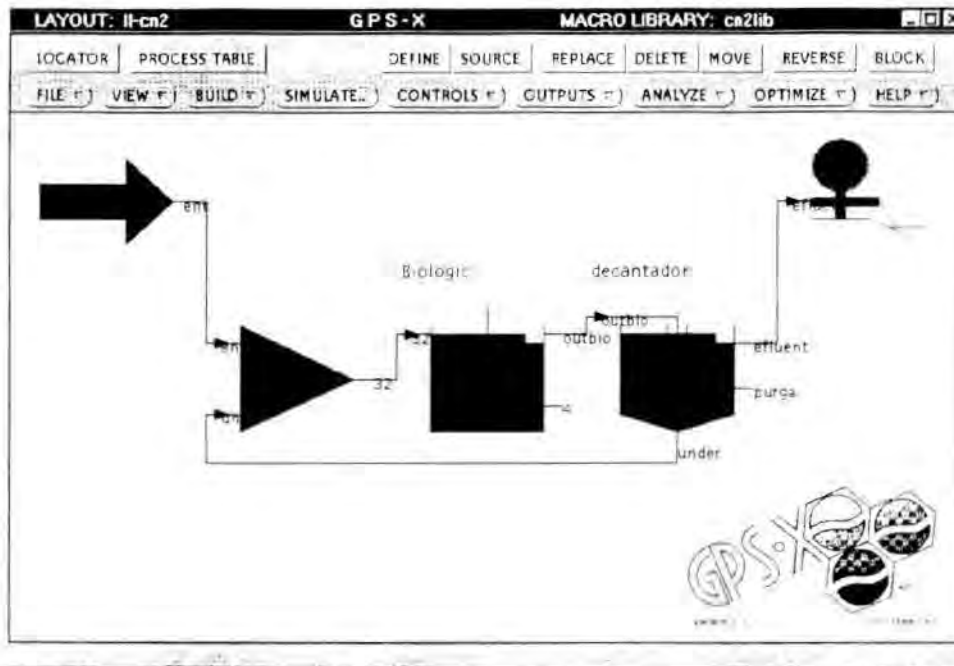


Figura 3.2 Esquema general de GPS-X

No obstant, l'ús d'aquests models requereix un gran esforç de calibració, i deixa de descriure correctament el procés quan la planta es troba en un estat prou allunyat de la idealitat (situació normal de funcionament): tempesta, xoc de tòxics, proliferació de bacteris filamentosos, etc., o viu situacions no contemplades prèviament

3.5 Incorporació de tècniques d'Intel·ligència Artificial

Degut a les mancances que presenta un enfoc clàssic, des del camp de la Enginyeria Química i Mediambiental recentment s'ha intentat incorporar altres tipus d'aproximacions que permetin un millor tractament de la informació no tan sols numèrica sinó també simbòlica, per a fer front a les situacions anormals o anòmales de funcionament de les EDAR.

Aquest fet ha suposat una aproximació pluridisciplinar al problema que incorpora tècniques del camp de la Intel·ligència Artificial, com ara els Sistemes Experts, el Raonament Basat en Casos i les Xarxes de Transició.

La incorporació de Sistemes Experts permet afrontar el problema de la gestió de les EDAR emulant la capacitat de resolució que un ser humà expert presenta davant un problema complexa però específic. Cal aprofitar aquell coneixement, principalment qualitatiu, que permet al cap de planta inferir l'estat del procés a partir de premisses prou abstractes com l'olor de l'aigua, l'aspecte del sobrenadant als decantadors, el color del fang, etc. però sense descartar la informació numèrica que ens proporcionen els sensors i les mesures analítiques.

Tot aquest coneixement (procedent d'experts o caps de planta, però també de llibres especialitzats, manuals d'operació, articles de recerca i d'algoritmes d'extracció automàtica de coneixement d'un conjunt ampli de dades històriques) queda estructurat en forma d'arbres de decisió i posteriorment codificat mitjançant regles heurístiques (n'hi ha d'objectives i subjectives, de generals i específiques) que conformen la base de coneixement del sistema. Desenvolupat sobre un entorn adient, aquest coneixement queda articulats i a punt per iniciar el raonament necessari que permeti diagnosticar l'estat o situació de la planta, i decidir l'estratègia de control més adequada.

La segona de les tècniques proposades fa referència als Sistemes de Raonament Basat en Casos. Aquesta aproximació permet solucionar problemes concrets a partir d'episodis similars viscuts amb anterioritat a la pròpia planta. Cada un d'aquest episodis és el que s'anomena un nou cas, que per l'exemple de les EDAR correspon a un dia de funcionament, i ve caracteritzat per les variables rellevants del procés. Així, per a cada nou dia d'operació es busca el cas històric més semblant dins la base de casos, es recupera, s'estudia l'acció que es va portar a terme i l'avaluació que se'n va fer dels resultats obtinguts per tal de definir la nova estratègia d'operació pel cas actual. Quan no es troba cap cas històric similar a l'actual, aquest s'incorporarà com a nou cas dins la base, juntament amb l'acció de control (probablement proposada pel Sistema Expert o pel propi cap de planta) i l'avaluació final de resultats.

Amb els Sistemes de Raonament Basat en Casos apareixen, doncs, dos nous conceptes que "humanitzen" més la gestió automàtica de les EDAR: per una banda la memòria dinàmica (base de casos històrics amb incorporació de nous episodis o situacions), i per altra banda l'aprenentatge (en funció de l'èxit o fracàs de les solucions proposades s'evita la repetició sistemàtica d'errors al fer front a la mateixa situació).

Les Xarxes de Transició són l'última de les tècniques proposades per tal de millorar la gestió integrada de les EDAR. La construcció de la Xarxa, que es fa a partir de l'estudi de les dades històriques enregistrades a la planta, permet modelar la totalitat de transicions que s'han establert al llarg del temps entre els diferents estats del procés. Al ser un bon mecanisme per a modelitzar el comportament específic d'un sistema complex en el temps, permeten incorporar el concepte de predicció de la resposta de la EDAR front l'acció de control determinada pel sistema supervisor. Així, es pot predir l'estat cap el que tendeix la planta en funció de l'estat actual, les característiques de l'influent, i l'actuació proposada. Aquesta informació permet a l'operador avaluar les conseqüències de l'estratègia d'operació, sense haver d'utilitzar simuladors que ofereixen poques garanties quan la situació de la planta s'allunya d'aquelles condicions en que el model va ser calibrat.

Aquesta primera definició, curta i superficial, de les tres tècniques presentades: SE, SRBC i XT, sembla que poden suposar una clara millora en la gestió de les EDAR. Per tal de fer-ne un estudi més complert, els següents capítols mostren una visió més exhaustiva dels seus fonaments, la possible aplicació al món de les EDAR, i es citen avantatges i desavantatges de cadascuna de les tècniques.

Tot allò que ignoro no és coneixement

B. Jowett

4. El Sistema Expert

4. El Sistema Expert

4.1 Introducció

4.1.1 Què són els sistemes basats en coneixement?

Els Sistemes Basats en Coneixement (KBS) són programes informàtics que pretenen emular la capacitat de resolució que presenta l'ésser huma, utilitzant les seves mateixes fonts de coneixement. D'entre els diferents tipus de KBS, els més habituals són els sistemes experts (SE), programes basats en coneixement que resolen situacions molt específiques i concretes pertanyents a un camp d'aplicació o domini perfectament acotat, i que normalment precisarien de la intervenció d'un expert per a la seva correcta resolució.

L'objectiu del SE és interpretar la informació que es recull d'un procés, i raonar d'una manera prou correcta per afrontar amb certes garanties cada tipus de problema que es pugui plantejar. Aquest fet implica que el SE presenti un comportament racional, flexible i adaptatiu en funció de l'entorn, que pugui operar en temps real i que tingui capacitat per percebre diferent tipus d'informació, a vegades simbòlica i gairebé sempre amb un elevat component d'incertesa (Newell, 1990). Per tal de fer-ho, el SE incorpora una gran quantitat de coneixement dins la seva memòria, normalment estructurat en forma de regles o arbres de decisió, conformant el que s'anomena base de coneixement. Aquesta base es desenvolupa sobre un entorn informàtic, anomenat motor d'inferència, que és l'encarregat de gestionar les operacions de raonament, activant en cada moment solament aquells fets, regles, hipòtesis i probabilitats que són estrictament necessaris per a la resolució del problema.

Així, mentre els programes clàssics es fonamenten en un conjunt de dades i un algorisme codificat, realitzant una sèrie de càlculs d'una manera més o menys recursiva i extremadament ràpida, els SE parteixen d'una font de coneixement i una inferència que aporten trets humans com el raonament i la interpretació. Per citar un exemple més aclaridor, un programa clàssic algorítmic pot realitzar un estudi estadístic complet de les dades obtingudes en qualsevol experiment de laboratori, mentre que un SE ha de ser

capaç d'interpretar aquests resultats estadístics, de la mateixa manera que ho faria l'investigador, i extreure'n les conclusions oportunes.

<i>Programa clàssic</i>	=	dades + algoritme
<i>Sistema Expert</i>	=	coneixement + inferència

Un altra tret important dels SE és la separació física i lògica que existeix entre els seus dos components principals, la base de coneixement i el motor d'inferència. Aquest fet facilita en gran mesura el seu desenvolupament, doncs l'expert del procés pot incorporar la seva experiència a la base de coneixement del sistema mitjançant un llenguatge molt proper al natural, mentre que l'enginyer del sistema pot codificar la inferència utilitzant el seu llenguatge de programació, sense que es faci necessari que entengui gairebé res del domini o camp on s'aplicarà finalment el SE.

Finalment, cal remarcar que la utilització de SE no és aconsellable per a qualsevol tipus d'aplicació. Solament són apropiats en aquells casos en que el problema estigui ben definit i limitat (per això a la definició es parlava d'un domini acotat), quan es disposi d'experts humans reals dels quals poder extreure'n el coneixement i validar els resultats, i, el que és més important, quan la resolució del problema impliqui la utilització d'heurística. Per heurística s'entén aquell tipus de coneixement que l'expert ha adquirit per pròpia experiència, com a resultat de treballar molts d'anys en un mateix lloc, i que li permet resoldre certes situacions sense saber explicar gaire el per què. Així, gran part del coneixement inclòs a la base del SE sol ser de tipus heurístic, i comprèn, doncs, un *back-ground* més de tipus pràctic (corresponents als criteris heurístics que els anglesos anomenen "rules of thumb") que no pas teòric.

Així doncs, es pot concloure que l'aplicació de SE resulta ideal pel control de processos poc estructurats i complexos, essent especialment potent de cara a la incorporació de coneixement subjectiu, simbòlic i poc definit. Precisament aquests trets mostren les possibilitats que pot presentar l'aplicació de SE de cara a la millora de la gestió de les EDAR.

4.1.2 Com funciona un Sistema Expert?

Encara que el cos principal del SE el conformen la base de coneixement i el motor d'inferència, també requereix la participació d'altres components.

Per una banda, la comunicació entre l'usuari i el sistema resulta clau. Aquesta comunicació, que es realitza a través de la interfície de l'ordinador, és recíproca i té una doble funció:

- En qualsevol moment el sistema pot demanar a l'usuari informació d'alguna dada que desconeix i que considera clau per a discernir entre dos camins de resolució ben diferenciats.
- De la mateixa manera, l'usuari pot demanar al sistema quin és el camí que ha seguit per a concloure la decisió, i d'aquesta manera entendre i confiar en les accions que ha de portar a terme.

Per altra banda, el SE també pot requerir de l'ajuda d'altres aplicacions, externes al sistema, que facilitin certs càlculs o estudis, i enviïn valors que el sistema requereix per inferir determinades circumstàncies, com ara programes estadístics, procediments específics de càlcul, bases de dades, etc.

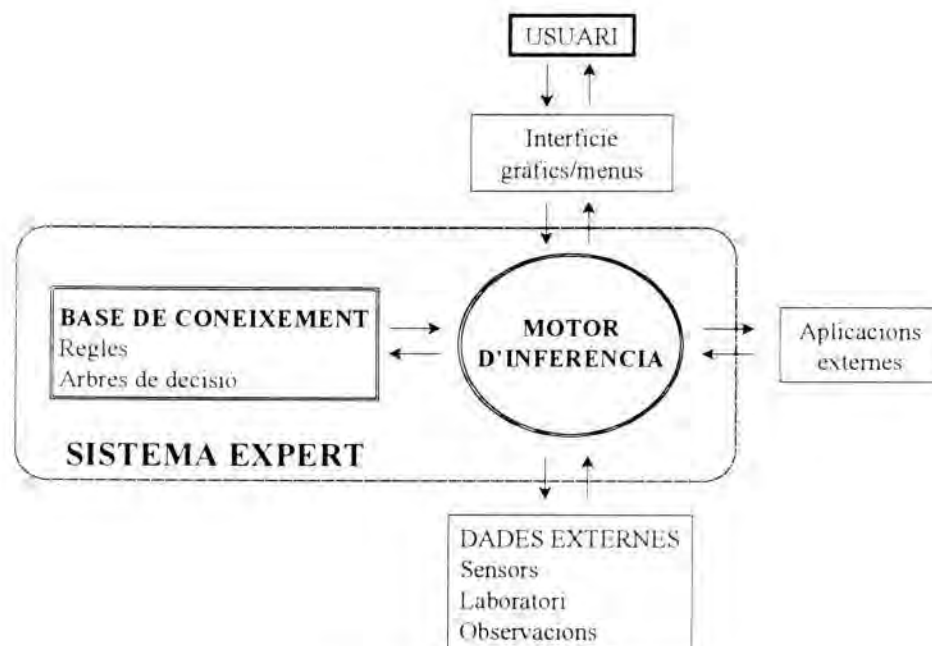


Figura 4.1 Estructura d'un SE

L'últim dels vincles que precisa el SE és amb el propi procés, per tal de rebre amb certa periodicitat suficient informació que li permeti inferir la situació real. Aquesta informació, procedent de sensors, d'analítiques al laboratori, o d'observacions, és la que realment nodreix al sistema i proporciona les dades amb les que es basarà tot el mecanisme de raonament.

El mecanisme real de funcionament del SE ve determinat pel tipus de motor d'inferència utilitzat, així com per l'aplicació final del sistema.

D'entre l'elevat nombre d'entorns informàtics que constitueixen el motor d'inferència sobre el que es construeix la base de coneixement, n'hi ha uns de molt específics (també anomenats *shells*) que faciliten molt el desenvolupament de l'aplicació, però que resulten molt rígids en quan a la flexibilitat del mateix. Per contra, n'hi ha d'altres com són els llenguatges de programació (inicialment LISP i últimament sembla que pren més força el C++) que requereixen un esforç superior per part del programador en quant a la seva comprensió i desenvolupament, però que ofereixen una flexibilitat absoluta (Patry i Chapman, 1989). Com a terme entremig hi ha tota mena d'entorns comercials que pretenen facilitar les tasques de programació, alhora que són suficientment potents com per oferir un alt nivell de prestacions i flexibilitat. Entre aquest últims s'inclou el software comercial G2 (Gensym, 1990), l'entorn utilitzat per desenvolupar l'aplicació de la present tesi.

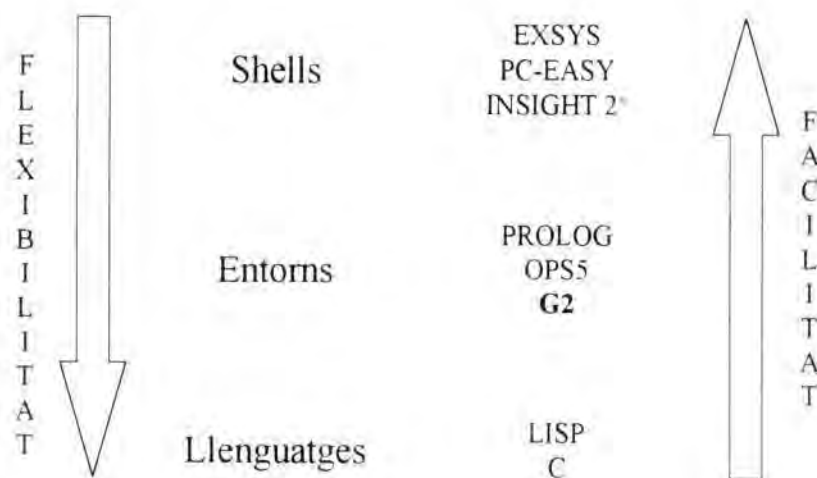


Figura 4.2 Relació i prestacions dels diferents tipus de motors d'inferència existents.

Així, el mecanisme d'inferència serà el que determini la forma en que cal codificar la informació dins la base de coneixement. En principi, la majoria d'entorns requereixen la introducció del coneixement en forma de regles escrites en un llenguatge molt proper al llenguatge natural.

Una regla, que ve a ser la unitat bàsica del coneixement codificat dins un SE, consisteix en un conjunt de condicions i conclusions relacionats per una hipòtesi donada. Així, la formalització escrita d'una regla seria del tipus:

SI *condicions* ALESHORES *conclusions*

Un exemple general del tipus de coneixement que pot incloure una regla amb dues premisses o condicionants i una conclusió lògica seria:

arriba un xoc important de càrrega

SI & ALESHORES *s'escapa DQO amb l'efluente*

la EDAR no opera correctament

Codificat tot el coneixement del domini en forma de regles lògiques, el mecanisme d'inferència les ha de concatenar per tal de formar seqüències lògiques d'inferència. Tot i que hi ha múltiples possibilitats, aquesta concatenació sol reproduir dos tipus principals de mecanisme humà de raonament: la concatenació cap endavant ("forward chaining") i la concatenació cap endarrera ("backward chaining").

La concatenació de regles cap endavant inicia el raonament a partir del que ja es coneix (les premisses que es compleixen), per tal d'arribar a concloure'n les possibles conseqüències que se'n derivin. D'acord amb l'exemple citat anteriorment, un mecanisme d'inferència que concatena les regles cap endavant seguiria el procés deductiu activant tot la seqüència de regles que contenen premisses certes (xoc de càrrega, mala operació de la EDAR, baix rendiment d'eliminació de DQO, etc.), per tal d'arribar a concloure el fet, en aquest cas la pèrdua de beneficis de l'empresa explotadora de la EDAR.

SI	<i>s'escapa DQO amb l'efluent</i>	ALESHORES	<i>la EDAR no compleix la legislació</i>
SI	<i>la EDAR no compleix la legislació</i>	ALESHORES	<i>la Junta sanciona l'empresa explotadora</i>
SI	<i>la Junta sanciona l'empresa explotadora</i>	ALESHORES	<i>l'empresa explotadora perd beneficis</i>

Per contra, quan el mecanisme d'inferència del sistema expert raona concatenant el seu coneixement cap endarrera, parteix d'una hipotètica conclusió, en aquest cas la pèrdua de beneficis de l'empresa explotadora, i n'estudia la certesa del conjunt de premisses que s'han de complir, que per l'exemple serien el xoc de càrrega, la mala operació de la EDAR, l'abocament elevat de DQO, l'incompliment de la normativa, i la pertinent sanció de la Junta, per tal de confirmar la certesa de la conclusió.

El volum de la base de coneixement augmenta proporcionalment a la complexitat del domini d'aplicació. Per això, quan el nombre de regles codificades és prou elevat, convé estructurar i ordenar la seva concatenació, evitant d'aquesta manera temps de calcul excessius, així com possibles col·lapses del sistema per l'activació en paral·lel de milers de regles. Aquest problema pot solucionar-se mitjançant la utilització de les meta-regles. La funció d'aquestes meta-regles és la de direccionar el raonament requerit per solucionar el problema, fent de punter cap a conjunts de regles específics. D'aquesta manera, el coneixement referit a un problema concret solament és activat quan es compleix la meta-regla que l'apunta directament. Un exemple de meta-regla podria ser el següent.

SI *indicis-búlquing = cert* **ALESHORES** *activa regles solució-búlquing*

Solament en cas que es compleixin els indicis que puguin comportar un búlquing o esponjament del fang biològic, s'activarà el conjunt de regles que fan referència a aquesta situació. Així, hi ha un munt de regles que no són avaluades constantment, i que queden emmagatzemades a la recàmara de la base de coneixement esperant la seva oportunitat per entrar en joc.

Definits base i motor d'inferència, el SE resta a punt per tal d'afrontar els problemes tal i com ho faria un ésser humà. Els primers SE existents funcionaven d'una manera totalment discontinua, basant el seu mecanisme en un diàleg que s'establí entre l'usuari i l'ordinador. Aquest diàleg, establert a petició de l'usuari, permet al sistema rebre la

informació necessària per tal d'inferir la solució al problema. Clars exemples d'aquest tipus de SE que funcionen off-line serien els que reproduïen la conversa que s'estableix entre un potencial beneficiari d'un préstec i l'administrador del banc, o entre el pacient i el metge quan es detallen els símptomes per tal d'establir la possible malaltia.

No obstant, hi ha una sèrie de processos que precisen d'actuació continua i, en conseqüència, el SE que els vulgui gestionar haurà de treballar també en continu. La codificació d'un SE que treballi on-line és molt més complexa, doncs ha d'estar preparat per rebre i processar tot tipus d'informació en temps real, alhora que ha d'activar constantment tot el coneixement necessari per a detectar i concloure en qualsevol instant la situació del procés.

4.1.3 Camps d'aplicació

L'inici del SE l'hem de buscar als anys 60 al Massachusetts Institute of Technology (MIT), on es va inventar el llenguatge de programació LISP (LISt Processing), necessari per desenvolupar programes informàtics fonamentats en informació simbòlica, en clara oposició als llenguatges procedurals més clàssics de l'època. L'objectiu no era altra que solucionar un problema concret plantejat a una indústria alimentària local, famosa per les seves sopes i la seva imatge sobradament explotada pel polifacètic Andy Warhol. L'expert cuiner de Sopes Campbell era proper a la seva jubilació, i amb ell desapareixia tot un coneixement, de clar caire heurístic, que permetia oferir a l'exigent clientela una sopa d'excel·lents i constants qualitats organolèptiques. Calia, doncs, trobar una eina capaç d'ordenar i sistematitzar tot aquest coneixement acumulat pel cuiner, i que possibilités la independència entre el procés de fabricació i l'expert habitual.

Aquesta primera passa va permetre formalitzar l'estudi de programes informàtics que pretenien emular la capacitat de raonament humana de cara a la resolució d'un problema concret.

A finals del anys setanta van aparèixer ja els primers resultats espectaculars, essent la Stanford University qui va presentar un programa informàtic que, mitjançant un seguit de preguntes i respostes, oferia una diagnosi intel·ligent de la possible malaltia infecciosa contreta pel pacient.

El boom sofert pel món de la intel·ligència artificial a partir dels anys vuitanta, ha comportat una diversificació dels camps d'aplicació dels sistemes experts. Disseny, control, supervisió, planificació, predicció, interpretació o detecció d'errades, són alguns dels molts exemples d'aplicació de SE que recull la bibliografia.

Aplicats al món de l'enginyeria ambiental i més concretament del camp de l'aigua, hi ha diversos precedents de sistemes experts desenvolupats per resoldre determinats assumptes que habitualment han estat solucionats per experts. A (Hushon, 1987) apareix un llistat exhaustiu que fa referència als treballs publicats fins aleshores, mentre que estudis més recents (Mohan i Arumugam, 1997; Sheperd i Ortolano, 1996; Wilde, 1994) mostren la diversificació de funcionalitat d'aquests sistemes experts.

Centrant-nos ja al món de l'aigua residual i les plantes de tractament, trobem que el primer precedent d'utilització de quelcom que recorda als sistemes experts, consisteix en la transcripció de vint regles de control del procés, fonamentades en coneixement heurístic, i que utilitzen lògica difosa per conferir un caràcter qualitatiu a les dades quantitatives (Beck *et al.*, 1978). Més tard, (Jenkins i Jowitt, 1987) varen utilitzar aquestes 20 regles per desenvolupar un sistema expert molt senzill que ajudés a la diagnosi de l'estat de la planta, mentre que (Berthouex *et al.*, 1987) va estendre el sistema incorporant-hi un major nombre de regles de diagnosi, i integrant-hi la base de dades, fet que li permetia disposar de certa informació sense haver de requerir constantment l'ajuda de l'usuari (Patry i Chapman, 1989).

Existeixen desenvolupament posteriors de sistemes experts generals per la diagnosi i operació de EDAR (Maeda, 1985; Johnston, 1985), i algun de més específic, com el de (Geselbracht *et al.*, 1986), que avalua els riscos d'esponjament dels llots biològics, amb la conseqüent mala sedimentabilitat de la biomassa als decantadors secundaris, o el de (Patry i Chapman, 1989), primer prototipus de sistema expert complet per a la diagnosi de l'estat del procés d'una EDAR de llots actius.

Propostes més recents i ambicioses es poden trobar a (Barnett, 1992; Barnett *et al.*, 1993; Stimson, 1993; Ladiges i Kayser, 1993; Krovidy, 1994; Okubo *et al.*, 1994; Serra *et al.*, 1993, 1994 i 1997; Yang i Kao, 1996; Zhu i Simpson, 1996; Hudson *et al.*, 1997).

4.2 Proposta de desenvolupament d'un Sistema Expert per a l'operació d'una EDAR

De cara al desenvolupament d'un SE que faciliti o complementi la gestió d'una EDAR cal obrir dos importants fronts de treball que considerin els dos principals components del sistema expert: el motor d'inferència i la base de coneixement.

4.2.1 El motor d'inferència

Com a mecanisme o motor d'inferència es pot triar entre treballar sobre algun entorn comercial existent al mercat (veure figura 4.2), o desenvolupar-ne un d'específic per a l'aplicació. El desenvolupament d'un entorn propi no és feina fàcil, i es precisa de bons programadors o enginyers de sistemes que dominin el llenguatge de programació escaient per a la codificació de la inferència o concatenació entre les regles contingudes a la base de coneixement. A la introducció ja s'ha fet esment a la separació total entre el motor d'inferència i la base de coneixement, tret que permet desenvolupar ambdós d'una manera independent, i sense excessiva interrelació entre els especialistes de cada àrea.

4.2.2 La base de coneixement

De cara al segon front de treball, el desenvolupament de la base de coneixement, apareix el que segurament és el principal coll d'ampolla en l'aplicació de sistemes experts: l'adquisició i estructuració del coneixement necessari per tal de construir les regles. Precisament s'ha especificat que el SE es sol aplicar en camps on el coneixement és poc clar, molt subjectiu, i en possessió d'un reduït grup d'experts, com és el cas de les EDAR. Per tal de construir aquesta base de coneixement, cal comptar amb tota la informació possible que es pugui extreure dels llibres, dels experts, i de l'estudi de dades històriques del procés.

4.2.2.1 Adquisició de coneixement de la bibliografia

La bibliografia ens ofereix un munt de llibres especialitzats, manuals i articles de recerca, dels quals es pot extreure molt coneixement de tipus general. Aquest coneixement, encara que sempre serà poc específic de cara a la resolució de problemes concrets de cada EDAR en particular, conforma la primera teranyina de coneixement

general contingut a la base, i és perfectament exportable a qualsevol altra EDAR, doncs les regles que es poden extreure fan referència als principis bàsics de depuració, sense tenir en compte cap de les especificitats de la planta on es vol aplicar el sistema.

La mecànica d'extracció del coneixement bibliogràfic consisteix en la transcripció dels fonaments teòrics que contenen, expressats en forma de regla. Per exemple, de la cita "When mixed liquor dissolved oxygen levels drop below 2 mg/L, nitrification will begin to be inhibited" (WPCF, 1994), es pot inferir que, per regla general, si volem evitar possibles inhibicions de la nitrificació a la nostra EDAR, cal mantenir el nivell d'oxigen dissolt del bioreactor per sobre els 2 mg/L. Codificat en la unitat mínima de coneixement, obtindriem una regla del tipus:

SI el nivell d'OD al bioreactor < 2.0 mg/L **ALESHORES** possible inhibició de la nitrificació

4.2.2.2 Adquisició de coneixement dels experts

La segona de les fonts de coneixement a les que cal recórrer és la que ens ofereixen els propis experts del procés. La forma habitual d'extreure aquest tipus de coneixement sol consistir en l'establiment d'una sèrie d'entrevistes o converses amb diferents caps de planta i els seus operaris. En aquests casos succeeix que s'obté informació molt subjectiva, inconsistent i incompleta, i és un dels punts on es fa més evident la paradoxa de l'expert, que remarca que precisament la persona que més en sap d'un tema, és la que troba més dificultats per expressar exactament els mecanismes de raonament que segueix quan afronta un problema. S'estima que la productivitat d'aquest mecanisme d'adquisició de coneixement és molt baixa, obtenint-se un total d'entre 2 i 5 regles o unitats de coneixement per dia (Jackson, 1990).

Un exemple del procés deductiu que es deriva d'aquestes converses mantingudes amb els experts del procés queda reflexat a l'arbre de decisió de la figura 4.3 (Patry i Chapman, 1989), on apareix l'anàlisi que fa un cap de planta davant els problemes originats a la decantació secundària. A l'exemple s'aprecia un fort component heurístic, essent la informació simbòlica la que ajuda a discernir entre els diferents tipus de problema.

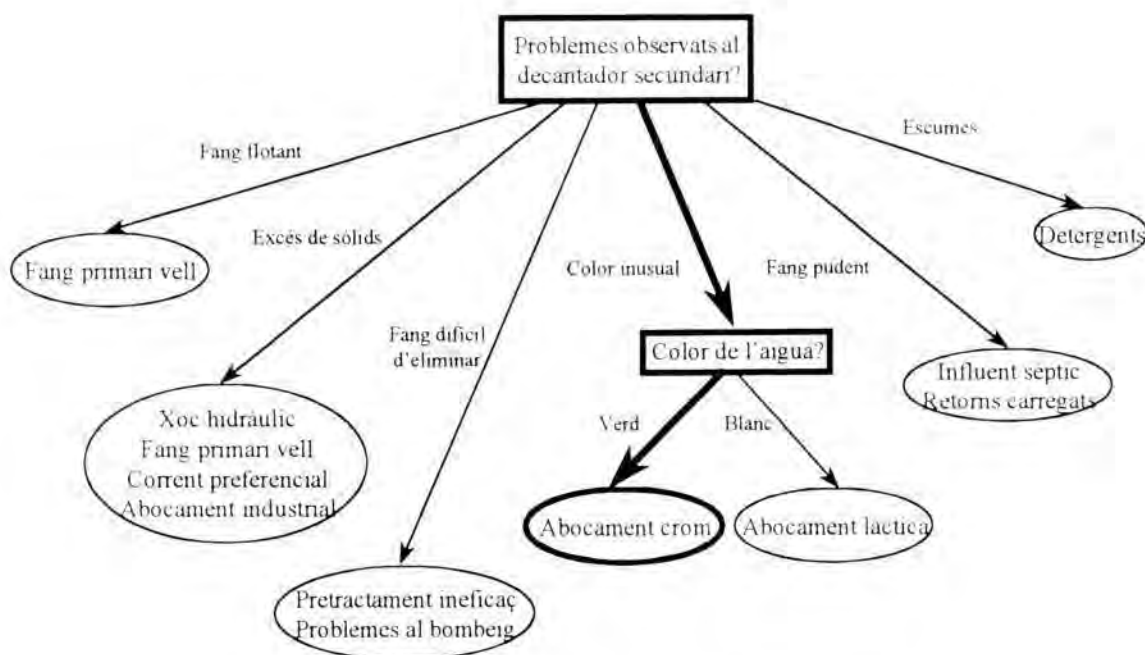


Figura 4.3. Arbre de diagnosi extret d'entrevistes amb l'expert

Realitzat l'esforç de representar en forma d'arbre tot el coneixement que s'ha adquirit de l'expert, la seva codificació en regles és de fàcil deducció. La transcripció del procés deductiu marcat en negreta a la figura queda recollit a la següent regla.

<i>problemes decantació secundària</i>			
SI	&	ALESHORES	<i>Possible abocament de crom</i>
<i>color aigua = verd</i>			

El tipus de coneixement que s'obté d'aquestes entrevistes pot ser específic, quan l'expert pertany a la EDAR on volem desenvolupar el SE, o general, quan l'expert no fa referència a cap EDAR concreta i es dedica a enumerar les seves estratègies de diagnosi i actuació front determinats problemes d'operació. En aquest últim cas, les regles obtingudes complementen la base de coneixement general iniciada amb la revisió de la bibliografia existent.

4.2.2.3 Adquisició de coneixement de les dades històriques

L'estudi de les dades històriques del procés conforma el tercer dels fronts d'on es pot extreure coneixement, en aquest cas específic, per a construir la base del sistema expert. Aquest estudi es pot realitzar d'una manera automàtica o mitjançant tècniques

semiautomàtiques que combinen l'ús d'algoritmes de classificació amb la supervisió dels experts. Un llistat de les primeres apareix a (Ke i Ali, 1991), mentre que entre els darrers es troba (López de Mántaras, 1991, Kononenko i Bratko, 1991; Quinlan, 1986; Béjar, 1995). Precisament a (Béjar, 1995) es mostra el funcionament de **Linneo**⁺. Linneo⁺ és un software desenvolupat a la UPC per a la classificació heurística i generació automàtica de regles que utilitza tècniques analítiques i empíriques d'adquisició del coneixement.

La sistemàtica del procés classificatiu amb Linneo⁺ implica fer una tria de les dades històriques del procés emmagatzemades a la EDAR. Cal triar solament aquelles variables que realment siguin rellevants per determinar l'estat de la planta, i que s'hagin enregistrat amb una freqüència suficientment elevada. S'accepta la possibilitat de treballar amb tot tipus de variables, tant numèriques com simbòliques. Aquest conjunt de dades s'introdueix en forma de matriu a Linneo⁺, contenint els dies d'operació a les fileres i les variables triades a les columnes. Un algorisme de classificació agrupa els conjunts de dies dins unes classes en funció del grau de similitud existent. Aquest grau de similitud es calcula a partir d'una distància n-dimensional, essent n el nombre de variables considerades. El resultat final de la classificació és un determinat nombre de classes formades per diferents conjunts de dies. Cada una d'aquestes classes representa un dels diferents estats del procés que han existit dins el període estudiat. El procés de classificació és de tipus iteratiu, doncs és l'usuari qui ha de determinar el tamany d'aquestes classes, en funció de l'avaluació que fa dels resultats que va obtenint.

Obtingudes i validades les diferents classes que Linneo⁺ ha extret del conjunt de dades històriques del procés, l'expert s'encarrega de caracteritzar la situació que es correspon a cada conjunt de dies. Així, pel cas de les EDAR podem determinar classes que continguin dies corresponents a situacions com ara: normalitat, tempesta, tempesta amb arrossegament, xoc de zinc, xoc de càrrega, problemes a la decantació secundària, etc. La taula 4.1 mostra un exemple simplificat del tipus de resultats que pot proporcionar Linneo⁺, amb un conjunt de 152 dies i 14 variables quantitatives estudiades. La taula proporciona el valor del centre de la classe i conté, per tant, el valor mitjà que prenen les variables del conjunt de dies continguts a cada classe.

Atributs	Classe 1	Classe 2	Classe 4
Q-E	28356	37452	29002
PH-E	7.6	7.5	7.3
SS-E	234	152	857
SSV-E	172	55	662
DQO-E	480	114	1204
DBO-E	228	87	680
PH-S	7.4	7.8	7.1
SS-S	15.8	8	22
SSV-S	11.9	5	18
DQO-S	58.3	24	90
DBO-S	20.8	14	32
V30-B	180	280	234
SRT-B	4.5	6.2	5.2
SSVLM-B	1390	1845	1989
Diagnosi	Normal	Tempesta	Abocament industrial
Núm. dies	132	14	6

Taula 4.1 Exemple del tipus de resultats obtinguts amb Linneo

De l'estudi del centre de cada una d'aquestes classes se'n pot concloure, d'una manera semiautomàtica, un conjunt de possibles regles de diagnosi. Solament cal extreure quines han estat les variables determinants alhora de discernir una classe de la resta, i codificar-ho en forma de regla. Un exemple referent a la classe 2 de la taula 4.1 podria ser

<i>Cabal-entrada</i> 35000 m ³ d			
&			
SI	<i>Sòlids-suspensió-entrada</i> 175 mg/L	ALESHORES	<i>Possible tempesta</i>
&			
<i>DQO-entrada</i> 125 mg/L			

A la figura 4.4 queda esquematitzat el procés iteratiu d'extracció, mitjançant Linneo, del coneixement contingut a la base de dades històrica de la EDAR.

Existeix la possibilitat d'automatitzar plenament la construcció de les regles de diagnosi, mitjançant l'aplicació de GAR (Riaño i Cortés, 1997), generador automàtic de regles a partir dels resultats obtinguts de la classificació amb Linneo.

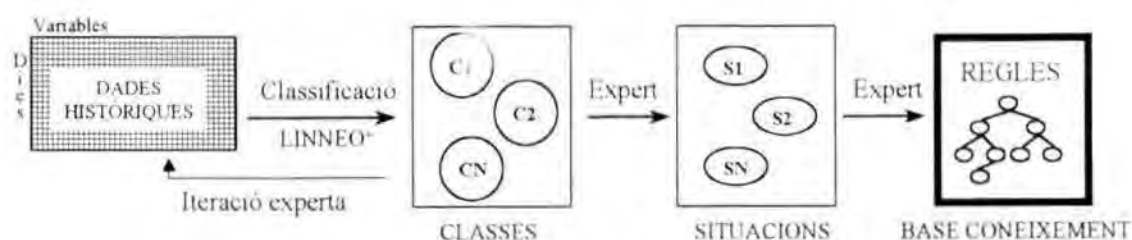


Figura 4.4 Esquema del procés de classificació amb Linneo.

4.2.2.4 Síntesi

Així doncs, de cara al desenvolupament de la base de coneixement del SE, cal tenir en compte els dos tipus de coneixement, el general obtingut a partir de la bibliografia i entrevistes amb experts, i l'específic, més difícil d'adquirir doncs les fonts d'estudi són les dades històriques enregistrades a la EDAR i les converses amb el cap de planta i/o els operaris del procés. La taula 4.2 sintetitza aquestes fonts i el tipus de coneixement que se'n pot extreure.

Font	Procés	Tipus de coneixement
Bibliogràfica	Estudi	General
Experts	Entrevista	
Cap de planta i/o operaris	Entrevista	Específic
Dades històriques	Classificació	

Taula 4.2 Font i tipus de coneixement pel SE

4.3 Desenvolupament del Sistema Expert per a la EDAR de Girona

Per tal de desenvolupar un SE de possible aplicació a la EDAR de Girona, cal disposar d'un motor d'inferència, propi o comercial, i d'una àmplia base de coneixement.

4.3.1 El motor d'inferència

Respecte al motor d'inferència sembla ser una solució pràctica, encara que costosa, la utilització del software comercial G2, fet que ens permet oblidar aquest complicat aspecte informàtic, alhora que ens ajuda a centrar-nos en el difícil desenvolupament de la base de coneixement. Acabat el desenvolupament del SE, i decidida la seva possible

implementació a la EDAR de Girona, fóra bo plantejar-se la creació d'un codi propi, amb menys prestacions que l'entorn comercial G2, però suficient potència per a gestionar amb mecanismes simples de concatenació (el més habitual és cap endavant) els pocs centenars de regles que pot arribar a contenir el SE.

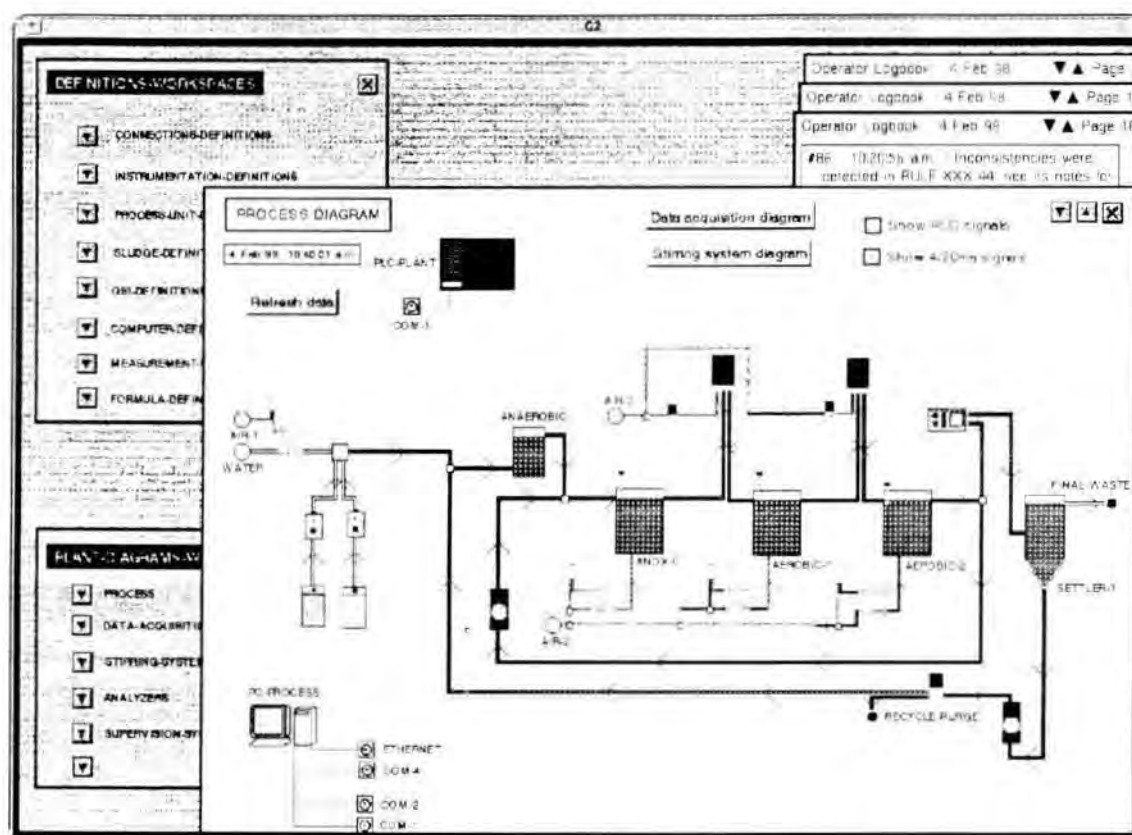


Figura 4.5 Mostra de la interfície típica de l'entorn G2

Assumint la recomanació respecte a la utilització de G2 com a motor d'inferència del SE, el principal front de treball per l'aplicació a la EDAR de Girona ha estat l'adquisició del coneixement, general i específic, per tal de construir els arbres de decisió i codificar les regles que formin part de la base de coneixement del procés.

4.3.2 Coneixement específic de la EDAR de Girona

La base de coneixement específic de la EDAR queda conformada a partir de les converses mantingudes amb el cap de planta i/o els operaris, i mitjançant l'estudi de certes dades històriques del procés. La qualitat d'aquesta base de coneixement i, en conseqüència el correcte funcionament del SE, dependrà de la qualitat d'aquest estudi.

4.3.2.1 Entrevista

Coneguda i caracteritzada la EDAR de Girona, el procés, la informació disponible i els llaços de control existents (veure tema 3), l'establiment d'una sèrie de converses amb els responsables de la planta ha de permetre l'extracció del coneixement referent a l'operació que es porta a terme, tant pel que respecte a la diagnosi dels problemes, com pel que respecte a la seva proposta d'actuació.

Pel cas de la EDAR de Girona, el seu cap de planta (Gabriela Poch) destaca i sistematitza tres principals situacions que afecten el bon funcionament de la línia d'aigües.

Problemes de separació als decantadors secundaris, fet que provoca un excés de sòlids a l'efluent. Existeixen tres indicis diferents que comporten la identificació de la situació: el valor analític dels SS o els SSV de la mostra integrada de l'efluent de la planta, l'observació física al propi decantador de petits/grans flocs de fangs que surten a la superfície i s'escapen amb l'aigua tractada, i la prova analítica de la V30, que comporta conclusions numèriques (valors alts de V30 o IVF indiquen esponjament del fang) i observacions físiques com l'aspecte del floc, la terbolesa del sobrenadant o la flotació de part dels llots. Un cop conclosa la diagnosi dels problemes de separació a la decantació secundària, la EDAR de Girona té establert un pla prou sistematitzat per tal de determinar l'origen del problema. Una observació microscòpica dels sòlids que s'escapen amb l'efluent permet esbrinar si els principals protozous habitualment presents són vius o morts. En cas d'absència o inactivitat, la causa més probable és la d'un xoc de tòxics, i aleshores la diagnosi continua cap a un camí específic de determinació del tipus i durada del xoc (l'actuació que porten a terme a la EDAR de Girona consisteix en un augment del nivell d'oxigen dissolt a les dues basses d'activació i, contràriament al que recomana la bibliografia, no augmenten la quantitat de fangs purgats, doncs la manca de sedimentabilitat de la biomassa afectada implica que aquesta retorni d'una manera cíclica des dels espessidors fins als bioreactors).

Per contra, quan els microorganismes són vius cal estudiar la presència relativa de bacteris filamentosos a la mostra, doncs tant una proliferació excessiva (esponjament del fang o "bülquing"), com una manca absoluta de filamentosos (pin-point) comporten l'enterboliment de l'efluent i l'augment significatiu de la quantitat de sòlids en suspensió

present. Quan s'observa un bon equilibri entre bacteris filamentosos i floculs a la mostra, la causa més probable d'aquest augment de sòlids en suspensió a l'efluent és la desnitrificació incontrolada ("rising"). Les actuacions que proposa el cap de planta es diferencien en funció de la causa. Pel cas de desnitrificació incontrolada als decantadors secundaris, s'estableix un augment del cabal de purga que disminueixi l'edat cel·lular fins a valors que evitin el creixement de bacteris nitrificants al procés. Quan el problema coincideix amb les elevades temperatures de l'estiu, pot ser necessària una reducció excessiva de l'edat cel·lular per rentar els bacteris nitrificants del sistema, i l'acció de control a considerar són la disminució del cabal d'oxigen aportat, per tal d'augmentar la relació DQO-influent / O₂ present, i afavorir el creixement dels bacteris heteròtrofs en front els autòtrofs.

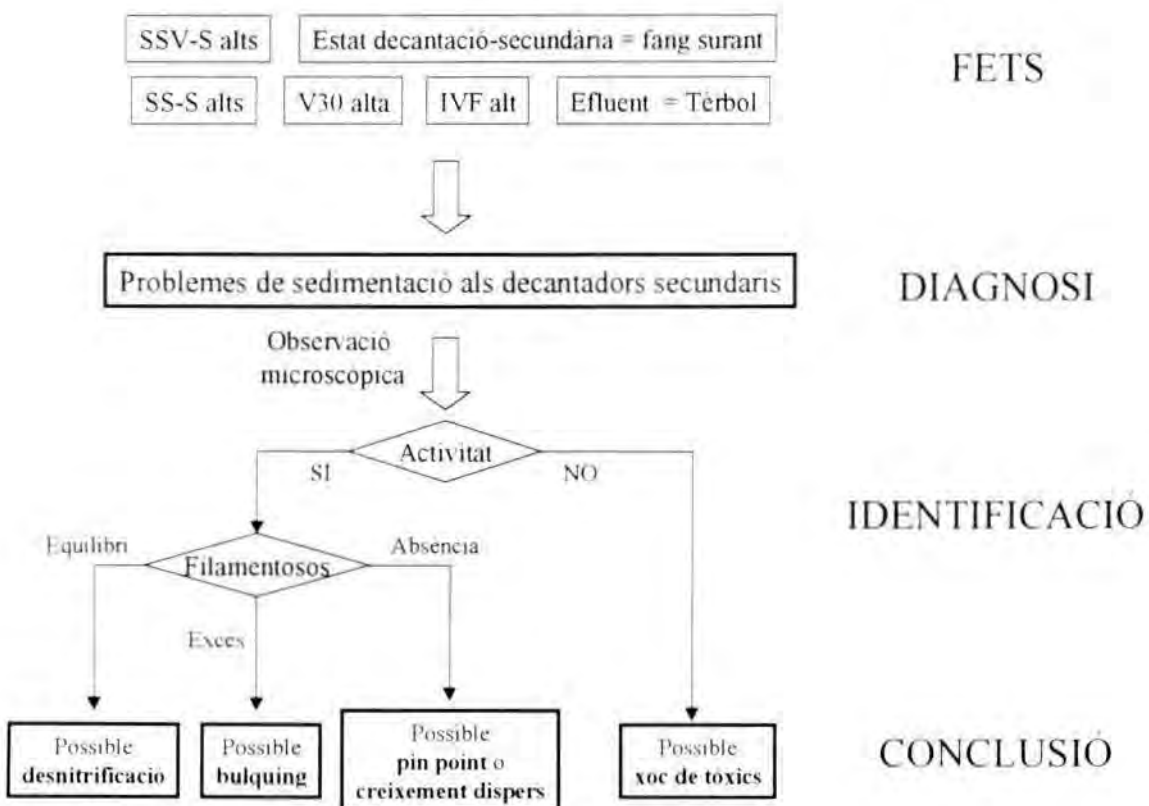


Figura 4.6 Cicle de diagnosi per la situació de mala separació a la decantació secundària

Si el problema és degut a una proliferació excessiva de filamentosos, es determina la causa del desequilibri mitjançant l'observació i identificació microscòpica. A la EDAR de Girona, el filamentós més habitual és del tipus 021N, i sol correspondre a una manca de nutrients pel bon desenvolupament de la biomassa. La solució passa per una disminució de la dosificació de sals de ferro al tractament físico-químic, principal punt d'eliminació de fòsfor. Per últim, quan el problema es dona per la feblesa dels floculs

(pin point o manca total de filamentosos i creixement dispers o manca de producció de polímer exocel·lular), la solució proposada radica en afavorir la formació de floculs més grans i pesants amb l'addició de coagulants i/o floculants.

Tempesta, situació que es dona quan la inestabilitat meteorològica comporta un llarg període de fortes pluges. En aquests casos, per tal d'evitar sobrecàrregues hidràuliques als col·lectors que creuen per sota el riu Ter, la xarxa de clavegueram de Girona disposa d'una sèrie de comportes automàtiques que deriven l'aigua de la pluja directament cap el riu. Aquest fet implica una disminució clara del cabal que arriba a capçalera de la EDAR, amb l'agreujant que aquesta poca aigua ve molt poc carregada de matèria orgànica (efecte de dilució) i de sòlids en suspensió (la circulació de l'aigua pel col·lector es dona per sobreexidor). Paradoxalment ens trobem amb el fet que arriba poc substrat per alimentar els microorganismes de les basses. És per això que l'actuació del cap de planta s'encamina a mantenir amb el màxim de cura la seva biomassa, la qual haurà d'estar preparada per rebre els xocs de cabal i càrrega que es donaran quan la situació de tempesta s'esvaeixi i es restableixin les condicions normals de funcionament del col·lector.

Xoc de càrrega. Degut a abocaments puntuals d'indústries properes, la EDAR de Girona viu freqüents episodis d'alta càrrega a l'aigua residual que prové del col·lector. En molts casos l'abocament va precedit d'un acord entre la indústria i la EDAR, fet que permet al cap de planta preparar el procés per respondre positivament a l'augment sobtat de matèria orgànica. No obstant, aquesta situació també es produeix moltes vegades sense previ avís. La manca d'un sensor en línia que informi puntualment del valor de DQO o DBO₅ influent, dificulta la detecció de l'abocament (els resultats analítics de la mostra integrada de l'entrada s'obtenen amb més d'un dia de retràs). El fet que permet inferir el xoc de càrrega, sense necessitat de determinacions analítiques, ve donat pel seguiment de la potència dels bufadors encarregats de proporcionar l'aire suficient a les dues basses d'activació. Quan l'influent porta una càrrega normal, els tres bufadors existents a la EDAR de Girona van sobrats per mantenir el punt de consigna del llaç de control d'oxigen dissolt. Per contra, quan hi ha un xoc de càrrega, la màxima potència dels tres bufadors es mostra insuficient, i el valor d'oxigen dissolt es manté per sota el desitjat. Aquest fet, de fàcil seguiment pels operaris de la EDAR, denota l'elevada concentració de matèria orgànica que arriba als bioreactors, i obliga a prendre mesures

correctives que evitin un augment de DQO amb l'efluent del procés. L'actuació prevista pel cap de planta de Girona implica un augment a la dosificació de les sals de ferro del tractament físico-químic, per tal de provocar una major precipitació de matèria orgànica als decantadors primaris del procés, i una disminució del requeriment d'oxigen dissolt als bioreactors.

El resultat de l'entrevista és la sistematització de la diagnosi i l'actuació específica, que es dona a la EDAR, davant certes situacions conegudes i habituals. La figura 4.6 recull el diagrama de flux que es correspon a la diagnosi de la primera de les situacions detallades pel cap de la EDAR de Girona, la mala decantació dels llots als decantadors secundaris. Les principals regles específiques que es poden extreure d'aquest cicle són les següents:

Diagnosi

SI $SS-S = \text{alts}$ ALESHORES Mala_Sedimentació_Dec-2 = vertader

SI $SSV-S = \text{alts}$ ALESHORES Mala_Sedimentació_Dec-2 = vertader

SI $V30 = \text{alta}$ ALESHORES Mala_Sedimentació_Dec-2 = vertader

SI $IVF = \text{alt}$ ALESHORES Mala_Sedimentació_Dec-2 = vertader

SI *Efluent = tèrbol* ALESHORES Mala_Sedimentació_Dec-2 = vertader

SI *Estat_Dec-2 = fang_surant* ALESHORES Mala_Sedimentació_Dec-2 = vertader

SI Mala_Sedimentació_Dec-2 = vertader ALESHORES Envia missatge MSD2_1

Missatge MSD2_1

"La possible situació de la EDAR en aquest moments és la de **Mala sedimentació a la decantació secundària**. Convé fer una observació microscòpica d'una mostra del licor mescla per tal de determinar el possible origen d'aquesta situació. Estudia l'activitat de la fauna present per tal de descartar un xoc de tòxics, i avalua l'equilibri entre bacteris filamentosos per discernir entre bülquing, desnitrificació, pin point, o creixement dispers"

<i>Mala_Sedimentació_Dec-2 = vertader</i>			
SI	&	ALESHORES	<i>Xoc_de_tòxics = vertader</i>
			<i>Activitat_microscopi = fals</i>

<i>Mala_Sedimentació_Dec-2 = vertader</i>			
SI	&	ALESHORES	<i>Bulquang_fil = vertader</i>
			<i>Filamentosos = excès</i>

<i>Mala_Sedimentació_Dec-2 = vertader</i>			
SI	&	ALESHORES	<i>DI = vertader</i>
			<i>Filamentosos = normal</i>

<i>Mala_Sedimentació_Dec-2 = vertader</i>			
SI	&	ALESHORES	<i>Pin-point = vertader</i>
			<i>Filamentosos = absència_total</i>

Actuació

SI	<i>Xoc_de_tòxics = vertader</i>	ALESHORES	<i>Envia missatge XT_1</i>
-----------	---------------------------------	------------------	----------------------------

			<i>Envia missatge BF_1</i>
SI	<i>Bulquing_fil = vertader</i>	ALESHORES	&
			<i>Obre Ajuda_Microscopi²</i>

SI	<i>DI = vertader</i>	ALESHORES	<i>Envia missatge DI_1</i>
-----------	----------------------	------------------	----------------------------

SI	<i>Pin-point = vertader</i>	ALESHORES	<i>Envia missatge PP_1</i>
-----------	-----------------------------	------------------	----------------------------

² Aquest mòdul, esquematitzat a l'Apèndix A, orienta a l'usuari en l'observació microscòpica del licor mescla, tant per la identificació dels protozous, com en la dels filamentosos, alhora que continua el procés d'inferència del SE, conclouent les possibles causes dels desequilibris produïts, i aconsellant al cap de planta l'actuació pertinent

Missatge XT_1

"La situació més probable a la EDAR en aquest moments és la de **Xoc de Tòxics**. Comprova el possible origen entre les indústries habituals, i aplica el següent pla d'actuació:

- augmenta el nivell d'OD a les basses d'activació
- manté el cabal de purga
- si el Xoc és important, augmenta la dosificació de sals de ferro al tractament físico-químic"

Missatge BF_1

"La situació més probable a la EDAR en aquest moments és la de **Búlquing filamentós**. Aplica el següent pla d'actuació:

- Identifica el bacteri filamentós predominant.
- Introdueix els resultats de l'observació al mòdul d'Ajuda_Microscopi del sistema.
- Actua en conseqüència a la diagnosi"

Missatge DI_1

"La situació més probable a la EDAR en aquest moments és la de **Desnitrificació Incontrolada**. Aplica el següent pla d'actuació:

- augmenta el cabal de purga per tal de disminuir l'edat cel·lular
- disminueix la concentració d'oxigen dissolt a les basses d'activació
- augmenta el cabal de recirculació"

Missatge PP_1

"La situació més probable a la EDAR en aquest moments és la de **Pin Point**. Aplica el següent pla d'actuació:

- augmenta la dosificació de sals de ferro al tractament físico-químic
- afegeix polielectrolit a les basses d'activació per tal de millorar la sedimentació als decantadors secundaris"

De la mateixa manera que s'han elaborat les regles específiques de diagnosi i actuació pel cas de mala sedimentabilitat a la decantació secundària de la EDAR de Girona, es poden codificar la resta de situacions que ha descrit el cap de planta: tempesta i xoc de càrrega.

4.3.2.2 Dades històriques

Estudiada ja la EDAR, la següent passa consisteix en la recollecció d'un conjunt de dades corresponent a un període de temps raonablement llarg (concretament es varen prendre els valors del període setembre 1995 - setembre 1996, ambdós mesos inclosos, per a fer un total de 396 dies d'operació de la EDAR). Cal fer-ne un estudi i veure quines són les variable que realment queden enregistrades en suport informàtic, per tal d'escollir finalment el conjunt de variables que poden servir per a definir l'estat de la planta. En el nostre cas, amb la decisió assumida de centrar-se principalment a la línia d'aigües de la EDAR de Girona, els atributs considerats han estat els que apareixen a la taula 4.3.

Com es pot apreciar, el conjunt de dades es fonamenta en variables de tipus analític (referents a nutrients, matèria orgànica, sòlids en suspensió i sedimentabilitat) i valors mitjans procedents de sensors (cabals i pH), a més d'una sèrie de variables globals com ara la càrrega massica (C_M), la càrrega volumètrica (C_V), o quocients entre variables ja determinades (DBO/DQO, MCRT o TRH). Destaca l'absència d'un registre de variables de tipus qualitatiu (observacions microscòpiques, colors, olors, etc.), fet que impedeix la inclusió d'aquest tipus de variables de cara a la codificació en forma de regles del coneixement específic adquirit a partir de l'estudi de les dades històriques.

Cabals	Entrada planta	Entrada biològic	Sortida planta	Licor mescla	Globals
influent	pH, SS, SSV,	pH, SS, SSV,	pH, SS, SSV,	V30, SSLM,	C_M , MCRT,
biològic	DQO, DBO,	DQO, DBO,	DQO, DBO,	SSVLM, IM	C_V , TRH
recirculació	NKT, NH_4^+ ,	NKT, NH_4^+ ,	NKT, NH_4^+ ,		
purga	P, DBO/DQO	P, DBO/DQO	P, DBO/DQO		
aire					
sal de ferro					

Taula 4.3. Variables recollides de la EDAR de Girona.

Un filtrat previ, seguit d'un bon estudi matemàtic de la matriu de dades permet familiaritzar-se amb els registres habituals, fixar els valors mitjans esperats, apreciar màxims i mínims, calcular dispersions, etc.

Després d'aquest període d'aclimatació als nivells de la EDAR de Girona, s'ha procedit a una classificació amb Linneo[®] per tal de concloure d'una manera automàtica els principals tipus de situacions que caracteritzen el funcionament habitual de la planta. Alhora d'introduir les variables o atributs a Linneo[®], i per tal d'optimitzar-ne el seu funcionament eliminant redundàncies i possibles distorsions, s'ha realitzat una segona tria de variables, les quals queden recollides a la taula 4.4.

Cabals	Entrada planta	Entrada biològic	Sortida planta	Licor mescla
influent	pH, SS, SSV,	pH, SS, SSV,	pH, SS, SSV,	V30, SSLM,
biològic	DQO, DBO,	DQO, DBO,	DQO, DBO,	SSVLM,

Taula 4.4 Variables introduïdes a Linneo[®]

S'observa que s'han eliminat les variables globals (redundància), les actuacions (distorsió) i les que fan referència als nutrients (menor freqüència d'anàlisi), disminuint el número total d'atributs fins a un total de vint.

Els principals resultats finals de la classificació, amb un radi de treball de 3.5 (el valor del radi dona idea de la mida de les classes resultants), i un total de 6 classes o situacions diferenciades, es presenten a la taula 4.5, seguits de la caracterització realitzada per l'expert de cada una de les classes, conjuntament amb la proposta d'actuació. A l'apèndix B queden recollits els resultats complets.

Classe	Núm. dies	Diagnosi	Dates
1	378	Normal	-
2	6	Tempesta	30,31/I/96; 1,2,3,4/II/96
3	5	Búlquing	21,27/III/96; 26/VII/96 11,12/IX/96
4	2	Xoc de Càrrega	28/III/96; 31/VII/96
5	4	Terbolesa	9,16,17/IX/96; 26/VI/96
6	1	Baixa Càrrega	3/IX/95

Taula 4.5 Resultats de la classificació amb Linneo[®]

= Classe 1. És la majoritària, i implica que cap de les variables (atributs) caracteritzats s'allunya prou de la mitjana com per donar una consideració especial a cap dels seus dies (objectes).

Actuació.

- mantenir el punt de consigna d'oxigen dissolt a les basses
- mantenir el cabal de purga
- mantenir la dosificació de sals de ferro al tractament físico-químic

= *Classe 2*: També aquesta és una classe molt clara, i fa referència a aquells períodes en que el nivell de pluges ha estat elevat i continu. Tal i com ja s'ha explicat a la secció 4.3.1.1 (entrevista amb el cap de planta), en cas de forta tempesta, el particular sistema de sobreexidors de la xarxa de clavegueram de Girona deriva la major part de l'aigua pluvial cap el riu, fet que implica una evident disminució de cabal i càrrega de l'influent. L'actuació que porta a terme el cap de planta (no reflexada a les variables considerades per a la classificació) té com a objectiu la preparació de la EDAR per fer front al restabliment de les condicions normals del procés. En aquests casos s'anul·la el cabal de purga i l'addició de sals de ferro, mentre que els cabals de recirculació i d'aire als bioreactors disminueixen automàticament sense que es faci necessària cap acció de control complementària.

Actuació.

- mantenir el punt de consigna d'oxigen dissolt a les basses
- tancar la sortida de fangs en excés (cabal de purga = 0)
- eliminar la dosificació de sals de ferro al tractament físico-químic

= *Classe 3*: Dies o períodes en els quals la sedimentabilitat de la biomassa és especialment dolenta (valors alts de V30), provocant valors força elevats de SS, SSV, DQO i DBO₅ a la sortida, tot i que els valors d'entrada a la planta han estat normals. L'explicació a aquest fenomen, conegut amb el nom de búlquing, és el desenvolupament d'un gran nombre de bacteris filamentosos que formen un flocul gran però esponjós que té tendència a surar cap a la superfície del decantador secundari.

Actuació.

- realitzar observació microscòpica del licor mescla de les basses d'activació per tal de confirmar la proliferació de bacteris filamentosos i descartar altres causes que provoquin una mala sedimentabilitat com ara un xoc de tòxics, manca total de filamentosos o desnitrificació.

- identificar el bacteri filamentós predominant
- aplicar actuació específica per a cada una de les possibles espècies de filamentosos (manca de nutrients, manca d'oxigen dissolt, xoc de font de carboni fàcilment biodegradable, aigües sèptiques, càrrega massica deficient, edat cel·lular excessiva, etc.)

≡ *Classe 4:* Dies corresponents a xocs puntuals de matèria orgànica i de sòlids en suspensió que fan augmentar molt els valors de DBO₅, DQO i SS a l'influent. En el cas del present estudi, la EDAR de Girona sol admetre sense gaires problemes aquest tipus d'abocaments, doncs són aigües majoritàriament biodegradables i sense cap mena de tòxic que pugui afectar el creixement dels microorganismes. Al tenir fixat i controlat el nivell d'oxigen dissolt a les basses, els bufadors s'encarreguen de proporcionar suficient oxigen als microorganismes per tal que aquests consumeixen aquest xoc de càrrega. Quan les puntes són molt pronunciades, un augment de la dosificació de sals de ferro al tractament primari complementen la feina dels bufadors.

Actuació

- mantenir el punt de consigna d'oxigen dissolt a les basses
- augmentar la sortida de fangs en excés
- augmentar la dosificació de sals de ferro al tractament fisico-químic

≡ *Classe 5: TERBOLESA.* Correspon a aquells dies en els que els valors de SS i SSV a l'efluent són alts, encara que els valors de la V30 i IM són prou baixos i, per tant, no ens trobem en un cas de presència de filamentosos. El fenomen, a determinar mitjançant observació microscòpica, podria correspondre a creixement dispers o a pin-point, produint-se un flocul molt petit i dèbil que provoca que el sobrenadant del decantador secundari presenti un aspecte molt tèrbol. Una altra possible causa podria ser l'abocament d'alguna mena de corrent tòxic per part d'alguna indústria connectada a la xarxa de clavegueram. La pròpia observació microscòpica de la mostra permetria descartar o confirmar aquesta causa en funció de l'activitat de la biomassa. També es pot apreciar que els valors de sòlids a l'aigua decantada (SS-D i SSV-D) són més alts que els habituals, per la qual cosa es podria inferir una baixa eficàcia d'eliminació al tractament primari.

Actuació

- realitzar observació microscòpica del licor mescla de les basses d'activació
- identificar la situació (pin-point, creixement dispers, desnitrificació incontrolada o proliferació de filamentosos)
- en cas de desnitrificació incontrolada evitar el creixement dels bacteris nitrificants disminuint l'edat cel·lular
- en cas de pin-point o creixement dispers afavorir la floculació amb productes químics
- en cas de xoc de tòxics, mantenir el cabal de purga i augmentar la concentració d'oxigen dissolt als reactors biològics.
- en cas de baix rendiment al primari, augmentar la dosificació de sals de ferro

#Classe 6: Es correspon a la situació que viu la EDAR el dia després d'una gran tempesta, caracteritzat per una lleugera recuperació de l'influent en quan a cabal, però encara amb una forta dilució tant de sòlids com de matèria orgànica. La planta no presenta cap problema per tractar l'influent, essent els valors de sortida acceptables, i fins i tot menors als habituals.

Actuació

- augment progressiu del cabal de purga, però a nivells encara baixos
- augment progressiu de la dosificació de sals de ferro al tractament físico-químic
- mantenir el punt d'oxigen dissolt a les basses d'activació.

A la taula 4.6 es poden apreciar els valors corresponents als centres de cada una de les sis classes determinades per Linneo⁺ (per centre s'entén el valor mitjà de la totalitat dels elements pertanyents a la classe), destacant-se en negreta aquells valors que han resultat determinants de cara a la caracterització de la classe.

De l'observació dels resultats reflexats a la taula 4.6 se'n poden extreure les regles de diagnosi específiques de les situacions detectades per Linneo⁺ del conjunt de dades històriques estudiades.

Atributs	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5	Classe 6
Q-E	42,176	22,564	40,796	41,116	40,398	33,364
QB-B	39,169	21,799	39,749	39,000	40,271	32,841
PH-E	7.6	7.5	7.7	7.3	7.6	7.3
SS-E	210.5	153.7	230.4	590.5	255.8	116
SSV-E	158.5	56.4	177	490.5	193.3	99
DQO-E	441.5	110.2	590.4	1,004	579.5	282
DBO-E	214	192.9	271.2	616	251	123
PH-D	7.6	7.6	7.7	7.6	7.6	7.3
SS-D	89.5	64.9	96.8	82	139.5	55
SSV-D	65.6	30.7	70	55.5	100.8	39
DQO-D	251.9	88.3	286.6	288	291	158
DBO-D	121.2	110.6	141.8	154	176.3	66
PH-S	7.5	7.4	7.7	7.7	7.7	7.2
SS-S	15.3	8.5	116.2	20.3	51.8	7.6
SSV-S	11.5	5.1	89	13.9	40.4	5.6
DQO-S	50.3	21.8	153.2	61	61.8	20
DBO-S	18.8	17	59.2	25.5	20.8	7
V30-B	260	339.3	413	237.5	216.8	200
SSLM-B	1,766	2,930	1,217	1,300	1,193.3	1,358
SSVLM-B	1,347	1,937	940	1,019.5	943	1,046

Taula 4.6 Centres de les classes obtingudes.

Q-E = molt baix
 &
 SI *SS-E = molt baix* **ALESHORES** *Situació = Possible Tempesta*
 &
DQO-E = molt baixa

SS-S = molt alts
 &
 SI *V30-S = alta* **ALESHORES** *Situació = Possible Bülquang*

SS-E = alts
 &
 SI *DQO-E = molt alta* **ALESHORES** *Situació = Possible Xoc de Carrega*

SS-S = alts
 &
 SI *V30-S = normal* **ALESHORES** *Situació = Possible Terbolesa*

$Q-E = \text{baix}$ $\&$ SI $SS-E = \text{baix}$ ALESHORES <i>Situació = Possible Baixa Càrrega</i> $\&$ $DQO-E = \text{baixa}$			
---	--	--	--

Es pot apreciar com les regles es codifiquen en funció de rangs qualitatius. El cap de planta és qui, com a usuari final del sistema, ha de calibrar aquests rangs i discretitzar cadascuna de les variables considerades.

4.3.3 Coneixement general per a qualsevol EDAR

La base de coneixement general del SE queda conformada a partir de l'estudi i síntesi dels fonaments teòrics presents a la bibliografia, així com de la sistematització del coneixement heurístic extret de diferents especialistes del camp de la depuració d'aigües residuals. L'avantatge d'aquest tipus de coneixement és que, un cop codificada la base, és perfectament exportable a qualsevol EDAR, doncs no conté cap mena d'especificitat que limiti el camp d'aplicació del coneixement contingut.

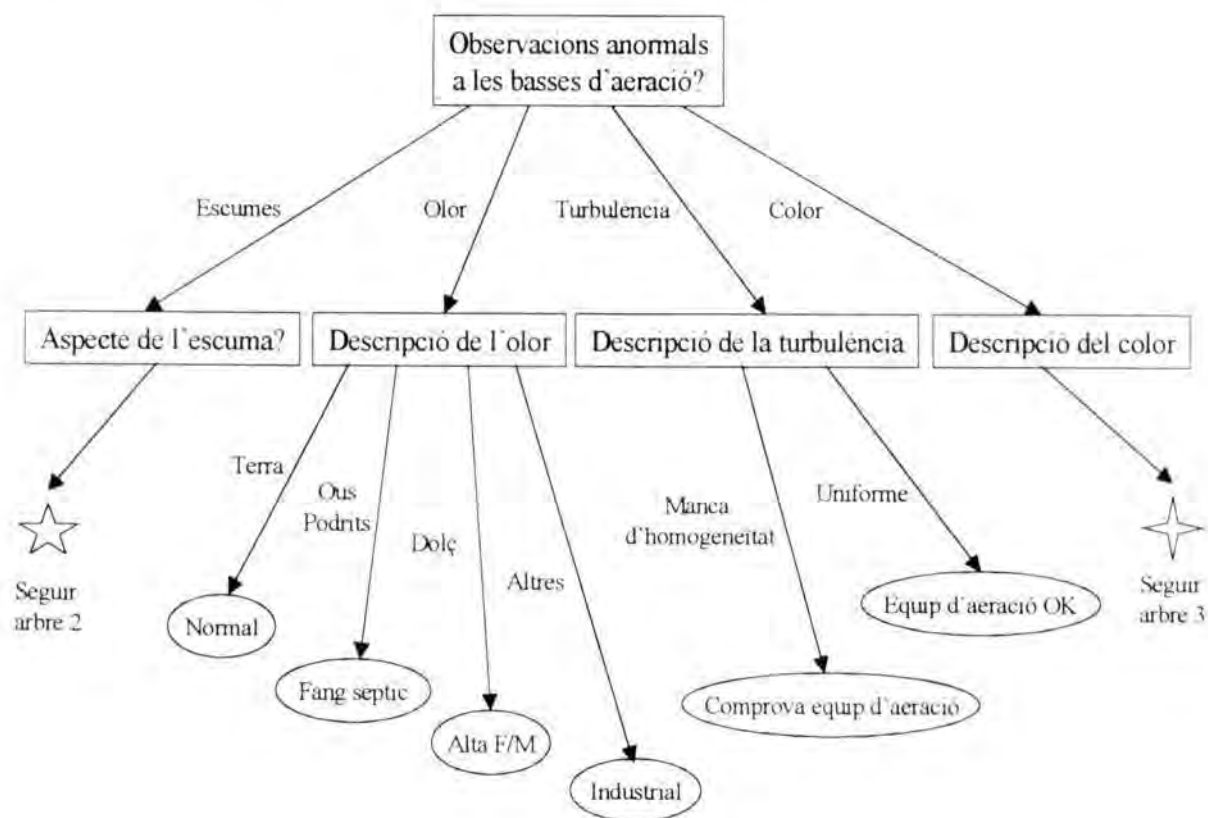


Figura 4.7-a Arbre general de diagnòstic dels problemes al reactor biològic

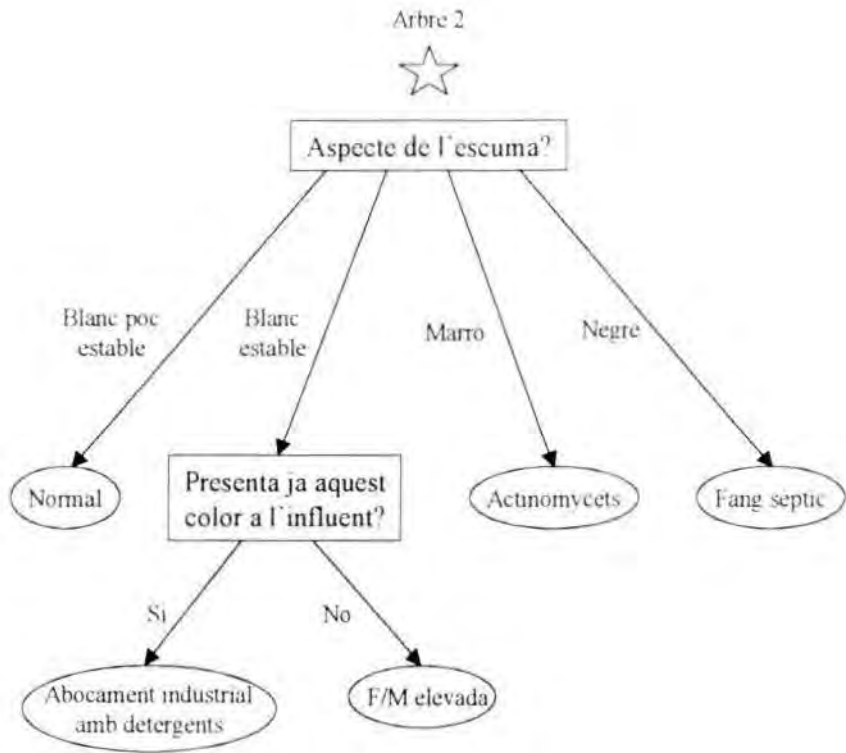


Figura 4.7-b Arbre general de diagnosi dels problemes al reactor biològic

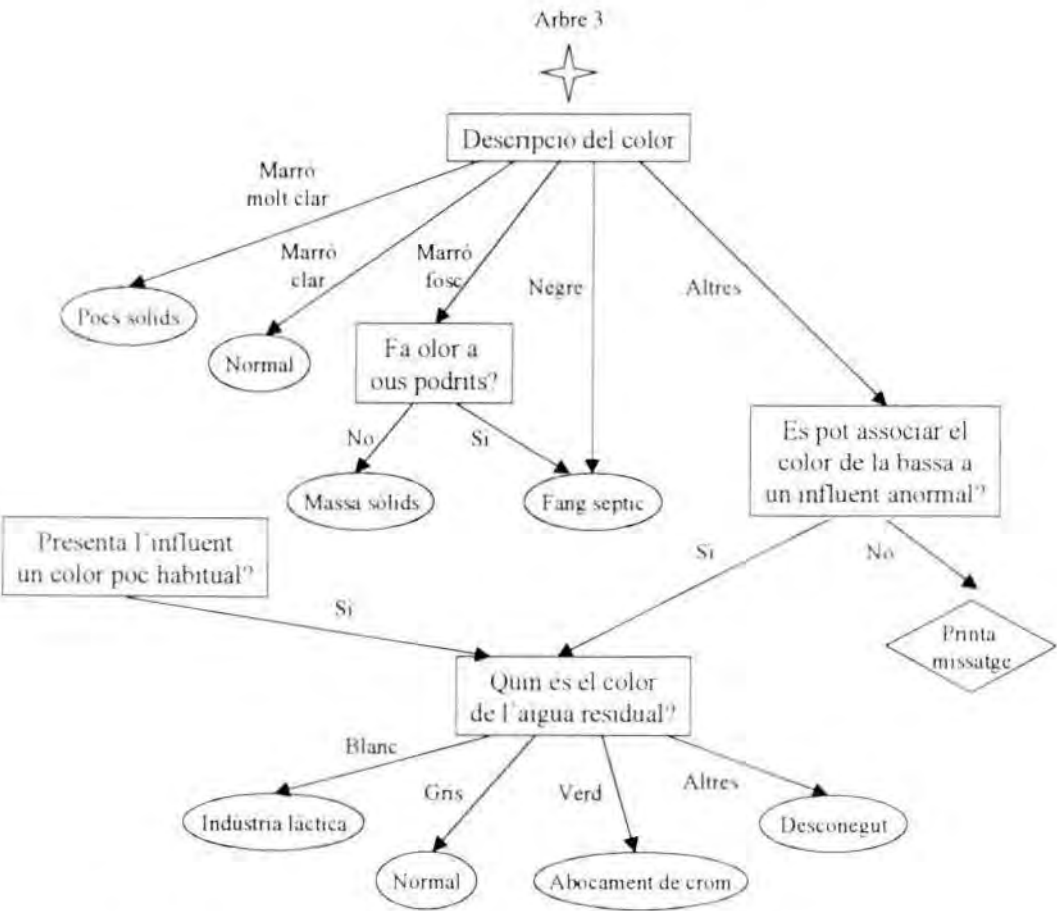


Figura 4.7-c Arbre general de diagnosi dels problemes al reactor biològic

Aquesta base de coneixement general es pot estructurar de diferents formes. Una primera proposta radica en distribuir diferents subagents de diagnosi local per a cada una de les unitats lògiques del procés, com (Patry & Chapman, 1989; R.-Roda, 1994; Sánchez *et al.*, 1994). Així, per exemple, (Patry & Chapman, 1989) desenvolupen un arbre lògic de decisió pels problemes a la sedimentació primària (veure figura 4.3), un altra per la bassa d'aeració (figura 4.7), del que pengen dos sub-arbres per les escumes i pel color del licor mescla, i un arbre final pels problemes a la decantació secundària amb sub-arbre pels problemes de separació.

Hi ha una segona forma d'estructurar el coneixement general dins la base del SE. Consisteix en tractar els possibles problemes d'una manera general, sense buscar la distribució per unitats dins la planta, i codificar el coneixement pertinent d'una manera global per a tot el procés.

Pel treball present s'ha triat aquest segon enfoc, doncs s'ha considerat que una distribució per unitats de procés pot condicionar l'exportabilitat del sistema a qualsevol EDAR, en contra la distribució global que minimitza l'especificitat del coneixement

Les situacions considerades, totes d'origen biològic i de tipus general, han estat les següents:

- escumes (per detergents i/o filamentosos),
- desnitrificació incontrolada (rising),
- esponjament del fang (per bülquing filamentós i/o bülquing viscós), i
- desfloculació (per creixement dispers, pin-point i/o xoc de tòxics)

4.3.3.1 Escumes

En general es poden produir tres tipus d'escumes a les EDAR.

Blanques i poc estables: principalment degudes als tensioactius presents als detergents. Apareixen a qualsevol lloc de la planta que presenti una forta agitació. No solen requerir actuació específica, però en cas necessari, com per exemple una inauguració, poden ésser eliminades amb l'addició d'un antiescumant.

Blanques i estables: degudes a la proliferació excessiva del bacteri filamentós tipus 1863. La causa és el desequilibri creat per una altíssima càrrega massica (F/M) al reactor biològic. És una situació típica de les postes en marxa del procés, quan la biomassa encara no s'ha desenvolupat completament i la planta ja rep la totalitat de l'aigua residual. L'actuació de control no és altra que esperar al desenvolupament complet de la fauna biològica, o disminuir la relació F/M.

Marrons: degudes a la proliferació excessiva dels bacteris filamentosos hidròfobs *Nocardia* i/o *Microthrix Parvicella*. L'escuma, principalment localitzada als reactors biològics, és d'aspecte molt viscos i estable.

Tot i que l'eficàcia del procés pot seguir essent bona, aquestes escumes poden retenir biomassa a la superfície (la qual roman inactiva), congelar-se a l'hivern, i provocar males olors a l'estiu. Quan la situació és molt severa, aquesta escuma pot arribar al decantador i escapar-se amb l'efluent. L'addició d'antiescumants resulta del tot ineficaç en aquests casos, i l'actuació s'ha d'encaminar a una disminució de l'edat cel·lular (per tal d'aprofitar la lenta cinètica de creixement de *Nocardia* i/o *Microthrix Parvicella*), a l'ús de selectors (creant condicions d'alta càrrega que afavoreixin el creixement de bacteris formadors de flocul en front els filamentosos), o a tractaments mecànics com l'ús de dutxes o la recollida de les escumes i els flotants.

Convé destacar dos fets. La disminució de l'edat cel·lular dels microorganismes, que alguns autors proposen que arribi fins a 2 dies (Cingolani i Ramadori, 1992), és difícil de portar a terme, doncs el procés habitual de purga implica l'eliminació de l'única biomassa que decanta amb correcció, deixant que els filamentosos s'acumulin amb edats cel·lulars elevadíssimes a determinats indrets del bioreactor.

Per altra banda, cal evitar els retorns i recirculacions de sobrenadants, doncs presenten una elevada concentració de filamentosos que reinoculen de manera constant el sistema. Una altra possibilitat és la de clorar aquests corrents, però sempre en punts d'elevada agitació, i amb dosis petites, controlades i fraccionades d'uns 5-20 Kg / Tn SST dia (Wanner, 1994).

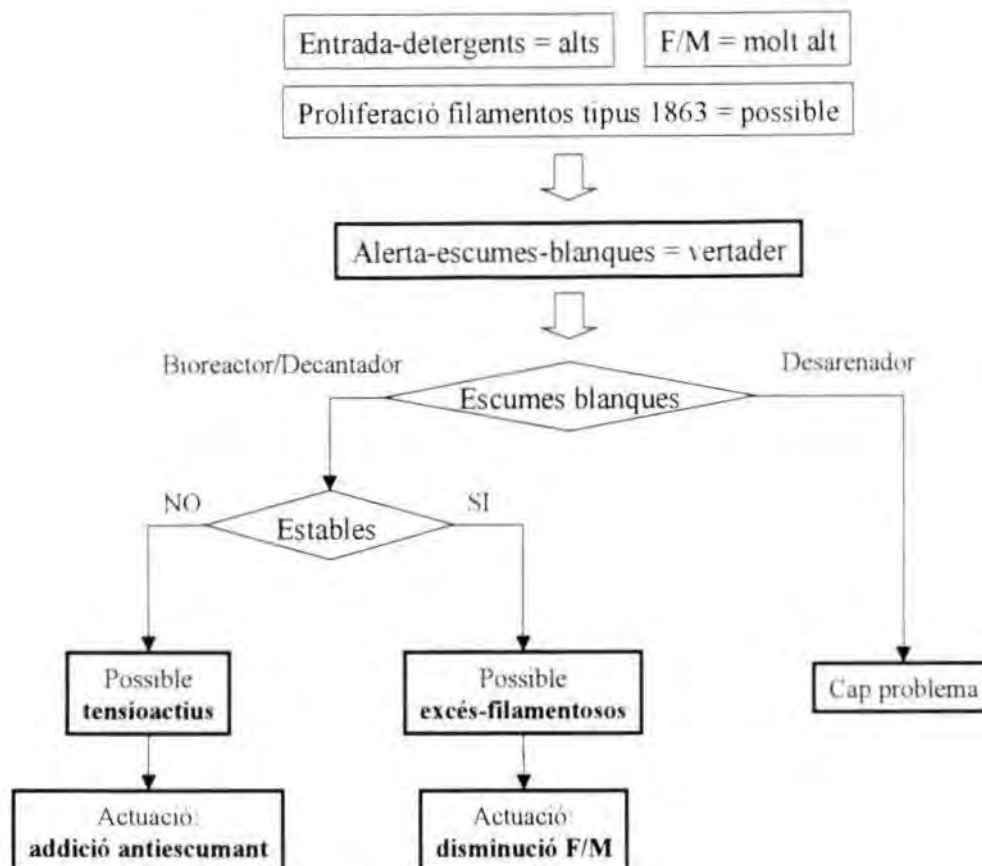


Figura 4.8 Arbre de decisió corresponent a les escumes blanques



Figura 4.9 Arbre de decisió corresponent a les escumes marrons

Les figures 4.8 i 4.9 mostren els dos arbres de decisió conformatats, i seguidament es llista el conjunt de regles generals que formen part de la base del SE que tracta la problemàtica de les escumes.

SI *entrada-detergents = alts* **ALESHORES** *Alerta-escumes-blanques = vertader*

SI *FM = molt alt* **ALESHORES** *Alerta-escumes-blanques = vertader*

SI *proliferació filamentos tipus 1863 = possible* **ALESHORES** *Alerta-escumes-blanques = vertader*

SI *Alerta-escumes-blanques = vertader* **ALESHORES** *invoca regles ALERTA EB
&
envia missatge EBI*

Missatge EBI

"Situació favorable per que apareguin **ESCUMES BLANQUES** a diferents indrets de la planta. Procura determinar aquesta possible presència d'escumes, el tipus i la seva localització"

Regles d'alarma

SI *escumes-blanques = estables* **ALESHORES** *Exces-filamentosos-1863 = vertader*

SI *Excès-filamentosos-1863 = vertader* **ALESHORES** *activa procediment EF-1863*

SI *escumes-blanques = inestables* **ALESHORES** *Tenstoactius = vertader*

SI *Tenstoactius = vertader* **ALESHORES** *activa procediment Tens*

Regles de diagnosi de foaming

SI *entrada-greixos = alts* **ALESHORES** *Alerta-foaming = vertader*

SI *FM = baixa* **ALESHORES** *Alerta-foaming = vertader*

SI *SRT = alta* **ALESHORES** *Alerta-foaming = vertader*

SI	<i>proliferació filamentós Nocardia = possible</i>	ALESHORES	<i>Alerta-foaming = vertader</i>
-----------	--	------------------	----------------------------------

SI	<i>proliferació filamentós Parvicella = possible</i>	ALESHORES	<i>Alerta-foaming = vertader</i>
-----------	--	------------------	----------------------------------

SI	<i>Alerta-foaming = vertader</i>	ALESHORES	<i>invoca regles ALERTA_F</i> & <i>envia missatge_F1</i>
-----------	----------------------------------	------------------	---

Missatge_F1

"Situació favorable per que aparegui **FOAMING** al reactor biològic. Procura determinar aquesta possible presència d'escumes marrons, estables i viscoses."

Regles d'alarma de foaming

SI	<i>escumes-marrons = vertader</i>	ALESHORES	<i>Activa procediment_foaming</i>
-----------	-----------------------------------	------------------	-----------------------------------

SI	<i>escumes-marrons = fals</i>	ALESHORES	<i>Envia missatge_F2</i>
-----------	-------------------------------	------------------	--------------------------

Missatge_F2

"Tot i que es donen les condicions adients per l'aparició de **FOAMING** al reactor biològic, aquest encara no s'ha produït. Vigila la seva possible aparició i comença a actuar segons procediment_foaming."

4.3.3.2 Desnitrificació incontrolada

La desnitrificació incontrolada es dona a una EDAR quan a la zona inferior dels decantadors secundaris es forma N_2 com a conseqüència de la reducció dels nitrats i/o nitrits presents. Quan la producció és prou elevada, i la concentració de N_2 supera la $[N_2]_{\text{saturació}}$, aquest nitrogen no pot ser absorbit per l'aigua i queda en forma gasosa. Apareixen petites bombolles que arrossegueu part de la biomassa cap a la superfície dels decantadors, on es forma una capa de fang surant.

Els condicionants que s'han de donar al decantador secundari per que es pugui produir el fenomen de desnitrificació incontrolada són la presència d'una quantitat suficient de nitrats/nitrits, una font d'energia (pot ser exògena, quan queda matèria orgànica residual no degradada als bioreactors, o endògena, amb les reserves intra i exocel·lulars i els

productes de lisi), i l'absència d'oxigen molecular. L'arbre de decisió reflexat a la figura 4.10 esquematitza el procés general de diagnosi de la desnitrificació incontrolada.

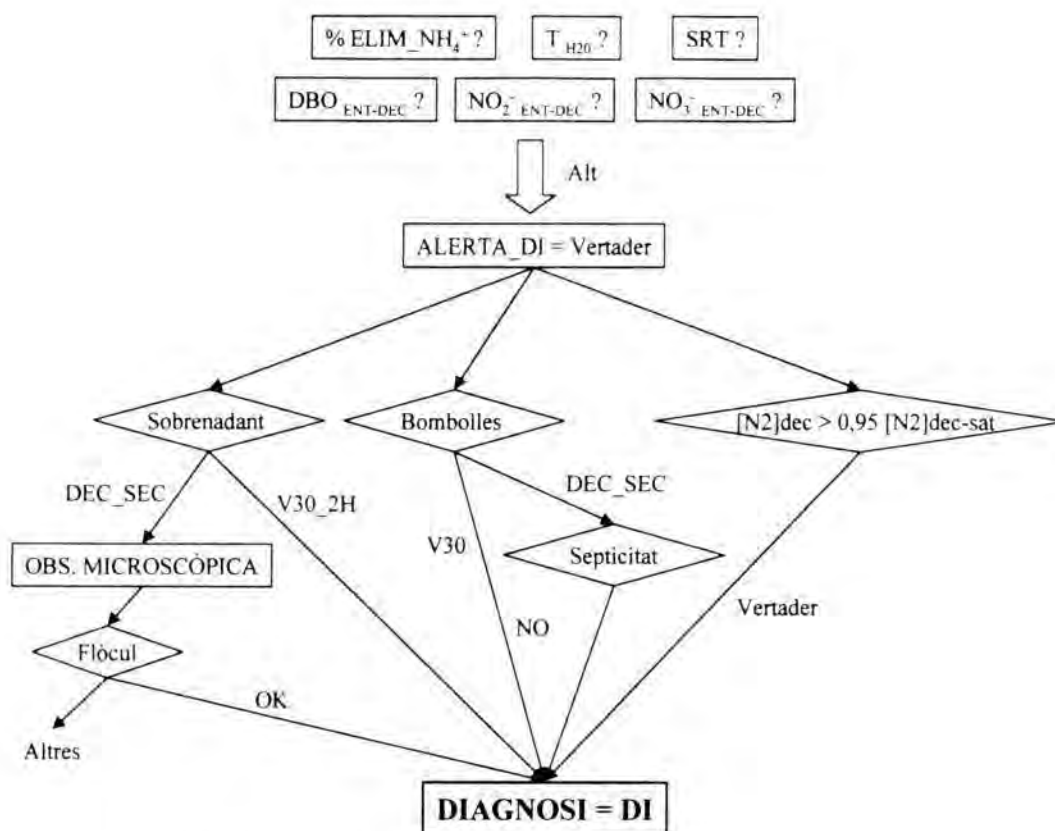


Figura 4.10 Arbre de diagnosi de la situació de desnitrificació incontrolada

Es pot apreciar la presència de diferents indicis que poden ajudar a concloure la situació. Algun d'aquests indicis implica la utilització de variables de tipus simbòlic (presència de bombolles, fangs surant, etc.), mentre que altres rutes de diagnosi precisen variables numèriques com el percentatge d'eliminació d'amoni a la EDAR o l'edat cel·lular. S'aprecia també que hi ha un estat intermig expressant el risc o les possibilitats potencials que la desnitrificació es produeixi ($ALERTA_DI = Vertader$). Aquesta alarma es dona quan és prou alt el valor de qualsevol de les següents variables de tipus numèric $\%ELIM_NH_4^+$ o percentatge d'eliminació d'amoni, T_{H_2O} o temperatura de l'aigua, SRT o edat cel·lular, $DBO_{ENT-DEC}$ o matèria orgànica biodegradable (DBO_5) d'entrada al decantador, $NO_2^-_{ENT-DEC}$ o concentració de nitrits d'entrada al decantador i $NO_3^-_{ENT-DEC}$ o concentració de nitrats d'entrada al decantador.

Quan es produeix la situació d'alarma, el sistema pot requerir el valor de certes variables simbòliques a l'operador (fangs surant al decantador secundari sense una proliferació

excessiva de bacteris filamentosos, fangs surant al cap de dues hores de realitzar la V30, bombolles a la V30, bombolles al decantador sense que sigui septicitat la causa, o un valor de concentració de N_2 proper al de saturació), per tal de concloure amb certesa la situació. En cas que aquestes observacions s'incorporin prèviament a la base de dades del sistema, aquest ja conclou directament l'estat de desnitrificació incontrolada.

De l'arbre se n'extreu un conjunt de regles de diagnosi de tipus general que farien referència a la detecció de la desnitrificació incontrolada a qualsevol EDAR. Tot seguit es mostra la reescriptura d'aquestes regles, tal i com han de ser codificades per tal que el motor d'inferència G2 les pugui entendre i executar.

Regles diagnosi

SI	$DBO_{ent-dec} = alt$	ALESHORES	$ALERTA_DI = vertader$
-----------	-----------------------	------------------	-------------------------

SI	$NO_3^-_{ent-dec} = alt$	ALESHORES	$ALERTA_DI = vertader$
-----------	--------------------------	------------------	-------------------------

SI	$NO_2^-_{ent-dec} = alt$	ALESHORES	$ALERTA_DI = vertader$
-----------	--------------------------	------------------	-------------------------

SI	$T_{aigua} = alt$	ALESHORES	$ALERTA_DI = vertader$
-----------	-------------------	------------------	-------------------------

SI	$SRT = alt$	ALESHORES	$ALERTA_DI = vertader$
-----------	-------------	------------------	-------------------------

SI	$\%elim_NH_4^+ = alt$	ALESHORES	$ALERTA_DI = vertader$
-----------	------------------------	------------------	-------------------------

SI	$NO_3^-_{ent-dec} = baix$	ALESHORES	$ALERTA_DI = fals$
-----------	---------------------------	------------------	---------------------

SI	$NO_2^-_{ent-dec} = baix$	ALESHORES	$ALERTA_DI = fals$
-----------	---------------------------	------------------	---------------------

SI	$\%elim_NH_4^+ = baix$	ALESHORES	$ALERTA_DI = fals$
-----------	-------------------------	------------------	---------------------

<i>invoca regles ALERTA_DI</i>			
SI	$ALERTA_DI = vertader$	ALESHORES	&
			<i>envia missatge_DI1</i>

Missatge_DI1

"Situació favorable per que es produeixi una **DESNITRIFICACIÓ INCONTROLADA**.
Procura realitzar les observacions complementàries com són la presència de bombolles
i/o fang surant als decantadors secundaris o a la prova de la V30.
Minimitza el temps de residència dels llots i l'aigua als decantadors secundaris."

Regles d'alarma

SI	<i>V30_bombolles = vertader</i>	ALESHORES	<i>DI = vertader</i>
SI	<i>[N2]dec > 0.95 [N2]dec-sat = vertader</i>	ALESHORES	<i>DI = vertader</i>
SI	<i>Dec-sec_bombolles = vertader</i>	ALESHORES	<i>comprova septicitat</i>
SI	<i>septicitat = fals</i>	ALESHORES	<i>DI = vertader</i>
SI	<i>V30_2hores_sobrenadant = vertader</i>	ALESHORES	<i>DI = vertader</i>
SI	<i>Dec-sec_sobrenadant = vertader</i>	ALESHORES	<i>comprova flòcul</i>
SI	<i>flòcul = OK</i>	ALESHORES	<i>DI = vertader</i>
SI	<i>flòcul = desconegut</i>	ALESHORES	<i>envia missatge flòcul_1</i>
missatge flòcul_1 "Per confirmar la diagnosi de desnitrificació incontrolada resulta indispensable una observació microscòpica de l'estat del flòcul."			
SI	<i>DI = vertader</i>	ALESHORES	<i>activa procediment_DI</i>

Un cop es confirma la detecció de la situació, cal aplicar una estratègia de control. Aquesta estratègia, codificada al "procediment_DI", es fonamenta en el seguiment dels següents punts.

- Evitar el creixement dels bacteris nitrificants. Es pot aplicar disminuint l'edat cel·lular (augmentant el cabal de purga) o manipulant la relació càrrega-orgànica / oxigen-aportat (disminuint la quantitat d'oxigen aportat per tal d'augmentar aquesta relació i afavorir el creixement dels bacteris heteròtrofs front els autòtrofs). Aquesta primera estratègia solament es pot aplicar a EDAR que no aboquin a zona sensible, i que no es vegin obligades a eliminar els nutrients de l'aigua residual.
- Reduir el temps d'estada del fang als decantadors secundaris.
- Reduir el temps d'estada de l'aigua als decantadors secundaris.
- Incrementar la concentració d'oxigen dissolt residual al corrent de licor mescla que surt del bioreactors.
- Reduir la concentració de nitrats i/o nitrits que arriba als decantadors secundaris.

4.3.3.3 Esponjament del fang

L'esponjament del fang, o búlquing, es dona majoritàriament quan hi ha una proliferació excessiva de bacteris filamentosos al licor mescla, establint-se uns ponts febles entre els floculs que provoquen un efecte contrari al desitjat. La biomassa té tendència a surar en comptes de decantar cap al fons del decantador. El tipus de bacteri filamentós aparegut és indicatiu del desequilibri que s'ha produït a la EDAR i que ha afavorit el seu creixement front la resta d'espècies. És per això, que la seva identificació resulta clau de cara a l'establiment del pla d'actuació més adequat. La taula 4.7 (Jenkins *et al.*, 1993) sintetitza les causes més habituals, al costat del tipus de filamentós predominant.

No sempre resulta evident la identificació del tipus de filamentós present. Per això el SE inclou un mòdul d'ajuda a la identificació per que qualsevol operari mínimament iniciat pugui realitzar la identificació. Aquest mòdul, anomenat Ajuda_Microscopi (veure Apendix A), es fonamenta en les indicacions de (Jenkins *et al.*, 1993, Horan *et al.*, 1988). Determinat el filamentós responsable de l'esponjament del fang, es pot conèixer la causa del desequilibri, i actuar en conseqüència.

CAUSA	FILAMENTÓS
Manca d'oxigen dissolt	<i>S. Natans</i> , tipus 1701 i <i>H. Hydrossis</i>
F/M baixa en tancs agitats	<i>H. Hydrossis</i> , tipus 021N, 0041, 0675, 0092, 1581, 1961 i 0803
Aigües sèptiques i sulfuroses	<i>Thiothrix spp.</i> , <i>Beggiatoa</i> i tipus 021N
Manca de nutrients	<i>Thiothrix spp.</i> , tipus 021N, 0041 i 0675

Taula 4.7 Principals causes de bülquing, i tipus de filamentós predominant.

No obstant, encara que la identificació del filamentós no sigui possible, el SE ha de ser capaç d'oferir una estratègia d'actuació que permeti la correcta operació de la EDAR. Així, cal emmagatzemar dins la base de coneixement un procediment que codifiqui els següents punts:

- Aplicar, en cas possible, un mecanisme preventiu de tipus biològic, treballant en seqüències, compartimentalitzant la planta, o operant amb un selector a capçalera de planta.
- Intentar treballar amb menor quantitat de fang als decantadors.
- Augmentar el pes dels fangs amb polimers sintètics, coagulants químics o fang primari.
- Realitzar un atac específic als filamentosos, amb clor, peròxid d'hidrogen o ozó.

Hi ha un segon tipus d'esponjament del fang, però que no és degut a l'abundant proliferació de bacteris filamentosos. Es tracta del bülquing viscós, provocat per la producció excessiva d'exopolimer per part dels bacteris formadors de flocul. Aquest fenomen implica l'aparició de floculs grans i compactes, però de baixa sedimentabilitat, donant un aspecte viscós i greixós als llots. La determinació clau del fenomen també requereix l'ajuda del microscopi, però ara n'hi ha prou amb una simple prova, el test de tinta Xina (Jenkins *et al.*, 1993), per confirmar l'abundància d'exopolimer. La desconexença de la causa que provoca aquest desequilibri, limita la possible actuació que es pugui portar a terme. El consell general del SE en aquest cas és el d'augmentar el pes dels llots amb additius químics, i separar del procés els llots més viscosos que surin a la superfície del decantador.

4.3.3.4 Desfloculació

La conseqüència de la desfloculació és clara: un efluent tèrbol que conté una elevada concentració de sòlids en suspensió que no han decantat correctament. No obstant, les causes que provoquen aquest fenomen no són tan clares, i hi ha diferents hipòtesis.

- **Creixement dispers:** es dona quan, a l'inrevés del bülquing viscos, disminueix significativament la producció d'exopolimer per part dels bacteris formadors de flocul. El resultat és una absència total de floculs, amb abundància de bacteris i cèl·lules lliures de nula sedimentabilitat. El valor de la V30 és molt baix.
- **Pin point:** provocat per l'absència total de bacteris filamentosos que puguin conformar l'estructura del flocul. La conseqüència és l'aparició de floculs molt petits i compactes, de baixa sedimentabilitat. També el valor de la V30 determinat és molt baix.
- **Xoc de tòxics:** l'entrada, puntual o continuada, d'alguna mena de tòxic que no sigui plenament letal pel procés, pot provocar la mortaldat o inhibició d'alguna de les espècies responsables de la formació del flocul. La conseqüència és la flotació a la superfície de la majoria d'aquests bacteris afectats, a part de la major feblesa dels floculs generats.

De nou, l'única actuació possible és la d'un tractament químic que augmenti el pes dels llots i faciliti la seva sedimentació.

4.3.4 Funcionament

Als exemples de regles que s'han anat afegint al llarg del text, ja s'ha pogut apreciar el tipus de codificació del coneixement, que facilita una concatenació cap endavant (forward chaining), complementada amb l'addició d'algunes meta-regles que fan de punter cap a grups individualitzats de coneixement específic.

A la secció 4.1.2 ja s'ha comentat la possibilitat que un SE funcioni off-line (activació a requeriment del cap de planta i/o operaris quan la EDAR presenta algun problema i aquest no sap com actuar) o que treballi en temps real, supervisant cada nova dada que arribi a l'ordinador central i activant les alarmes corresponents. No obstant, considerant

la lenta dinàmica del procés biològic de les EDAR, es proposa l'establiment d'un cicle supervisor que s'activi cada X hores (cicles recomanats de 24 hores), combinat amb l'establiment de certes alarmes contínues que es corresponguin a la detecció de certes errades de procés de dinàmica més ràpida (com per exemple el llaç de control d'oxigen, o la detecció d'errades mecàniques). També s'inclouen una sèrie de mòduls que no treballen en temps real, però que poden ser requerits per l'usuari en qualsevol moment, o que pot activar el propi sistema quan ho consideri necessari per tal de seguir el procés deductiu. Entre aquest mòduls es troba el ja esmentat d'ajuda a la identificació microscòpica (Ajuda_Microscopi).

Nuestros recuerdos son de la última vez que los contamos

J.G. Borges

5. El Sistema de Raonament

Basat en Casos

5 El Sistema de Raonament Basat en Casos

5.1 Introducció

5.1.1 Que és un Sistema de Raonament Basat en Casos?

D'entre els diferents corrents que tracten de comprendre i estructurar els mecanismes de raonament que condicionen el comportament humà, pren força l'aproximació que es fonamenta en el Raonament Basat en Casos. Aquest corrent defensa el fet que una persona, davant un problema, tracta de recordar situacions similars viscudes amb anterioritat, per tal d'afrontar amb més garanties la nova situació (Kolodner, 1993; Schank, 1982). Trobem un munt d'exemples quotidians que ens evidencien aquest mecanisme de raonament humà: la diagnòsi que fan els metges tot interpretant amb l'ajuda de la seva experiència el conjunt de símptomes del pacient per tal d'establir-ne la malaltia, el costum que mostra la gent en definir conceptes o situacions a partir d'exemples semblants, o quan tenim convidats a sopar i tractem de decidir el menú més adient en funció dels gustos i manies de cadascun dels convidats. Tots ells tracten de recordar experiències específiques similars viscudes amb anterioritat, que els permeti iniciar amb majors possibilitats d'èxit la resolució de la nova situació.

El fet de partir de les experiències pròpies del sistema implica que un Sistema de Raonament Basat en Casos (SRBC) utilitzi principalment coneixement específic, en front d'altres aproximacions que es fonamenten en coneixement de tipus general, per a la resolució de problemes específics. Un SRBC utilitza explícitament la manera com una tasca va ser portada a terme, o com una part del coneixement va ser aplicat, o quina estratègia en particular va ser seguida per tal de solucionar un problema concret aparegut.

Per altra banda, un SRBC permet modelar sistemes o dominis poc estructurats o no gaire ben coneguts. El SRBC permet treballar sobre el domini sense conèixer els mecanismes concrets dels fenòmens ocorreguts. Una correcta definició del cas d'estudi permet establir una relació enregistrada entre les causes i els efectes de cada nova situació, encara que no es conegui el per què del camí seguit. Aquesta característica

permet fer una analogia entre els raonament basat en casos i els models numèrics tipus caixa negra o empírics, en contraposició als models numèrics deterministes.

5.1.2 Com funciona un Sistema de Raonament Basat en Casos?

Ja s'ha fet esment al fet que un Sistema de Raonament Basat en Casos estructura el coneixement específic que es té del procés a partir de situacions o episodis viscuts amb anterioritat. Cada una d'aquestes situacions conforma el que anomenem un cas. Una definició més acurada la proporciona (Kolodner, 1993) descrivint el cas com “a contextualized piece of knowledge representing an experience that teaches a lesson fundamental to achieving the goals of the reasoner” Dins el SRBC, el conjunt de casos queda emmagatzemat d'una manera estructurada dins una llibreria o base de casos, on resten a punt per a ser recuperats quan el sistema ho necessiti.

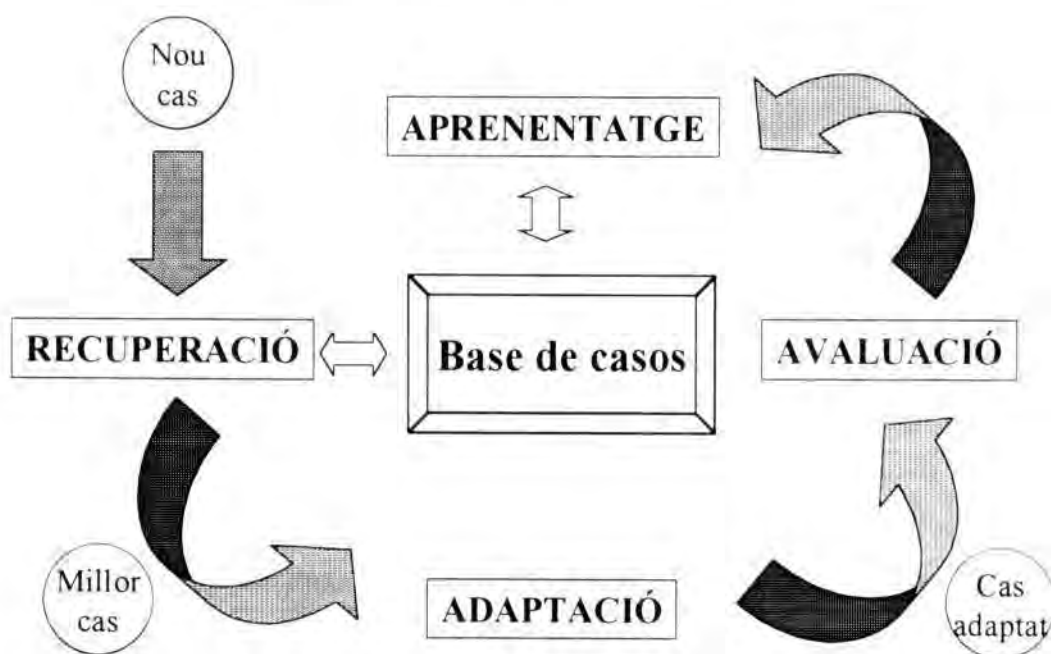


Figura 5.1 Cicle de funcionament d'un SRBC

De l'observació atenta del comportament humà en que es fonamenta un SRBC se'n pot extreure el seu mecanisme cíclic de funcionament. S'inicia el cicle quan ens enfrontem a un nou problema. La primera passa és caracteritzar i entendre adequadament aquest problema, per tal de *recuperar* de la base de casos el cas històric més semblant. Seguidament cal *adaptar* aquest cas recuperat per tal que sigui compatible a la nova situació, i, com a conseqüència, inferir l'estratègia que cal seguir per tractar de

solucionar el problema. Finalment, una *avaluació* de l'actuació permet *aprendre* al sistema amb la incorporació del nou cas a la base de casos, conjuntament amb el resultat del pla d'actuació proposat. La figura 5.1 sintetitza d'una manera esquemàtica el tipus de cicle que s'estableix a un SRBC.

Obviament, cada una d'aquestes quatre passes comporta tot un mecanisme específic de definició i construcció de l'estructura. Així, quan es parla d'un cas cal decidir quina part del coneixement modelarà, quines variables i amb quin pes seran considerades com a rellevants de cara a la caracterització dels casos, quins rangs discretitzaran, quan sigui necessari, els nivells d'aquestes variables, etc. Quan es fa referència a la llibreria o base de casos, cal fixar la seva estructuració i ordenació. Per definir el cicle del SRBC, cal proposar el criteri de distància que permeti establir la semblança entre els diferents casos, el mecanisme d'adaptació que permeti assimilar el cas històric a la nova situació, l'avaluació que se'n fa del pla d'actuació proposat, i la possibilitat d'incorporació del nou coneixement en forma de nou cas a la llibreria de casos. Cadascun d'aquests punts serà tractat amb més detall als posteriors apartats del capítol.

5.1.3 Camps d'aplicació de Sistemes de Raonament Basat en Casos

Tot i ser un camp de recerca encara prou novedós, el gran potencial dels SRBC s'evidencia amb l'elevat nombre d'aplicacions que mostren publicacions recents a revistes especialitzades. Així, trobem que SRBC s'han aplicat amb èxit a camps tan diversos com per exemple la detecció d'errades (Roddis i Bocox, 1997, Grant *et al.*, 1996), la diagnòsi mèdica (Haddad *et al.*, 1997, Bach i Allemang, 1997), el disseny (Maher i Garza, 1997, Surma i Braunschweig, 1996), la planificació (Champati *et al.*, 1996), la selecció d'alternatives (Kraslawski *et al.*, 1995), l'educació (Papagni *et al.*, 1997), l'argumentació (Karacapilidis *et al.*, 1997), l'adaptació de paràmetres (Ram *et al.*, 1997), l'adquisició de coneixement (Kohn *et al.*, 1997) o la simulació de models de sèries temporals (Stahl, 1997).

L'aplicació de SRBC en el camp de la depuració d'aigües residuals encara es troba en un estat molt fonamental. A part de la recerca publicada pel propi grup (Sánchez *et al.*, 1996, Sánchez *et al.*, 1997), solament apareix el precedent de (Krovvidy i Wee, 1993), que proposa el disseny òptim de EDAR fonamentat en un sistema de recerca heurística, on els autors identifiquen els principals colls d'ampolla del procediment, i els

solucionen amb l'ajuda d'un SRBC. També relacionat amb el camp de les EDAR, (Kraslawsky *et al.*, 1995) proposen un SRBC que ajudi en la selecció de l'equip de mescla més adequat per la cambra de floculació del tractament físico-químic.

Dins la idea en que es fonamenta la tesi, que defensa una aproximació pluridisciplinar per a la correcta gestió d'un domini tan complex com el de les EDAR, es proposa la integració del SRBC dins un sistema general de supervisió. D'aquesta manera s'adquireixen dues noves propietats que aporten un gran potencial a la gestió, com són la incorporació de coneixement específic de la pròpia planta (treballant amb dades històriques) i l'aprenentatge, que permet enriquir d'una manera dinàmica la base de coneixement del sistema en funció de les noves experiències viscudes i de l'avaluació que se'n fa de les actuacions proposades. A les properes seccions s'ofereix una proposta de desenvolupament del SRBC per a plantes depuradores, juntament amb un exemple d'aplicació que s'ha realitzat amb les dades de la EDAR de Girona.

5.2 Proposta de desenvolupament d'un Sistema de Raonament Basat en Casos per a EDAR

5.2.1 El cas

Si ens traslладem al món de les EDAR, cal començar a concretar un estructura de cas que permeti treballar d'una manera òptima dins la gestió habitual de la planta. Quan parlem de cas ens referim a episodis o situacions que viu la planta i que, sota la responsabilitat del cap de planta, cal solucionar per tirar endavant el procés. Considerant les periodicitats analítiques més habituals, les dinàmiques dels diferents processos que es donen dins la planta (com per exemple dinàmica ràpida per l'oxigen, lenta pel desenvolupament de la cadena tròfica, i mitjana per l'addició de productes químics), i les prioritats de gestió establertes, s'ha fixat el cas d'una EDAR com la situació viscuda a la planta durant un període de 24 hores (corresponent a un dia de treball). Cal arribar a aquesta situació de compromís, tot i que es podria parlar de diferents casos que es produeixen al llarg del dia (corresponents a xocs puntuals de cabal i/o càrrega, avaries mecàniques, calibració de sondes, etc.), o de certs episodis que presenten dinàmiques de dies, setmanes o fins i tot mesos (com proliferacions excessives de filamentoses per determinades característiques de les aigües d'entrada que desequilibren completament

les poblacions microbianes presents als bioreactors). El fet que habitualment es reculli informació diària al laboratori, que es facin mitjanes diàries de cabal i altres paràmetres clau pel control del procés, i que el cicle del treballador també sigui diari, implica que es pugui establir cada dia com una nova situació. Així, a l'inici de cada nou dia (o cas) cal fer un petit repàs global de tot el que ha succeït a les darreres 24 hores, per tal de definir l'estat de la planta i veure què es preveu que pugui passar al llarg del dia.

És important remarcar que la decisió de fixar en 24 hores aquest interval de treball del SRBC, es veu molt afavorida per l'establiment anterior d'un cicle supervisor diari pel Sistema Expert. L'objectiu final d'integrar ambdues tècniques condiciona aquesta coincidència, i possibilita el treball en paral·lel dels dos mòduls.

Decidit l'interval considerat per a la fixació del cas, cal prendre molta cura en quin tipus d'informació s'utilitzarà de cara a la seva caracterització. La manca d'informació pot provocar una mala definició del cas i, per tant, una mala gestió de tot el procés. No obstant, un excés d'informació, redundant o poc rellevant, també dificulta la definició d'aquest cas, complicant el seu processament informàtic, i provocant un efecte de solapament d'informació que pot amagar algun fet rellevant de cara a la resolució òptima del cas. Així doncs, i recalcant el caràcter específic d'un SRBC, cal estudiar amb deteniment la informació disponible a la EDAR, aprofitar-ne les variables vertaderament rellevants, i fer una proposta que equilibri esforços amb beneficis. En general, es solen tenir en compte variables de tipus numèric referents a l'influent (cabal i concentracions), a l'actuació (cabals de purga i recirculació) i a l'estat de la planta (concentracions de l'efluent, quantitat i sedimentabilitat de la biomassa), mentre que, en cas que l'EDAR tingui el costum d'enregistrar observacions qualitatives amb certa regularitat (fet poc habitual), també es poden incloure variables simbòliques en la definició del cas (presència relativa de diferents protozous, aspecte del flocul, color de l'aigua, característiques dels sobrenadants dels decantadors o la V30, etc.).

Un cas, a part de contenir les variables que el caracteritzen, també ha d'incorporar un conjunt de dades que facilitin la seva correcta gestió a la base de casos. El següent llistat resumeix el contingut total de cada cas:

- identificador: correspon a l'etiqueta o número de cas,

- descripció de la situació: conté els valors de les variables (quantitatives i qualitatives) rellevants del sistema,
- diagnosi: és la conclusió de l'estat de la planta, realitzat a partir de l'estudi de la descripció del cas,
- actuació: és el pla o estratègia proposada per a fer front a l'estat diagnosticat,
- derivació: indica el cas pertanyent a la llibreria del qual se'n deriva o s'ha adaptat el nou cas,
- solució: on queda enregistrat l'èxit o fracàs de l'actuació proposada pel nou cas, amb la finalitat d'evitar repeticions sistemàtiques d'estratègies fallides,
- mesura d'utilitat (UM): indica la fiabilitat que ofereix el cas a partir del percentatge d'èxits de l'acció de control proposada pel SRBC quan el cas en qüestió ha estat recuperat,
- distància: mesura de similitud entre el nou cas i el cas del qual s'ha derivat l'actuació (el més proper)

(	:identificador	CAS 180	
	:descripció situació	((	Cabal-entrada 35000 m ³ /d)
		(	Cabal-purga 400 m ³ /d)
		(	DBO-entrada 280 mg O ₂ /L)
		(	SS-entrada 300 mg/L)
		(	DBO-sortida 40 mg O ₂ /L)
		(	SS-sortida 130 mg/L)
		(	SSVLM-bioreactors 2000 mg/L)
		(	IVF-biomassa 320 mL/mg)
		(	Presència filamentosos Molt alta)
		(	Presència protozous Normal))
	:diagnosi	BÚLQUING	
	:actuació	((	1. Observació microbiològica)
		(	2. Identificació del bacteri filamentós predominant)
		(	3. Actuació específica per a cada filamentós))
	:derivació	CAS 036	
	:solució	ÈXIT	
	:UM	0.76	
	:distància	0.23	)

Figura 5.2 Exemple hipotètic d'un cas per a una EDAR

Un exemple hipotètic de la informació continguda dins a cada un dels casos es pot apreciar a la figura 5.2. L'identificador o etiqueta del cas és el número 180, essent 10 el nombre de variables que, juntament amb els seus valors corresponents, son utilitzades per a descriure el cas. D'aquestes deu variables, n'hi ha 8 de quantitatives (cabals

d'entrada i purga, DBO_5 i SS d'entrada i sortida, quantitat de biomassa al bioreactor i la seva sedimentabilitat) i dues de qualitatives (la presència de protozous i de bacteris filamentosos). La situació que descriu el cas és la de bülquing o esponjament del fang, essent el pla d'actuació recomanat el d'una observació microscòpica que determini el bacteri filamentós predominant i que s'actui en conseqüència a la determinació. La resta d'informació fa referència al cas del qual s'ha derivat la informació (cas 036), la distància entre tots dos casos (el nou 180 i el contingut a la llibreria 036), l'avaluació que es va fer de l'aplicació de l'estratègia d'actuació proposada (exitosa), i finalment la mesura d'utilitat del cas 036, valor que servirà per esborrar el cas de la llibreria quan el percentatge de fracassos al ser recuperat sigui molt baix.

5.2.2 La base de casos

Hem vist que el conjunt de casos queda emmagatzemat dins una llibreria o base de casos. L'organització d'aquesta base és un punt determinant pel bon funcionament del SRBC, doncs condiciona l'eficàcia de la recerca i recuperació del cas més semblant i, per tant, determina el punt de partida de tot el procés de resolució de la situació de la planta. S'ha de tenir en compte que, degut al caràcter dinàmic dels SRBC, el nombre de casos emmagatzemats a la base no és constant, sinó que augmenta progressivament a mida que el sistema afronta noves situacions i viu noves experiències. També cal fer esment al fet que difícilment existeixen dos casos iguals amb coincidència total de totes les seves variables descriptors i que, per tant, la recerca és sempre per similitud (a l'inrevés que a la majoria de bases de dades, on el que es busca és la coincidència). Així doncs, cal trobar una estructura prou hàbil que permeti realitzar una recerca intel·ligent i practica, que eviti una comparació de cada nou cas amb la totalitat dels casos emmagatzemats a la llibreria, i que faciliti la inclusió i reestructuració dins la base d'aquells casos que poden aportar nova informació rellevant al sistema.

La proposta realitzada imposa una estructura jeràrquica per a la llibreria de casos, que optimitzi el temps de recerca a la fase de recuperació del cas més semblant. La implementació es fonamenta en un arbre discriminant prioritzat.

Parlem d'arbre discriminant perquè cada un dels nusos no terminals d'aquest arbre correspon a l'avaluació qualitativa del valor d'una de les variables o atributs utilitzats per a caracteritzar el cas. Aquest fet comporta que cal discretitzar cada una d'aquestes variables en diferents rangs o intervals del tipus alt, normal i baix (tants rangs com

l'usuari final del sistema desitgi calibrar) en funció de les característiques específiques de la EDAR en qüestió. L'objectiu d'aquesta discriminació, com es detallarà més endavant, no és altra que dirigir la recerca cap els camins en que els valors de les variables del nou cas es corresponguin amb els mateixos rangs que les variables del casos més semblants. La discretització no és necessària quan l'atribut ja correspongui a una variable de tipus qualitatiu.

El segon adjectiu de l'estructura proposada, la priorització, encara és més determinant que l'anterior. Prioritzar els atributs no és més que donar un ordre d'importància de les variables que descriuen el cas. Aquest ordre proporciona la jerarquia a l'arbre que conforma la llibreria i, en conseqüència, determina l'ordre en que l'algorisme de recerca avalua els diferents atributs que discriminen el camí escollit. Una mala priorització dels atributs afecta d'una manera determinant la qualitat dels casos recuperats, doncs una mala discriminació inicial pot provocar una marginació de casos molt propers al cas d'estudi. A més, una bona discriminació inicial disminueix significativament l'esforç de càlcul de l'algorisme, doncs possibilita l'ús de branques curtes (aquelles que necessiten pocs atributs per discernir el tipus de cas). La priorització es pot realitzar de manera automàtica (Quinlan, 1986) o seguint un criteri iteratiu (trial & error) a partir de l'ordre fixat pel experts del procés.

La figura 5.3 mostra un exemple de l'estructura final d'una llibreria de casos d'una EDAR. Els nusos no terminals contenen en requadres els noms dels atributs descriptors del cas, en ordre descendent de priorització, mentre que les fletxes reflexen els diferents camins que pot seguir l'algorisme de recerca en funció de la discretització de les variables contingudes a cada nus. Els nusos terminals contenen els casos que compleixen els rangs avaluats des de l'arrel de l'arbre fins a la branca final.

Finalitzada la construcció de l'estructura de la base de casos, es sol procedir a una inicialització de la mateixa, amb la inclusió d'un conjunt de casos específics de la EDAR que permeti una major eficàcia inicial del SRBC. La selecció d'aquests casos es fa a partir de l'estudi de les dades històriques del procés i mitjançant converses amb el cap de la planta, per tal d'extreure els episodis més representatius viscuts els darrers anys. També es pot omplir la llibreria amb casos tipus procedents de la bibliografia.

però aquesta opció provoca una manca d'especificitat en el coneixement inicial contingut pel SRBC

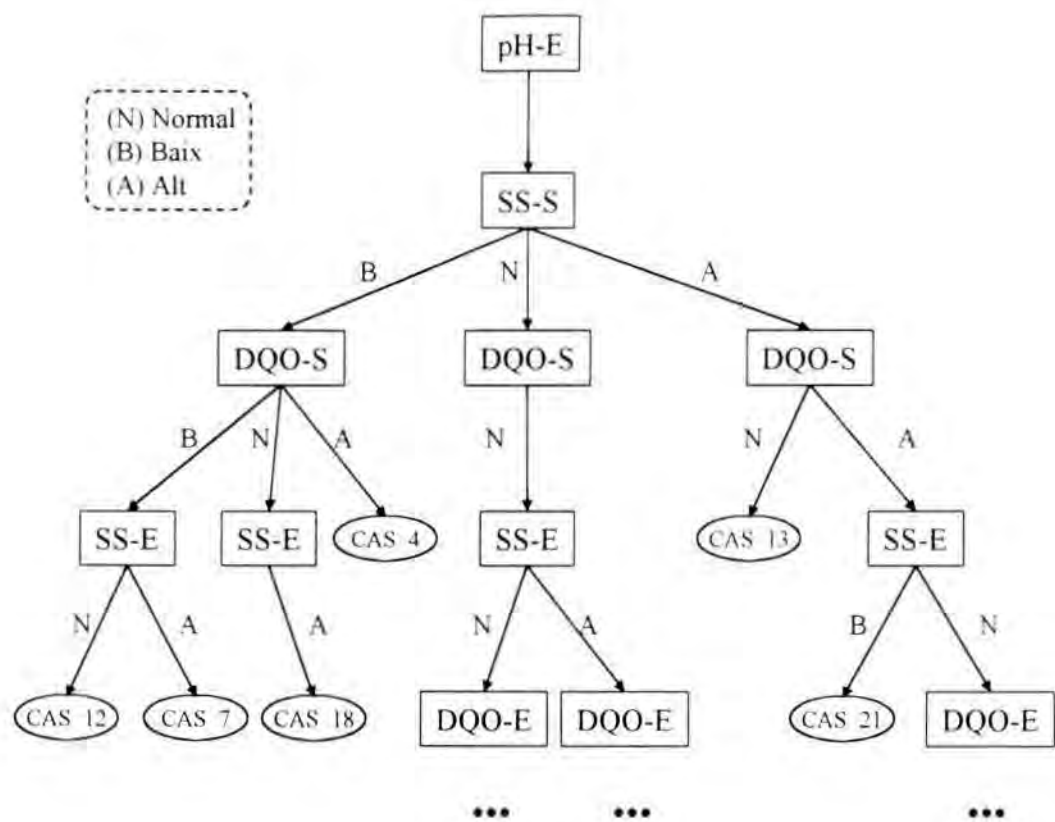


Figura 5.3 Estructura de la llibreria de casos per a una EDAR

5.2.3 El cicle

Amb anterioritat ja s’han comentat les diferents fases que conformen el cicle de funcionament del SRBC: la de recuperació, la d’adaptació, la d’actuació i la d’aprenentatge. Ara cal estudiar la proposta que fem per a cada una d’aquestes fases.

5.2.3.1 Fase de recuperació

Quan s’inicia el cicle, i per tant, quan el sistema afronta un nou problema a solucionar, el primer que cal fer és recuperar de la base el cas històric més semblant. El que proposem és realitzar aquesta acció en dues subpasses diferents: (1) una primera que busqui de la base aquell conjunt de casos que, en funció de la discretització i prioritització que s’ha fet dels atributs a la llibreria, permeti suposar d’una manera qualitativa que són prou similars al nou cas; i (2) una segona subpassa que ja determini la distància existent entre el nou cas i el conjunt de casos escollits, per tal de seleccionar

el més semblant. D'aquesta manera es minimitza en gran mesura el temps i esforç de computació del sistema, doncs s'evita el càlcul de la distància entre el nou cas i la totalitat de casos continguts dins la llibreria.

(1) *Recerca dels casos més similars*. Es fonamenta en l'estructura d'arbre discriminant i prioritzat proposada per a la llibreria de casos. Un algorisme de recerca es desplaça pel si de l'arbre avaluant a cada nus el valor qualitatiu de les variables descriptors del cas (aquest tret qualitatiu de les variables s'obté a partir de la seva discretització en diferents rangs). Tot i que inicialment es va triar seguir exclusivament la branca principal per a la recerca dels casos més similars, els primers resultats obtinguts van demostrar que aquesta era una simplificació excessiva que podia portar fàcilment a eleccions errònies. Per això, finalment s'ha considerat la possibilitat de que l'algorisme segueixi una exploració intensiva pel camí principal, entenent per intensiva el fet que cada nova avaluació tingui en compte les dues millors eleccions, mentre que alhora, pels camins secundaris (aquells que procedeixen de la segona opció a cada nus) l'algorisme aplica una exploració directa (és a dir, que tria solament la millor opció a l'avaluar cada nus).

L'exploració finalitza quan l'algorisme de recerca arriba al nus terminal de cada branca explorada. Aleshores, el conjunt de casos continguts en aquests nusos són recuperats i considerats per a la segona subpassa de la fase inicial de recuperació del SRBC. Cal remarcar que aquest procediment permet recuperar de la llibreria tots aquells casos que difereixen, com a molt, del rang d'una de les variables que descriuen el cas. Així, si el cas ve descrit per n variables, n^2 és el màxim nombre de nusos avaluats, i n és el màxim nombre de camins seguits des de l'inici. Aquest aspecte és molt interessant, doncs demostra que el temps de recerca dels casos similars depèn exclusivament del nombre de variables utilitzades per a la descripció dels casos, i que no depèn per res del nombre de casos emmagatzemats a la llibreria. La figura 5.4 mostra d'una manera esquemàtica el mecanisme d'exploració de l'algorisme de recerca dels casos més similars de la llibreria de casos.

Com a protecció de l'algorisme, s'ha buscat solució al fet que el nou cas no contingui el valor d'alguna de les variables o atributs continguts als nusos de l'arbre. Donada aquesta situació, l'algorisme tria com a millors camins aquells que tinguin majors valors de freqüència d'utilització; és a dir, que dona com a bons els camins més habituals. Quan

aquesta situació es produeix al ramificar una branca per tal de discernir entre 2 casos, sempre es pren el camí fixat pel cas que té determinat el valor de la variable. La situació extrema es dona quan cal discriminar dos casos terminals, amb possibilitat de ramificació, i que cap dels dos conté el valor de la variable. Aleshores, el SRBC no té cap altra alternativa que l'obertura d'una branca etiquetada amb el valor buit (nil).

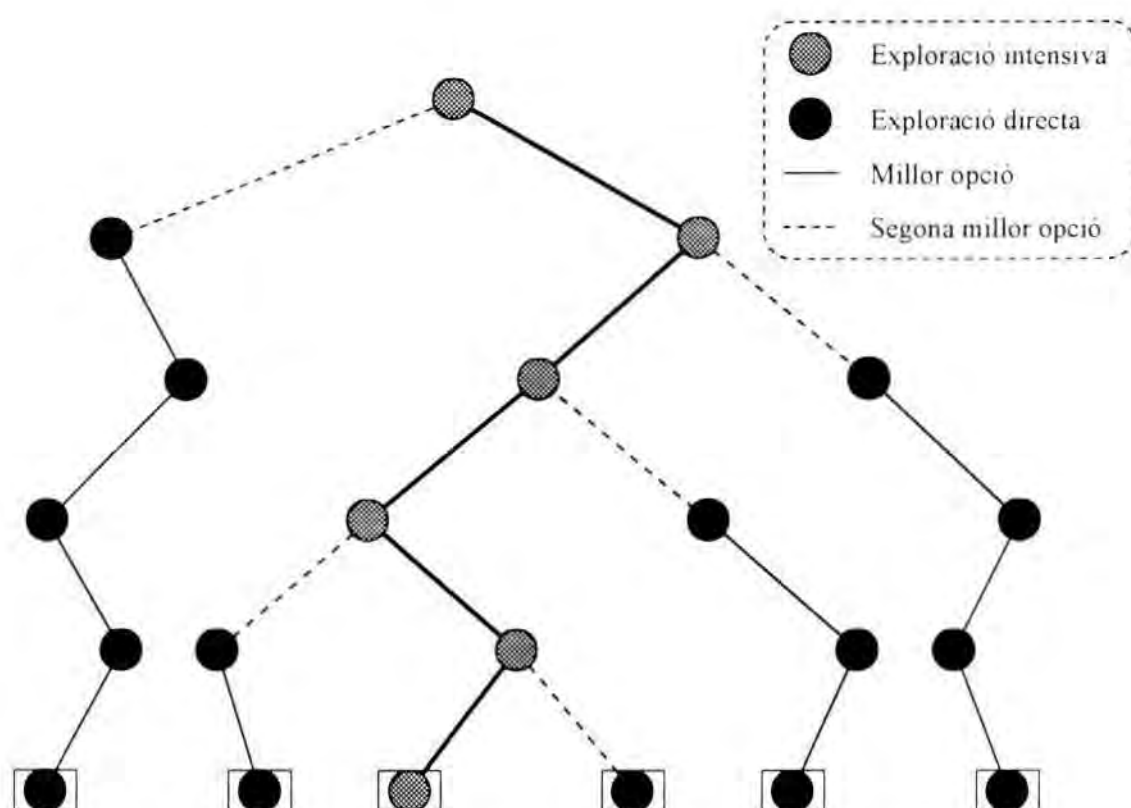


Figura 5.4 Exploració de l'algorisme de recerca dins la base de casos

(2) *Selecció del cas més proper*. Un cop tenim un conjunt més reduït de casos, establert a partir de la màxima diferenciació del nou cas del rang d'un dels seus atributs, cal triar el més semblant. Per a fer-ho s'aplica un criteri de distància numèrica, ara ja amb els valors de cada un dels atributs descriptors. A diferència d'altres SRBC més clàssics, s'ha definit una funció de distància específica, anomenada Eixample, sensible d'una manera exponencial als pesos de cada atribut, i que pot tractar variables tant de tipus quantitatiu com qualitatiu (Sanchez *et al.*, 1997).

Un dels trets més interessants del criteri de distància Eixample és la distinció que realitza dels diferents tipus de variables. Per una banda tracta les variables quantitatives, les quals són discretitzades en diferents rangs o modalitats, i poden ésser tractades d'una manera numèrica (prenent el valor de la variable) o com a variables qualitatives gradual

(aquelles que no disposen d'un valor numèric associat, però que les seves modalitats mantenen una ordenació lògica o gradual del tipus molt dens, força dens, normal, poc dens, etc.). Per altra banda hi ha les variables qualitatives, entre les quals distingim les graduals (el comportament de les quals és equivalent al de les variables quantitatives discretitzades), i les que les seves modalitats no presenten cap mena d'ordenació (variables categòriques com ara el tipus de bacteri filamentós present o el color de l'aigua).

Precisament aquesta distinció que l'Eixample fa del tipus de variable permet la inclusió d'un paràmetre (α), que serveix per discriminar entre les variables graduals menys importants (aquelles que tenen un pes inferior o igual a α , i que influeixen en el càlcul de la distància a partir del seu valor quantitatiu, reduint el valor de la distància) i les variables o atributs graduals més rellevants (aquelles que tenen un pes superior a α , i que influeixen en el càlcul de la distància a partir del valor qualitatiu assignat a cada modalitat, ampliant o mantenint el valor global de la distància). Alhora d'assignar un valor a cada modalitat de les variables graduals cal fer-ho d'una manera incremental seguint l'ordenació lògica indicada per l'atribut. Així, al parlar d'un atribut gradual A_x amb modalitats alta, normal o baixa, cal comptar en que els valors quantitatius assignats són 1, 2 i 3, i es poden calcular diferències entre les modalitats (per exemple, la diferència entre la modalitat alta i baixa de l'atribut A_x és $3 - 1 = 2$, que amb la corresponent normalització (dividint per $n - 1$) resulta $2/2$, mentre que la distància dins la mateixa modalitat és zero, per totes les variables graduals qualitatives, i per les variables quantitatives amb pes superior a α).

Per contra, el càlcul d'una distància entre dos atributs que corresponen a variables qualitatives no graduals, solament pot prendre els valors de 0 (quan les categories són la mateixa) o de 1 (quan les categories són diferents). Així, si parlem de diferents colors que pot presentar l'aigua que arriba a la estació depuradora, com per exemple verdós (indicatiu de crom), blanc (residu làctic), vermell (sang d'escorxadors), gris (color habitual) o negre (sèptic), s'establiran distàncies d'1 entre totes les diferents categories.

Sintetitzant aquestes premisses en forma d'equació, la distància Eixample queda establerta de la següent manera (Sánchez *et al.*, 1997).

$$d(C_i, C_j) = \frac{\sum_{k=1}^n e^{w_k} * d(A_{ki}, A_{kj})}{\sum_{k=1}^n e^{w_k}}$$

on,

- $d(A_{ki}, A_{kj}) = \frac{|\text{quantval}(A_{ki}) - \text{quantval}(A_{kj})|}{(\text{upperval}(A_k) - \text{lowerval}(A_k))}$,

quan A_k és una variable gradual (quantitativa o qualitativa no categòrica) i el seu pes inferior o igual a alfa ($W_k \leq \alpha$).

- $d(A_{ki}, A_{kj}) = \frac{\text{qualval}(A_{ki}) - \text{qualval}(A_{kj})}{(\text{mod}(A_k) - 1)}$, quan A_k és una variable gradual i el seu pes superior a alfa ($W_k > \alpha$).

- $d(A_{ki}, A_{kj}) = 1 - \delta_{\text{qualval}(A_{ki}), \text{qualval}(A_{kj})}$, quan A_k és una variable qualitativa no gradual,

i,

C_i és el cas i ; C_j és el cas j ; W_k és el pes de la variable k ; A_{ki} és la variable k en el cas i ; A_{kj} és la variable k en el cas j ; $\text{quantval}(A_{ki})$ és el valor quantitatiu de A_{ki} , $\text{quantval}(A_{kj})$ és el valor quantitatiu de A_{kj} , A_k és la variable k ; $\text{upperval}(A_k)$ és el màxim valor quantitatiu de A_k , $\text{lowerval}(A_k)$ és el mínim valor quantitatiu de A_k , α és l'esmentat punt de tall en els pesos de les variables; $\text{qualval}(A_{ki})$ és el valor quantitatiu assignat a la modalitat de la variable qualitativa A_{ki} , $\text{qualval}(A_{kj})$ és el valor quantitatiu assignat a la modalitat de la variable A_{kj} , $\text{mod}(A_k)$ és el número de diferents modalitats o categories de la variable qualitativa A_k , i δ és la delta de Kronecker³

5.2.3.2 Fase d'adaptació

Degut a que el sistema difícilment recuperarà un cas històric idèntic a l'actual, cal adaptar aquest cas recuperat per que la solució que proposa s'ajusti exactament a les característiques de la nova situació. La literatura cita diversos mètodes d'adaptació en SRBC, en funció de la complexitat del control del procés on s'aplica el sistema. Així, es pot triar entre adaptacions nul·les, adaptacions estructurals (aplicades directament sobre la solució proposada amb mètodes de substitució o de transformació) o adaptacions derivacionals (aplicades sobre el mètode utilitzat per derivar la solució). En el cas de les EDAR, i tenint en compte que les solucions solen contenir plans d'actuació prou generals (del tipus: incrementar el cabal de purga fins $\text{SRT} < 4$ dies, suprimir l'ús de

reactius químics per afavorir la decantació primària; evitar que els retorns de la línia de fangs coincideixin amb les puntes de càrrega que es donen pel matí; etc.), resulta molt més important una bona diagnosi de la situació (fet que implica que la recuperació de cas similar ha de ser fiable) que no pas una acurada adaptació de la seva solució. Per aquesta causa, quan el cas recuperat és prou semblant al cas d'estudi, n'hi ha prou amb considerar un algorisme d'ajust paramètric que pugui modificar per interpolació el valor dels paràmetres adients (per exemple el valor del nou punt de consigna de l'oxigen dissolt establert als bioreactors). Quan el cas recuperat és prou llunyà, fet que indica poca similitud entre els dos casos, s'hauria de procedir a un mètode heurístic d'adaptació que variés, no solament el valor dels paràmetres de la solució, sinó també el propi pla d'actuació (quan parlem de casos propers o llunyans ho fem en funció d'un punt de tall fixat pel paràmetre β_1). Arribat aquest punt, però, el que sol succeir és que el cas és considerat com una nova situació amb la que el sistema no s'hi havia enfrontat mai i solament es té en compte la solució proposada pel sistema expert. El SRBC, aleshores, passa directament a la fase d'aprenentatge.

5.2.3.3 Fase d'avaluació

Tercera fase del cicle establert pel funcionament del SRBC. Llençat el pla d'actuació, cal fer una avaluació de les conseqüències que se'n deriven. Solament d'aquesta manera es podrà determinar si el conjunt d'accions proposades ha estat capaç de reconduir el procés cap a un millor estat, o si per contra, l'actuació ha estat fallida i el procés no ha respost satisfactòriament.

Aquesta avaluació pot ser realitzada de diverses formes;

- per pregunta directa a l'expert, en aquest cas el cap de la EDAR,
- per simulació dels efectes del pla d'actuació sobre un model de la EDAR calibrat, o
- per obtenció directa i automàtica de les variables rellevants que defineixen l'estat de la planta.

En el nostre cas, considerant que el sistema total encara es troba a un nivell de prototipus, i que solament una validació global pot proporcionar una robustesa suficient

³ δ_{ij} val 1 quan $i = j$, δ_{ij} val 0 quan $i \neq j$

que permeti confiar en l'autonomia del sistema, ens decantem encara per la primera de les opcions d'avaluació, que implica la pregunta directa a l'expert. D'aquesta manera, el propi cap de planta és el que va calibrant les accions proposades pel SRBC, decidint quan un pla d'actuació ha estat exitós o fallit, millorant certs aspectes concrets de les accions de control, afegint detalls que ell mateix ha anat aprenent amb el pas dels anys, desautoritzant antics plans d'actuació que no s'adapten a les noves condicions de la EDAR, etc. Com a treball futur es té molt en compte el potencial que suposa l'aplicació d'un sistema d'adaptació per *feed-back* que infereixi d'una manera automàtica les conseqüències de l'actuació portada a terme, mentre que es deixa de banda l'opció de considerar la simulació com a possible banc de proves de cara a l'adaptació, doncs hi ha moltíssimes possibilitats que el model hagi estat calibrat en unes condicions prou allunyades a les que corresponen al cas a solucionar.

5.2.3.4 Fase d'aprenentatge

L'última de les fases del cicle de funcionament del SRBC apareix com a conclusió lògica al procés seguit. De la mateixa manera que qualsevol persona que treballi durant força temps a càrrec d'un procés, anirà aprenent i millorant el seu coneixement en funció de les noves experiències viscudes, el SRBC també ha d'estar preparat per a recollir aquesta nova experiència. L'aparició de noves situacions, l'aplicació de diferents estratègies de control i l'avaluació diària que se'n fa dels resultats obtinguts, provoca un enriquiment de coneixement específic de la EDAR, que ha de quedar enregistrat a la llibreria de casos per tal que el sistema aprengui de la seva pròpia experiència. L'objectiu de la fase d'aprenentatge és múltiple: cal evitar errors sistemàtics, cal ajustar aquelles solucions que s'han quedat a mitges, cal ratificar les solucions més encertades, cal purgar de la base aquell coneixement que dificulta l'exploració correcta, i cal assimilar tota nova situació per tal d'incorporar coneixement que permeti fer front a futurs casos semblants.

L'enriquiment del coneixement específic del procés es produeix bàsicament degut a l'aprenentatge per pròpia experiència. Aquesta nova experiència, produïda a la finalització de cada cicle del SRBC, pot ser positiva (l'anomenem *aprenentatge per èxit* i fa referència als casos en que la solució proposada per solucionar el cas ha funcionat).

o negativa (*aprenentatge per fracàs*, referit a quan el pla d'actuació ha resultat fallit). En ambdós casos l'experiència ha de ser correctament enregistrada a la llibreria.

- **Aprenentatge per èxit.** Un algorisme recursiu (Sánchez *et al.*, 1997) és l'encarregat d'introduir el nou cas a l'espai de memòria corresponent, de tal manera que quedi disponible a la llibreria de casos per a ser recuperat quan el cicle s'iniciï amb l'entrada d'un nou cas. L'algorisme es mou per l'arbre en funció de la diferent natura dels nusos que avalua (nuls, terminals o no-terminals) i té capacitat per obrir noves branques quan es troba amb nous camins que encara no contenen cap cas. La finalitat és afegir, d'una manera selectiva que eviti l'augment excessiu de la llibreria, tot cas que contingui nova informació que pugui ajudar a la solució futura de nous casos. Per tal d'evitar la introducció d'informació redundant s'estableix un nou paràmetre, β_2 , que fixa una distància aconsellable a partir de la qual el sistema considerarà que el cas nou pot enriquir el coneixement específic de la planta, i serà incorporat a la llibreria. Per contra, quan la distància entre el nou cas i el més proper sigui inferior a β_2 , el sistema descarta la incorporació del cas a la base, doncs considera que no aporta prou coneixement complementari.
- **Aprenentatge per fracàs.** L'errada del pla d'actuació proposat pel SRBC pot ser degut a diverses causes. Per una banda, pot ser que el sistema recuperi un cas prou similar a l'actual, però que el pla d'actuació no sigui prou encertat com per solucionar el problema. En aquest cas, la fase d'avaluació serveix per marcar el cas com a erroni, i l'experiència ha de ser enregistrada a la llibreria per tal d'evitar l'aplicació sistemàtica d'un pla d'actuació erroni o incomplet. Com a segona possibilitat, es pot donar el fet que la llibreria de casos contingui un cas molt similar a l'actual, però que l'algorisme de recerca i selecció no l'hagi sabut recuperar. Això implica que cal revisar ordres de prioritització, pesos i rangs dels atributs inclosos en la descripció del cas. Aquest aspecte es pot descartar si suposem que s'ha realitzat una bona calibració del mètode, prèvia a la implementació del mateix. Així, de cara a la incorporació de casos com a resultant de l'aprenentatge per fracàs, tot i que la bibliografia cita diferents opcions, ens hem decantat per fer-ho a un sol arbre que contingui les dues modalitats de casos (exitosos i erronis), amb una marca específica sobre aquells que han proposat solucions fallides. L'algorisme, doncs, és el mateix que l'utilitzat a l'aprenentatge per èxit.

Una altra possibilitat d'enriquir el coneixement específic que conté el SRBC consisteix en l'aprenentatge per observació, que consisteix en la introducció en qualsevol moment, i per part de l'expert, de noves situacions a la llibreria de casos, amb nous plans d'actuació, diferents valors de les variables que faciliten la diagnosi, etc. Aquests casos poden provenir de l'observació que el cap de planta fa del seu procés, d'alguna experiència viscuda però no detectada pel sistema, de converses amb altres experts (que recomanen noves solucions), o de referències bibliogràfiques. En certa manera, l'aprenentatge per observació solament tracta d'anar completant, al llarg del temps, la fase d'ompliment (o *initial seed*) de la base de casos, punt recomanat de partida a l'implementació del SRBC.

Dintre aquest tipus d'aprenentatge, també cal considerar la possibilitat que el sistema s'enfronti a una nova situació, sense precedents similars a la llibreria de casos. Tot i que el sistema recuperi el cas més proper, pot ser que la distància entre els dos casos sigui prou gran com per evitar considerar cap mena de similitud entre els casos ($\text{distància} > \beta_1$) i, en conseqüència, existeix la seguretat que la solució proposada pel cas recuperat no es correspon a l'adequada pel nou cas. Aquest fet, que es dona quan el coneixement contingut a la llibreria de casos no és suficientment gran com per cobrir l'ample espectre de possibles situacions, suposa una experiència enriquidora que cal enregistrar per dotar al SRBC amb el potencial suficient com per afrontar aquesta situació en un futur. En aquest cas, i degut a que es precisa de l'expert per tal de proposar l'actuació adient, l'aprenentatge no pot ser del tipus automàtic, i s'inclou dins la categoria d'aprenentatge per observació.

Un altra aspecte que s'ha comentat al llarg del capítol, és el fet de la limitació del nombre d'experiències que pot contenir la base de casos. Un nombre excessiu de casos dificulta la fase de recuperació, augmentant el temps de càlcul i l'espai de memòria utilitzat, i empobrint l'eficàcia del propi sistema. Per això, el SRBC pot aportar un nou tret fonamentat en el comportament humà, la capacitat d'oblidar. Cada un dels casos continguts a la llibreria conté un comptador que expressa la mesura d'utilitat del cas en qüestió. Aquesta comptador s'actualitza cada vegada que el cas es recuperat per l'algorisme de recerca, i ho fa en funció del percentatge d'èxits o fracassos presentats pel sistema quan el cas es troba entre els recuperats. Aquesta mesura d'utilitat (UM) es calcula segons la següent equació:

$$UM(C) = \frac{(UAS / S) - (UAF / F) + 1}{2}$$

on C és el cas recuperat, UAS és el nombre de vegades que el cas ha estat el triat d'entre tots els casos recuperats i el pla d'actuació ha tingut èxit, S és el nombre total de plans d'actuació exitosos quan el cas C es troba entre els recuperats, UAF és el nombre de vegades que el cas ha estat el triat d'entre tots els casos recuperats i el pla d'actuació ha resultat fallit, i F és el nombre total de plans d'actuació fallits quan el cas C es troba entre els recuperats.

Així, valors molt baixos d'UM indiquen que la utilització del cas sol provocar errors en la solució del sistema, mentre que valors d'UM propers a 1 denoten l'alt grau de fiabilitat de la informació continguda pel cas.

L'algorisme encarregat de buscar els casos que poden ser susceptibles a l'eliminació, comprova que la seva freqüència d'utilització quan l'avaluació és exitosa sigui realment baixa (és a dir $UM(C) < \delta$), i que no siguin casos excepcionals (distància Eixample respecte la resta de casos $> \beta$), per tal d'evitar l'eliminació de casos que, tot i tenir una baixa UM, contenen un coneixement molt preciat i gens redundant.

Descrites ja cadascuna de les fases que conformen el cicle de funcionament del SRBC, solament queda representar-ne la seqüència lògica d'accions en forma de diagrama de flux, tal i com apareix a la figura 5.5

El cicle s'inicia quan, després de 24 hores de funcionament, s'estableix un nou cas o situació de la planta C_i , definit a partir de la informació que ha anat generant la planta (la que arriba d'una manera automàtica i la que afegixen els operaris com a resultat de les analítiques al laboratori i de les observacions realitzades). L'algorisme de recerca s'encarrega de buscar i recuperar de la llibreria de casos el conjunt de casos més semblants emmagatzemats pel sistema C_{rec} . Mitjançant el càlcul de la distància Eixample entre el nou cas C_i la totalitat de casos recuperats de la llibreria C_{rec} , es tria el més proper, C_j . Aquest cas representa l'antecedent de la pròpia planta amb característiques més similars a les actuals, i el SRBC es fonamenta en l'ús de la pròpia

experiència per tal d'afrontar noves situacions. Si la distància entre C_i i C_j és prou elevada (superior a β_1) es desvia la ruta habitual del cicle, doncs es considera que els dos casos no són prou similars com per aprofitar l'experiència viscuda, i l'única cosa que es pot fer és incorporar el nou cas a la llibreria del sistema per tal de ser aprofitat en una futura ocasió. Aquest és el tipus d'aprenentatge definit com per observació, i precisa de l'ajuda de l'expert.

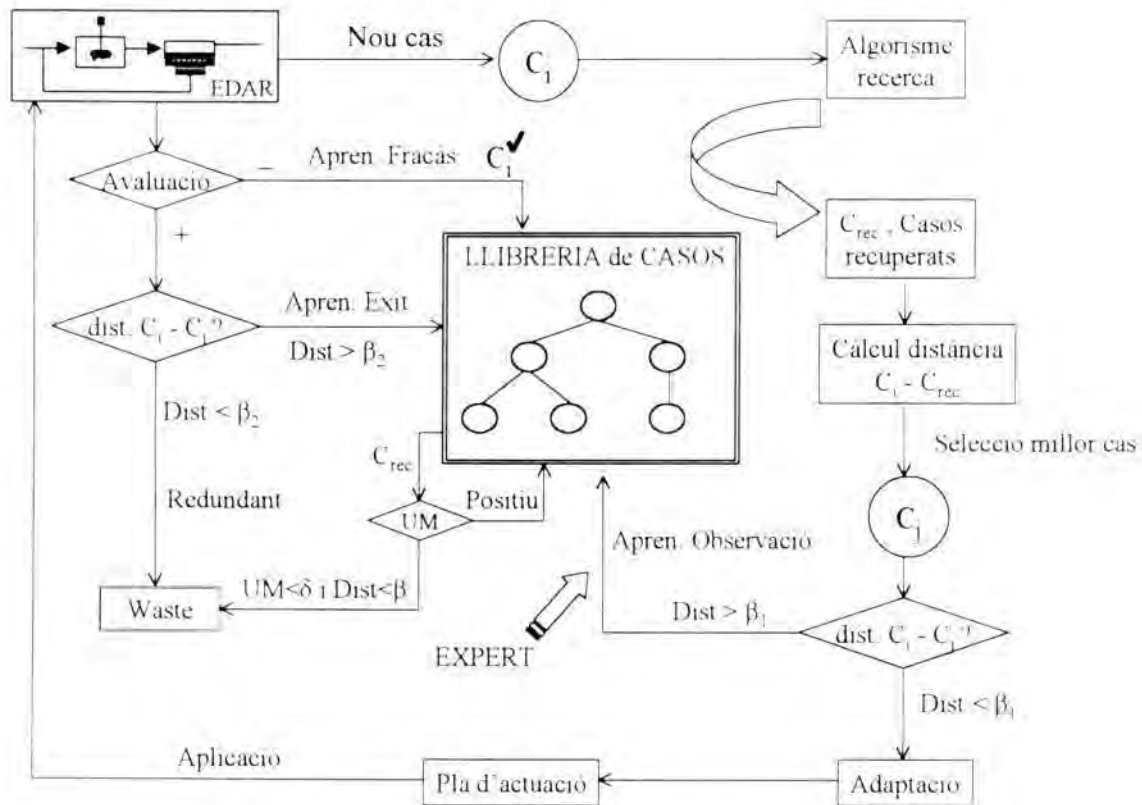


Fig. 5.5 Diagrama de flux del cicle establert pel SRBC.

Per contra, quan la distància entre C_i i C_j és inferior a β_1 , el cicle segueix el camí habitual, amb la pertinent adaptació de paràmetres (solament quan sigui estrictament necessària) i l'establiment del pla d'actuació. Un cop el cap de planta aplica aquest pla proposat, solament resta fer-ne l'avaluació, per tal d'incorporar la nova experiència a la llibreria de casos. Quan l'avaluació és negativa el cas s'incorpora marcat (aprenentatge per fracàs). Si l'avaluació és positiva cal veure si la distància $C_i - C_j$ és prou gran (superior a β_2) com per considerar valuosa la nova informació, i introduir C_i a la llibreria (aprenentatge per èxit), o, si per contra, la distància és petita (inferior a β_2) i la informació continguda és redundant. Aleshores no és necessari emmagatzemar el nou cas, doncs la llibreria ja en disposa de similars.

L'última de les possibilitats reflexades a la figura 5.5 fa referència a un petit cicle que solament afecta als casos recuperats, i que s'activa a la finalització de l'anterior cicle general. L'objectiu és la possibilitat d'oblidar o esborrar de la llibreria del SRBC, tots aquells casos amb un baix percentatge d'èxit quan han estat recuperats per l'algorisme de recerca de casos similars. La metòdica estableix tenir en compte el valor del paràmetre UM (mesura d'utilitat), i enviar cap a la paperera del sistema (*waste*) tot cas que, sense ser excepcional (distància amb la resta de casos menor que β), tingui un valor d'UM inferior a δ .

5.3 Desenvolupament del Sistema de Raonament Basat en Casos per a la EDAR de Girona

Tot el munt de propostes i mecanismes de desenvolupament del SRBC han de ser validats dins un entorn real. La EDAR de Girona ha estat triada com a banc de proves, i a partir de la informació disponible de la planta, s'ha realitzat l'estudi complet del procés de desenvolupament del sistema, així com de la seva possible implementació, per tal de concloure el protocol final de sistematització en la construcció d'un SRBC per a EDAR.

5.3.1 El cas

Definit prèviament el cas com a la situació o estat de la planta corresponent a un període de 24 hores, cal decidir quines són les variables necessàries per a definir d'una manera clara aquest estat. Per tal de fer-ho es compte amb l'estudi previ que s'ha fet de la EDAR de Girona, així com del tipus, quantitat i qualitat d'informació recollida habitualment (veure tema 3)

Cabals	Entrada planta	Entrada biològic	Sortida planta	Licor mescla
influent	pH	SS	SS	V30
	SS	DBO ₅	DBO ₅	SSVLM
	DQO			
	DBO ₅			

Taula 5.1 Variables descriptors del cas

Tot i que es podria considerar la totalitat de variables o atributs existents, el nivell de complexitat que pot arribar a presentar la llibreria ha recomanat triar solament els onze atributs que resulten mes rellevants de cara a la identificació de l'estat o cas de la EDAR de Girona. Els atributs finalment considerats, recollits a la taula 5.1, són els següents: cabal i pH de l'aigua d'entrada, concentració de matèria orgànica biodegradable (DBO₅) i de sòlids en suspensió (SS) a l'entrada de la planta, després del tractament físico-químic i a la sortida del procés biològic, concentració de matèria orgànica no biodegradable (DQO) a l'influent, nivell de biomassa present als bioreactors (SSVLM) i una mesura estimativa de l'índex de sedimentabilitat dels mateixos (V30). D'aquesta manera es pot definir tot nou cas i saber si presenta anormalitats a la qualitat o quantitat de l'aigua d'entrada, si el percentatge d'eliminació de matèria orgànica ha estat suficient, i la quantitat i facilitat de decantació de la fauna biològica desenvolupada.

5.3.2 Construcció de la base de casos

A cada una de les variables triades per a la caracterització del cas se li han assignat uns rangs (alt, baix i normal), un ordre de prioritització per conformar l'ordre dels nusos de l'arbre, i un pes que permeti ajustar el càlcul de la distància. Eixample. Aquesta assignació no és evident, i requereix una gran familiaritat amb la EDAR d'estudi, la supervisió del cap de planta, i un gran nombre d'iteracions per acabar d'ajustar els resultats. La taula 5.2 inclou els atributs, ordre, pes i rangs finals considerats pel desenvolupament del SRBC de la EDAR de Girona.

L'ordre discriminant s'inicia amb les variables corresponents als valors de matèria orgànica i sòlids en suspensió al corrent de sortida (DBO-S i SS-S). Precisament aquestes variables fan referència als principals paràmetres que l'abocament de la EDAR de Girona ha d'assolir. Seguidament es prioritzen les variables principals referents a la caracterització de l'influent (DBO-E, SS-E i DQO-E i Q-E), seguides de les condicions de l'aigua al punt previ al tractament biològic (DBO-D i SS-D). Les següents variables són les que indiquen la quantitat de microorganismes i la seva decantabilitat (SSVLM-B i V30), finalitzant aquesta prioritització amb la variable pH-E, que tot i ser determinant per la correcta depuració de l'aigua, és la menys discriminant de totes, doncs en poques ocasions pren valors no inclosos al rang de normalitat (6,5 - 7,5). En quant als pesos assignats a cada atribut, segueixen una lògica semblant a la prioritització discriminant, restant cert pes a la variable del cabal, doncs tot i que presenta una gran variabilitat que

podria distorsionar les distàncies, el criteri operatiu de la EDAR solament sol admetre un màxim de 39,000 m³ diaris.

Atribut	Ordre	Pes	Rang		
			<i>baix</i>	<i>normal</i>	<i>alt</i>
Cabal-entrada (Q-E)	6	5	(< 30000)	(30000 - 40000)	(> 40000)
DQO-entrada (DQO-E)	5	7	(< 300)	(300 - 500)	(> 500)
DBO-entrada (DBO-E)	3	8	(< 100)	(100 - 250)	(> 250)
SS-entrada (SS-E)	4	8	(< 150)	(150 - 300)	(> 300)
pH-entrada (pH-E)	11	4	(< 6.5)	(6.5 - 8.5)	(> 8.5)
DBO-primari (DBO-D)	7	6	(< 80)	(80 - 200)	(> 200)
SS-primari (SS-D)	8	6	(< 80)	(80 - 200)	(> 200)
DBO-sortida (DBO-S)	1	9	(< 10)	(10 - 30)	(> 30)
SS-sortida (SS-S)	2	9	(< 10)	(10 - 20)	(> 20)
SSVLM (SSVLM-B)	10	5	(< 1200)	(1200 - 1800)	(> 1800)
V30 (V30-B)	9	6	(< 150)	(150 - 250)	(> 250)

Taula 5.2 Atributs, ordre, pes i rangs dels atributs descriptors d'un cas

Amb tota la informació que recull la taula 5.2, el SRBC ja en fa prou per començar a treballar. No obstant, ja s'ha comentat que resulta profitós inicialitzar la llibreria amb un conjunt de casos específics representatius de les situacions més habituals que ha d'afrontar la EDAR de Girona, amb la finalitat d'incloure cert coneixement històric a la memòria del sistema.

Per tal de fer la tria d'aquests casos que permetin inicialitzar la llibreria del SRBC, s'ha decidit recórrer a la classificació existent de les dades històriques corresponents al període setembre 1995 - setembre 1996 de la EDAR de Girona (classificació feta amb Linneo[®] alhora d'extreure coneixement específic per a la base de coneixement del sistema expert). També s'hagués pogut realitzar una nova classificació, que només tingués en compte les onze variables descriptors del cas. De les sis classes diferenciades amb la classificació general, s'ha conclòs extreure 15 casos inicials, tres corresponents a la situació de tempesta (classe 2), tres de normalitat (classe 1), tres de bülquing (classe 3), dos d'abocament industrial (classe 4), tres de terbolesa (classe 5), i l'únic dels dies continguts a la classe d'influent poc carregat (classe 6). Obviament, la

introducció d'aquests quinze casos a la llibreria del SRBC ha d'anar acompanyada del seu pla d'actuació corresponent.

Cas	Dia	Diagnosi
C1	4/II/96	Tempesta
C2	21/III/96	Búlquing
C3	27/III/96	Búlquing
C4	12/IX/96	Búlquing
C5	28/III/96	Abocament industrial
C6	31/VII/96	Abocament industrial
C7	26/VI/96	Terbolesa
C8	9/IX/96	Terbolesa
C9	16/IX/96	Terbolesa
C10	3/IX/95	Influent poc carregat
C11	8/II/96	Normal
C12	18/VI/96	Normal
C13	1/X/95	Normal
C14	30/I/96	Tempesta
C15	1/II/96	Tempesta

Taula 5.3 Casos triats per iniciar la llibreria

Dels dies que mostra la taula 5.3, cal destacar-ne dos d'especials: el dia 3/IX/95, tot i ser etiquetat pels experts com "influent poc carregat", es correspon a un dia intermig entre la situació de tempesta i de normalitat, per la qual cosa presenta un cabal prou baix i una baixa càrrega de sòlids i matèria orgànica, mentre que el dia 8/II/96 està caracteritzat com normal però té un cabal d'entrada molt alt (superior als 50.000 m³/dia) amb el conseqüent efecte dilutori de la càrrega influent.

Tot i la dràstica reducció de la totalitat de variables considerades, encara resulta prou complexa la representació global automàtica de l'estructura de l'arbre prioritzat jeràrquic que finalment conforma la llibreria dels casos, degut al seu alt grau de complexitat (11 atributs amb tres modalitats per a cada un d'aquestes variables). No obstant, la figura 5.6 mostra una aproximació de la llibreria inicial projectada per a la EDAR de Girona. A la columna de l'esquerra apareix el llistat d'atributs rellevants

considerats, amb el corresponent ordre de prioritització establert a la taula 5.2. A la dreta, l'arbre mostra el conjunt de branques que ha calgut obrir per situar els quinze casos en fulls terminals. De cara la notació, A significa que el valor de l'atribut es troba dins el rang alt de la discretització, N dins el rang normal, i B pels valors inclosos al rang més baix.

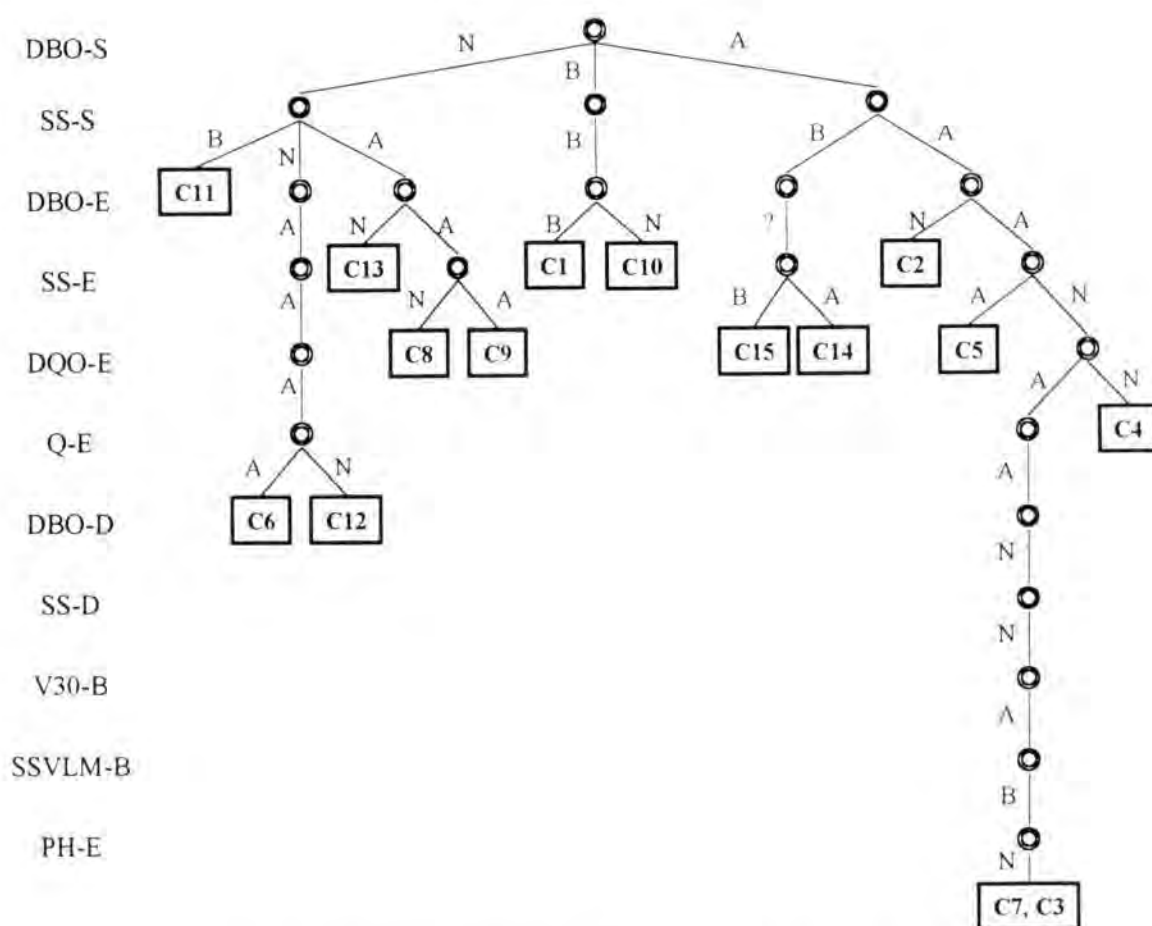


Figura 5.6 Llibreria inicial del SRBC de la EDAR de Girona

5.3.3 Avaluació parcial

Construïda i inicialitzada ja la construcció de la llibreria de casos, el sistema resta a punt per iniciar el seu funcionament. Prèvia a la seva implementació real sobre una planta, s'ha procedit a realitzar una sèrie de verificacions que validin la robustesa del codi, així com dels seus mecanismes de selecció i recuperació.

Per tal de portar a terme aquesta avaluació, s'ha estudiat la resposta del sistema davant la introducció d'un seguit de casos artificials que s'ajusten a situacions ben conegudes a la EDAR de Girona. A l'igual que pels casos triats a l'inicialitzar la llibreria, s'ha tornat a

recórrer a la classificació existent de les dades històriques corresponents al període setembre 1995 - setembre 1996, i s'han pres els centres de les sis classes resultants.

Al tractar-se d'una validació parcial i sobre simulació, resulta del tot impossible avaluar el cicle complet amb la resposta reals del sistema, però si que es pot apreciar el conjunt de casos recuperats i les distàncies establertes.

5.3.3.1 Normalitat

S'inicia la validació mitjançant la introducció d'un cas que conté els valors mitjans de la classe nº 1 (definida com a normal pels experts)

Activat el cicle, la fase de recuperació s'encarrega de buscar els casos històrics més similars al de l'exemple d'entre tots els continguts a dins la llibreria de casos, a més de calcular la distància que els separa segons el criteri de l'Eixample. La taula 5.4 especifica els resultats obtinguts.

Cas	Distància	DBO-S	SS-S	DBO-E	SS-E	DQO-E	Q-E
Actual	-	18.8	15.3	214	210.5	441.5	42176
C12	0.1290	27	14.4	472	468	636	35589.3
C6	0.1335	16	11.6	532	526	900	40710
C13	0.2307	14	23.6	134	117	296	38385.1
C15	0.2422	?	8	?	136	53	23541.3
Cas	Distància	DBO-D	SS-D	V30-B	SSVLM-B	pH-E	
Actual	-	121.2	89.5	260	1347	7.6	
C12	0.1290	136	73	160	1690	7.6	
C6	0.1335	146	82	180	1209	7.3	
C13	0.2307	102	65	170	1640	7.7	
C15	0.2422	?	49	310	1807	7.5	

Taula 5.4 Taula de casos recuperats

Solament han estat recuperats quatre dels quinze casos inicials incorporats a la llibreria. Per tant, aquests quatre són els únics que difereixen com a molt en el rang d'un dels atributs o variables que descriuen l'exemple. Aquí s'aprecia la importància de la correcta discretització de les variables que conformen els diferents nusos de l'arbre, així com de la discriminació que atorga la jerarquia dels nusos, doncs una incorrecte definició dels

mateixos pot comportar la no recuperació d'algun cas històric prou proper a l'exemple d'estudi. A més, el càlcul de la distància Eixample s'agilitza, doncs solament s'ha de realitzar respecte els casos recuperats. Per aquest càlcul resulta determinant el pes que s'ha atorgat a cadascuna de les variables descriptors del cas, així com el valor del paràmetre de tall α , que per l'exemple és 7.

El valor de les distàncies mostra que C12 és el més proper de tots, però que la semblança no és excessiva, doncs el resultat de la distància Eixample és fins i tot superior a 0.1. La raó d'aquesta llunyania la podem trobar al fet que el cas triat per l'exemple procedeix del centre d'una classe molt gran (inclou 378 dies), amb una elevada dispersió dels seus atributs, i amb una gran quantitat de diferents situacions amb particularitats específiques no detectades per Linneo.

Dels casos recuperats, n'hi ha dos de normals (C12 i C13), un d'abocament industrial (C6), i un altre de tempesta (C15), essent C12 el que es faria servir de referència al SRBC per tal de continuar el cicle establert.

(	identificador	CAS 012	
	descripció situació	((Cabal-entrada	42176 m ³ /d)
		(pH-entrada	7.6)
		(SS-entrada	468 mg/L)
		(DQO-entrada	636 mg O ₂ /L)
		(DBO-entrada	472 mg O ₂ /L)
		(SS-decantació	73 mg/L)
		(DBO-decantació	136 mg O ₂ /L)
		(SS-sortida	14.4 mg/L)
		(DBO-sortida	27 mg O ₂ /L)
		(SSVLM-bioreactors	1690 mg/L)
		(V30-biomassa	160 ml))
	diagnosi	NORMAL	
	actuació	((1. Cabal de purga = 500 m ³ /d	)
		(2. Dosi sals de ferro = 40 ppm	)
		(3. OD = 1.5 ppm	))
	derivació	INICIAL	
	solució	ÈXIT	
	UM	0.5	
	distància	0.1290	
		)	

Figura 5.7 Informació enregistrada a la llibreria del SRBC referent al cas 12

Un cop recuperat el cas 12 de la llibreria com el més similar al cas d'estudi (figura 5.7), s'entra de ple a la fase d'adaptació. Ja s'ha fet esment a la poca rellevància que presenta aquesta fase pel domini de les EDAR dins el cicle global del SRBC. Pel present estudi,

degut al caràcter prou general dels plans d'actuació proposats, no es considera necessària l'adaptació.

Així doncs, es conclou que la recuperació ha estat prou selectiva i acurada, tot i que el càlcul de la distància mostra l'absència de cap cas molt proper a la llibreria inicial. Amb el pas del temps, i com a conseqüència del constant aprenentatge del sistema, la llibreria enriquirà el seu coneixement específic, i la probabilitat de trobar casos mes propers serà major.

Degut a que no es pot portar a terme la fase final, que consisteix en una avaluació real de les conseqüències de l'actuació, tampoc es pot saber si la informació aportada pel nou cas s'incorporaria a la base.

Finalitzat el cicle, encara caldria recalcular i enregistrar el valor del paràmetre UM per a cada un dels casos recuperats, enviant cap a la paperera del sistema aquells que presentessin un pobre percentatge d'èxits (o un elevat percentatge de fracassos) quan són recuperats, i que no aporten informació fonamental pel sistema.

5.3.3.2 Terbolesa

El procés de validació es continua amb la introducció d'un nou cas. El centre de la classe número 5, definida pels experts com terbolesa, es el triat. La taula 5.5 mostra els casos resultants de la fase de recuperació i del càlcul de la distància.

Fins a sis casos han estat recuperats per l'exemple de la terbolesa. N'hi ha dos de molt propers (C8 i C9), que precisament es corresponen als casos inicials de terbolesa introduïts a la llibreria. A més, són els dos casos que han seguit l'exploració intensiva o camí principal de l'algorisme de recerca, mentre que la resta (C13, C3, C7 i C6, caracteritzats com normal, bulquing, terbolesa i abocament industrial respectivament) procedeixen de l'exploració directa o camins secundaris. Aquesta recuperació ha estat possible per la bona correspondència dels rangs de les variables, però el càlcul de la distància ja permet discernir la poca similitud respecte el cas d'exemple i, per tant, la no utilització de la informació continguda en aquests casos de cara a la resolució del problema.

Cas	Distància	DBO-S	SS-S	DBO-E	SS-E	DQO-E	Q-E
Actual	-	20.8	51.8	251	256	579.5	40398
C8	0.0031	23	45.6	382	298	646	38721.1
C9	0.0616	28	57	289	311	579	43370
C13	0.1322	14	23.6	134	117	296	38385.1
C3	0.1733	79	110.4	307	248	513	42334
C7	0.1734	35	89.2	377	264	864	40320
C6	0.2337	16	11.6	532	526	900	40710
Cas	Distància	DBO-D	SS-D	V30-B	SSVLM-B	pH-E	
Actual	-	176.3	140	217	943	7.6	
C8	0.0031	178	135	260	1047	7.7	
C9	0.0616	167	121	230	762	7.6	
C13	0.1322	102	65	170	1640	7.7	
C3	0.1733	157	115	490	1024	7.7	
C7	0.1734	167	107	320	810	7.8	
C6	0.2337	146	82	180	1209	7.3	

Taula 5.5 Taula de casos recuperats

Així doncs, de nou es pot considerar que la recuperació dels casos similars ha estat prou bona, i el SRBC proposaria el pla d'actuació contingut a C8 per tal de reconduir el procés i evitar l'elevada concentració de SS a l'efluent. El cicle finalitzaria de nou amb l'avaluació dels resultats i la fase d'aprenentatge.

La gran semblança entre el cas de l'exemple i el cas recuperat segurament evitaria l'aprenentatge per èxit (redundància), i la incorporació solament es podria produir com un aprenentatge per fracàs (en cas d'avaluació negativa dels resultats), que evites reproduir el pla d'actuació erroni quan la EDAR visqués una situació futura semblant.

5.3.3.3 Tempesta.

El procés de validació es continua amb la introducció d'un altre cas hipotètic actual, extret ara del centre de la classe número 2, caracteritzada com a tempesta. La taula 5.6 en recull els resultats.

Dels tres casos recuperats, n'hi ha un que és prou llunyà (C12), i dos que són força similars a l'exemple (C11 i C15). D'aquests dos darrers, el més proper està caracteritzat

com a normal, però ja s'ha fet esment al fet que presenta unes característiques molt similars a les de tempesta, amb unes càrregues molt diluïdes i un cabal d'entrada molt elevat. Aquesta última dada és indicativa de que els col·lectors que travessen el riu Ter encara no han estat tancats, però que aviat caldrà fer-ho per evitar la seva sobrecàrrega. Pel que respecte al cas C15, la seva caracterització inicial com a tempesta ja es correspon amb la definició de l'exemple. Destacar que tot i desconèixer el valor de certes variables del cas, la recuperació segueix endavant (pren el valor mitjà més habitual de la variable desconeguda) i permet la seva consideració final. És un fet habitual, per innecessari, que la EDAR de Girona no realitzi l'analítica de la DBO₅ els dies de forta tempesta.

Cas	Distància	DBO-S	SS-S	DBO-E	SS-E	DQO-E	Q-E
Actual	-	17	8.5	192.9	154	110	22564
C11	0.0110	10	7.6	134	164	258	51820.1
C15	0.0686	?	8.0	?	136	53	23541.3
C12	0.3020	27	14.4	472	468	636	35589.3
Cas	Distància	DBO-D	SS-D	V30-B	SSVLM-B	pH-E	
Actual	-	110.6	65	339	1937	7.5	
C11	0.0110	67	68	210	1554	7.6	
C15	0.0686	?	49	310	1807	7.5	
C12	0.3020	136	73	160	1690	7.6	

Taula 5.6 Taula de casos recuperats

Així, solament restaria aplicar l'estratègia d'operació proposada pel cas recuperat (tancar el cabal de purga i la dosificació de sals de ferro del complement físico-químic, alhora que es manté el punt de consigna del llaç de control de l'oxigen dissolt a les basses d'activació), i realitzar la pertinent avaluació - aprenentatge.

Aquest exemple del cas de tempesta serveix per mostrar el diferent rendiment que pot oferir a la EDAR un SRBC en front un sistema de control més clàssic. És cert que un sistema clàssic, en té prou amb la mesura on-line del cabal d'entrada per detectar el canvi sobtat de metres cúbics influents, i que pot arribar a actuar d'una manera automàtica sobre alguna de les comportes que determinen el flux de l'aigua (obrint per exemple algun by-pass que redirigir l'aigua directament cap el riu o cap els reactors biològics). També solen existir sensors de nivell al pretractament de la planta que

modifiquen d'una manera automàtica la freqüència o velocitat dels mecanismes de neteja de les reixes o del pont dels desarenador, evitant així colmatament d'aquestes unitats quan l'aigua de la pluja baixa molt carregada de sòlids en suspensió. No obstant, el que de moment no és capaç de determinar un sistema de control clàssic és si la variació de cabal a l'entrada ha suposat també un augment de la concentració de sòlids i/o matèria orgànica o, a l'inrevés, si la tempesta ha provocat un efecte dilutori sobre la concentració de contaminants. L'estratègia d'operació difereix absolutament en ambdós casos, i solament un sistema que integri i estudiï tot tipus informació és capaç d'inferir l'estat real de la EDAR i ordenar les diferents accions de control que cal portar a terme per fer front a la situació.

5.3.3.4 Búlquing filamentós.

S'ha repetit l'exemple de les seccions anteriors, però introduint ara un cas que conté els valors mitjans de la classe nº 3, corresponent a la situació de Búlquing. Els casos recuperats, les distàncies establertes, i els valors de les variables, queden recollits a la taula 5.7.

El fet que l'exploració realitzada per l'algorisme de recerca segueixi el camí més llarg i amb un major número de casos, provoca una recuperació de fins a set dels casos emmagatzemats a la llibreria del SRBC. Descartant els dos darrers per llunyans (C8, terbolesa i C15, tempesta), ens queda un conjunt de 5 casos prou propers, entre els que trobem els tres casos inicials de búlquing (C2, C3 i C4), un d'abocament industrial (C5) i un de terbolesa (C7). Precisament C3 i C7 són els resultants de l'exploració intensiva, essent la resta producte de l'exploració directa pels camins secundaris.

C3 és el més proper, i per tant serà el que tria el SRBC per continuar el cicle. Tot i que segons el criteri de distància, C3 i C4 semblen gairebé idèntics, la figura 5.6 mostra que el SRBC no els ha emmagatzemat al mateix nus de l'arbre. La raó d'aquesta separació es troba en el valor del cinquè dels atributs rellevants, la DQO-E. Al discretitzar aquesta variable, 500 ha estat la barrera fixada per diferenciar un valor alt d'un valor normal, i mentre que C3 té una DQO-E de 513 (alta), C4 té una DQO-E de 475 (normal). En aquest exemple es fa palent la importància de realitzar una discretització acurada, i fins i

tot sembla aconsellable la incorporació de més categories modals o del concepte de lògica difosa que evitin la rigidesa dels límits establerts.

Cas	Distància	DBO-S	SS-S	DBO-E	SS-E	DQO-E	Q-E
Actual	-	59	116	271	230	590	40796
C3	0.0048	79	110	307	248	513	42334
C4	0.0051	76	150	261	251	475	40045.7
C7	0.0096	35	89	377	264	864	40320
C2	0.0653	84	131	193	185	612	45352.4
C5	0.0757	35	29	700	655	1108	41522.5
C8	0.1705	23	45	382	298	646	38721.1
C15	0.6338	?	8	?	136	53	23541.3
Cas	Distància	DBO-D	SS-D	V30-B	SSVLM-B	pH-E	
Actual	-	142	97	413	940	7.7	
C3	0.0048	157	115	490	1024	7.7	
C4	0.0051	139	96	330	840	7.6	
C7	0.0096	167	107	320	810	7.8	
C2	0.0653	124	89	540	1120	7.6	
C5	0.0757	162	82	295	830	7.3	
C8	0.1705	178	135	260	1047	7.7	
C15	0.6338	?	49	310	1807	7.5	

Taula 5.7 Taula de casos recuperats

El SRBC prossegueix el cicle amb el més proper del casos (C3), i, sense ésser necessària l'adaptació de paràmetres, proposa el pla d'actuació enregistrat. En aquest cas, l'actuació implica una primera observació microscòpica que determini el tipus de bacteri filamentós que ha proliferat en excés, per tal d'esbrinar la causa que ha provocat aquest desequilibri.

Es pot apreciar com el pla d'actuació proposat pel SRBC inclou part de la pròpia diagnosi de la situació. Aquesta característica és deguda al fet que no hi ha variables qualitatives d'entre les utilitzades per a descriure el cas.

És realment positiu per a la EDAR una diagnosi ràpida de la proliferació de filamentosos, fet que permet evitar un desequilibri total de la població de

microorganismes responsables de la depuració biològica de les aigües residuals. Quan el problema no es detecta a temps, poden caldre llargs períodes de temps per restablir les bones condicions d'operació.

Aquest exemple de búlquing mostra una situació de difícil diagnosi, que requereix la integració d'informació quantitativa i qualitativa, pel que difícilment un sistema clàssic de control podria fer-hi front. El cap de planta sol recórrer a la seva pròpia experiència o a la bibliografia per esbrinar el tipus de problema que afecta a la seva EDAR, i poder actuar en conseqüència.

Si es té en compte que l'estudi de l'aplicació es realitza sobre la EDAR de Girona, el bacteri filamentós tipus 021N és el que majors possibilitats té de ser el responsable de l'esponjament del fang. D'entre les causes que provoquen la proliferació d'aquests filaments, la manca de nutrients sembla ser la més probable, doncs un petit excés de l'addició de sals de ferro al tractament físico-químic inicial, pot suposar una eliminació pràcticament total de la quantitat de fòsfor contingut a l'aigua residual. La solució passa per disminuir la dosi del coagulant, i esperar a que es restableixi l'equilibri adient.

La lenta dinàmica que presenta la reestructuració de l'equilibri entre bacteris formadors de flocul i filamentosos, dificulta la fase d'avaluació que se'n fa de l'aplicació del pla d'actuació proposat pel SRBC. Pot ser necessària l'espera de dies, o fins i tot setmanes, per tal de veure les conseqüències d'un mecanisme preventiu de control com el proposat.

5.3.3.5 Xoc de càrrega

Un nou exemple que ratifiqui la validació consisteix en la introducció del cas hipotètic procedent del centre de la classe número 4, caracteritzat com a xoc de càrrega. Els resultats de la fase de recuperació queden recollits a la taula 5.8.

Dels cinc casos recuperats, n'hi ha dos de propers (C9 i C8) i tres de llunyans (C5, C6 i C13). Contràriament al que es podia esperar, els dos d'inicialització que es corresponen a la situació de xoc de càrrega són dels més distants, mentre que els més similars, apart

de procedir de l'exploració intensiva, havien estat caracteritzats pels experts com a terbolesa.

Cas	Distància	DBO-S	SS-S	DBO-E	SS-E	DQO-E	Q-E
Actual	-	25.5	20.3	616	591	1004	41116
C9	0.0114	28	57	289	311	579	43370
C8	0.0704	23	45.6	382	298	646	38721.1
C5	0.1676	35	29	700	655	1108	41522.5
C6	0.1676	16	11.6	532	526	900	40710
C13	0.2005	14	23.6	134	117	296	38385.1

Cas	Distància	DBO-D	SS-D	V30-B	SSVLM-B	pH-E
Actual	-	154	82	238	1020	7.3
C9	0.0114	167	121	230	762	7.6
C8	0.0704	178	135	260	1047	7.7
C5	0.1676	162	82	295	830	7.3
C6	0.1676	146	82	180	1209	7.3
C13	0.2005	102	65	170	1640	7.7

Taula 5.8 Taula de casos recuperats

De nou l'assignació de rangs i pesos incorrectes sembla ser la causa d'aquest poc encert en la recuperació d'un cas similar al de l'exemple. Els principals atributs que descriuen aquest xoc de càrrega són la DQO, la DBO i els SS a l'entrada. Els rangs superiors d'aquestes variables no són prou restrictius, i al tenir uns pesos superiors al punt de tall $\alpha = 7$, el criteri de distància Eixample simplifica el càlcul atorgant zero per tots els casos que tinguin l'atribut dins la mateixa categoria modal. Així, qualsevol cas que tingui un valor de DQO-E major a 500 (encara que sigui 501 o 1200) es trobarà a una distància parcial de zero respecte el cas de l'exemple de xoc de càrrega (DQO-E = 1004), i seran altres atributs els que estableixen la distància global entre els casos.

En definitiva, el SRBC triaria C9 per prosseguir el cicle, i proposaria l'estratègia d'actuació contemplada per la situació de terbolesa. És d'esperar una avaluació negativa dels resultats de l'actuació, i un posterior aprenentatge per fracàs que, si més no, evités la repetició sistemàtica del mateix error al enfrontar-se de nou a una situació similar.

5.3.3.6 Influent poc carregat

L'última de les classes determinades per Linneo⁺ es correspon a la situació d'un influent poc carregat, segurament com a conseqüència de tempestes anteriors. El fet que la classe solament contingui un dia, implica que el seu centre es correspongui exactament als valors dels atributs o variables del propi dia. Així, la seva introducció inicial dins la base de casos obliga a una recuperació amb distància zero del SRBC. Aquesta prova s'ha realitzat per tal de verificar la correcció de la hipòtesi plantejada.

Cas	Distància	DBO-S	SS-S	DBO-E	SS-E	DQO-E	Q-E
Actual	-	7	7.6	123	116	282	33364
C10	0.0000	7	7.6	123	116	282	33363.8
C1	0.0683	5	5.2	73	77	180	23662
C11	0.2270	10	7.6	134	164	258	51820.1
Cas	Distància	DBO-D	SS-D	V30-B	SSVLM-B	pH-E	
Actual	-	66	55	200	1046	7.3	
C10	0.0000	66	55	200	1046	7.3	
C1	0.0683	54	40	310	1878	7.6	
C11	0.2270	67	68	210	1554	7.6	

Taula 5.9 Taula de casos recuperats

Tal i com era d'esperar, el SRBC ha recuperat C10 (cas idèntic al de l'exemple) amb una distància de zero. Com a resultat de l'exploració directa també s'han recuperat C1 i C11, a distàncies més llunyanes i caracteritzats com tempesta i normal (tot i que ja s'ha fet esment a la probable tempesta de C11 no detectada per Linneo⁺).

*Tots som molt ignorants. El que passa és
que no tots ignorem les mateixes coses.*

A. Einstein

6. Les Xarxes de Transició

6 LES XARXES DE TRANSICIÓ

6.1 Introducció

6.1.1 Que són les Xarxes de Transició?

Les xarxes de transició (XT) són una proposta que ens proporciona la Intel·ligència Artificial per a modelitzar el comportament d'un sistema complex al llarg del temps. Aquestes xarxes, representades gràficament com un autòmat finit, contenen un conjunt de nusos o nodes que representen les diferents situacions o estats en que es pot trobar el procés. La interrelació entre els nusos es dona mitjançant una sèrie d'arcs, doblement etiquetats, que contenen informació al respecte de l'entrada del procés i sobre l'actuació que el controlador ha portat a terme. La figura 6.1 mostra el graf resultant d'una petita xarxa hipotètica conformada per 4 estats (E_i) als nusos i 9 transicions als arcs amb 5 tipus d'entrades (I_i) i 6 accions de control (C_i).

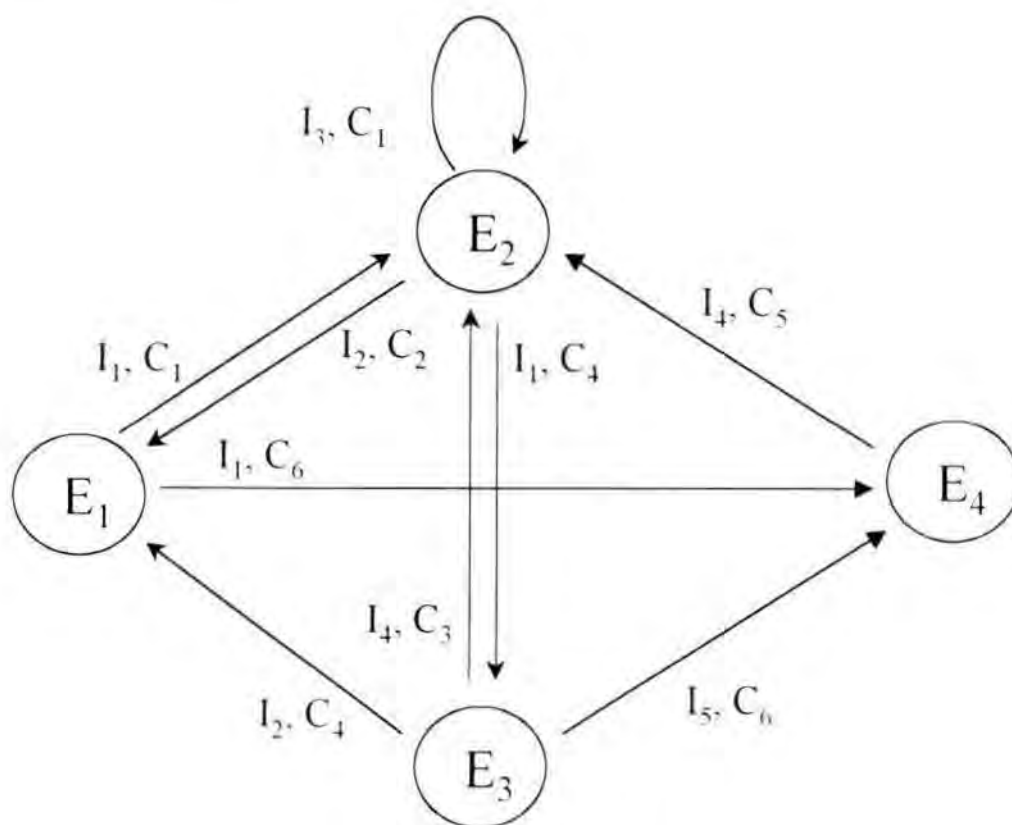


Figura 6.1 Exemple de graf finit representant una XT

La XT enregistra i relaciona les transicions que, al llarg del temps, s'han donat entre els diferents estats del procés. El coneixement específic que contenen s'utilitza per a predir el possible futur estat del procés, en funció de les característiques de l'entrada i del tipus d'acció de control portada a terme.

La incorporació del concepte de predicció és un dels trets característic més interessant que aporten les XT de cara al control d'un procés. L'ús de models matemàtics podria ser suficient per a predir el comportament del sistema, però quan els processos són prou complexes i les condicions molt variants, aquesta modelització és complicada i poc robusta, resultant ineficaç alhora de predir situacions prou allunyades de la idealitat.

6.1.2 Com funciona una Xarxa de Transició?

Els dos capítols precedents (sistemes experts i sistemes de raonament basats en casos) descriuen aproximacions que treballen d'una manera estàtica (tot i el caràcter dinàmic del coneixement contingut a la base de casos del SRBC), en el sentit que no inclouen informació respecte la temporalitat del procés (amb l'excepció d'algunes regles que podrien supervisar tendències de certs aspectes). El gran avantatge de la utilització de les XT és que, alhora de determinar l'actuació més adient pel procés, preveuen el possible futur comportament o resposta del sistema. Aquest sistema de raonament, recolzat en XT, emula d'una manera més acurada l'actitud que segueix l'enginyer del procés alhora de prendre decisions.

La figura 6.1 mostrava com el graf, que descriu la XT a partir d'una seqüència temporal de diferents situacions viscudes pel procés, està format de nusos (amb els estats) i d'arcs (amb les entrades i actuacions). Tal i com ja es definia el cas al SRBC, els diferents estats del procés poden ser descrits en funció dels valors que prenen les variables més rellevants del sistema (quantitatives i qualitatives). De la mateixa manera, també es poden triar les variables rellevants que descriuen l'influent i les que descriuen l'acció de control corresponent a cada interval d'operació (recordem que per a la nostra aplicació s'ha decidit prendre el dia com a unitat de temps). D'aquesta manera, la xarxa final contindrà la totalitat d'estats diferenciats, juntament amb les condicions d'entrada i actuació que han portat al sistema a moure's d'una situació a una altra. La figura 6.2 reflexa esquemàticament la interpretació que es pot donar a cada parella nus-cami de la xarxa global.

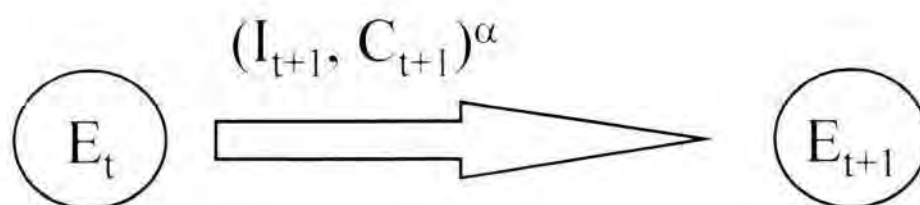


Figura 6.2 Significat contingut a cada un dels nusos de la XT

Els nusos, representats en forma de cercle, contenen cada un dels diferents estats en que es pot trobar el procés, mentre que l'arc, que uneix els dos nusos temporalment consecutius (E_t i E_{t+1}), adjunta una etiqueta que descriu el tipus d'entrada i d'actuació que s'han donat al dia $t+1$, i que per tant han provocat el canvi d'estat. El superíndex α indica el nombre de vegades que aquest camí s'ha repetit al llarg del període estudiat. Com major sigui el valor d' α , major confiança ofereix la transició.

Així doncs, coneguda una nova situació, la XT permet predir l'estat al que probablement s'encamina el procés, en funció de l'actuació que s'hi apliqui i de les característiques inherents de l'influent. La confiança que s'estableixi sobre aquesta predicció ve donada per la qualitat i quantitat d'informació utilitzada en la construcció de la XT, a més de la freqüència de repetició de les transicions establertes pel procés.

6.1.3 Camps d'aplicació de les Xarxes de Transició

Existeixen precedents que proposen la model·lització de relacions probabilístiques i causals entre diferents variables, per tal d'establir xarxes plausibles de raonament predictiu, com per exemple (Chong i Walley, 1996; Barbeau *et al.*, 1995; Lauritzen i Spiegelhalter, 1988; Pearl, 1988), però sempre amb una clara intenció probabilística i poca aplicació. La seva possible aplicació al camp ambiental de la depuració de les aigües residuals queda proposada a (Gimeno *et al.*, 1997).

6.2 Proposta de desenvolupament d'una Xarxa de Transició de predicció per a una EDAR

Si el que hom desitja és l'aplicació de XT de cara a una millor predicció específica de l'estat al que pot desembocar la EDAR, cal fer un estudi rigorós de les transicions que

s'han donat sistemàticament entre els diferents estats de la planta al llarg dels darrers anys.

Cal partir, doncs, d'un conjunt de dades històriques similar al que s'utilitzava per al desenvolupament del Sistema de Raonament Basat en Casos (determinació de les variables, tria dels senyals, freqüències, filtrats, tractament matemàtic, etc.) L'estudi d'aquestes dades ha de comportar la correcta descripció dels estats, dels diferents tipus d'influent, i de la totalitat d'estratègies d'actuació, per tal d'omplir nusos i arcs de la xarxa.

La correcta distinció d'estats, influents i operació es pot fer amb procediments similars als proposats per tal de diferenciar els diferents casos, bé sigui amb l'heurística, bé mitjançant el *software* específic de classificació Linneo², però amb la consideració de diferenciar la influència que té cada una de les variables sobre aquestes categories.

Definits ja els estats, els influents i les operacions habituals de la EDAR, un procediment codificat és l'encarregat de construir el graf que descriu la XT. El codi es fonamenta en l'aplicació d'una funció que parteix de l'estat definit pel primer dels dies continguts a la base de dades històriques (E_t), i seguint l'esquema representat a la figura 6.2 busca la transició que s'ha donat fins a l'estat del següent dia (E_{t+1}). Aquesta transició ve marcada per les característiques de l'influent i pel tipus d'actuació que es va portar a terme al temps $t+1$. Calculades totes les transicions, es pot representar la xarxa d'una manera gràfica (com a la figura 6.1) o, en cas d'elevada complexitat per sobresaturació d'informació, establir una taula que contingui la totalitat de camins seguits pel procés per transitar entre els estats, mitjançant el tipus d'influent i actuació donada, i el nombre de vegades en que cada una d'aquestes transicions s'ha produït (com l'esquematzada a la taula 6.1).

Estat partida	Estat arribada	Entrada	Actuació	Freqüència
E_t	E_{t+1}	I_{t+1}	C_{t+1}	α

Taula 6.1 Taula tipus dels resultats obtinguts de l'estudi de les transicions produïdes

De cara a la validació dels resultats és molt important el valor de la freqüència α , doncs la fixació d'un límit inferior permet enregistrar a la xarxa solament aquelles transicions

que s'han repetit un elevat nombre de vegades ($\alpha > \alpha_T$). Aquesta estratègia d'eliminació d'arcs amb baixa α solament és vàlida quan hi ha més d'un camí que uneix dos estats, doncs hi ha transicions que s'han donat poques vegades al llarg del període històric estudiat com a conseqüència de l'excepcionalitat d'un dels dos estats. En aquests casos resulta de gran interès conservar el registre històric de la transició produïda. Una altra possible solució consisteix en evitar l'eliminació de cap dels arcs, encara que la seva freqüència d'aparició hagi estat significativament baixa, i procedir a un estudi percentual de la totalitat de transicions establertes.

6.3 Desenvolupament de les Xarxes de Transició per a la EDAR de Girona

6.3.1 Processament de la informació

De cara a establir la xarxa de transicions que descriu el conjunt i la freqüència de canvis d'estat que s'han donat a la EDAR de Girona, s'ha realitzat un nou processament amb Linneo[®] de les dades històriques recollides. D'aquesta manera s'ha obtingut una classificació que estableix, d'una manera independent, els diferents estats en que es pot trobar la planta, les diferents característiques del corrent d'entrada, i els diferents tipus d'actuació portats a terme pel responsable de la EDAR.

Prenent les dades i variables disponibles (corresponents al període setembre 95 - setembre 96), la primera passa ha estat la redefinició del tipus de variables que realment reflexen l'estat del procés, les que fixen les característiques de l'influent, i les que determinen l'actuació realitzada. La taula 6.2 mostra el llistat definitiu.

Es pot apreciar que com a variables d'entrada s'han triat les concentracions i el cabal de l'aigua procedent del col·lector, mentre que per estat es considera qualsevol variable que sigui conseqüència de les condicions d'entrada i de l'actuació proposada, com són les analítiques a la sortida de planta i després del tractament primari, el cabal d'aire necessari per mantenir el punt de consigna, així com la quantitat de biomassa present als bioreactors, la seva sedimentabilitat i l'edat cel·lular. En quant a l'actuació solament inclou les variables que el cap de planta pot modificar d'una manera directa (cabals d'entrada al biològic, recirculació i purga, i quantitat de sals de ferro afegides al

tractament físico-químic inicial). Cal destacar la consideració com a variables d'estat de paràmetres com l'edat cel·lular, cabal d'aire, i concentració de sòlids als reactors. La causa és que són variables que el cap de planta tracta de fixar a partir de les variables reals d'actuació, però que en cap cas existeix un comandament que li permeti fixar-les directament.

Entrada	Estat	Actuació
Q-E, pH-E, SS-E, SSV-E, DQO-E i DBO-E	QA-G, pH-D, SS-D, SSV-D, DQO-D, DBO-D, PH-S, SS-S, SSV-S, DQO-S, DBO-S, V30-B, MLSS-B, MLVSS-B i MCRT-B	QB-B, QR-G, QP-G i FE-E

Taula 6.2 Atributs considerats per a la classificació

A continuació es presenten els resultats obtinguts de la classificació amb Linneo¹ de cada un dels conjunts de variables indicatius d'estat, entrada i actuació. L'apèndix C conté un llistat de resultats més detallat.

Estat

Classificació de les variables d'estat pel període set95 – set96, amb un radi de treball de 2.5. La taula 6.3 conté els valors mitjans de cadascuna de les sis classes determinades.

La caracterització realitzada per l'expert de cadascuna de les classes obtingudes és:

= *Estat 1* NORMAL. Com és habitual, la classe majoritària correspon a la normalitat i inclou els valors mitjans esperats de cadascuna de les variables incorporades a la classificació.

= *Estat 2* BAIX RENDIMENT al PRIMARI. Classe molt propera a la normalitat, però que presenta certs problemes d'eliminació al primari. Aquest fet s'evidencia a les altes concentracions de sòlids i matèria orgànica de l'aigua que prove del decantador primari, però el seu efecte desapareix als valors de sortida de planta. Així doncs, el tractament biològic pot compensar el malfuncionament del primari.

≡ *Estat 3: MALA SEDIMENTABILITAT* Mala sedimentabilitat de la biomassa reflexat en alts valors de V30, solament acompanyat per un valor molt elevat de la DQO que entra al biològic (DQO-D). No obstant, les concentracions de sortida de SS no reflexen aquesta pobre sedimentabilitat.

CLASSE	E ₁	E ₂	E ₃	E ₄	E ₅	E ₆
dies	337	16	15	6	20	2
QA-G	236,081	235,850	247,513	122,829	179,238	185,811
PH-D	7.56	7.65	7.42	7.59	7.65	7.55
SS-D	86	134	106	65	107	93
SSV-D	63	100	77	31	74	68
DQO-D	245	295	326	88	284	288
DBO-D	118	156	154	111	141	132
PH-S	7.52	7.65	7.38	7.37	7.73	7.55
SS-S	15	17	15	8	46	153
SSV-S	11	13	12	5	34	118
DQO-S	49	48	46	22	89	153
DBO-S	18	15	22	17	31	80
V30-B	247	232	466	339	352	435
SSLM-B	1,765	1,857	2,049	2,930	1,229	1,253
SSVLM-B	1,343	1,437	1,609	1,937	960	980
MCRT-B	10.9	9.5	10.7	258	5.9	2.2

Taula 6.3 Classificació dels estats de Girona

≡ *Estat 4: TEMPESTA* (30,31/I/96, 1,2,3,4/II/96). Estat estretament relacionat amb la situació de tempesta a l'influent. La suposada baixa càrrega d'entrada provoca un consum molt baix d'aire, concentracions molt baixes als dos punts de mostreig que inclouen variables d'estat (decantació i sortida), i elevats temps de residència cel·lular i concentracions de sòlids i biomassa als bioreactors com a conseqüència de l'actuació portada a terme en cas de situació de tempesta forta.

≡ *Estat 5: BAIX RENDIMENT* Concentracions habituals a l'aigua d'entrada al procés biològic, però amb rendiments baixos d'eliminació de contaminants (al limit dels valors legals per a la matèria orgànica i lleugerament superiors pels sòlids). L'aport d'aire és prou baix (no es té informació del punt de consigna d'OD, però s'ha de suposar que ha

estat l'habitual), però la concentració de biomassa al bioreactor també és molt baixa. Baixa sedimentabilitat dels sòlids.

= *Estat 6*: EFLUENT DOLENT (21/III/96 i 12/IX/96). Situació semblant a la de la classe 5 però amb concentracions més extremes de contaminants a la sortida del procés, ara sí clarament per sobre dels límits legals. L'edat cel·lular és molt baixa en aquest cas.

Entrada.

Classificació de les variables d'entrada pel període set95 – set96, amb un radi de treball de 1.0. La taula 6.4 conté els valors mitjans de cadascuna de les set classes determinades.

CLASSE	I ₁	I ₂	I ₃	I ₄	I ₅	I ₆	I ₇
Dies	301	65	2	7	15	5	1
Q-E	42.504	42.093	48.660	41.310	32.644	22.344	41.523
PH-E	7.64	7.58	7.55	7.40	7.57	7.50	7.30
SS-E	188	319	141	457	119	169	655
SSV-E	142	236	113	337	91	57	593
DQO-E	411	577	1.290	808	270	96	1.108
DBO-E	196	279	878	481	127	217	700

Taula 6.4 Classificació de l'entrada de Girona.

La caracterització realitzada per l'expert de cadascuna de les classes obtingudes és:

= *Entrada 1*: NORMAL. Inclou la majoria dels dies i correspon a la situació de normalitat que implica un cabal d'entrada lleugerament superior als 40,000 m³ i unes concentracions mitjanes de contaminants (sòlids i matèria orgànica).

= *Entrada 2*: CÀRREGA LLEUGERA. No és una situació d'extraordinària inestabilitat, però sí que correspon a una entrada lleugerament carregada, en la que els valors de contaminants són superiors als habituals.

= *Entrada 3*: XOC de MATÈRIA ORGÀNICA i CABAL (22/IX/95 i 26/I/96). Correspon a dos dies de cabal alt i xoc de matèria orgànica a l'influent, reflexat tant en els valors de DQO com en els de DBO₅. Per contra, les concentracions de sòlids són inferiors a les habituals (efecte de dilució).

= *Entrada 4: FORTA CÀRREGA* (20.21/XI/95, 20.21/XII/95, 2.18/VI/96 i 31/VII/96). Inclou dies de forta càrrega contaminant a l'entrada, tant de matèria orgànica, com de sòlids en suspensió. El cabal i pH són els habituals, però DQO, DBO₅, SS i SSV doblen les concentracions habituals.

= *Entrada 5: CABAL BAIX*. Dies caracteritzats per un cabal significativament inferior a l'habitual, però sense arribar als límits inferiors provocats pel tancament dels col·lectors quan la situació és de tempesta forta. S'observa un important efecte dilutori de les concentracions de sòlids i matèria orgànica.

= *Entrada 6: TEMPESTA* (30.31/I/96, 1.2.3/II/96). Provocada pel tancament de part dels col·lectors d'arribada a la planta quan la situació de tempesta pot provocar problemes a la xarxa. Això suposa una forta disminució del cabal d'entrada, juntament amb un fort efecte dilutori de les concentracions de sòlids i matèria orgànica. La DBO₅ dona anormalment alta degut a que correspon a dies en que no es realitza l'anàlisi i el programa pren per defecte el valor mitjà.

= *Entrada 7: XOC de MATÈRIA ORGÀNICA i SÒLIDS* (28/VI/96). A l'igual que la classe 3, s'inclouen aquells dies amb valors molt alts de DQO i DBO₅, però en aquest cas el cabal es normal i el xoc de matèria orgànica es veu acompanyat d'un gran xoc de sòlids.

Actuació

Classificació de les variables d'actuació pel període set95 – set96, amb un radi de treball de 0.75. La taula 6.5 conté els valors mitjans de cadascuna de les cinc classes determinades.

CLASSE	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅
dies	268	103	4	6	15
QB-G	39.433	37.977	33.836	21.799	44.105
QR-G	41.539	42.145	27.737	18.132	35.226
QP-G	569	805	296	0	645
FE-E	44	55	44	10	27

Taula 6.5 Classificació de les actuacions de Girona

La caracterització realitzada per l'expert de cadascuna de les classes obtingudes és:

= *Actuació 1: NORMAL*. Una de les dues classes majoritàries dins la classificació de les variables d'actuació. Aquesta, la majoritària, pretén treballar amb edat cel·lular lleugerament elevada (QP-G intermig).

= *Actuació 2: NORMAL AMB MCRT BAIXA*. Classe corresponent a estat de normalitat a la EDAR, però amb la consigna de treballar a una edat cel·lular inferior (QP-G superior).

= *Actuació 3: CABALS BAIXOS* (24,29/I/96; 18/VI/96 i 18/IX/96). Classe que correspon a una actuació de baixos cabals (de recirculació i purga), amb un influent al biològic també significativament baix.

= *Actuació 4: TEMPESTA* (30,31/I/96; 1,2,3,4/II/96). Entrada molt baixa de cabal al biològic, recirculació corresponent al 100% d'aquesta entrada, supressió del cabal de purga i disminució gairebé total de les sals de ferro.

= *Actuació 5: AUGMENT HIDRAULIC*. Admissió d'un cabal al reactor biològic superior a l'habitual (el límit està fixat en 39,000 m³), acompanyat d'una baixa dosificació de sals de ferro al primari. Cabal de purga habitual.

6.3.2 Construcció de la xarxa de transicions

Establerts i caracteritzats estats, entrades i actuacions, s'ha procedit a la construcció de la xarxa global. L'establiment de la xarxa proporciona informació del tipus i freqüència de les transicions que s'han produït, al llarg del període de temps estudiat, entre els estats diaris de la planta.

Degut a la poca claredat que mostraria la representació gràfica de la xarxa total de transició obtinguda amb les dades històriques de la EDAR de Girona (setembre 95 - setembre 96), la taula 6.6 en resumeix els resultats.

6.3.3 Interpretació dels resultats

Estat partida	Estat arribada	Entrada	Actuació	Freqüència
1	1	1	1	173
		1	2	51
		1	3	1
		1	5	12
		2	1	34
		2	2	11
		3	1	2
		4	1	4
		4	3	1
		5	1	7
		5	2	6
		5	3	1
1	2	1	1	3
		1	2	5
		1	5	1
		2	1	1
		2	2	2
		2	5	1
1	3	1	1	5
		2	1	4
		4	1	1
1	4	6	4	1
1	5	1	1	3
		1	2	3
		1	3	1
		2	2	2
1	6	1	1	1
2	1	1	1	4
		1	2	5
		1	5	1
		2	1	1
		2	2	1
2	2	1	2	1
2	3	1	1	1
		2	1	1
3	1	1	1	7
		1	2	2
		2	1	2
3	2	1	1	1
3	3	1	1	2
		1	2	1
4	1	1	1	1
4	4	5	4	1
		6	4	4
5	1	1	1	4
		1	2	3
		4	2	1
		7	1	1
5	2	1	1	1
5	5	1	1	1
		1	2	4
		2	1	1
		2	2	3
5	6	2	2	1
6	5	1	1	1
		1	2	1

Taula 6.6 Quadre resum de la XT del període set 95 – set 96 de la EDAR de Girona

La taula 6.6 conté tota la informació bàsica que pot aportar la XT. Per tal de poder interpretar els resultats s'ha d'estudiar amb deteniment la totalitat de camins que arriben i surten de cada un dels estats descrits per la EDAR. A fi efecte de facilitar la posterior lectura de la resta de seccions del capítol, apareix descrit el procés que cal seguir en aquesta interpretació. A modus d'exemple, es tria el tercer dels quadres de la taula, trobant que la transició que s'estableix des de l'estat E_1 (normal) fins a l'estat E_3 (mala sedimentabilitat) es pot donar per tres vies diferents:

- Mitjançant una Entrada I_1 (normal) i una Actuació C_1 (normal). El fet que la freqüència (α) valgui 5, significa que aquest camí s'ha seguit 5 vegades dins el període estudiat (set 95 – set 96).
- Mitjançant una Entrada I_2 (càrrega lleugera) i una Actuació C_1 (normal), amb una freqüència de 4.
- Mitjançant una Entrada I_4 (forta càrrega) i una Actuació C_1 (normal), amb una freqüència d'1. Aquesta via sembla ser força excepcional front les dues primeres (α clarament inferior).

Seguint la mateixa metodica interpretativa de l'exemple anterior, es pot analitzar amb deteniment cada un dels estats que conformen la XT. Els resultats es presenten de forma gràfica, en ordre creixent de complexitat, i amb les pertinents conclusions extretes del seu estudi.

- Transicions que afecten l'estat E_4 de tempesta.

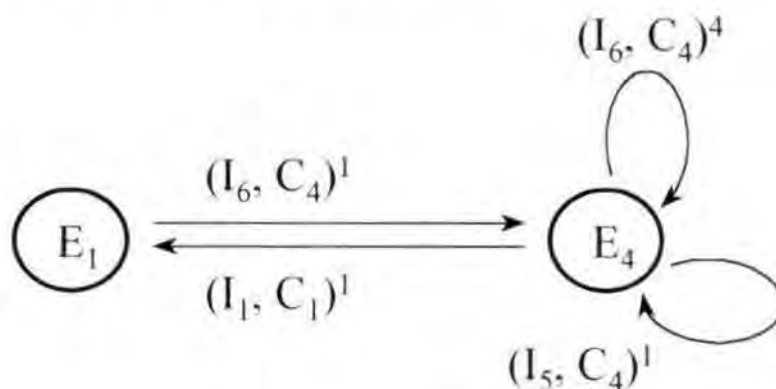


Figura 6.3 Transicions que afecten E_4 .

S'observa que són poques les transicions d'arribada i sortida de la situació de tempesta (estat E_4). Sembla que solament des d'una situació de normalitat (E_1) es pot arribar a una situació de tempesta, mentre que, finalitzada la tempesta, la EDAR s'encamina de nou cap a un estat normal. L'explicació d'aquest fenomen la trobem al fet que, d'entre el conjunt de dades històriques estudiades, solament apareix un petit període de tempesta, conformat per 6 dies consecutius

Així, la XT resultant indica que encara que la EDAR es trobi a un estat normal, quan les condicions del corrent d'entrada són de tempesta (I_6), la planta s'encamina irremeiablement cap a un estat de tempesta, encara que l'actuació aplicada sigui també específica per evitar els efectes de la inestabilitat climatològica (C_4). Aquesta transició, tot i que solament s'ha donat una vegada durant el període estudiat ($\alpha = 1$), no pot ser descartada doncs no hi ha cap altra ruta de major freqüència amb idèntic estat d'origen i destí.

El fet que l'estat contingui 6 dies consecutius provoca que 5 de les transicions surtin i arribin de la pròpia situació de tempesta. En tots aquests casos l'entrada i l'actuació són de tipus tempesta, amb excepció d'una transició en que l'entrada ve descrita pel baix cabal (I_5) i que probablement es correspon a un dia afectat parcialment pel tancament de col·lectors degut a les fortes tempestes.

Un cop l'entrada ja és de tipus normal (I_1), amb una actuació normal (C_1) n'hi ha prou per retornar a l'estat ideal de normalitat (E_1).

- Transicions que afecten l'estat E_6 d'efluent dolent.

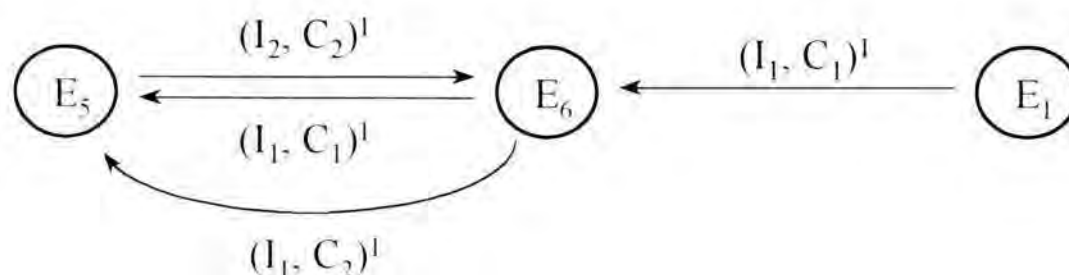


Figura 6.4 Transicions que afecten E_6 .

L'estat 6 encara conté menor nombre de dies (2), però al no ser consecutius s'estableixen diferents transicions. La caracterització que han realitzat els experts de la classe (efluent dolent) ja denota un fort desconeixement de la situació, doncs l'anàlisi de les dades solament ha permès definir les males condicions de l'efluent de la planta, però no ha mostrat alteracions a cap de les altres variables que descriuen l'estat. Per aquesta raó, la informació que ens proporcionar la XT tampoc és gaire aclaridora. La transició situada a la dreta de la figura 6.4 indica que, tot i partir d'un estat normal, rebre un influent normal, i actuar amb normalitat (E_1 , I_1 i C_1), l'EDAR arriba a l'estat d'efluent dolent.

L'altra camí que ha recollit la XT per arribar a l' E_6 sembla molt més lògic, doncs descriu la transició des d'un estat de baix rendiment (E_5), amb una entrada de càrrega lleugera (I_2) i una actuació normal però amb baixa edat cel·lular (C_2), que pot conduir perfectament a una situació de mala depuració de les aigües residuals.

Pel que respecte a les transicions de sortida d' E_6 , ens trobem amb dos possibles camins: un descrit per la normalitat tant d'entrada com d'actuació, i l'altra descrit per una entrada normal i una actuació de normalitat però amb edat cel·lular baixa.

El fet que la classe contingui tants pocs dies no permet seleccionar les transicions en funció del nombre de vegades que s'han produït, i en els quatre casos el valor d' α és 1.

Així doncs, les prediccions que afectin la situació d'efluent dolent no podran garantir resultats satisfactoris fins que no es complementi l'estudi de la XT amb noves dades.

- Transicions que afecten l'estat E_3 de mala sedimentabilitat.

El tercer dels estats (E_3 : Mala sedimentabilitat) ja conté un nombre més elevat de dies (concretament 15) i, per tant, s'augmenta el grau de complexitat del graf que representa les corresponents transicions.

Solament es pot partir de dos estats (E_1 normalitat i E_2 baix rendiment al primari) per tal d'arribar a la situació de mala sedimentabilitat, essent la ruta $E_1 - E_3$ la més habitual (10 vegades front 2).

Els dos únics casos en que partint de l'estat E_2 s'ha arribat a E_3 ha estat mitjançant una entrada i una actuació normals (I_1 i C_1), o bé degut a una entrada de càrrega lleugera (I_2) i actuació normal, mentre que la transició $E_1 - E_3$ es reparteix de la següent forma: 5 vegades amb entrada i actuació normals, 4 vegades amb càrrega lleugera d'entrada i actuació normal, i 1 vegada amb forta càrrega a l'entrada i actuació normal. En aquest cas potser si que es podria tenir en compte el valor d' α i despreciar l'última de les possibilitats com a via habitual per accedir a E_3 des de E_1 , però aquest és un fet que ja s'avaluarà a les conclusions finals de l'estudi de la xarxa.

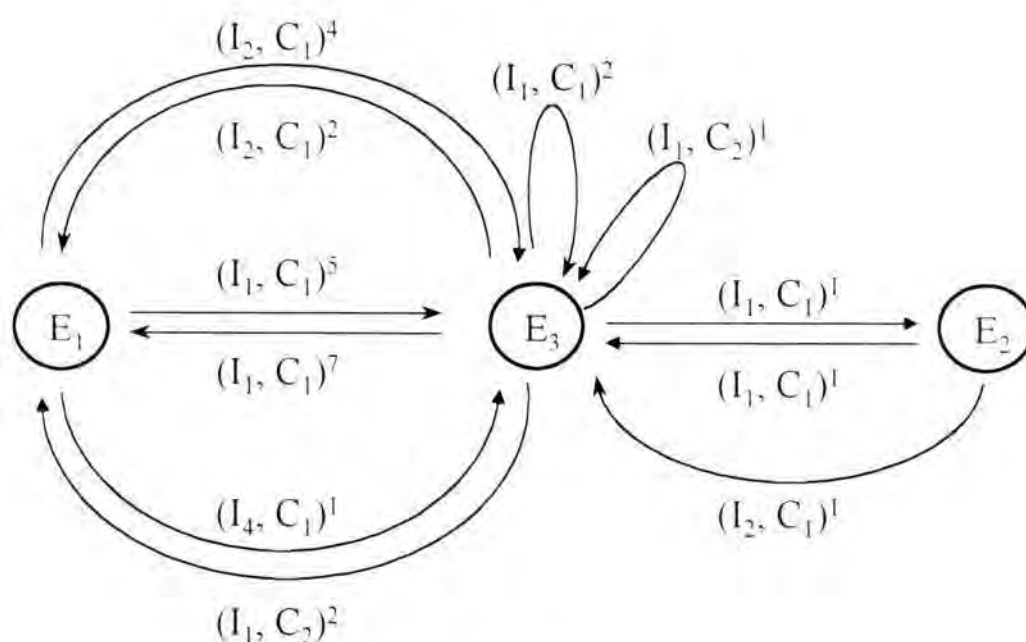


Figura 6.5 Transicions que afecten E_3

Observant les transicions que parteixen de l'estat E_3 , es pot apreciar la reciprocitat de les mateixes, doncs els estats d'arribada són de nou E_1 i E_2 . La proporció segueix essent aclaparadora i favorable a E_1 (11 front 1), amb tres noves possibilitats: entrada normal i actuació normal amb edat cel·lular baixa ($\alpha = 2$), entrada i actuació normals ($\alpha = 7$), i entrada lleugerament carregada i actuació normal ($\alpha = 2$). L'única transició d' E_3 a E_2 es dona amb entrada i actuació normal

Tambe es donen tres casos en que la transició condueix el procés fins el mateix estat E_3 . Els camins seguits han estat: entrada i actuació normal ($\alpha = 2$), o be entrada normal i actuació normal amb edat cel·lular baixa

- Transicions que afecten l'estat E_2 de baix rendiment al primari.

Les transicions que afecten al segon dels estats (E_2 , caracteritzat pels experts com baix rendiment al primari) estableixen lligams amb tres nous estats. La majoritària és de nou la que uneix E_1 (normal) amb E_2 (6 diferents vies d'arribada i 5 de retorn), destacant com a principals aquells camins que presenten una major α (cinc dies d'entrada normal i actuació normal amb baixa edat cel·lular (C_2), dos dies amb lleugera càrrega d'entrada i actuació C_2 , i tres dies amb entrada i actuació normals per les transicions principals d' E_1 fins E_2 , i cinc dies d'entrada normal i actuació C_2 , i quatre dies amb entrada i actuació normals per les transicions principals d' E_2 fins a E_1). També existeix un dia d'entrada i actuació normals que provoca el canvi d'estat d' E_5 cap a E_2 , mentre que la relació entre E_2 i E_3 (mala sedimentabilitat) ja ha estat comentada al graf anterior

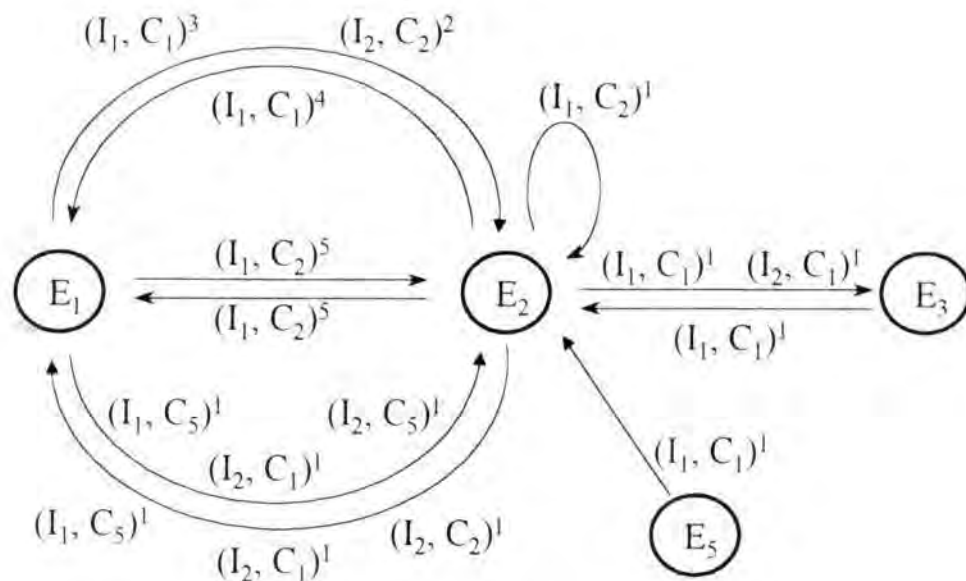


Figura 6.6 Transicions que afecten E_2 .

Per últim, hi ha una transició del propi estat E_2 cap a ell mateix, amb les característiques normals d'entrada i actuació, però amb l'edat cel·lular baixa (I_1 i C_2). De totes maneres, aquesta via solament s'ha utilitzat un cop, i sembla poder descartar-se front les cinc vegades que, amb idèntiques característiques d'entrada i actuació s'ha arribat a l'estat E_1 .

- Transicions que afecten l'estat E_5 de baix rendiment.

A l'estat de baix rendiment (E_5) s'hi pot arribar des de E_1 (normal), E_6 (efluent dolent) o el propi E_5 , mentre que la transició des de E_5 es dona fins a E_1 , E_6 , E_2 (baix rendiment al

primari) o E_5 . Comentades ja les interrelacions amb E_2 i E_6 , destaquen les quatre possibles vies de transició del propi estat (quatre dies amb entrada normal i actuació normal amb edat cel·lular baixa, tres dies amb entrada lleugerament carregada i actuació normal amb edat cel·lular baixa, i dos vies amb $\alpha = 1$), els quatre possibles camins per anar fins E_1 (quatre dies amb entrada i actuació normal, tres dies amb entrada normal i actuació normal amb edat cel·lular baixa, i dos camins amb $\alpha = 1$), i les quatre rutes des de E_1 fins a E_5 (tres dies amb entrada i actuació normal, tres dies amb entrada normal i actuació normal amb edat cel·lular baixa, dos dies amb entrada lleugerament carregada i actuació normal amb edat cel·lular baixa, i una última via d'un sol dia amb entrada normal i actuació específica de cabals baixos).

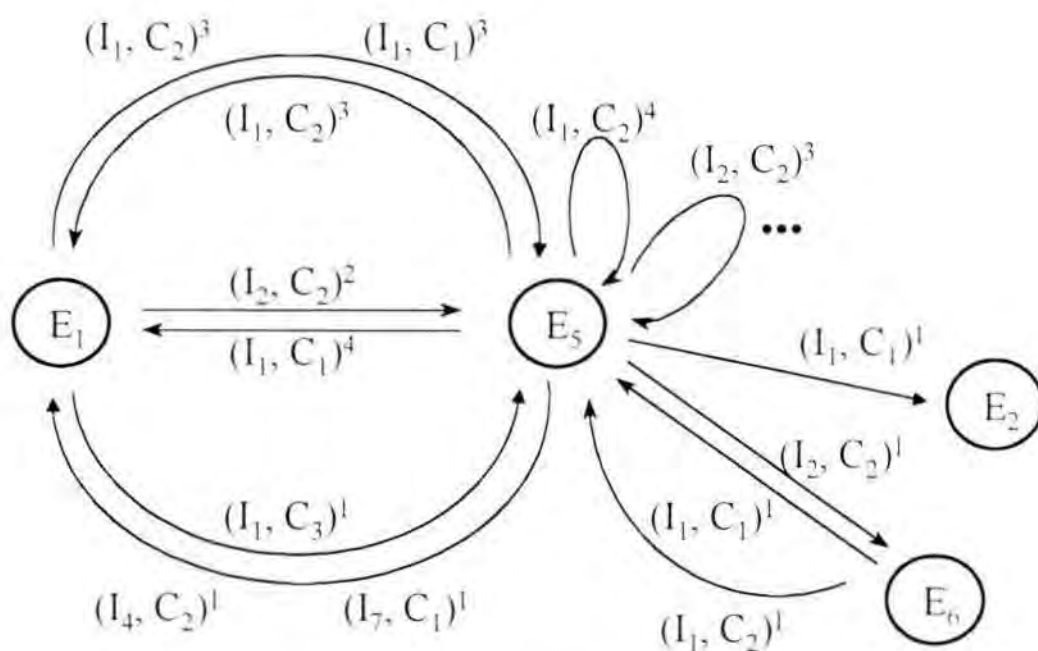


Figura 6.7 Transicions que afecten E_5

- Transicions que afecten l'estat E_1 de normalitat.

El majoritari dels estats (E_1 , normal) és també el que presenta un major nombre de transicions i possibles estats d'interrelació. Tot i que l'esquema de la figura 6.8 no conté informació al respecte de l'etiquetatge dels arcs, la taula 6.6 sí que conté una sèrie de dades prou explícites. La majoria de transicions que parteixen de E_1 retornen al propi estat, amb qualsevol tipus d'entrada o actuació, exceptuant I_6 i I_7 , és a dir, una entrada característica de tempesta o amb xoc de matèria orgànica i sòlids, i C_4 , actuació típica de l'estat de tempesta. Un altre punt a destacar és que mentre des de E_1 es pot anar fins a qualsevol altra estat, el retorn no és sempre possible, doncs no s'ha produït cap transició

des de E_6 (efluent dolent) fins a E_1 . També es veu que la majoria de condicionants que provoquen el retorn de qualsevol estat cap a E_1 són deguts a l'entrada i actuació de normalitat, o en tot cas al segon tipus d'actuació C_2 (normal amb edat cel·lular baixa)

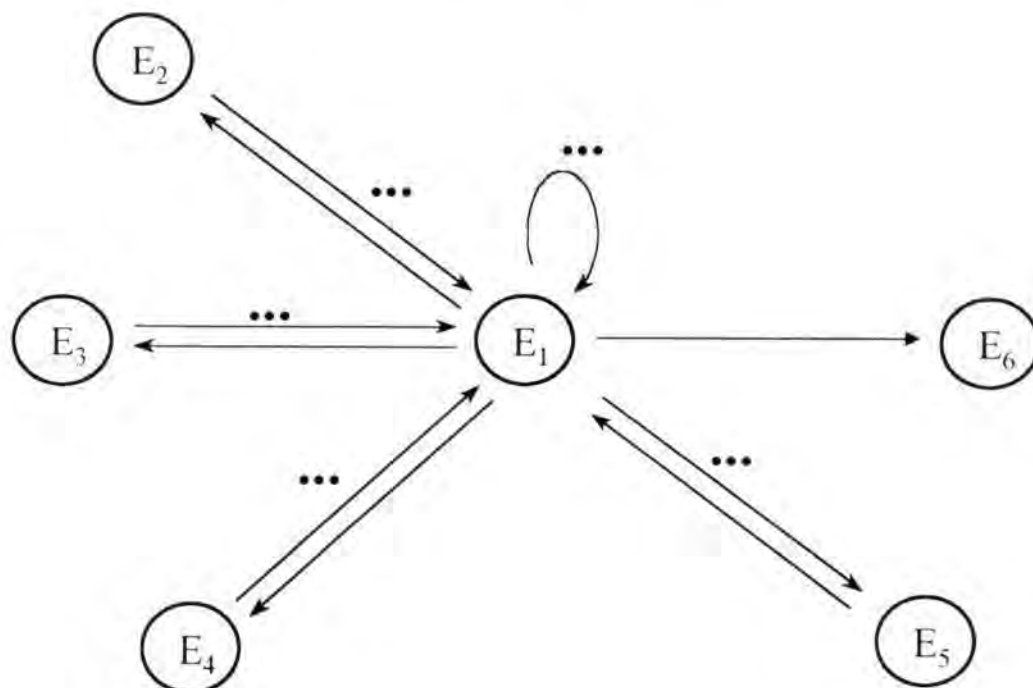


Figura 6.8 Transicions que afecten E_1

6.3.4 Conclusions

De l'estudi dels grafs anteriors corresponents al processament de les dades de la EDAR de Girona es poden extreure les següents transicions, que de nou es presenten en ordre creixent de complexitat.

A partir de l'estat de tempesta:

- Amb entrada de tempesta i actuació de tempesta, sempre (4 cops) s'arriba a l'estat de tempesta.
- Amb entrada de cabal baix i actuació de tempesta, sempre (1 cop) s'arriba a l'estat de tempesta.
- Amb entrada normal i actuació normal sempre, (1 cop) s'arriba a l'estat de normalitat.

A partir de l'estat d'efluent dolent:

- Amb entrada normal i actuació normal, sempre (1 cop) s'arriba a l'estat de baix rendiment.

- Amb entrada normal i actuació normal amb MCRT baixa, sempre (1 cop) s'arriba a l'estat de baix rendiment.

A partir de l'estat de mala sedimentabilitat:

- Amb entrada normal i actuació normal, un 70% dels cops (7 sobre 10 transicions) s'arriba a l'estat de normalitat, un 10% (1 sobre 10) s'arriba a l'estat de baix rendiment al primari, i un 20% (2 sobre 10) es queda al propi estat de mala sedimentabilitat.
- Amb entrada normal i actuació normal amb MCRT baixa, un 66% dels cops (2 sobre 3 transicions) s'arriba a l'estat de normalitat, mentre que un 33% (1 sobre 3) s'arriba a l'estat de mala sedimentabilitat.
- Amb entrada de càrrega lleugera i actuació normal, sempre (2 cops) s'arriba a l'estat de normalitat.

A partir de l'estat de baix rendiment al primari:

- Amb entrada normal i actuació normal, un 80% dels cops (4 sobre 5 transicions) s'arriba a l'estat de normalitat, mentre que un 20% (1 sobre 5) s'arriba a l'estat de mala sedimentabilitat.
- Amb entrada de càrrega lleugera i actuació normal, un 50% dels cops (1 sobre 2 transicions) s'arriba a l'estat de normalitat, mentre que l'altra 50 % de cops (1 sobre 2) s'arriba a l'estat de mala sedimentabilitat.
- Amb entrada normal i actuació normal amb baixa MCRT, un 83.3% dels cops (5 sobre 6 transicions) s'arriba a l'estat de normalitat, mentre que un 16.7% (1 sobre 6) es manté al propi estat de baix rendiment al primari.
- Amb entrada normal i actuació d'augment hidràulic, sempre (1 cop) s'arriba a l'estat de normalitat.
- Amb entrada de càrrega lleugera i actuació normal amb baixa MCRT, sempre (1 cop) s'arriba a l'estat de normalitat.

A partir de l'estat de baix rendiment:

- Amb entrada normal i actuació normal, un 66.7% dels cops (4 sobre 6 transicions) s'arriba a l'estat de normalitat, mentre que un 16.7% (1 sobre 6) s'arriba a l'estat de baix rendiment al primari i l'altra 16.7% (1 sobre 6) es manté al propi estat de baix rendiment.

- Amb entrada normal i actuació normal amb baixa MCRT, un 42.9% dels cops (3 sobre 7 transicions) s'arriba a l'estat de normalitat, mentre que un 57.1% (4 sobre 7) es manté al propi estat de baix rendiment.
- Amb entrada de càrrega lleugera i actuació normal amb baixa MCRT, un 25% dels cops (1 sobre 4 transicions) s'arriba a l'estat d'efluent dolent, mentre que el 75% (3 sobre 4) s'arriba a l'estat de baix rendiment.
- Amb entrada de càrrega lleugera i actuació normal, sempre (1 cop) es manté al propi estat de baix rendiment.
- Amb actuació normal i entrada de xoc de matèria orgànica i sòlids, sempre (1 cop) s'arriba a l'estat de normalitat.
- Amb entrada de forta càrrega i actuació normal amb MCRT baixa, sempre (1 cop) s'arriba a l'estat de normalitat.

A partir de l'estat de normalitat:

- Amb entrada normal i actuació normal, un 93.5% dels cops (173 sobre 185 transicions) es manté a l'estat de normalitat, mentre que un 1.6% (3 sobre 185) s'arriba a l'estat de baix rendiment al primari, un 2.7% (5 sobre 185) s'arriba a l'estat de mala sedimentabilitat, un 1.6% (3 sobre 185) s'arriba a l'estat de baix rendiment, i un 0.5% (1 sobre 185) a l'estat d'efluent dolent.
- Amb entrada normal i actuació normal amb MCRT baixa, un 86.4% (51 cops sobre 59 transicions) s'arriba a l'estat de normalitat, mentre que un 8.5% (5 sobre 59) s'arriba a l'estat de baix rendiment al primari, i un 5.1% (3 sobre 59) s'arriba a l'estat de baix rendiment.
- Amb entrada normal i actuació de cabals baixos, un 50% dels cops (1 sobre 2 transicions) s'arriba a l'estat de normalitat, mentre que l'altra 50% (1 sobre 2) s'arriba a l'estat de baix rendiment.
- Amb entrada normal i actuació d'augment hidràulic, un 92.3% dels cops (12 sobre 13 transicions) s'arriba a l'estat de normalitat, mentre que un 7.7% (1 sobre 13) s'arriba a l'estat de baix rendiment al primari.
- Amb entrada de càrrega lleugera i actuació normal, un 87.2% dels cops (34 sobre 39 transicions) es manté a l'estat de transició, mentre que un 2.6% (1 sobre 39) s'arriba a l'estat de baix rendiment al primari, i un 10.3% (4 sobre 39) s'arriba a l'estat de mala sedimentabilitat.

- Amb entrada de càrrega lleugera i actuació normal amb MCRT baixa, un 73.3% dels cops (11 sobre 15 transicions) es manté a l'estat de normalitat, mentre que un 13.3% (2 sobre 15) s'arriba a l'estat de baix rendiment al primari, i un altra 13.3% (2 sobre 15) s'arriba a l'estat de baix rendiment.
- Amb entrada de forta càrrega i actuació normal, un 80% dels cops (4 sobre 5 transicions) s'arriba a l'estat de normalitat, mentre que l'altra 20% (1 sobre 5) s'arriba a l'estat de mala sedimentabilitat.
- Amb actuació normal i entrada de xoc de matèria orgànica i cabal, sempre (2 cops) s'arriba a l'estat de normalitat.
- Amb entrada de tempesta i actuació de tempesta, sempre (1 cop) s'arriba a l'estat de tempesta.
- Amb entrada de cabal baix i actuació normal, sempre (7 cops) es manté a l'estat de normalitat.
- Amb entrada de cabal baix i actuació normal amb MCRT baixa, sempre (6 cops) es manté a l'estat de normalitat.
- Amb entrada de cabal baix i actuació de cabals baixos, sempre (1 cop) es manté a l'estat de normalitat.
- Amb entrada de forta càrrega i actuació de cabals baixos, sempre (1 cop) es manté a l'estat de normalitat.
- Amb entrada de càrrega lleugera i actuació d'augment hidràulic, sempre (1 cop) s'arriba a l'estat de baix rendiment al primari.

6.3.5 Estudis addicionals

Estudiant amb deteniment les conclusions extretes a l'apartat anterior, s'observen certs fets paradoxals, com per exemple la divergència de criteri en alguna de les rutes (identics estats d'origen, condicions d'entrada i actuació, però transició cap a estats totalment diferenciats), o l'aclaparador domini de les transicions que afecten els estats, entrada i actuació majoritaris. Per tal de justificar aquests resultats i determinar la causa d'aquest suposat desajust de transicions, s'ha procedit a realitzar un estudi més detallat de cadascuna de les transicions, que tot i no aportar nou coneixement respecte a la predicció de futurs estats, serveix en certa manera per validar les conclusions extretes.

Prèviament, i per tal de comprendre el per què de la masiva presència de condicions de normalitat, s'ha establert el percentatge d'estats, característiques de l'aigua d'entrada, i del tipus d'actuació dels 396 dies recopilats i estudiats.

Estats:

- 85.1 % de normalitat,
- 4 % de baix rendiment al primari,
- 3.8 % de mala sedimentabilitat,
- 1.5 % de tempesta,
- 5 % de baix rendiment,
- 0.5 % d'efluent dolent.

Entrades

- 76 % de normal,
- 16.4 % de càrrega lleugera,
- 0.5 % de xoc de matèria orgànica i cabal,
- 1.8 % de forta càrrega,
- 3.8 % de cabal baix,
- 1.3 % de tempesta,
- 0.25 % de xoc de matèria orgànica i sòlids.

Actuacions:

- 67.7 % de normal,
- 26 % de normal amb MCRT baixa,
- 1 % de cabals baixos,
- 1.5 % de tempesta,
- 3.8 % d'augment hidràulic.

En quan a l'estudi particular de cadascuna de les transicions, s'ha procedit a calcular el valor del centre que es correspon als dies continguts a cada un dels arcs que marquen la transició entre dos diferents estats. L'àmplia extensió d'aquests resultats aconsella que

quedin recollits a l'apèndix D, però seguidament es mostren alguns detalls que poden donar explicació a les divergències detectades amb anterioritat.

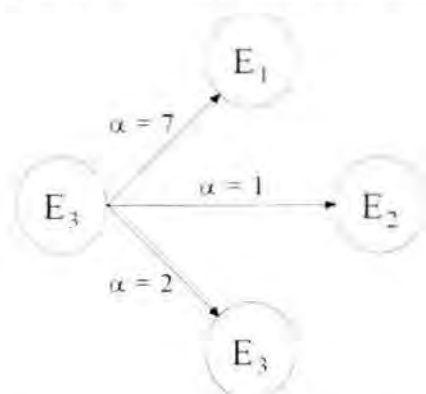


Figura 6.9 Transicions que es donen a partir d'E₃ amb entrada i actuació normal

Per exemple, la figura 6.9 reflexa els diferents arcs de transició que, partint de l'estat 3 (mala sedimentabilitat), i amb igual entrada i actuació (normals), poden conduir a la EDAR a tres diferents estats (normal, baix rendiment al primari i mala sedimentabilitat). Els arcs mostren el valor d' α per indicar el número de vegades que s'ha repetit la transició.

Es pot estudiar el centre de les entrades i actuacions dels dies continguts a cada arc, i comparar els valors que prenen les variables amb els que resultaven de la classificació general (taula 6.7)

	Centre gral.	Transició E ₃ - E ₁	Transició E ₃ - E ₂	Transició E ₃ - E ₃
Entrada				
Q-E	42504	41856	40803	43445
pH-E	7.6	7.5	7.7	7.4
SS-E	188	209	194	174
SSV-E	142	160.9	153	150.5
DQO-E	411	456.3	643	441.5
DBO-E	196	220	204	205.9
Actuació				
QB-B	39433	39400	39000	39000
QR-G	41539	41824	43581	44156
QP-G	569	606	538	551
FE-E	44	41.9	38.9	47.6

Taula 6.7 Centres particulars de cada arc que surt d'E₃ amb entrada i actuació normal

S'aprecien diferències, encara que petites, entre el que considerem entrada normal en general, i els dies que realment pertanyen a la transició $E_3 - E_1$, $E_3 - E_2$ i $E_3 - E_3$. Així, mentre la transició $E_3 - E_1$ és la més propera al centre general del que és l'entrada i l'actuació normal (solament el cabal de purga és lleugerament superior), la transició $E_3 - E_2$ presenta una DQO-E més elevada, i la transició $E_3 - E_3$ es caracteritza per un cabal d'entrada superior i, especialment, per un cabal de recirculació major a l'esperat, fet que evidencia una entrada d'aigua al tractament biològic força superior als 39,000 m³ fixats per defecte.

Aquestes diferències encara són més significatives si es busca un altra exemple i es para atenció a les transicions més nombroses, les que parteixen de l'estat de normalitat, i que arriben a la resta d'estats (excepte l' E_4) amb unes condicions d'entrada i una actuació suposadament igual (figura 6.10).

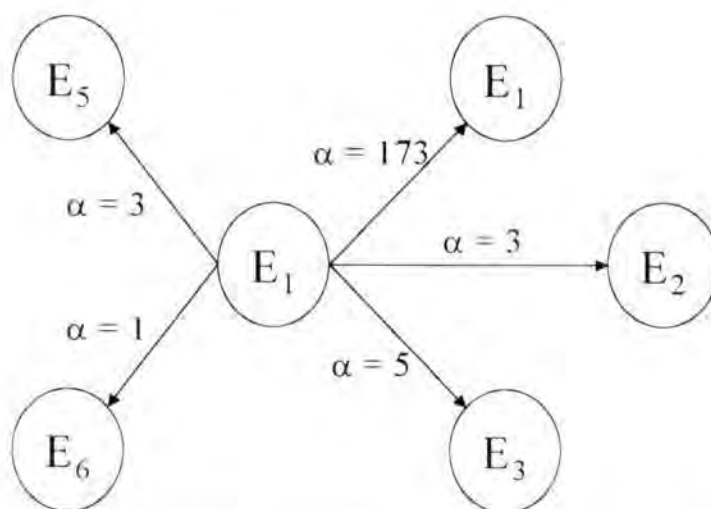


Figura 6.10 Transicions que es donen a partir d' E_1 amb entrada i actuació normal

A la taula 6.8 es mostren els valors numèrics corresponents als centres de l'entrada i actuació corresponent a cadascuna de les transicions, marcant-se en negreta les principals divergències entre els valors esperats i els reals.

Així, comparant el centre general amb el de cada transició, s'aprecien divergències significatives. Aquest fet evidencia el caire general i groller de la classificació original (taules 6.3, 6.4 i 6.5), amb unes classes resultants que inclouen diferents estats, entrades i actuacions, i que produeixen la conseqüent distorsió en la predicció de les XT.

	Centre gral.	$E_1 - E_1$	$E_1 - E_2$	$E_1 - E_3$	$E_1 - E_5$	$E_1 - E_6$
Entrada						
Q-E	42504	43455	43163	46023	43360	45352
pH-E	7.6	7.6	7.7	7.6	7.8	7.6
SS-E	188	182	193	203	213	185
SSV-E	142	138	156	157	169	156
DQO-E	411	401	522	470	504	612
DBO-E	196	185	198	203	179	193
Actuació						
QB-B	39433	39726	39000	39964	40455	44772
QR-G	41539	41144	40454	44093	42436	43314
QP-G	569	557	623	644	678	694
FE-E	44	43.8	44.2	36.7	38.6	34

Taula 6.8 Centres particulars de cada arc que surt d' E_1 amb entrada i actuació normal.

No one supposes that a computer simulation of a storm will leave us wet.

*Why on earth anyone in his right mind suppose a computer simulation
of mental processes actually had mental processes?*

Searle

7. Integració i Validació del Sistema

7. Integració i validació del sistema.

7.1 Antecedents

Si s'estudia amb deteniment cadascuna de les tècniques presentades als capítols anteriors, es pot apreciar que cap de les aproximacions per si sola és capaç de garantir la complexa tasca de gestionar amb correcció una EDAR. La solució passa per una integració d'aquestes tècniques dins una estructura global, que potenciï els avantatges particulars del Sistema Expert (SE), el Sistema de Raonament Basat en Casos (SRBC) i les Xarxes de Transició (XT), alhora que complementi les seves limitacions individuals.

A part de la proposta del grup (Sánchez *et al.*, 1995, Sánchez *et al.*, 1997), no hi ha gaires precedents a la bibliografia que recullin experiències referents a la integració entre els diferents sistemes de raonament. Destaca el treball de (Dutta i Bonissone, 1993), que mostra una proposta d'integració del raonament basat en regles i el raonament basat en casos, aplicat al món de les finances i implementat sobre un prototipus anomenat MARS (Mergers and Acquisitions Reasoning Systems), un domini significativament allunyat del de les aigües residuals.

Per tal de reforçar aquesta idea de la integració, seguidament es llisten els principals avantatges i desavantatges, ressenyats als capítols precedents, de cadascuna de les tècniques proposades.

Sistema Expert

Avantatges:

- Facilitat d'adquisició i sistematització del coneixement heurístic que posseeixen els experts.
- Adquisició objectiva de cert coneixement específic de la EDAR a partir de l'estudi numèric de les dades històriques del procés.
- Adquisició d'una gran base de coneixement general, vàlid per a la gestió de qualsevol EDAR.
- Processament de la informació de tipus qualitatiu, així com potenciació del seu ús.

- Sistematització del plans d'actuació de la EDAR front determinats problemes d'operació
- Objectivitat total en la proposta d'actuació del SE, amb independència de l'empresa explotadora, cap de planta i/o operari encarregat de portar la EDAR.
- Possibilitat de treballar amb incertesa i lògica difosa (establiment de rangs qualitatius amb límits relatius).

Desavantatges:

- La major part del coneixement introduït a la base del SE sol ser de tipus general, amb la qual cosa pot existir una certa manca d'especificitat en les actuacions portades a terme a la EDAR.
- El poc coneixement específic que es pot extreure prové de difícils entrevistes amb els caps de planta i operaris (s'evidencien imprecisions i discrepàncies de criteri) i de la classificació de les bases de dades, que sovint son incompletes i gairebé mai contenen registres accessibles d'informació qualitativa
- La base de coneixement del SE és estàtica. Un cop desenvolupat el sistema, aquesta queda tancada, i no pot adaptar-se amb facilitat als nous criteris de la gestió, ni aprendre amb el pas del temps de les noves experiències viscudes a la EDAR. Aquest fet provoca un envelliment progressiu del sistema, i la repetició sistemàtica d'errors a les diagnosis i a les actuacions proposades.

Sistema de Raonament Basat en Casos

Avantatges:

- El coneixement contingut pel SRBC és totalment específic de la EDAR, i per tant les actuacions proposades tindran major garanties de fer front amb èxit als problemes d'operació viscuts a la EDAR.
- Es disposa d'una memòria intel·ligent que es capaç de recordar i recuperar situacions particulars viscudes amb anterioritat a la EDAR, encara que canviï tot el personal encarregat de gestionar la planta.
- El fet que el sistema aprengui amb el pas del temps, tant dels èxits com dels fracassos, permet incorporar el concepte de dinamisme respecte al coneixement contingut al SRBC, i enriquir la familiarització establerta entre el sistema i el domini (la EDAR)

- L'ompliment inicial de la llibreria de casos, així com l'aprenentatge per observació, permeten la introducció de casos generals, no específics de la EDAR, però que facin referència a situacions descrites a la bibliografia. D'aquesta manera s'augmenta el poder resolutori del SRBC.

Desavantatges

- No pot fer front a situacions que encara no hagi viscut el procés, doncs la llibreria de casos del sistema no inclourà cap cas prou similar a aquesta nova situació.
- La recerca dels casos similars és totalment dependent de la correcta construcció de la llibreria, essent determinant la prioritització jeràrquica que s'ha fet de les variables rellevants del sistema.
- També cal establir un procés iteratiu de cara a la calibració dels pesos de les variables, així com de la resta de punts de tall del sistema. D'aquests valors en depen el càlcul de la distància entre casos, i el criteri d'aprenentatge que permet incorporar solament aquells casos que aportin nova informació.

Xarxes de Transició

Avantatges

- La XT modela coneixement totalment específic de la EDAR per la qual es desenvolupa el sistema, doncs recull les transicions produïdes entre les situacions històriques reals del procés.
- Incorporació del concepte de predicció, que permet tractar el dinamisme de la planta, amb la inferència del possible estat al que pot tendir la planta.
- Ràpida i intuïtiva ajuda en la presa de decisions alhora d'actuar sobre el procés.
- Separació física, i establiment de la interrelació entre les variables que descriuen l'estat de la EDAR, el corrent d'entrada, i l'actuació proposada pel cap de planta.
- Possibilitat de treballar amb informació numèrica i qualitativa.

Desavantatges

- Dependència total i absoluta del registre de les dades històriques del procés.
- Requeriment d'un gran volum de dades per tal d'establir un bon model de transicions que inclogui un nombre suficient d'arcs i nodes.
- La XT mai serà capaç de predir transicions que no hagin quedat reflexades a les conclusions de l'estudi. HI ha diverses causes que justifiquin aquesta absència.

poden correspondre a experiències encara no viscudes per la EDAR, pot ser que en el seu moment no fossin enregistrades correctament, o fins i tot pot ser que l'estudi no les diferenciés de la resta.

- Dificil i subjectiva interpretació dels resultats obtinguts
- Clara predominància de les transicions que afecten els estats majoritaris de normalitat, respecte a la baixa freqüència dels estats més excepcionals.

7.2 La integració

Vista la dificultat de gestionar d'una manera correcta i fiable una EDAR, i els avantatges i limitacions que presenta cadascuna de les tècniques presentades per millorar aquesta gestió, es proposa una arquitectura integrada en agents autònoms. L'objectiu de la integració entre aquests agents no és altra que buscar una complementació que potenciï les possibilitats globals del sistema, i supervisi el control final que es fa sobre l'estació depuradora.

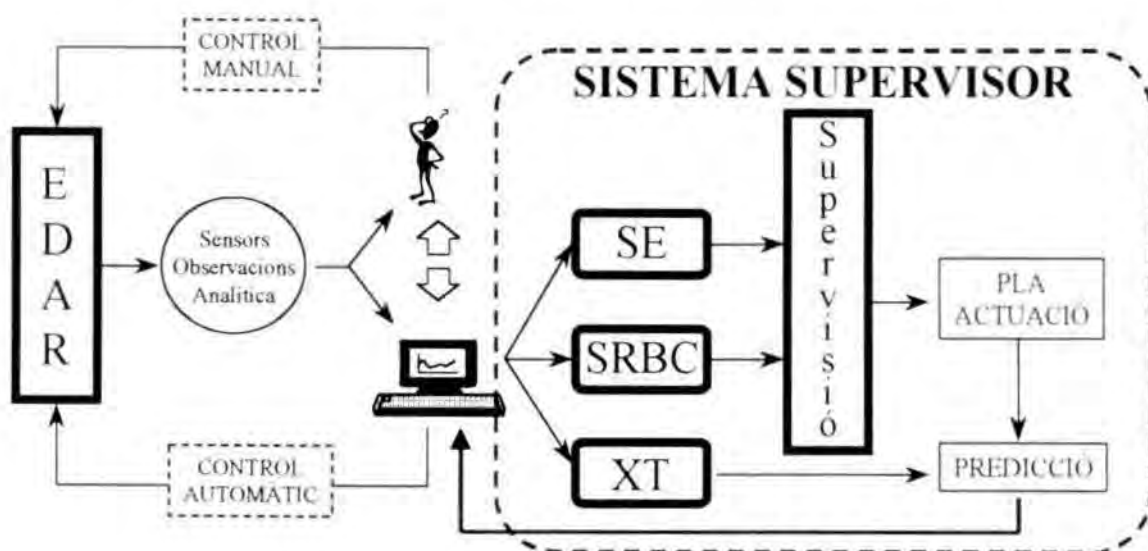


Figura 7.1 Proposta del Sistema Supervisor integrat

La figura 7.1 mostra l'ambiciós esquema de la proposta d'integració de les tres eines presentades, juntament amb la seva interacció respecte la EDAR.

La part novedosa queda emmarcada dins el quadre puntejat, i inclou tres grans agents o mòduls: el SE, el SRBC i les XT, que es nodreixen de la informació recollida a l'ordinador de la planta. Des d'un punt de vista jeràrquic, aquesta estructura queda

situada per sobre el control habitual de la EDAR, fonamentat en una interacció entre el cap de planta i l'ordinador, que actuen d'una manera automàtica o manual en funció de l'estat del procés i de les característiques de la pròpia planta.

La premissa cíclica d'aquest sistema supervisor integrat és la d'oferir un pla d'actuació resultant d'integrar les recomanacions expertes enviades pel SE i l'actuació experiencial reflexada pel cas històric més semblant a l'actual i enviada pel SRBC. Les possibles conseqüències d'aquest pla d'actuació poden ser avaluades per les XT, sempre i quan s'hagi produït i estudiat amb anterioritat una transició similar.

De fet, parlem d'integració i, com es pot apreciar, tots els mòduls porten a terme d'una manera independent la seva tasca. Els dos mòduls que es basen en coneixement (SE i SRBC) treballen en paral·lel, utilitzant ambdós la mateixa informació recollida a la planta, però sense interaccionar per a res en cap dels seus mecanismes de funcionament. El tercer dels mòduls, les XT, no s'activa fins que rep les conclusions dels agents anteriors.

La síntesi dels diferents plans d'actuació enviats pel SE i pel SRBC la realitza el quart agent de la figura 7.1, el mòdul supervisor, i es fonamenta en una sèrie de regles que processen la informació rebuda pels dos mòduls, i n'avaluen el possible conflicte generat. Aquest conflicte solament es produeix quan tots dos agents han resolt exitosament el seu cicle d'inferència, però les respectives conclusions divergeixen substancialment. Aleshores, si el SRBC ha recuperat un cas molt proper a la nova situació, aquest agent o mòdul supervisor prioritzarà el pla d'actuació específic enregistrat a la llibreria de casos de la EDAR. Per contra, quan el cas recuperat sigui llunyà, l'actuació proposada pel SE serà la triada pel mòdul supervisor alhora de resoldre el problema. No obstant, hi ha una situació intermitja on aquesta decisió no és tan clara, i que pot arribar a ser la més habitual en funció del punt on es fixin aquests límits de proximitat o llunyania entre el cas recuperat i la nova situació.

Per decidir quina és la millor opció dins aquesta zona confusa, caldria avaluar la totalitat de diferents opcions plantejades tant pel SE com pel SRBC. L'avaluació la pot fer el propi cap de planta, però ofereix majors garanties una predicció percentual portada a terme per les XT, sempre i quan el seu desenvolupament hagi permès recollir la majoria

de conseqüències específiques viscudes per la EDAR i la xarxa final sigui prou completa i exhaustiva. Cal recordar que una tercera opció de predicció seria la utilització d'un simulador que contingui un bon model del procés, calibrat en circumstàncies similars a les d'estudi.

No obstant, el cap de planta pot anar seguint, a través de la pantalla de l'ordinador, la totalitat de decisions preses per qualsevol dels agents del sistema supervisor, i pot desautoritzar i reconduir qualsevol de les decisions.

Per tal d'entendre el funcionament coordinat d'aquest sistema amb tots els seus agents, es pot estudiar el seu comportament global davant alguna situació. L'apartat 7.4 del present capítol mostra un exemple del comportament del sistema supervisor davant una entrada diària de dades.

7.3 Arquitectura del sistema

La necessitat de la integració de diferents tècniques de raonament en un sol sistema per a resoldre problemes complexos del món real, ha estat reconegut darrerament per la comunitat científica d'Intel·ligència Artificial (Dutta i Bonissone, 1993).

La integració dels diferents mòduls que conformen la proposta de sistema supervisor per a la gestió i supervisió de EDAR, requereix una bona arquitectura que distribueixi correctament i amb claredat els diferents agents que la conformen.

Aquesta arquitectura integrada del sistema, batejada amb el nom de DAI-DEPUR¹ (Sánchez *et al.*, 1997), uneix, en un sol sistema, varies tasques cognitives i diverses tècniques tal com l'aprenentatge, el raonament, l'adquisició de coneixements, la resolució distribuïda de problemes o la cooperació multi-agent, (veure figura 7.2). Si ens centrem en el nivell de coneixement / expertesa (Steels, 1990) hi ha una integració de quatre tipus de coneixement: coneixement de control numèric, coneixement expert general, coneixement experiencial específic i coneixement predictiu (Sánchez *et al.*, 1997).

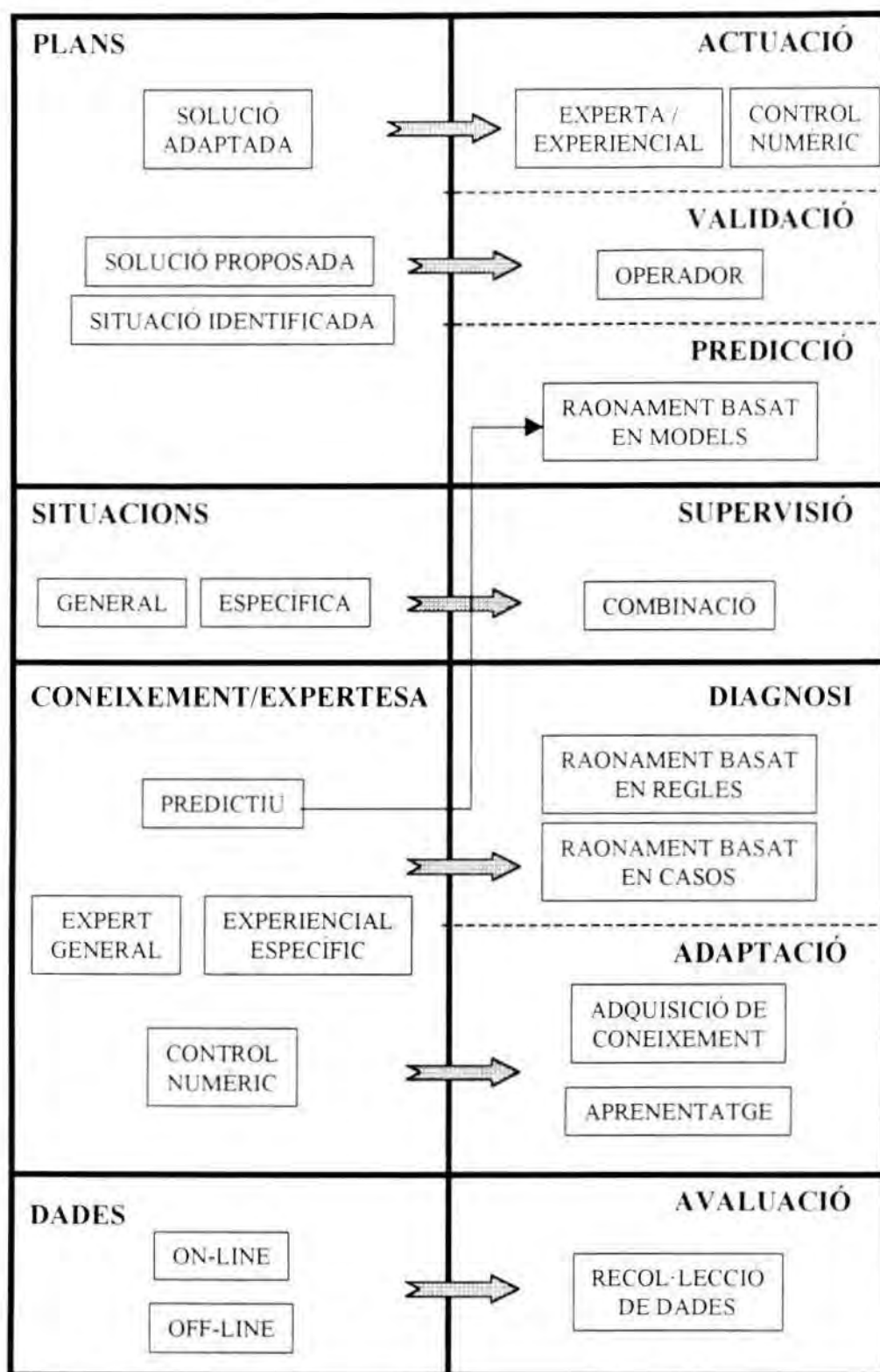


Figura 7.2 Arquitectura multi-nivell integrada de DAI-DEPUR

DAI-DEPUR també és multi-nivell, el que proporciona independència als diferents nivells. Tenint en compte la teoria de models (domini), la proposta es pot estructurar com una arquitectura de quatre nivells: nivell de dades, nivell de coneixement /expertesa, nivell de situacions i nivell de plans.

- **Nivell de dades:** està format per les dades on-line capturades pels sensors del procés, les dades calculades o inferides pel sistema, i per les dades off-line proporcionades per l'operador, que inclouen les analítiques del laboratori, i les observacions del procés.
- **Nivell de coneixement / expertesa:** ve modelat pels quatre paradigmes coneixement de control numèric, coneixement expert general, coneixement experiencial específic i coneixement predictiu.
- **Nivell de situacions:** La situació genèrica de funcionament global de la EDAR s'obté com a conseqüència de la inferència generada per la base de coneixement del sistema expert. Alhora, també es té en compte la situació específica procedent del coneixement experiencial.
- **Nivell de plans:** En aquest nivell, es té en compte la situació global identificada, les solucions preses en situacions semblants i els plans predefinits per a proposar una primera solució, que haurà de ser validada per l'operador tenint en compte el coneixement predictiu, el qual pot modificar el pla proposat. Aleshores, l'estratègia modificada s'executarà per a fer front a la situació d'operació del procés. Els plans són seqüències d'accions per a restaurar el bon funcionament i rendiment del procés.

D'altra banda, considerant els processos que actuen sobre els models (mètodes), l'arquitectura es pot descomposar en set processos: procés d'avaluació, procés d'adaptació, procés de diagnosi, procés de predicció, procés de supervisió, procés de validació i procés d'actuació.

- **Procés d'avaluació:** per a tal fi és necessari conèixer els valors de certes variables del procés: totes aquestes dades es poden extreure de la base de dades evolutiva, on s'emmagatzemen tant les dades procedents dels sensors on-line, com dels valors proporcionats per l'operador com per exemple les anàlisis de laboratori, les observacions qualitatives, etc., així com també les dades calculades o inferides pel sistema.

- **Procés d'adaptació:** aquest és un procés que té lloc en certes ocasions, bé sigui per aprenentatge dinàmic a partir de les solucions proposades anteriorment i de la seva eficiència (que poden modificar la biblioteca de casos), bé adquirint nou coneixement de (nous) experts o (noves) fonts de coneixement, o bé mitjançant tècniques de classificació automàtica.
- **Procés de diagnosi:** En cada nou cicle de supervisió l'agent supervisor activa el conjunt d'agents basats en el coneixement, per a efectuar una diagnosi de l'estat de la planta mitjançant el raonament basat en regles del SE. Al mateix temps, l'agent de raonament basat en casos és activat per a recuperar els casos més semblants a l'actual, d'entre els emmagatzemats a la biblioteca de casos. En el següent pas, el cas més semblant pot ser modificat i adaptat a la situació actual de la EDAR. Els resultats són comunicats a l'agent supervisor.
- **Procés de supervisió:** l'agent supervisor combina tota la informació procedent dels diferents agents basats en el coneixement (coneixement general) i de l'agent de raonament basat en casos (coneixement específic) per a inferir la situació global de la EDAR i suggerir les accions apropiades.
- **Procés de predicció:** l'operador utilitza el model dinàmic de la EDAR implementat en una xarxa de transició, per a preveure el comportament futur de la EDAR en front a possibles actuacions alternatives. Aquesta simulació és útil en la presa de decisions, alhora de seleccionar un pla d'actuació o altre.
- **Procés de validació:** el sistema pot ser interrogat de diverses maneres, per l'operador, preguntant per certes explicacions dels processos deductius, consultant certs valors de variables, etc. L'agent supervisor espera la validació de l'operador, abans de prendre cap acció sobre la EDAR.
- **Procés d'actuació:** l'agent supervisor identifica la situació o estat del procés, i proposa l'estratègia o pla adequat (pla expert o basat en l'experiència) per a mantenir el procés sota control. Si la situació detectada és de normalitat, aleshores es manté o activa el mòdul de control numèric automàtic. Si el sistema disposa d'actuadors on-line, la EDAR es pot actualitzar automàticament. En cas contrari, es requereix l'operació manual.

7.4 Exemple d'estudi

Les validacions parcials de cadascuna de les tècniques ja han permès mostrar el mecanisme de funcionament de la totalitat d'agents que conformen el sistema supervisor. No obstant, seguidament es detalla un cas d'estudi, simplificat, però global, per tal d'entendre la interacció global que s'estableix entre aquests agents, i comprendre el camí que segueix la informació, des que és recollida, fins que es conclou l'estat general del procés i es proposa l'actuació.

El fet que el funcionament del sistema s'hagi establert per cicles, permet fixar qualsevol punt d'inici per l'exemple. Normalment l'activació del cicle hauria de coincidir amb l'inici de la jornada laboral, però aquesta és una decisió que haurà de prendre el responsable de l'explotació de la planta.

La primera de les accions del sistema és la de recollir la totalitat de la informació que s'hagi pogut enregistrar. És de suposar que la pròpia EDAR ja disposi d'un ordinador amb una base evolutiva de dades on s'emmagatzemi aquesta informació. En aquest cas, el sistema supervisor solament haurà d'importar un fitxer que contingui les mitjanes del cicle anterior corresponents als valors enviats pels sensors i analitzadors en continu, les determinacions analítiques, així com qualsevol mena d'observació enregistrada. Obviament el sistema requereix tanta informació com sigui possible, però no atura el seu cicle per manca de dades. Sempre ha d'intentar inferir l'estat del procés amb qualsevol de les rutes alternatives establertes, i solament en cas necessari tornara a contactar amb l'usuari per tal de requerir algun tipus d'informació que resulti determinant i talli tots els possibles camins d'inferència.

Per tal de presentar un exemple el més proper possible a la EDAR d'estudi, suposarem que el fitxer de dades del dia $t-1$ solament disposa dels valors mostrats a la taula 7.1, on destaca l'absència de qualsevol mena d'observació física, així com de les determinacions analítiques de nutrients.

Amb la totalitat de la informació, el sistema supervisor activa dos procediment en paral·lel.

Entrada	Decantació	Sortida	Reactors
$Q_{entrada}$ 42190	pH 7.52	pH 7.44	Q_{purga} 414
pH 7.32	SS 92	SS 56	$Q_{recirculació}$ 41338
SS 182	SSV 71	SSV 43	Q_{aire} 274881
SSV 139	DQO 244	DQO 74	V30 212
DQO 398	DBO ₅ 119	DBO ₅ 31	SSLM 1689
DBO ₅ 202			SSVLM 1276

Taula 7.1 Fitxer de dades que inicia el cicle del sistema supervisor

Per una banda, el sistema de raonament basat en casos inicia el seu cicle particular, amb la pertinent recuperació d'aquells casos emmagatzemats a la seva llibreria que mostrin una major similitud en quan als rangs qualitius de les seves variables descriptors. Prenent per bona la definició de la taula 5.2, l'algorisme de recerca comparara els rangs de DBO-S, SS-S, DBO-E, SS-E, DQO-E, Q-E, DBO-D, SS-D, V30-B, SSVLM-B i pH-E. No obstant, degut al seu caràcter dinàmic, es desconeix la possible quantitat i tipus de casos emmagatzemats a la base, els bons resultats obtinguts a la validació parcial del SRBC permeten suposar una correcte recuperació. Per l'exemple, els valors alts de DBO-S i SS-S (primer i segon atributs en l'ordre discriminant establert) són els que amb tota seguretat direccionarien l'exploració de l'algorisme. Obviada la fase d'adaptació, el SRBC presentaria el cas recuperat més proper segons el criteri de distància. Eixample, a més de l'antic pla d'actuació enregistrat, i l'avaluació que se'n va fer. Estudiant els casos històrics utilitzats en la inicialització de la llibreria de la secció 5.3.3, el més probable sigui la recuperació del cas que reflexa terbolesa al corrent de sortida.

Paral·lelament, el sistema expert inicia la seva ruta d'inferència. La manca d'informació tallaria amb tota seguretat molts dels camins, però els elevats valors de sòlids i matèria orgànica a la sortida, combinats amb unes entrades normals, llençarà la meta-regla que activi el coneixement referent als problemes de separació als decantadors secundaris. Suposant que la totalitat de coneixement, general i específic, estigues del tot estructurat, el SE hauria d'arribar a una diagnosi parcial, a partir de la qual demanaria confirmació d'aquests problemes de separació. Evidentment, la introducció de determinacions extraordinàries com la proliferació o manca de filamentosos, els propis rendiment d'eliminació d'amoni, etc. permetrien finalitzar la inferència. Per tant, amb tota seguretat, el SE reclamarà, a través de la interfície, aquests valors a l'usuari. Si aquest

respon, es podrà avançar en el procés deductiu. En cas contrari, el sistema supervisor haurà de tallar el seu raonament basat en regles.

Així, en funció de la informació que rebí de cadascun dels dos agents de raonament, el mòdul supervisor proposa el pla d'actuació. Per l'exemple que s'està seguint, és probable que la proposta quedi sintetitzada en una petició de noves determinacions per esbrinar la vertadera causa dels suposats problemes de separació als decantadors secundaris. Aquest missatge, combinat amb els percentatges de predicció que envii la xarxa de transició, es mostrarà al cap de planta, qui acabarà decidint l'actuació a realitzar.

Per tal d'establir la predicció que proposa la XT, solament ha de processar algunes de les variables recollides a la taula 7.1 i determinar l'estat que es correspongui als resultats de les classificacions mostrades a l'apartat 6.3. Així, el responsable final de l'explotació tindrà informació de les conseqüències històriques que les seves accions específiques han comportat.

Finalment, per acabar de tancar el cicle, l'usuari ha de fer una avaluació dels resultats obtinguts, que permeti culminar el cicle iniciat pel SRBC amb l'aprenentatge. Aquesta avaluació no es pot fer fins la finalització del dia, i, en determinats casos, fins i tot és convenient demorar-la uns quants dies.

7.5 Avaluació

L'avaluació dels sistemes basats en el coneixement (KBS) és encara una tasca obscura i confosa pels seus desenvolupadors. La manca d'un model adient, o d'una pauta estandarditzada a seguir, dificulta en gran mesura la planificació d'aquesta avaluació (Juristo, 1997).



Figura 7.3 Antic concepte d'avaluació com a fase de la construcció del KBS

Fins no fa gaire, l'avaluació era una fase més del procés de desenvolupament del KBS. La figura 7.3 mostra aquest vell punt de vista, on una part de l'avaluació, anomenada validació, conformava l'etapa posterior a la implementació del prototipus.

El concepte modern d'avaluació proposa un seguiment continu i progressiu, dividit en diferents etapes que garanteixin un desenvolupament robust de cadascuna de les parts que conformi el KBS. Aquesta avaluació precisa d'una guia que especifiqui en cada moment què cal avaluar, qui, com i quan fer-ho, i fins i tot el per què de cada prova.

Com a primer apunt d'aquesta formalització de l'avaluació, esmentar que consta de tres etapes perfectament diferenciades:

- La preparació de l'avaluació, on es defineix l'objectiu i el tipus de proves a realitzar, el criteri de seguiment, i els resultats que cal esperar.
- La realització pròpiament dita de l'avaluació, que suposa una simple observació pel KBS estàtics, mentre que precisa d'una simulació pels KBS dinàmics.
- La presa de decisió en base als resultats obtinguts.

Així, dins el procés global d'avaluació s'inclouen tot una sèrie de tasques com per exemple la comprovació, la detecció d'errades i inconsistències, l'anàlisi de sensibilitat, etc. Destacar que el concepte d'avaluació fa esment al que moltes referències anomenen validació, però que també inclou la verificació, la usabilitat i la utilitat del KBS.

Per verificació s'entén l'estudi dels aspectes purament interns del KBS, obviant qualsevol altra qüestió i relació amb l'exterior. El propi treball amb rigurositat ja imposa aquesta verificació constant de la feina desenvolupada, mitjançant el seguiment iteratiu del coneixement adquirit, de la conceptualització de les regles d'inferència, de la plasmació dels petits programes codificats, etc.

Per validació s'entén la valoració que es fa de la relació mantinguda entre el KBS i el seu entorn més immediat. Encara no cal considerar la totalitat del món real on finalment operará el KBS, sinó solament una petita part del mateix. S'inclouen aquí els petits tests de validació, els requeriments mínims, etc.

En què a la usabilitat, fa referència a la fase que ja té en compte la relació del KBS amb l'usuari, i n'estudia la facilitat i prestacions que el sistema ofereix a tota persona que el vulgui executar.

L'última de les consideracions de l'avaluació és la utilitat del prototipus, on ja s'estudia la relació total del KBS amb l'entorn real on treballarà. S'inclouen aquí les connexions físiques, el processament en temps real de les dades real, l'obtenció de resultats globals, etc.

Així, mentre que la verificació ve donada d'una manera implícita amb la feina diària, la validació precisa d'una sèrie de tests o proves, específics per a cadascun dels agents del sistema supervisor. Aquests tests, seguint les recomanacions de (Juristo, 1997), es poden basar en les següents pautes:

- Comparació respecte resultats coneguts. Es realitza mitjançant la comparació entre aquests resultats i els que ofereix el sistema, respecte la introducció al sistema de casos històrics reals.
- Comparació respecte models matemàtics. Es proposa la introducció de casos aleatoris, amb la posterior comparació de les solucions que ofereixen el sistema i el simulador.
- Comparació respecte l'expert. Es pot realitzar amb casos aleatoris, amb casos triats, o bé amb casos reals, i és l'expert qui finalment valida els resultats obtinguts.
- Anàlisi de sensibilitat. S'ha de realitzar respecte les variacions significatives de les entrades, mitjançant la introducció de casos aleatoris als que se'ls hi provoca importants variacions als valors de certes variables. També cal fer una anàlisi de sensibilitat respecte les entrades errònies, amb casos preparats, dels que s'espera un missatge d'error del sistema.

7.5.1 Validació dels agents

Al llarg del present treball s'han contemplat les dues primeres fases de l'avaluació, la verificació i la validació, de cadascun dels agents que conformen el sistema.

Així, el SE ha estat validat principalment respecte casos hipotètics, artificialment creats per activar les rutes d'inferència codificades, i comparar respecte la diagnosi i proposta d'actuació suggerides

Pel que respecte al SRBC, ha estat validat amb casos artificials, però creats a partir del conjunt de dades històriques reals processades per l'estudi de l'adquisició de coneixement específic. Concretament, s'ha validat la resposta de la fase de recuperació i el càlcul adient de la distància Eixample per les situacions de: normalitat, tempesta, xoc de càrrega, baixa càrrega, búlquing i terbolesa. Les fases d'avaluació i aprenentatge no poden ésser comprovades sense la implementació física del sistema sobre un entorn real o, si més no, comparable a una EDAR.

La única validació global realitzada que consideri conjuntament SE, SRBC i XT, és la que correspon a l'exemple d'estudi detallat a l'apartat 7.4, i ha estat feta mitjançant un cas real i la comprovació per part de l'expert dels resultats obtinguts

Per contra, el fet que el sistema encara no s'hagi pogut implementar, impedeix l'avaluació final de les fases d'usabilitat i utilitat, tot i que el codi desenvolupat per a cada un dels agents ja té en compte la interacció necessària entre l'usuari i el programa.

De cara a aquesta implementació final, cal tenir en compte que la seva aplicació també es pot fer de manera progressiva, iniciant el procés sobre simulació (per exemple amb GPS-X), seguint sobre planta pilot automatitzada, i culminant sobre una EDAR real. Aquest fet permet reforçar l'avaluació del sistema supervisor, ara ja prou robust.

*Vida. ¡No habías de comenzar,
pero ya que comenzaste,
no habías de acabar!*
Baltasar Gracián

8. El Protocol

8 Protocol generalitzat pel desenvolupament del sistema integrat supervisor

8.1 Introducció

L'obtenció d'un protocol estandarditzat de desenvolupament es la conclusió a l'estudi, mostrat als capítols previs, de la possible aplicació d'un sistema supervisor intel·ligent, que integri diferents aproximacions, per a la millora de la gestió de EDAR. Aquest protocol sintetitza les experiències viscudes en els successius estudis que el grup de recerca ha portat a terme els darrers anys a les EDAR de Manresa - St. Joan de Vilatorrada, de Cassà - Llagostera, de Vidreres - Sils i, amb especial atenció, a la EDAR de Girona.

A continuació es presenta el protocol, juntament amb les instruccions i consells que cal seguir, en cas de voler desenvolupar i aplicar el Sistema Supervisor a una EDAR.

8.2 Aspectes a considerar

Com a pas previ al desenvolupament del sistema, cal fer un estudi complet de la planta, del procés que es porta a terme i de l'operació i control establerts. Entre aquests aspectes cal tenir molt en compte els següents punts.

- L'objectiu de la planta: pot ser únicament l'eliminació de matèria orgànica o també incloure l'eliminació de nutrients (mitjançant nitrificació, nitrificació/desnitrificació, eliminació de fòsfor o combinació dels anteriors),
- el tipus de procés: biològic, físico-químic o ambdós,
- la configuració de la planta: nombre i tipus de reactors (perfectament agitats, flux pistò, carrusel, etc.), sistema de decantació (decantadors circulars o rectangulars, mecanisme de recollida dels fangs i els flotants, absència o presència de decantació primària), tipus d'aeració (difusors, turbines o oxigen pur), presència de selectors, doble etapa, etc.,

- l'operació portada a terme: alta o baixa càrrega, establiment de diferents etapes del procés, interacció entre linia de fang i linia d'aigües, etc.,
- el control del procés: automàtic o manual sobre l'oxigen dissolt, la recirculació i el cabal de purga, a més d'altres petits llaços de control establerts sobre by-passos, sobreeixidors, sondes de pH, possibilitat d'actuació sobre determinats paràmetres, etc.

Coneguts perfectament la planta i el procés que s'hi porta a terme, s'inicia una exhaustiva recollida i selecció de la informació disponible. Per tal de fer-ho cal estudiar els llistats de les dades amb que es treballa habitualment a la EDAR.

- Dades on-line: procedents de sensors o de panells, i que solen contenir cabals (entrada, recirculació, purga, biogàs, etc.), pH, temperatures, conductivitats, potencial redox, etc.,
- dades analítiques: obtingudes al laboratori per tal de determinar les característiques de l'aigua d'entrada, eficiències d'eliminació de sòlids en suspensió, de matèria orgànica i de nutrients, quantitat i estat de la biomassa present (SSLM, SSVLM, V30), etc.,
- observacions: que solen ser molt importants en el dia rera dia d'operació de la planta, i que inclou aspectes tan diversos i subjectius com: colors, olors i aspectes de l'aigua o el fang, observacions al microscopi de la fauna microbiana, bombolles i/o sobrenadants a la V30 o als decantadors, escumes, etc.

Seguidament cal veure la freqüència en que cada una d'aquestes variables es recull. La variació és realment significativa, doncs a les EDAR es donen al mateix temps processos amb dinàmiques pràcticament instantànies, i que precisen noves mesures amb intervals de segons (per exemple el requeriment d'oxigen als bioreactors), amb d'altres processos de dinàmica molt més lenta, i que solament requereixen analítiques de mesura diària o setmanal (per exemple els desequilibris de poblacions de la biomassa desenvolupada). Considerant que s'ha decidit establir el dia com l'interval de temps més adient per posar en marxa el cicle supervisor, interessa arribar a un consens de valors diaris de les variables amb les que finalment treballarà el SRBC. Per tant, tal i com ja fan moltes EDAR, cal convertir els registres procedents dels sensors a un valor mitja

diari i, en molts casos, descartar aquelles variables que es mesuren amb una periodicitat baixa.

També cal veure en quin suport s'enregistren les dades a la EDAR.

- Suport informàtic: la majoria de EDAR ja disposen d'un petit ordinador que recull a un full de càlcul els valors diaris de les variables més significatives del procés.
- Registres analògics: encara ens podem trobar que les dades procedents d'algun sensor solament arribin a un registre analògic de paper, a on quedi constància del perfil obtingut.
- Escandalls de laboratori: la majoria de resultats analítics són apuntats a unes taules de seguiment, i solament aquelles variables que interessa processar per a fer informes són transferides al full de càlcul de l'ordinador.
- Memòria humana: encara existeixen estacions depuradores on la totalitat de la informació solament queda emmagatzemada al cervell del responsable de la planta. En tot cas, difícilment aquest tipus de planta desitjarà desenvolupar un sistema intel·ligent integrat que supervisi el procés. El que malauradament sí és cert, és que a molt poques plantes s'enregistren amb rigurositat les observacions que tant els ajuda alhora de gestionar amb èxit el procés, fet que pot impedir la inclusió de variables de tipus qualitatiu al procés d'extracció de coneixement específic de les dades històriques del procés.

Arribat aquest punt, és fonamental haver assolit un coneixement, superficial però detallat, dels principis bàsics de la EDAR triada per l'aplicació del sistema supervisor. Tot seguit, cal iniciar el llarg procés d'adquisició del coneixement, general i específic, que permetrà el desenvolupament del sistema expert, del sistema de raonament basat en casos, i de les xarxes de transició.

8.3 Extracció del coneixement

8.3.1 Coneixement general

Als capítols anteriors de la tesi ja s'ha fet esment a les diferents fonts que cal recórrer per tal d'adquirir el coneixement general del procés, que són la bibliografia especialitzada i/o mitjançant converses mantingudes amb els experts corresponents.

El que s'espera obtenir dels llibres és una sèrie de principis, generals, clars i objectius, que descriguin, d'una manera justificada i entenedora, la totalitat de mecanismes que intervenen al tractament biològic. Com a complement, l'estudi dels articles de recerca especialitzats permet aprofundir el coneixement general de determinats aspectes més concrets del procés, tot i que els resultats i conclusions presentats no estan tan estandarditzats ni validats com els anteriors.

El que finalment s'obté és un conjunt de situacions típiques que es poden produir a qualsevol EDAR, i que afecten principalment el bon funcionament del procés biològic. Cal buscar les diferents propostes de diagnòsi per a cada una d'aquestes situacions típiques (procurant considerar tota mena d'indicis, tant els que es corresponguin a variables qualitatives, com els que es fonamentin en observacions de tipus qualitatiu), i establir les diferents estratègies d'actuació, que seran de tipus genèric i de diferent aplicació, en funció de les possibilitats específiques que mostri cada EDAR en particular.

Una proposta, molt superficial, del tipus de coneixement general que cal establir en aquest apartat és la que queda recollida a la secció 4.3.3 de la present tesi. A la proposta s'enumeren quatre grans tipus de problemes que pot presentar una EDAR biològica que no pretén eliminar els nutrients de l'aigua residual: escumes, desnitrificació incontrolada, esponjament del fang i desfloculació. No obstant, l'expert o enginyer del coneixement que finalment desenvolupi el sistema supervisor és el que ha de definir i completar la base de coneixement general que consideri més adient.

La resultant principal d'aquesta adquisició de coneixement general serà la transcripció de les regles de diagnòsi i actuació que conformaran la base de coneixement del sistema expert. En cas necessari, no obstant, l'establiment de les situacions més típiques d'una

EDAR també pot servir per conformar uns casos, artificials però genèrics, que inicialitzin el sistema de raonament basat en casos.

Al codificar el coneixement en forma de regles, no hem d'oblidar que el que s'està definint és una base de coneixement general. Tot i que resulta obvi pensar que moltes de les regles proposades no seran mai útils per a la gestió d'una EDAR en particular, no cal omitir cap dels indicis de diagnosi ni cap mena d'actuació, doncs existeix la possibilitat que altres EDAR sí estiguin preparades per assimilar aquest tipus d'informació. Així, cal incloure tant el coneixement que precisa de sofisticats aparells de mesura (TOC, polarògrafs, microscopis de contrast de fase, etc.), com el que es fonamenta en observacions de difícil apreciació (diferents olors de l'aigua: dolça, ous podrits, etc., tot tipus de colors: verd, blanquinós, diferents tonalitats de marró, etc.), per tal de construir una base de coneixement que sigui realment general, exportable, i útil per començar a treballar a qualsevol EDAR.

Considerant la generalització absoluta que es vol fer d'aquest coneixement, és aconsellable omitir, quan sigui possible, els valors absoluts de les variables numèriques a la codificació de les regles. Per tal de fer-ho, cal discretitzar el seu valor numèric en diferents intervals qualitatius. D'aquesta manera, tal i com es veu a l'exemple, s'intentarà transcriure regles que facin referència a un valor alt, normal, o baix d'edat cel·lular, en comptes d'especificar el valor concret de la variable.

SI <i>edat_cel·lular = alta</i> ALESHORES ...

En comptes de:

SI <i>edat_cel·lular > 5 dies</i> ALESHORES ...
--

Tampoc convé especificar els límits de cadascun d'aquests intervals, doncs amb posterioritat serà l'usuari final del sistema (en general el cap de planta) el que s'encarregui de calibrar aquesta discretització, fixant els valors que consideri més ajustats al seu procés. No és el mateix parlar d'un valor baix d'oxigen dissolt a les basses biològiques de la EDAR de Girona, que a les de la EDAR de Manresa i St. Joan de Vilatorrada.

8.3.2 Coneixement específic

Dues són les fonts d'obtenció de coneixement específic: l'entrevista amb el cap de planta i/o operaris, i l'estudi de les dades històriques enregistrades.

Respecte a l'entrevista, ja s'ha fet esment al fet que el coneixement obtingut és escàs (entre 2 i 5 regles per dia), subjectiu, inconsistent i incomplet. La predisposició d'ambdues parts resulta indispensable, i sembla obvi pensar que l'establiment d'una bona relació entre expert i entrevistador facilita el procés.

Convé programar amb atenció aquesta sèrie d'entrevistes, evitant sessions massa llargues, i repassant amb freqüència les conclusions extretes. D'aquesta manera l'expert del procés pot anar corregint i sistematitzant les seves pròpies explicacions anteriors. També resulta important realitzar alguna d'aquestes converses a la pròpia estació depuradora, per tal de conèixer *in situ* els processos esmentats.

Tot i el tret específic d'aquest tipus de coneixement, pot ser de gran ajuda pel cap de planta que se li mostri a grans trets la base de coneixement general extreta dels llibres. És una manera subtil d'evitar l'oblit de certs aspectes concrets de la EDAR, alhora que facilita l'ordenació i sistematització de les idees contingudes al cap de l'expert.

De cap manera s'han de despreciar detalls o exemples concrets de situacions o accidents viscuts a la EDAR, encara que s'hagin produït d'una manera molt aïllada i esporàdica. Precisament rescatar aquestes experiències és un dels punts més valuosos d'aquesta aproximació específica, de cara a la gestió de la EDAR.

Resulta interessant intentar allargar al màxim el període destinat a l'extracció mitjançant l'entrevista del coneixement específic de l'estació depuradora, intentant treballar en paral·lel amb determinades fases de l'estudi de les dades històriques del procés. Moltes vegades, la pròpia interpretació dels resultats d'aquest estudi serveix per recordar al cap de planta alguna de les situacions viscudes pel procés, i a les quals encara no hi havia fet esment.

La conclusió de l'entrevista ha de quedar sintetitzada en un conjunt d'arbres de diagnosi i actuació que reflexin la gestió específica que es porta a terme a la EDAR. Resulta vital la validació final que faci el propi cap de planta.

En quant a l'adquisició de coneixement a partir de les dades històriques, el primer aspecte a tenir en compte és l'estudi del volum de dades històriques enregistrades a la EDAR.

Al llarg dels anys, els responsables de la planta solen prendre un munt de decisions que afecten considerablement el tipus i la qualitat de la informació emmagatzemada. Pot ser que la presència d'ordinador a la planta sigui un fet recent, o que amb el pas dels anys hagin aparegut nous sensors o s'hagin incorporat noves anàlisi al laboratori, o que la planta s'hagi ampliat, o bé que el procés hagi canviat de configuració, o que les característiques de l'influent siguin prou diferents degut a la connexió o desconnexió a la xarxa d'abocaments industrials, o que alguna avaria deixés la planta sense registres informàtics durant un període considerable de temps, i en definitiva un sensfi de canvis i problemes que malmeten molta de la informació enregistrada. Cal fer-ne un estudi rigorós que permeti esbrinar aquestes circumstàncies per tal d'evitar la inclusió a l'estudi de períodes que puguin distorsionar les conclusions.

Un cop realitzat l'estudi, convé determinar el període històric adient per estudiar les situacions que solen afectar el funcionament de la EDAR. Aquest període, ha de contenir un conjunt de dades suficientment homogeni, i solament ha de contenir aquelles variables que proporcionin informació real de l'estat del procés i hagin estat mesurades habitualment.

Aquest conjunt de dades històriques s'ha d'introduir a un full de càlcul en format homogeni, conformant una matriu de valors que contingui la totalitat de dies (fileres) i variables (columnes). Un dels aspectes habituals a considerar és la homogeneïtat d'unitats en l'expressió d'una mateixa variable (per exemple, el cabal que pot ser introduït com a m^3/h o m^3/dia , o els nitrats que es poden expressar com $mg\ N-NO_3^-/L$, o com a $mg\ NO_3^-/L$).

És absolutament recomanable realitzar un bon filtrat de les dades, per tal d'eliminar les habituals errades de mesura (males determinacions analítiques, sensors descalibrats, etc.) o de transferència de valors (bàsicament per errades humanes al picar les dades).

Seguidament s'inicia l'estudi matemàtic de les dades, per tal d'establir màxims, mínims, desviacions estàndard, valors típics, correlacions entre variables, anàlisis de rellevància, intervals de confiança, etc. fins el grau de profunditat desitjat.

Amb l'ajuda de l'expert, i mitjançant la interpretació de l'estudi matemàtic, es fa una nova de tria de totes aquelles variables rellevants dels procés, evitant redundàncies o aportacions poc valuoses.

Arribat aquest punt, ja es pot iniciar el procés de classificació amb Linneo⁺ (o algun software semblant) de les dades històriques tractades. Aquest procés, semi-automàtic i iteratiu, permet agrupar en classes diferenciades els conjunts de dies que es corresponen a diferents situacions viscudes a la planta durant el període estudiat. La informació que s'extreu de la classificació permet obtenir un nombre raonable de classes que ajuden a conèixer d'una manera més objectiva (davant la subjectivitat i incertesa dels responsables de l'explotació de la planta) les situacions que sol afrontar la planta.

No cal oblidar que aquesta etapa es realitza amb la supervisió constant d'un expert (sol ser el propi cap de planta), que és qui realitza la interpretació específica a la EDAR.

Un estudi exhaustiu de les classes obtingudes, permet caracteritzar les situacions en funció d'una sèrie de variables que resulten més determinants alhora de diferenciar els estats de la planta. D'aquesta manera, l'expert del procés pot concloure diferents regles específiques de la EDAR, que, ara sí, poden mantenir els valors numèrics de les variables rellevants, sense que faci falta la discretització aconsellada a la codificació en regles del coneixement general.

SI	<i>edat_cel·lular > 5 dies</i>	ALESHORES	...
----	-----------------------------------	-----------	-----

Una segona forma d'obtenir aquestes regles es fonamenta en l'ús del software GAR, extraient d'una manera automàtica les regles de diagnòsi que diferencien cadascuna de

les classes obtingudes amb Linneo⁺. No cal oblidar, però, que sempre és requisit indispensable la conformació final de l'expert.

Conjuntament a la caracterització justificada de cada classe, l'expert també ha d'aportar una proposta de pla d'actuació que afronti la situació descrita, i que reconduïxi el procés cap a un estat satisfactori.

Els resultats de la classificació també serveixen per obtenir un conjunt de casos típics, o situacions específiques viscudes per la EDAR, que podran ser tractats com a casos del SRBC i ésser inclosos a la seva llibreria per tal d'inicialitzar el seu coneixement abans no comenci a treballar.

8.4 El Sistema Expert

Hi ha una primera passa obligada per la construcció del sistema expert, l'elecció del mecanisme d'inferència. Recordem que existeixen dues possibilitats, decantar-se per l'adquisició d'un entorn de treball comercial (veure figura 4.2), o desenvolupar-ne un de propi. Sigui quina sigui l'opció triada, el tipus de mecanisme d'inferència és el que condiciona la resta del desenvolupament del SE.

Per tal de definir la base de coneixement, cal recopilar tot el coneixement adquirit, i estructurar les diferents rutes d'inferència. Aquesta recol·lecció no és feina fàcil, doncs en general es disposa d'un nombrós i desordenat conjunt d'arbres de decisió.

S'inicia la codificació de les regles partint del coneixement més general. S'han d'evitar les típiques redundàncies, solapaments, contrasentits i incompatibilitats que puguin aparèixer, fet habitual degut a la diversitat de fonts consultades.

La codificació i posterior concatenació de regles s'ha de fer seguint les particularitats imposades pel mecanisme d'inferència. També convé que el SE sigui tan autosuficient com sigui possible, limitant al màxim el nombre de preguntes requerides al cap de planta. Al dissenyar les rutes d'inferència, s'ha de contemplar la possibilitat que ningú no pugui (o no vulgui) respondre els dubtes plantejats pel SE, i cal que la inferència

trobi rutes alternatives de diagnosi que no quedin tallades per la manca d'informació externa.

Seguidament s'afegeix el coneixement específic, que en alguns casos coincideix i reafirma o puntualitza el coneixement general, però que moltes vegades entra en conflicte i desautoritza certes rutes d'inferència general. Per tal de solucionar aquest conflicte, sempre cal donar preferència al coneixement específic, doncs és el que te en compte les pròpies característiques del procés i de la EDAR on s'aplica el sistema. No obstant, és aconsellable no eliminar les regles generals discordants, sinó que n'hi ha prou en desactivar-les o en treure-les fora de les rutes d'inferència. Així resten disponibles per a una hipotètica futura recuperació, i permeten la seva inclusió immediata en cas d'aplicació del SE a una nova EDAR.

Un altra fet important és l'elecció i definició de les variables que intervenen a la totalitat de regles que conformen la base de coneixement del SE. És millor treballar amb variables factibles (entenent per variables factibles totes aquelles que la EDAR pugui obtenir amb facilitat), encara que no es descarta incloure regles, especialment generals, que precisin el valor de variables no disponibles. L'esperança és que en un futur proper la EDAR pugui obtenir aquestes dades, bé sigui per la compra de nous sensors o aparells, bé per la millora tècnica de mesuradors en línia.

Finalitzada la construcció del SE, es fa una primera validació parcial consistent en la simulació d'un cicle d'activació que contingui els valors de la informació habitualment recollida a la EDAR. Interessa introduir valors extrems per tal de llençar certes alarmes que activin les corresponents rutes d'inferència. Cal llegir i contestar els missatges apareguts per pantalla, i alhora realitzar un seguiment intensiu de la totalitat de regles activades. D'aquesta forma s'avalua la concatenació del coneixement. Un error habitual és la conclusió, per part del SE, de dos estats diferents. Aquest fet solament es pot produir quan la inferència permet seguir dues rutes paral·leles, i per evitar-ho cal fer una exhaustiva revisió de tota la concatenació del coneixement.

8.5 El Sistema de Raonament Basat en Casos

El tret més important del SRBC és l'aportació d'especificitat al sistema supervisor. Per això, s'ha de recuperar el treball detallat a l'apartat 8.3.2.

Feta l'extracció, mitjançant Linneo⁺ i les pertinents entrevistes, del coneixement específic de la EDAR, cal fer l'última tria de variables que permeti treballar amb un nombre prou reduït d'atributs alhora de caracteritzar el cas. D'aquesta manera s'evita la creixent complexitat d'una llibreria de casos amb un excessiu nombre de nusos, alhora que es garanteix la rellevància de la totalitat de variables considerades. Tot i que la tria és molt relativa i depèn en gran mesura de l'estudi realitzat fins el moment de la EDAR i de la informació disponible, és aconsellable tenir en compte variables que permetin avaluar els rendiments d'eliminació del procés, que caracteritzin les característiques de l'entrada, l'estat de la biomassa i, quan sigui possible, variables qualitatives que ajudin a discernir clarament entre diferents situacions del procés.

S'inicia aleshores el procés iteratiu de construcció de l'arbre que conforma la llibreria de casos del sistema. Es pot estructurar segons un criteri propi, o bé seguir el procediment proposat a la tesi. El codi necessari es presenta més detalladament a (Sánchez *et al.*, 1997). Per iniciar, doncs, aquesta construcció de la llibreria de casos, cal discretitzar les variables escollides com a descriptors de la situació. Aquesta discretització en rangs qualitius o modalitats, del tipus alt, baix, normal, molt baix, lleugerament alt, etc., es pot realitzar en funció dels resultats de l'estudi matemàtic de les dades, de les caracteritzacions de classes de Linneo⁺, i per la pròpia experiència del cap de planta. També cal determinar l'ordre de prioritització de les variables (iniciant l'escala per les més discriminants) que faciliti l'aplicació de l'algorisme de recerca dels casos similars, i el valor del seu pes, paràmetre clau alhora de calcular les distàncies entre casos. Pel càlcul de la distància Eixample, així com per l'aplicació de la fase d'aprenentatge, també es requereixen els valors dels paràmetres de tall α , β_1 , β_2 , δ i β . α permet aplicar una diferent seqüència de càlcul de la distància en funció de la rellevància dels atributs graduals (els quantitatius i els qualitius que segueixen una ordenació lògica), β_1 estableix la distància mínima per decidir quan un nou cas és tan diferent a la resta que el SRBC no pot fer-hi front, β_2 justifica la incorporació de nous casos a la fase d'aprenentatge per èxit, δ és el punt de tall que indica la utilitat o participació de cada

un dels casos recuperats per a cada nou cicle, i finalment β evita l'eliminació de certs casos excepcionals de la llibreria que, tot i tenir una mesura d'utilitat molt baixa, contenen un coneixement molt preciat i gens redundant. De totes maneres, el programa conté uns valors per defecte d'aquests cinc paràmetres que poden ser retocats en funció dels resultats obtinguts a la següent fase, la de calibració.

Ja s'ha fet esment al fet que és aconsellable fer una tria d'un conjunt de dies representatius de cada una de les situacions caracteritzades a la classificació, per tal d'inicialitzar la llibreria de casos del SRBC i poder fer les primeres proves que confirmen el seu correcte funcionament.

Abans de calibrar cal provar el bon funcionament de la llibreria, dels mecanismes de recerca i recuperació de casos, de la fase d'aprenentatge, etc. (aquesta etapa es correspon a la verificació de l'avaluació global). Seguidament, per tal de validar el SRBC, es calibren rangs, ordre i pes dels atributs, afinant els valors amb la introducció a la base de nous casos artificials i perfectament coneguts. Dins aquest procés també pot caldre modificar α , β_1 , β_2 , δ i β . Molts d'aquests nous casos introduïts a la llibreria poden quedar incorporats a la memòria, engrandint el volum de casos inicials. En principi no hi ha cap problema i fins i tot és positiu doncs la base s'inicialitza amb una major quantitat de coneixement específic de la planta. No obstant, quan s'han realitzat infinitat de proves i el nombre de casos és innecessàriament gran, és pot buidar la llibreria i reinicialitzar el sistema introduint solament els casos més representatius triats a partir dels resultats de la classificació de les dades històriques.

Quan el comportament de la llibreria sigui plenament satisfactori, ja es pot considerar que el SRBC està a punt per iniciar el seu funcionament o, en el cas que ens pertoca, per a ser integrat dins l'estructura que conforma el sistema supervisor intel·ligent que finalment gestionarà la EDAR.

8.6 Les Xarxes de Transició

Alhora de formalitzar l'estudi de la xarxa de transicions, es pot aprofitar gran part de l'estudi realitzat per desenvolupar la resta d'agents del sistema. Així, a part de comptar amb un exhaustiu estudi previ de la EDAR, del coneixement general recollit pels llibre,

i d'haver establert una sèrie d'entrevistes amb els responsables de l'explotació, fets que han permès adquirir coneixement específic referent a la EDAR on s'aplica l'estudi, és especialment valuós el fet que les dades històriques en que es fonamenta el desenvolupament de la XT ja han estat tractat amb severitat al punt 4 del present protocol. De l'estudi realitzat amb les dades, s'aprofita la introducció homogènia al full de càlcul, el filtrat, l'estudi matemàtic, i la primera de les tries realitzades.

Per tal d'adaptar aquest conjunt de dades històriques al seu processament per desenvolupar la XT, cal diferenciar quines de les variables defineixen els tres apartats considerats: l'estat del procés, les condicions d'entrada, i el tipus d'actuació portada a terme.

La diferenciació més fàcil és la que fa referència a les característiques de l'influent. Valors numèrics de cabal, matèria orgànica, sòlids, nutrients, pH i conductivitat a l'entrada són els més habituals. En cas d'existir registres d'observacions qualitatives, també poden ser incorporades a la matriu de dades.

Pel que respecte a les variables que defineixen l'actuació, existeix una certa confusió respecte a la seva diferenciació de les que determinen l'estat. Convé incloure solament aquelles variables que poden ser modificades d'una manera directa pel cap de planta, com els punts de consigna dels llaços de control existents, o els cabals de purga i recirculació.

La resta de variables sol correspondre a la definició de l'estat de la planta. Inclou totes aquelles que siguin conseqüència de les condicions d'entrada i de l'actuació proposada. Entre aquestes s'hi poden trobar la quantitat de sòlids presents al bioreactor, l'edat cel·lular, i la caracterització del corrent de sortida.

Diferenciats els tres conjunt de dades o variables, ja es pot iniciar el seu tractament per separat, mitjançant la ja coneguda classificació amb Linneo⁺ o un software similar. Com a resultat, s'obtidran un seguit de classes més concretes que les utilitzades per adquirir coneixement específic pel SE, que caldrà estudiar i interpretar per tal de concloure la totalitat d'estats del procés, dels tipus d'influents que poden arribar a la EDAR, i de les diferents estratègies d'operació practicades pel cap de planta.

No cal oblidar que aquest procés de classificació és totalment iteratiu, i que precisa la supervisió constant del cap de planta alhora d'interpretar els resultats obtinguts.

Un cop són ben definits i diferenciats la totalitat d'estats, influents i actuacions, ja es pot representar la xarxa global de les transicions produïdes entre els diferents estats. En cas que el conjunt de dades tractat sigui prou elevat, possiblement s'obtingui un graf prou complexa, per la qual cosa resulta interessant de sintetitzar aquests resultats a una taula que mostri els estats de partida i final, juntament amb l'actuació, l'influent, i el nombre de vegades en que la transició s'ha produït (α).

L'estudi d'aquesta xarxa global resulta més fàcil si es representa per separat cadascun dels nusos principals, analitzant la totalitat de transicions que afecten als diferents estats definits.

De cara a les conclusions extretes de l'estudi, cal conformar i definir cada una de les transicions produïdes des de cada estat, amb les característiques de l'influent i l'actuació responsables d'aquesta transició, i el percentatge de vegades en que aquest succés s'ha donat. Les conclusions han de ser prou sistematitzades i entenedores per tal que estableixin l'ajuda necessària al mòdul supervisor o al cap de planta alhora de donar validesa a la predicció establerta.

Verificat el mecanisme de funcionament de la XT, la validació pot ser encarada mitjançant l'estudi d'un conjunt de casos reals consecutius, estudiant la predicció que realitza la XT, i comparant amb les vertaderes transicions produïdes. Superades amb èxit aquestes dues primeres etapes de l'avaluació global, ja es pot procedir a la seva implementació o integració dins el sistema supervisor global.

8.7 El protocol

L'esquema de la figura 8.1 mostra les diferents fonts que s'utilitzen per tal de construir el sistema supervisor, amb el tipus de coneixement extret en cada cas, i els mòduls que contenen cadascuna de les diferents aproximacions integrades, el SE, el SRBC, i les XT.

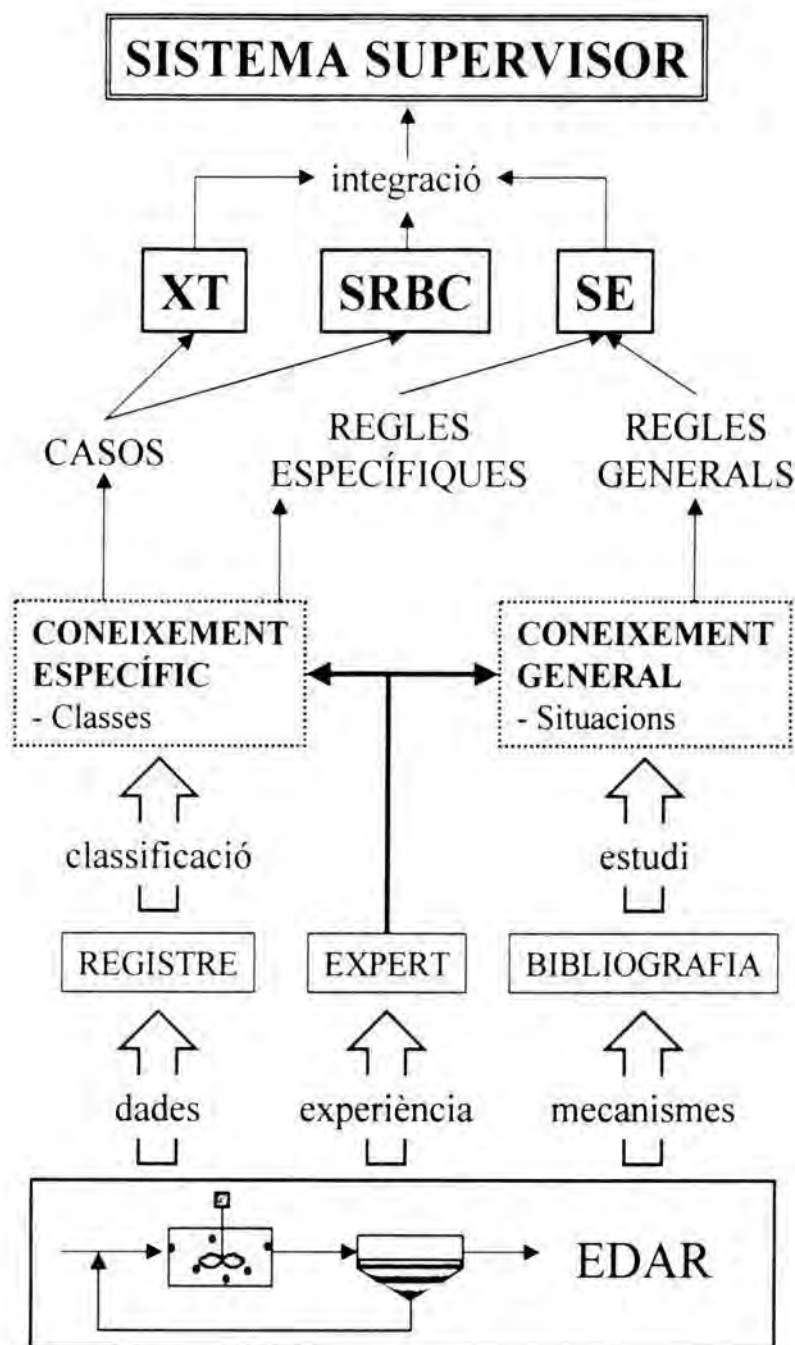


Figura 8.1 Esquema del desenvolupament del sistema supervisor

Al llarg del capítol s'ha fet esment als requisits de treball que cal seguir per la construcció de tot el sistema. Per tal de sistematitzar tota aquesta informació, s'ha definit un protocol que en sintetitza els trets principals.

1. Estudi previ

- Estudi de la planta, el procés, l'operació i el control.
- Estudi de la informació recollida a la EDAR: tipus, suport i freqüència.

- (c) Estudi de les dades històriques emmagatzemades: tipus, suport, freqüència, període i homogeneïtat.
- (d) Determinació del volum d'informació històrica requerit: període i variables.

2. Bibliografia

- (a) Exhaustiva recerca bibliogràfica.
- (b) Estudi de la bibliografia i síntesi del coneixement contingut.
- (c) Definició de la totalitat de situacions a contemplar, i establiment de les diferents estratègies de diagnosi i actuació
- (d) Representació dels arbres de decisió.
- (e) Generalització d'aquests arbres de decisió mitjançant la discretització en rangs qualitatius de les variables quantitatives considerades.

3. Entrevistes

- (a) Programació del calendari d'entrevistes.
- (b) Escriptura i síntesi del coneixement adquirit a cada entrevista. Aquest material ha de ser revisat per l'expert a l'inici de cada nova entrevista.
- (c) Reforç i incentiu a l'expert mitjançant la posta en comú del material general recollit al punt 2 del protocol.
- (d) Representació, d'una manera revisada i iterativa, dels arbres de decisió que sintetitzin el coneixement extret a l'expert.

4. Dades històriques

- (a) Introducció de les dades d'una manera homogènia a un full de càlcul standard.
- (b) Filtrat i correcció del fitxer de dades.
- (c) Estudi matemàtic de les variables considerades. Determinació de rangs habituals i valors extrems. Anàlisi de rellevància.
- (d) Tria de les variables més representatives amb les quals es prosseguirà l'estudi.
- (e) Processament i classificació de les variables triades.
- (f) Interpretació experta dels resultats obtinguts. Caracterització i proposta, per part de l'expert, del pla d'actuació adient a cada una de les classes determinades.

5. Sistema Expert

- (a) Elecció del mecanisme d'inferència.

- (b) Recol·lecció de tot el coneixement, general i específic, adquirit als punts 2, 3 i 4.
- (c) Tria i definició de les variables (quantitatives i qualitatives) que intervenen a la totalitat de les rutes d'inferència.
- (d) Codificació ordenada del coneixement general, d'acord a les exigències del mecanisme d'inferència triat al punt 5.1.
- (e) Codificació i addició del coneixement específic.
- (f) Revisió global al conjunt del coneixement codificat, per tal d'evitar els possibles conflictes d'incompatibilitats apareguts.
- (g) Verificació i validació parcial de la inferència del SE
- (h) Aplicació del SE a la EDAR, o integració dins l'estructura general del sistema supervisor intel·ligent

6. Sistema de Raonament Basat en Casos

- (a) Nova de tria de les variables recollides al punt 4 del protocol, per tal de reduir-ne el nombre fins a uns límits assolibles pel SRBC.
- (b) Discretització d'aquestes variables en rangs qualitius de tipus alt, normal i baix.
- (c) Determinació de l'ordre de prioritització discriminant de les variables o atributs.
- (d) Determinació del pes que presenta cada variable en el càlcul de la distància Eixample.
- (e) Elecció dels valors de α , β_1 , β_2 , δ i β .
- (f) Elecció dels dies més representatius continguts a les diferents classes obtingudes amb Linneo⁺, per tal de conformar els casos que inicialitzin la llibreria del SRBC.
- (g) Comprovació dels mecanismes de recerca, recuperació i aprenentatge del SRBC.
- (h) Calibració de rangs, ordre i pesos dels atributs mitjançant la introducció de nous casos.
- (i) Construcció final de la llibreria de casos.
- (j) Verificació i validació parcial del SRBC.
- (k) Aplicació a la EDAR o integració dins l'estructura general del sistema supervisor intel·ligent.

7. La Xarxa de Transicions

- (a) Recol·lecció i aprofitament dels resultats de l'estudi realitzat fins el punt 4-d del present protocol.

- (b) Diferenciació, entre les variables considerades, d'aquelles que fan referència a l'estat del procés, les que defineixen les característiques de l'entrada, i les que solament depenen de l'actuació portada a terme.
- (c) Processament i classificació de la matriu de dades.
- (d) Estudi i interpretació general dels resultats obtinguts.
- (e) Representació global del graf de transicions establertes.
- (f) Estudi detallat i particular de cada nus referent a cadascun dels estats definits.
- (g) Conclusió de l'estudi, i definició dels percentatges finals de les transicions produïdes i detectades.
- (h) Verificació i validació parcial dels resultats obtinguts.
- (i) Integració de la xarxa de transicions dins l'estructura global del sistema supervisor.

8. El Sistema Supervisor.

- (a) Integració de la totalitat d'eines desenvolupades.
- (b) Verificació i validació parcial del seu funcionament.
- (c) Aplicació sobre el domini triat
- (d) Avaluació global del sistema
- (e) Implementació final.

Tot aquest procés de construcció del prototipus de sistema supervisor, i d'avaluació del seu funcionament, comporta el compliment d'una sèrie de terminis temporals, sempre relatius i en funció de la predisposició i el ritme de treball imposats. El diagrama de Gantt de la figura 8.2 recull una proposta de plaços d'execució per la distribució final de tasques.

De l'estudi de la figura 8.2 es pot apreciar una primera etapa d'estudi previ de la EDAR on es desitgi aplicar el sistema, consistent en visites i entrevistes amb el cap de la planta. Paral·lelament, es pot iniciar l'estudi bibliogràfic dels principis bàsics del procés de depuració. Avançat ja el coneixement, es pot iniciar la recollida i estudi de les dades històriques del procés, que caldrà complementar amb una segona etapa de consulta bibliogràfica, i que finalitzarà amb una nova ronda d'entrevistes amb el cap de planta. Durant aquest període, i previ a l'inici del desenvolupament de cadascuna de les tècniques proposades, ja es pot triar el mecanisme d'inferència que condicionarà el disseny del sistema expert.

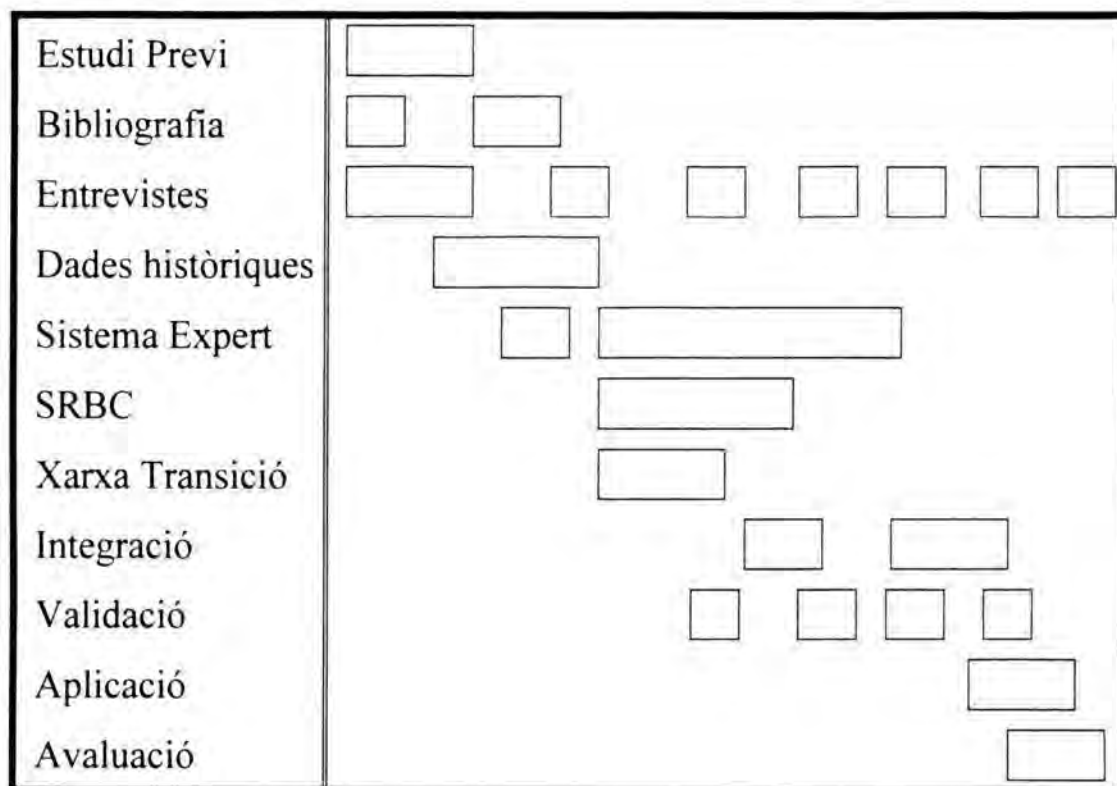


Figura 8.2 Aproximació al Diagrama de Gantt de les tasques a realitzar.

Finalitzada aquesta primera etapa, s'obren tres nous camps de treball. El primer és el del sistema expert, que precisa l'estructuració de tot el coneixement, general i específic, extret a les fases anteriors, i la seva posterior codificació en regles d'inferència. Al mateix temps, i aprofitant els resultats obtinguts mitjançant l'estudi de les dades històriques, es porta a terme la definició de la xarxa de transicions resultant, i s'estableix l'estructura i construcció de la llibreria de casos del SRBC. Cadascuna d'aquestes etapes requereix una validació experta que s'obté mitjançant noves converses amb el cap de planta.

Desenvolupats, verificats i validats SE, SRBC i XT, es pot iniciar la integració progressiva de les tècniques, amb la seva corresponent validació, i la possible avaluació final un cop s'hagi aplicat sobre el domini triat, bé sigui una planta pilot, bé una planta real, o bé sobre un simulador.

Tota poesia prové d'una representació imperfecta

J. S. Mill

9. Conclusions

9. Conclusions

- S'ha estudiat i caracteritzat la EDAR de Girona.
- S'ha aplicat diferents tècniques d'adquisició de coneixement
 - Mitjançant l'estudi bibliogràfic s'han establert quatre principals situacions generals a les estacions depuradores, amb les seves corresponents pautes de diagnosi i les pertinents estratègies correctores de control.
 - Mitjançant converses amb els responsables de l'explotació de la EDAR de Girona, s'han definit tres principals situacions específiques de la planta, amb les rutes de diagnosi i el pla d'actuació corresponent.
 - Mitjançant tècniques semiautomàtiques d'adquisició de coneixement, s'ha processat un conjunt de dades corresponent a 396 dies d'operació, i s'han pogut diferenciar sis conjunts de dies. La posterior caracterització dels experts ha conclòs l'obtenció de les sis situacions específiques de la EDAR de Girona.
- S'ha processat part del coneixement adquirit per establir els corresponents arbres de decisió, i la seva posterior codificació en regles heurístiques.
- S'ha triat G2 com el mecanisme d'inferència adient pel desenvolupament del sistema expert.
- S'ha fet una tria, discretització i priorització de rellevància, del conjunt de variables habitualment recollit a la EDAR de Girona.
- S'ha definit i aplicat una nova distància de mesura de similitud entre objectes multidimensionals definits per les variables rellevants del procés.
- S'ha conformat una estructura on emmagatzemar els casos recollits pel sistema de raonament basat en casos.

- S'ha inicialitzat aquesta base o llibreria de casos mitjançant la introducció de quinze casos específics, resultants del processament classificatiu de les dades històriques de la EDAR de Girona.
- S'ha diferenciat en tres grans blocs, referents a estat, entrada i actuació, la totalitat de variables de la EDAR de Girona.
- S'ha estudiat i establert la temporalització d'aquestes dades per tal de conformar una xarxa global de les transicions produïdes durant el període contemplat.
- S'ha verificat i validat el funcionament de cadascuna de les tècniques presentades.
- S'ha projectat la integració i interrelació entre les tres tècniques, l'estació depuradora, el cap de planta i el possible sistema de control clàssic.
- S'ha presentat la proposta d'arquitectura funcional entre els diferents agents del sistema global.
- S'ha conclòs i establert el protocol final pel desenvolupament i la seva posterior aplicació, de sistemes basats en el coneixement per la gestió d'estacions depuradores d'aigües residuals urbanes.

Passa amb els llibres el que amb els homes: un nombre molt reduït té gran importància; la resta caminen confosos entre la multitud.

Voltaire

10. Bibliografia

10. Bibliografia

Ajuntament de Girona, *Les aigües residuals. La planta depuradora*. Col·lecció Fem Ciutat Número 2, Girona, 1990.

Bach, C. i D. Allemang. Case-Based Reasoning in Diagnostic Expert-Systems. *AI Communications*, 9(2), 49 - 52, 1997.

Barbeau, M., F. Kabanza i R. St-Denis. Synthesizing plant controllers using real-time goals. *Proceedings of 14th Int. Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'95)*, 791 - 798, Montréal, 1995.

Barnett, M. W. Knowledge-base expert system applications in waste treatment operation and control. *ISA Transactions, Water and wastewater treatment instrumentation*, 31(1), 1992.

Barnett, M. W., G. G. Patry, I. Takács i R. A. Bruce Gall. A model-based expert system for activated sludge separation: expert system design. *Research Symposium VI: Innovative Concepts, Water Environment Federation 66th Annual Conference & Exhibition*, 1 - 10, California 1993.

Beck, M. B., A. Latten i R. M. Tong. Modelling and operational control of the activated sludge process in wastewater treatment. *Professional paper PP-78-10, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg*, 1978.

Béjar, J. *Knowledge Acquisition in ill-structured domains*. PhD Thesis. Universitat Politècnica de Catalunya (In Spanish), 1995.

Berk, S. G. i J.H. Gunderson, *Wastewater organisms. A color atlas*. Lewis Publishers, Florida, 1993.

Berthouex, P. M., M. Lai i A. Darjatmoko. A statistics-based information and expert system for plant control and improvement. *Proc. of 5th National Conf. on Microcomputers in Civil Engineering*, 146 - 150, Orlando, 1987.

Champati, S., W. F. Lu i A. C. Lin. Automated Operation Sequencing in Intelligent Process Planning - A Case-Based Reasoning Approach. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 12(1), 21 - 36, 1996.

Cingolani, L. i R. Ramadori. *Il controllo del bulking negli impianti a fanghi attivi*. Centro Luigi Bazzucchi, Perugia, 1992.

Chong, H. G. i W. J. Walley. Rule-based versus probabilistic approaches to the diagnosis of faults in wastewater treatment processes. *Artificial Intelligence in Engineering*, 10(3), 265 - 273, 1996.

Curds, C. R. The ecology and role of protozoa in aerobic sewage treatment processes. *Ann. Rev. Microbiol.*, 36, 27 - 46, 1982.

Dutta, S. i P. P. Bonissone. Integrating case-based reasoning and rule-based reasoning. *Journal of Approximate Reasoning*, 8(3), 163 - 203, 1993.

Gencat. Generalitat de Catalunya. <http://www.gencat.es/mediamb/butlleti>, 1998.

Gensym. *G2 Reference Manual*. Gensym Corporation, Cambridge, 1990.

Geselbracht, J. J., E. D. Brill i J. T. Pfeffer. Incorporating a rule-based model of judgement into a wastewater treatment plant design optimization model. *Water Resources Center, research report No. 199*, University of Illinois at Urbana-Champaign, 1986.

Gimeno J.M., J. Béjar, M. Sánchez-Marré, U. Cortés, I. R.-Roda, M. Poch i J. Lafuente. Providing wastewater treatment plants with predictive knowledge based on transition networks. *Proceedings of International Conference on Intelligent Information Systems IIS'97*, 355 - 359, Grand Bahama Island, 1997.

Grant, P. W., P.M. Harris i L.G. Moseley. Fault-Diagnosis for industrial printers using Case-Based Reasoning. *Engineering Applications Of Artificial Intelligence*, 9(2), 163 - 173, 1996.

Haddad, M., K. P. Adlassnig i G. Porenta. Feasibility analysis of a case-based reasoning system for automated detection of coronary heart disease from myocardial scintigrams. *Artificial Intelligence In Medicine*, 9(1), 61 - 78, 1997.

Henze, M., C. P. L. Jr. Grady, W. Gujer, G.v R. Marais i T. Matsuo. Activated Sludge Model No. 1, *IAWPRC Scientific and Technical Reports*, 1, IAWPRC, London, 1987.

Henze, M., W. Gujer, T. Mino, T. Matsuo, M. C. Wentzel i G.v R. Marais. Activated Sludge Model No. 2, *IAWPRC Scientific and Technical Reports*, 3, IAWPRC, London, 1995.

Horan, N. J. *Biological Wastewater Treatment Systems. Theory and operation*. John Wiley & Sons, Chichester, 1990.

- Horan, N. J., A. M. Bu' Ali i C. R. Eccles. Isolation, identification and characterization of filamentous and floc forming bacteria from activated sludge flocs. *Environmental Technology Letters*, 9, 449, 1988.
- Hudson, A. D., Sanders, D. A., Golding, H., Tewkesbury, G. E. i H. Cawte. Aspects of an expert design system for the wastewater treatment industry. *Journal of Systems Architecture*, 43, 59 - 65, 1997.
- Hushon, J. M. Expert systems for environmental problem. *Environmental Science & Technology*, 21(9), 838 - 841, 1987.
- Hydromantis. *GPS-X Technical Reference*. Hydromantis, Inc., Ontario, 1995.
- Jackson, P. *Introduction to Expert Systems*. Addison Wesley, 2nd edition, 1990.
- Jenkins, W. O. i P. W. Jowit. Expert Systems in river basin management. *Civil Engineering Systems*, 4(1), 31 - 38, 1987.
- Jenkins, D., M.G. Richard i G.T. Daigger. *Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming*. Lewis Publishers, Michigan, 1993.
- Johnston, D. M. Diagnosis of wastewater treatment processes. *Proceedings of Computer Applications in Water Resources, ASCE*, 31 - 38, New York, 1985.
- Junta de Sanejament, *Pla de Sanejament de Catalunya*. Generalitat de Catalunya, Departament de Medi Ambient, Barcelona, 1996.
- Juristo, N. Structuring the Knowledge-Based Systems Evaluation Process. . *Proceedings of International Conference on Intelligent Information Systems IIS'97*, 266 - 270, Grand Bahama Island, 1997.
- Karacapilidis, N., B. Trousse i D. Papadias. Using Case-Based Reasoning for argumentation with multiple viewpoints. *Proceedings of Second International Conference on Case-Based Reasoning, ICCBR-97*, Providence. *Lecture Notes in Artificial Intelligence. Case-Based Reasoning Research and Development*. David B. Leake and Enric Plaza Eds. Springer, 1997.
- Ke, M. i M. Ali. Induction in Database Systems: a Bibliography. *Applied Intelligence*, 1(3), 263 - 270, 1991.
- Kohno, T., S. Hamada, D. Araki, S. Kojima i T. Tanaka. Error repair and knowledge acquisition via case-based reasoning. *Artificial Intelligence*, 91(1), 85 - 101, 1997
- Kolodner, J. *Case-Based Reasoning*. Morgan Kaufmann, 1993.
- Kolkwitz, R. i M. Marsson. Ökologie der tierische Saprobien. Beiträge zur Lehre von der biologische Gewässerbeurteilung. *Int Revue ges Hydrobiol.*, 2, 126 - 162, 1935.

- Kononenko, I. i I. Bratko. Information-based evaluation criterion for classifiers' performance. *Machine Learning*, 6(1), 67 - 80, 1991.
- Kraslawski, A., T. Koiranen i L. Nystrom. Case-Based Reasoning System For Mixing Equipment Selection. *Computers & Chemical Engineering*, 19, S821 - S826, 1995.
- Krovidy, S. i W. G. Wee. Waste-Water Treatment Systems from Case-Based Reasoning. *Machine Learning*, 10(3), 341 - 363, 1993.
- Krovidy, S., W. G. Wee, M. Suidan, R. S. Summers, J. J. Coleman i L. Rossman. Intelligent Sequence Planning for Wastewater Treatment Systems. *IEEE Expert*, 15 - 20, December, 1994.
- Ladiges, G. i R. Kayser. On-line and off-line Expert Systems for the operation of wastewater treatment plants. *Water Science & Technology*, 28(11-12), 315 - 323, 1993.
- Lauritzen, S. L. i D. J. Spiegelhalter. Local computations with probabilities on graphical structures and their application to expert systems. *Journal of Royal Statistical Society*, 50(2), 157 - 224, 1988.
- Lean, G. i Don Hinrichsen. *WWF Atlas of the Environment*, HarperCollins Publishers, New York, 1986.
- Liebmann, H. *Handbuch der Frischwasser und Abwasserbiologie*, G. Fisher, Jena, 1962.
- López de Mántaras, R. A distance-based attribute selection measure for decision tree induction. *Machine Learning*, 6(1), 81 - 92, 1991.
- Madoni, P. A sludge biotic index (SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge based on the microfauna analysis. *Water Research*, 28, 67-75, 1994.
- Maeda, K. An intelligent Decision Support System for Activated Sludge Wastewater Treatment Processes. *Instrumentation and Control of Water and Wastewater Treatment Systems*, Drake editor (IAWPRC) Pergamon Press, 1985.
- Maher, M. L. i A. G. D. Garza. Case-based reasoning in design. *IEEE Expert-Intelligent Systems & Their Applications*, 12(2), 34 - 41, 1997.
- Metcalf & Eddy, *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. Mc Graw Hill Publishing Co., Ed. Labor, Barcelona, 1991.
- Mohan, S. i N. Arumugam. Expert system applications in irrigation management: An overview. *Computers and Electronics in Agriculture*, 17(3), 263 - 280, 1997.

Newell, A. *Unified Theories of Cognition*. Harvard University Press, Cambridge, 1990.

Okubo, T., K. Kubo, M. Hosomi i A. Murakami. A knowledge-based decision support system for selecting small-scale wastewater treatment processes. *Water Science & Technology*, 30(2), 175 - 184, 1994.

Papagni, M., V. Cirillo i A. Micarelli. Ocram-CBR: A Shell for Case-Based Educational Systems. Proceedings of *Second International Conference on Case-Based Reasoning, ICCBR-97*, Providence. Lecture Notes in Artificial Intelligence. Case-Based Reasoning Research and Development. David B. Leake and Enric Plaza Eds. Springer, 1997.

Patry, G. i D. Chapman. *Dynamic modelling and expert systems in wastewater engineering*. Lewis Publishers, Chelsea, 1989.

Pearl, J. *Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems: Network for Plausible Inference*. Morgan Kaufmann, 1988.

Qasim, S.R. *Wastewater Treatment Plants. Planning, design, and operation*. Technomic Publishing Co., Pennsylvania, 1994.

Quinlan, J. R. Induction of Decision Trees. *Machine Learning*, 1, 81 - 106, 1986.

Ram, A., R. C. Arkin, K. Moorman i R. J. Clark. Case-based reactive navigation: A method for on-line selection and adaptation of reactive robotic control parameters. *IEEE Transactions on Systems Man And Cybernetics Part B - Cybernetics*, 27(3), 376 - 394, 1997.

Riaño, D. i U. Cortés. Rule generation and compactation in the WWTP. *Computación y Sistemas*, 1(2), 77 - 89, 1997.

R.-Roda, I. Definició d'un Sistema Basat en el Coneixement per el Control de Plantes Depuradores d'Aigües Residuals Urbanes amb criteris de Nitrificació/desnitrificació. *Treball experimental del Programa de Doctorat de Biotecnologia de la UAB*, Bellaterra, 1994.

Roddiss, W. M. K. i J. Bocox. Case-based approach for steel bridge fabrication errors. *Journal Of Computing In Civil Engineering*, 11(2), 84 - 91, 1997.

Sánchez M., U. Cortés, J. Lafuente, I. R.-Roda i M. Poch. DAI-DEPUR: a Distributed Architecture for Wastewater Treatment Plants Supervision. *Artificial Intelligence in Engineering*, 10(3), 275 - 285, 1996.

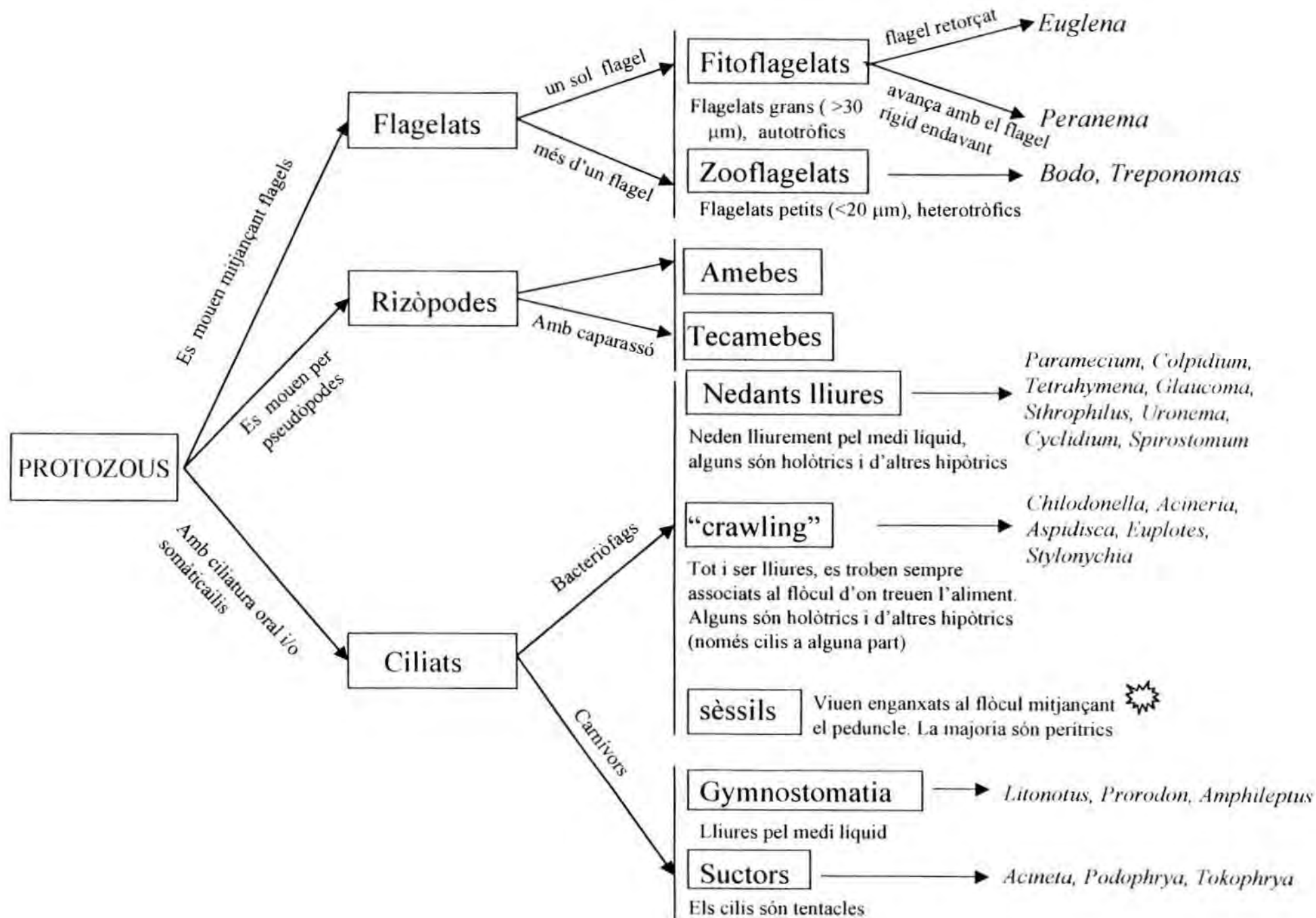
- Sánchez M., U. Cortés, I. R.-Roda, M. Poch i J. Lafuente. Learning and adaptation in WWTP through case-based reasoning. *Microcomputers in Civil Engineering*, 12 (4), 251-266, (Special issue: Machine Learning), 1997.
- Sánchez M., I. R.-Roda, M. Poch, U. Cortés i J. Lafuente. DAI-DEPUR:Architecture: Distributed Agents for Real-Time WWTP Supervision and Control. *2nd IFAC/IFIP/IMACS Int. Symp. on Artificial Intelligence in Real Time Control (AIRC'94)*, 147 - 152, València, 1994.
- Sánchez M., U. Cortés, I. R.-Roda i M. Poch. Integrating General Expert Knowledge and Specific Experimental Knowledge in WWTP. *IJCAI - 95 Workshop on Artificial Intelligence and the Environment.*, 75-81, Montréal, 1995.
- Schank, R. *Dynamic memory: a theory of learning in computers and people*. Cambridge University Press, 1982.
- Serra P., J. Lafuente, R. Moreno, C. de Prada i M. Poch. Development of a real-time expert system for wastewater treatment plants control. *Control Eng. Practice*, 1(2), 329 - 335, 1993.
- Serra, P., M. Sánchez, J. Lafuente, U. Cortés i M. Poch. DEPUR: a knowledge based tool for wastewater treatment plants. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 7(1), 23 - 30, 1994.
- Serra, P., M. Sánchez, J. Lafuente, U. Cortés i M. Poch. ISCWAP: a knowledge-based system for supervising activated sludge processes. *Computers chem. Engng*, 21(2), 211 - 221, 1997.
- Sheperd, A. i L. Ortolano. Water-supply system operations - Critiquing expert-system approach. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 122(5), 348 - 355, 1996.
- Stahl, G. Armchair missions to Mars: Using case-based reasoning and fuzzy logic to simulate a time series model of astronaut crews. *Knowledge-Based Systems*, 9(7), 409 - 415, 1997
- Steels, L. Components of expertise. *AI Magazine*, 11(2), 28 - 49, 1990.
- Stimson, K. R. Activated-sludge control adviser. *Water Science & Technology*, 28(11-12), 295 - 302, 1993.
- Surma, J. i B. Braunschweig. Case-Base Retrieval in Process Engineering supporting Design by reusing flowsheets. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 9(4), 385 - 391, 1996.

- W**anner, J. *Activated Sludge Bulking and Foaming Control*. Technomic Publishing Company, Lancaster, 1994.
- WEF. *Basic Activated Sludge Process Control*. Water Environment Federation, Alexandria, 1994.
- WEF. *Design of Municipal Wastewater Treatment Plants*. Manual of Practice No. 8, Water Environment Federation, Alexandria; Manual and Report on Engineering Practice No. 76, American Society of Civil Engineers, New York, 1992.
- WPCF. *Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants*. Manual of Practice No. 11, Water Pollution Control Federation, Alexandria, 1994.
- Wilde, W. D. Australian Expert-Systems for natural systems. *AI Applications*, 8(3), 3 - 12, 1994.
- Y**ang, C. T. i J. J. Kao. An expert-system for selecting and sequencing waste-water treatment processes. *Water Science & Technology*, 34(3-4), 347 - 353, 1996.
- Z**hu, X. X. i A. R. Simpson. Expert system for water treatment plant operation. *Journal of Environmental Engineering*, 822 - 829, September 1996.

*En quant a la manera d'avorrir,
un home és original amb facilitat.*

De Quincey

11. Apèndix





Ciliats sèssils

Individuals

Tots són del gènere
Vorticella (es
contrauen mitjançant
el mionema)

Vorticella convallaria: Boca més ampla que qualsevol part del cos

Vorticella microstoma: Boca més estreta que la part més ampla del cos

Vorticella aquadulcis: Molt semblant a la *microstoma* però
difereix per ser una mica més petita i perquè les estries del
cos són una mica més marcades

Colònies

Gambo contràctil

Es contrauen tots els individus junts: *Zoothamnium*

Es poden contraure autònomament: *Carchesium*

Gambo rígid (no tenen mionema)

Gambo segmentat, té com un llavis a la boca: *Epystilis* *

Gambo més curt, no té llavis: *Opercularia*

Table 17. Summary of Typical Morphological and Staining Characteristics of Filamentous Organisms Commonly Observed in Activated Sludge

DIRECT ILLUMINATION OBSERVATION										PHASE CONTRAST OBSERVATION AT 1000X									
Filament Type		Gram	Nisser Stain		Sulfur Granules		Other Granules		Trichome Diameter, μm	Trichome Length, μm	Trichome Shape	Trichome Location	Cell Septa Clearly Observed	Indentations at Cell Septa	Sheath	Attached	Cell Shape and Size, μm	Notes	
5 strains								P11B	1.0-1.4	>500	S1	E	+	+	+	+	round-ended rods	take branching	
type 1701								P11B	0.6-0.8	20-80	S1,B	1,E	+	+	+	+	round-ended rods	cell septa hard to discern	
type 0041	+	+	+						1.4-1.6	100-500	S1,S,C	1,E	+	+	+	+	squares	Nisser positive	
type 0675		+	+						0.8-1.0	50-150	S1,S,C	1	+	+	+	+	squares	Nisser positive	
type 0218								P11B	1.0-2.0	50-1000	S1,S,C	E	+	+	+	+	barrels, rectangles, discoid	rosettes, gonidia	
<i>Thiothrix 1</i>	-	-	-	-	-	-		P11B	1.4-2.5	100->500	S1,S,C	E	+	+	+	+	rectangles	rosettes, gonidia	
<i>Thiothrix 11</i>	-	-	-	-	-	-		P11B	0.8-1.4	50-200	S1,S,C	E	+	+	+	+	rectangles	rosettes, gonidia	
type 0914	-	-	-	-	-	-		P11B	1.0	50-200	S1	E,F	+	+	+	+	squares	sulfur granules	
<i>Beijerinia</i> spp.	-	-	-	-	-	-		P11B	1.2-3.0	100->500	S1	F	-	-	-	-	rectangles	"square" mottles, flexing and gliding	
type 1851		+							0.8	100-300	S1,S,C	E	+	+	+	+	rectangles	trichome bundles	
type 0803									0.8	50-150	S1	E,F	+	+	+	+	rectangles		
type 0092									0.8-1.0	20-60	S1,B	1	+	+	+	+	rectangles		
type 0961									0.8-1.2	40-80	S1	E	+	+	+	+	rectangles	"transparent"	
<i>M. parvella</i>	+	+	+					P11B	0.8	50-200	C	1	+	+	+	+	variable	large "patches"	
<i>Nocardia</i> spp.	+	+	+					P11B	1.0	5-30	1	1	+	+	+	+	variable	true branching	
<i>N. lunicola 1</i>	+	+	+						0.8	100	C	1,E	+	+	+	+	discs, ovals	incidental branching; Gram and Nisser variable	
<i>N. lunicola 11</i>	-	-	-					P11B	1.2-1.4	100-200	C	1,E	+	+	+	+	discs, ovals		
<i>N. lunicola 111</i>	+	+	+					P11B	2.0	200-300	C	1,E	+	+	+	+	discs, ovals	"rigidly straight"	
<i>H. hydrophila</i>									0.5	10-100	S1,B	E,F							
type 0581									0.5-0.8	100-200	C	1					oval rods	"chain of cells"	
type 1863									0.8	20-50	B,1	E,F	+	+	+	+	rod rods	"chain of cells"	
type 0411									0.8	50-150	B,1	1	+	+	+	+	elongated rods	"chain of cells"	

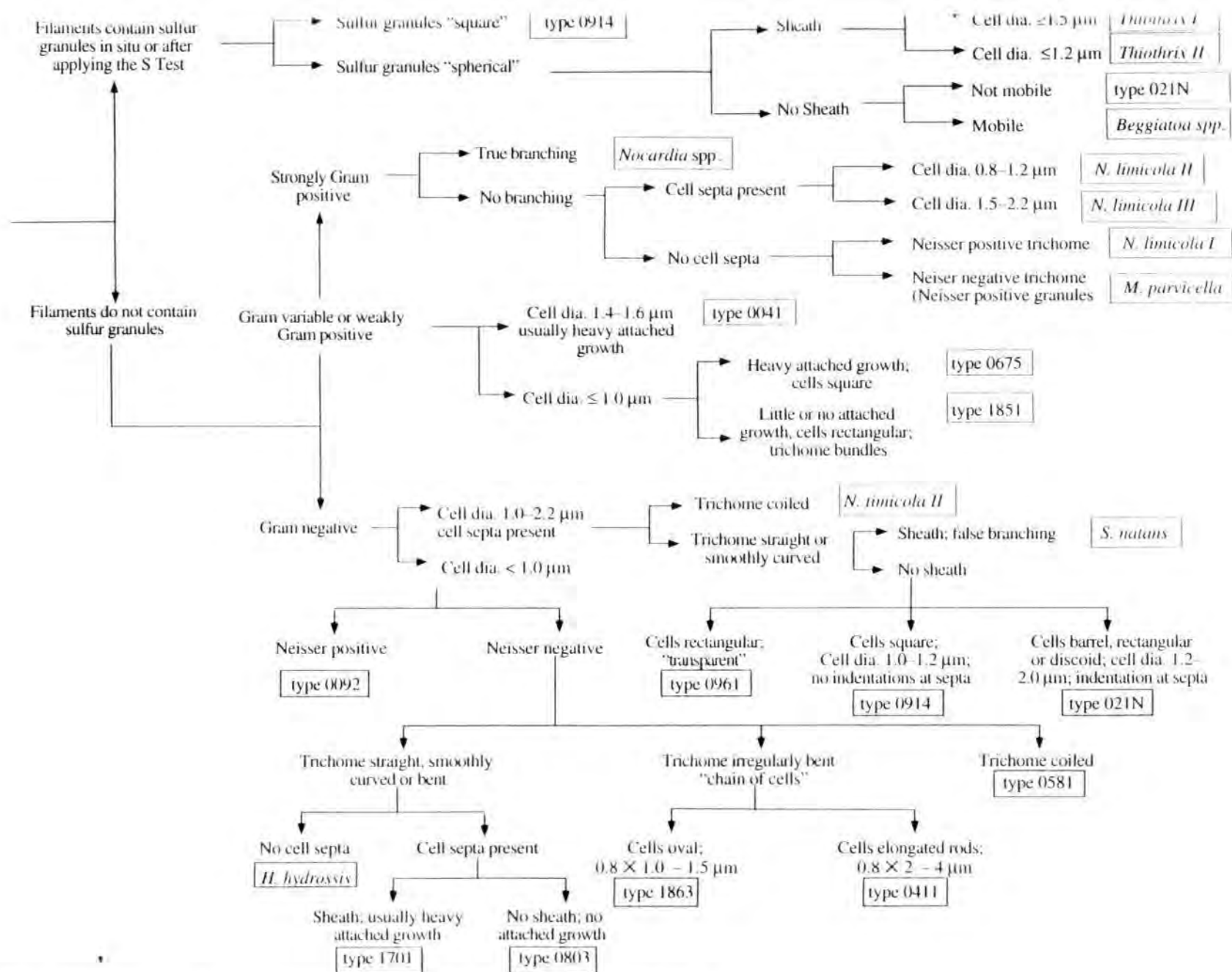


Figure 21. Dichotomous key for filamentous organism "identification" in activated sludge.

INFORME DE CLASIFICACION

26 de enero de 1998

Conjunto de datos: GIR9596

Radio: 3.5

N. Clases: 6

Función de Distancia: HAMMING

Método de clasificación: "LINNEO+"

Normalización: CONTINUO

Lista de propiedades: ULTIMA

CLASES

Clase-0-1 (378 03.50): 1-I-96 , 1-III-96 , 1-IV-96 , 1-IX-95 , 1-IX-96 , 1-V-96 , 1-VI-96 , 1-VII-96 , 1-VIII-96 , 1-X-95 , 1-XI-95 , 1-XII-95 , 10-I-96 , 10-II-96 , 10-III-96 , 10-IV-96 , 10-IX-95 , 10-IX-96 , 10-V-96 , 10-VI-96 , 10-VII-96 , 10-VIII-96 , 10-X-95 , 10-XI-95 , 10-XII-95 , 11-I-96 , 11-II-96 , 11-III-96 , 11-IV-96 , 11-IX-95 , 11-V-96 , 11-VI-96 , 11-VII-96 , 11-VIII-96 , 11-X-95 , 11-XI-95 , 11-XII-95 , 12-I-96 , 12-II-96 , 12-III-96 , 12-IV-96 , 12-IX-95 , 12-V-96 , 12-VI-96 , 12-VII-96 , 12-VIII-96 , 12-X-95 , 12-XI-95 , 12-XII-95 , 13-I-96 , 13-II-96 , 13-III-96 , 13-IV-96 , 13-IX-95 , 13-IX-96 , 13-V-96 , 13-VI-96 , 13-VII-96 , 13-VIII-96 , 13-X-95 , 13-XI-95 , 13-XII-95 , 14-I-96 , 14-II-96 , 14-III-96 , 14-IV-96 , 14-IX-95 , 14-IX-96 , 14-V-96 , 14-VI-96 , 14-VII-96 , 14-VIII-96 , 14-X-95 , 14-XI-95 , 14-XII-95 , 15-I-96 , 15-II-96 , 15-III-96 , 15-IV-96 , 15-IX-95 , 15-IX-96 , 15-V-96 , 15-VI-96 , 15-VII-96 , 15-VIII-96 , 15-X-95 , 15-XI-95 , 15-XII-95 , 16-I-96 , 16-II-96 , 16-III-96 , 16-IV-96 , 16-IX-95 , 16-V-96 , 16-VI-96 , 16-VII-96 , 16-VIII-96 , 16-X-95 , 16-XI-95 , 16-XII-95 , 17-I-96 , 17-II-96 , 17-III-96 , 17-IV-96 , 17-IX-95 , 17-V-96 , 17-VI-96 , 17-VII-96 , 17-VIII-96 , 17-X-95 , 17-XI-95 , 17-XII-95 , 18-I-96 , 18-II-96 , 18-III-96 , 18-IV-96 , 18-IX-95 , 18-IX-96 , 18-V-96 , 18-VI-96 , 18-VII-96 , 18-VIII-96 , 18-X-95 , 18-XI-95 , 18-XII-95 , 19-I-96 , 19-II-96 , 19-III-96 , 19-IV-96 , 19-IX-95 , 19-IX-96 , 19-V-96 , 19-VI-96 , 19-VII-96 , 19-VIII-96 , 19-X-95 , 19-XI-95 , 19-XII-95 , 2-I-96 , 2-III-96 , 2-IV-96 , 2-IX-95 , 2-IX-96 , 2-V-96 , 2-VI-96 , 2-VII-96 , 2-VIII-96 , 2-X-95 , 2-XI-95 , 2-XII-95 , 20-I-96 , 20-II-96 , 20-III-96 , 20-IV-96 , 20-IX-95 , 20-IX-96 , 20-V-96 , 20-VI-96 , 20-VII-96 , 20-VIII-96 , 20-X-95 , 20-XI-95 , 20-XII-95 , 21-I-96 , 21-II-96 , 21-IV-96 , 21-IX-95 , 21-IX-96 , 21-V-96 , 21-VI-96 , 21-VII-96 , 21-VIII-96 , 21-X-95 , 21-XI-95 , 21-XII-95 , 22-I-96 , 22-II-96 , 22-III-96 , 22-IV-96 , 22-IX-95 , 22-IX-96 , 22-V-96 , 22-VI-96 , 22-VII-96 , 22-VIII-96 , 22-X-95 , 22-XI-95 , 22-XII-95 , 23-I-96 , 23-II-96 , 23-III-96 , 23-IV-96 , 23-IX-95 , 23-IX-96 , 23-V-96 , 23-VI-96 , 23-VII-96 , 23-VIII-96 , 23-X-95 , 23-XI-95 , 23-XII-95 , 24-I-96 , 24-II-96 , 24-III-96 , 24-IV-96 , 24-IX-95 , 24-IX-96 , 24-V-96 , 24-VI-96 , 24-VII-96 , 24-VIII-96 , 24-X-95 , 24-XI-95 , 24-XII-95 , 25-I-96 , 25-II-96 , 25-III-96 , 25-IV-96 , 25-IX-95 , 25-IX-96 , 25-V-96 , 25-VI-96 , 25-VII-96 , 25-VIII-96 , 25-X-95

, 25-XI-95 , 25-XII-95 , 26-I-96 , 26-II-96 , 26-III-96 , 26-IV-96 , 26-IX-95 , 26-IX-96 , 26-V-96 , 26-VIII-96 , 26-X-95 , 26-XI-95 , 26-XII-95 , 27-I-96 , 27-II-96 , 27-IV-96 , 27-IX-95 , 27-IX-96 , 27-V-96 , 27-VI-96 , 27-VII-96 , 27-VIII-96 , 27-X-95 , 27-XI-95 , 27-XII-95 , 28-I-96 , 28-II-96 , 28-IV-96 , 28-IX-95 , 28-IX-96 , 28-V-96 , 28-VI-96 , 28-VII-96 , 28-VIII-96 , 28-X-95 , 28-XI-95 , 28-XII-95 , 29-I-96 , 29-II-96 , 29-III-96 , 29-IV-96 , 29-IX-95 , 29-IX-96 , 29-V-96 , 29-VI-96 , 29-VII-96 , 29-VIII-96 , 29-X-95 , 29-XI-95 , 29-XII-95 , 3-I-96 , 3-III-96 , 3-IV-96 , 3-IX-96 , 3-V-96 , 3-VI-96 , 3-VII-96 , 3-VIII-96 , 3-X-95 , 3-XI-95 , 3-XII-95 , 30-III-96 , 30-IV-96 , 30-IX-95 , 30-IX-96 , 30-V-96 , 30-VI-96 , 30-VII-96 , 30-VIII-96 , 30-X-95 , 30-XI-95 , 30-XII-95 , 31-III-96 , 31-V-96 , 31-VIII-96 , 31-X-95 , 31-XII-95 , 4-I-96 , 4-III-96 , 4-IV-96 , 4-IX-95 , 4-IX-96 , 4-V-96 , 4-VI-96 , 4-VII-96 , 4-VIII-96 , 4-X-95 , 4-XI-95 , 4-XII-95 , 5-I-96 , 5-II-96 , 5-III-96 , 5-IV-96 , 5-IX-95 , 5-IX-96 , 5-V-96 , 5-VI-96 , 5-VII-96 , 5-VIII-96 , 5-X-95 , 5-XI-95 , 5-XII-95 , 6-I-96 , 6-II-96 , 6-III-96 , 6-IV-96 , 6-IX-95 , 6-IX-96 , 6-V-96 , 6-VI-96 , 6-VII-96 , 6-VIII-96 , 6-X-95 , 6-XI-95 , 6-XII-95 , 7-I-96 , 7-II-96 , 7-III-96 , 7-IV-96 , 7-IX-95 , 7-IX-96 , 7-V-96 , 7-VI-96 , 7-VII-96 , 7-VIII-96 , 7-X-95 , 7-XI-95 , 7-XII-95 , 8-I-96 , 8-II-96 , 8-III-96 , 8-IV-96 , 8-IX-95 , 8-IX-96 , 8-V-96 , 8-VI-96 , 8-VII-96 , 8-VIII-96 , 8-X-95 , 8-XI-95 , 8-XII-95 , 9-I-96 , 9-II-96 , 9-III-96 , 9-IV-96 , 9-IX-95 , 9-V-96 , 9-VI-96 , 9-VII-96 , 9-VIII-96 , 9-X-95 , 9-XI-95 , 9-XII-95

Clase-0-2 (6 03.50): 1-II-96 , 2-II-96 , 3-II-96 , 30-I-96 , 31-I-96 , 4-II-96

Clase-0-3 (5 03.50): 11-IX-96 , 12-IX-96 , 21-III-96 , 26-VII-96 , 27-III-96

Clase-0-4 (2 03.50): 28-III-96 , 31-VII-96

Clase-0-5 (4 03.50): 16-IX-96 , 17-IX-96 , 26-VI-96 , 9-IX-96

Clase-0-6 (1 03.50): 3-IX-95

Dispersion de las propiedades cuantitativas

Clase	1	2	3	4	5	6
Q-E	00.10	00.02	00.07	00.01	00.09	00.00
QB-B	00.08	00.02	00.07	00.00	00.10	00.00
PH-E	00.16	00.14	00.09	00.00	00.15	00.00
SS-E	00.12	00.14	00.05	00.11	00.13	00.00
SSV-E	00.09	00.08	00.03	00.18	00.10	00.00
DQO-E	00.10	00.04	00.09	00.07	00.03	00.00
DBO-E	00.09	00.06	00.07	00.09	00.10	00.00
PH-D	00.16	00.18	00.13	00.06	00.15	00.00
SS-D	00.12	00.15	00.09	00.00	00.08	00.00
SSV-D	00.11	00.15	00.05	00.03	00.09	00.00
DQO-D	00.11	00.10	00.05	00.03	00.06	00.00
DBO-D	00.14	00.11	00.07	00.03	00.11	00.00
PH-S	00.18	00.15	00.13	00.05	00.20	00.00
SS-S	00.05	00.02	00.20	00.05	00.11	00.00
SSV-S	00.05	00.03	00.21	00.04	00.12	00.00
DQO-S	00.16	00.13	00.04	00.09	00.12	00.00
DBO-S	00.10	00.07	00.31	00.12	00.06	00.00
V30-B	00.19	00.05	00.13	00.08	00.08	00.00
MLSS-B	00.13	00.09	00.05	00.10	00.09	00.00
MLVSS-B	00.13	00.05	00.06	00.10	00.09	00.00

Dispersion de las propiedades cuantitativas

Clase	1	2	3	4	5	6
Q-E	42176.17	22563.80	40796.14	41116.25	40397.70	33363.80
QB-B	39169.19	21799.37	39749.34	39000.00	40271.30	32841.20
PH-E	07.62	07.52	07.68	07.30	07.60	07.30
SS-E	210.47	153.67	230.40	590.50	255.75	116.00
SSV-E	158.47	56.34	177.00	490.50	193.25	99.00
DQO-E	441.54	110.17	590.40	1004.00	579.50	282.00
DBO-E	214.27	192.86	271.20	616.00	251.00	123.00
PH-D	07.56	07.59	07.66	07.55	07.60	07.30
SS-D	89.52	64.94	96.80	82.00	139.50	55.00
SSV-D	65.66	30.74	70.00	55.50	100.75	39.00
DQO-D	251.92	88.33	286.60	288.00	291.00	158.00
DBO-D	121.18	110.55	141.80	154.00	176.25	66.00
PH-S	07.53	07.37	07.70	07.65	07.73	07.20
SS-S	15.34	08.48	116.16	20.30	51.75	07.60
SSV-S	11.49	05.11	88.96	13.90	40.35	05.60
DQO-S	50.28	21.83	153.20	61.00	61.75	20.00
DBO-S	18.85	16.96	59.20	25.50	20.75	07.00
V30-B	260.28	339.33	413.00	237.50	216.75	200.00
MLSS-B	1766.10	2929.83	1217.00	1300.00	1193.25	1358.00
MLVSS-B	1347.39	1937.17	940.00	1019.50	943.00	1046.00

INFORME DE CLASIFICACION

26 de enero de 1998

Conjunto de datos: GIR9596

Radio: 2.5

N. Clases: 6

Función de Distancia: HAMMING

Método de clasificación: "LINNEO+"

Normalización: CONTINUO

Lista de propiedades: ESTADO

CLASES

Clase-0-1 (337 02.50): 1-I-96 , 1-IV-96 , 1-IX-95 , 1-IX-96 , 1-V-96 , 1-VI-96 , 1-VII-96 , 1-VIII-96 , 1-X-95 , 1-XI-95 , 1-XII-95 , 10-I-96 , 10-II-96 , 10-III-96 , 10-IX-95 , 10-IX-96 , 10-V-96 , 10-VII-96 , 10-VIII-96 , 10-X-95 , 10-XI-95 , 10-XII-95 , 11-I-96 , 11-II-96 , 11-III-96 , 11-IV-96 , 11-IX-95 , 11-V-96 , 11-VI-96 , 11-VII-96 , 11-VIII-96 , 11-X-95 , 11-XI-95 , 11-XII-95 , 12-I-96 , 12-II-96 , 12-IX-95 , 12-V-96 , 12-VI-96 , 12-VII-96 , 12-VIII-96 , 12-X-95 , 12-XI-95 , 12-XII-95 , 13-I-96 , 13-II-96 , 13-III-96 , 13-IV-96 , 13-IX-95 , 13-V-96 , 13-VI-96 , 13-VII-96 , 13-VIII-96 , 13-X-95 , 13-XI-95 , 13-XII-95 , 14-I-96 , 14-II-96 , 14-III-96 , 14-IV-96 , 14-IX-95 , 14-IX-96 , 14-V-96 , 14-VII-96 , 14-VIII-96 , 14-X-95 , 14-XI-95 , 14-XII-95 , 15-I-96 , 15-II-96 , 15-III-96 , 15-IV-96 , 15-IX-95 , 15-V-96 , 15-VI-96 , 15-VII-96 , 15-VIII-96 , 15-X-95 , 15-XI-95 , 15-XII-95 , 16-I-96 , 16-II-96 , 16-III-96 , 16-IX-95 , 16-V-96 , 16-VI-96 , 16-VII-96 , 16-VIII-96 , 16-X-95 , 16-XI-95 , 16-XII-95 , 17-I-96 , 17-II-96 , 17-III-96 , 17-IX-95 , 17-V-96 , 17-VI-96 , 17-VII-96 , 17-VIII-96 , 17-X-95 , 17-XI-95 , 17-XII-95 , 18-I-96 , 18-II-96 , 18-III-96 , 18-IV-96 , 18-V-96 , 18-VI-96 , 18-VII-96 , 18-VIII-96 , 18-X-95 , 18-XI-95 , 18-XII-95 , 19-I-96 , 19-II-96 , 19-III-96 , 19-IV-96 , 19-IX-95 , 19-V-96 , 19-VI-96 , 19-VII-96 , 19-VIII-96 , 19-X-95 , 19-XI-95 , 19-XII-95 , 2-I-96 , 2-III-96 , 2-IV-96 , 2-IX-95 , 2-IX-96 , 2-V-96 , 2-VI-96 , 2-VII-96 , 2-VIII-96 , 2-X-95 , 2-XI-95 , 2-XII-95 , 20-I-96 , 20-II-96 , 20-III-96 , 20-IV-96 , 20-IX-95 , 20-V-96 , 20-VI-96 , 20-VII-96 , 20-VIII-96 , 20-X-95 , 20-XI-95 , 20-XII-95 , 21-I-96 , 21-II-96 , 21-IV-96 , 21-IX-95 , 21-IX-96 , 21-VI-96 , 21-VII-96 , 21-VIII-96 , 21-X-95 , 21-XI-95 , 22-I-96 , 22-II-96 , 22-IV-96 , 22-IX-95 , 22-IX-96 , 22-V-96 , 22-VI-96 , 22-VII-96 , 22-VIII-96 , 22-X-95 , 22-XI-95 , 22-XII-95 , 23-I-96 , 23-II-96 , 23-III-96 , 23-IV-96 , 23-IX-95 , 23-IX-96 , 23-V-96 , 23-VI-96 , 23-VII-96 , 23-VIII-96 , 23-X-95 , 23-XI-95 , 23-XII-95 , 24-I-96 , 24-II-96 , 24-III-96 , 24-IV-96 , 24-IX-95 , 24-IX-96 , 24-V-96 , 24-VI-96 , 24-VII-96 , 24-VIII-96 , 24-X-95 , 24-XI-95 , 24-XII-95 , 25-I-96 , 25-II-96 , 25-IV-96 , 25-IX-95 , 25-V-96 , 25-VI-96 , 25-VIII-96 , 25-X-95 , 25-XI-95 , 25-XII-95 , 26-I-96 , 26-II-96 , 26-IX-95 , 26-V-96 , 26-VIII-96 , 26-X-95 , 26-XI-95 , 26-XII-95 , 27-I-96 , 27-II-96 , 27-IV-96 , 27-IX-95 , 27-IX-96 , 27-V-96 , 27-VI-96 , 27-VII-96 , 27-VIII-96

, 27-X-95 , 27-XI-95 , 27-XII-95 , 28-I-96 , 28-II-96 , 28-III-96 , 28-IV-96 , 28-IX-95 , 28-IX-96 , 28-VI-96 , 28-VII-96 , 28-VIII-96 , 28-X-95 , 28-XI-95 , 28-XII-95 , 29-I-96 , 29-II-96 , 29-III-96 , 29-IX-95 , 29-IX-96 , 29-V-96 , 29-VI-96 , 29-X-95 , 3-I-96 , 3-III-96 , 3-IV-96 , 3-IX-95 , 3-IX-96 , 3-V-96 , 3-VI-96 , 3-VII-96 , 3-VIII-96 , 3-X-95 , 3-XI-95 , 3-XII-95 , 30-III-96 , 30-IV-96 , 30-IX-95 , 30-VI-96 , 30-VIII-96 , 30-X-95 , 30-XI-95 , 30-XII-95 , 31-III-96 , 31-V-96 , 31-VII-96 , 31-VIII-96 , 31-X-95 , 31-XII-95 , 4-I-96 , 4-III-96 , 4-IV-96 , 4-IX-95 , 4-V-96 , 4-VI-96 , 4-VII-96 , 4-VIII-96 , 4-X-95 , 4-XI-95 , 4-XII-95 , 5-I-96 , 5-II-96 , 5-III-96 , 5-IV-96 , 5-IX-95 , 5-IX-96 , 5-V-96 , 5-VI-96 , 5-VII-96 , 5-VIII-96 , 5-X-95 , 5-XI-95 , 6-I-96 , 6-II-96 , 6-III-96 , 6-IV-96 , 6-IX-95 , 6-V-96 , 6-VI-96 , 6-VII-96 , 6-VIII-96 , 6-X-95 , 7-I-96 , 7-II-96 , 7-III-96 , 7-IV-96 , 7-IX-95 , 7-IX-96 , 7-V-96 , 7-VII-96 , 7-VIII-96 , 7-X-95 , 7-XI-95 , 8-I-96 , 8-II-96 , 8-III-96 , 8-IV-96 , 8-IX-95 , 8-IX-96 , 8-V-96 , 8-VI-96 , 8-VII-96 , 8-VIII-96 , 8-X-95 , 9-I-96 , 9-II-96 , 9-III-96 , 9-IX-95 , 9-V-96 , 9-VII-96 , 9-VIII-96 , 9-X-95 , 9-XI-95

Clase-0-2 (16 02.50): 10-IV-96 , 14-VI-96 , 21-V-96 , 25-IX-96 , 26-IV-96 , 26-IX-96 , 26-VI-96 , 29-IV-96 , 29-VIII-96 , 30-IX-96 , 30-V-96 , 4-IX-96 , 6-IX-96 , 6-XI-95 , 6-XII-95 , 9-VI-96

Clase-0-3 (15 02.50): 1-III-96 , 10-VI-96 , 12-IV-96 , 16-IV-96 , 17-IV-96 , 21-XII-95 , 28-V-96 , 29-XI-95 , 29-XII-95 , 5-XII-95 , 7-VI-96 , 7-XII-95 , 8-XI-95 , 8-XII-95 , 9-XII-95

Clase-0-4 (6 02.50): 1-II-96 , 2-II-96 , 3-II-96 , 30-I-96 , 31-I-96 , 4-II-96

Clase-0-5 (20 02.50): 11-IX-96 , 12-III-96 , 13-IX-96 , 15-IX-96 , 16-IX-96 , 17-IX-96 , 18-IX-95 , 18-IX-96 , 19-IX-96 , 20-IX-96 , 22-III-96 , 25-III-96 , 25-VII-96 , 26-III-96 , 26-VII-96 , 27-III-96 , 29-VII-96 , 30-VII-96 , 9-IV-96 , 9-IX-96

Clase-0-6 (2 02.50): 12-IX-96 , 21-III-96

Dispersion de las propiedades cuantitativas

Clase	1	2	3	4	5	6
QA-G	00.13	00.09	00.14	00.04	00.07	00.13
PH-D	00.16	00.08	00.13	00.18	00.13	00.06
SS-D	00.09	00.15	00.06	00.15	00.13	00.02
SSV-D	00.09	00.14	00.07	00.15	00.11	00.02
DQO-D	00.11	00.11	00.06	00.10	00.07	00.01
DBO-D	00.14	00.17	00.12	00.11	00.13	00.03
PH-S	00.17	00.18	00.19	00.15	00.19	00.05
SS-S	00.04	00.10	00.05	00.02	00.18	00.13
SSV-S	00.04	00.10	00.06	00.03	00.18	00.12
DQO-S	00.16	00.10	00.10	00.13	00.22	00.02
DBO-S	00.09	00.06	00.10	00.07	00.17	00.05
V30-B	00.18	00.12	00.18	00.05	00.20	00.15
MLSS-B	00.12	00.12	00.09	00.09	00.08	00.07
MLVSS-B	00.12	00.12	00.12	00.05	00.08	00.07
MCRT-B	00.01	00.01	00.01	00.17	00.01	00.00

Dispersion de las propiedades cuantitativas

Clase	1	2	3	4	5	6
QA-G	236080.92	235850.14	247513.22	122829.33	179237.94	185811.05
PH-D	07.56	07.65	07.42	07.59	07.65	07.55
SS-D	86.17	134.37	105.67	64.94	107.05	92.50
SSV-D	63.33	99.56	77.20	30.74	74.60	67.50
DQO-D	245.38	295.37	325.93	88.33	283.65	287.50
DBO-D	117.79	156.19	154.46	110.55	141.04	131.50
PH-S	07.52	07.65	07.38	07.37	07.73	07.55
SS-S	14.59	17.16	15.02	08.48	45.66	153.00
SSV-S	10.94	13.33	11.55	05.11	33.53	118.40
DQO-S	49.32	47.87	45.93	21.83	89.06	152.50
DBO-S	18.43	15.21	21.58	16.96	31.17	80.00
V30-B	247.43	232.00	466.00	339.33	351.75	435.00
MLSS-B	1765.20	1857.37	2048.93	2929.83	1228.60	1253.00
MLVSS-B	1342.95	1436.75	1609.33	1937.17	960.45	980.00
MCRT-B	10.97	09.49	10.68	258.20	05.88	02.21

INFORME DE CLASIFICACION

26 de enero de 1998

Conjunto de datos: GIR9596

Radio: 1.0

N. Clases: 7

Función de Distancia: HAMMING

Método de clasificación: "LINNEO+"

Normalización: CONTINUO

Lista de propiedades: ENTRADA

CLASES

Clase-0-1 (301 01.00): 1-I-96 , 1-III-96 , 1-IX-95 , 1-V-96 , 1-VI-96 , 1-VII-96 , 1-VIII-96 , 1-X-95 , 10-I-96 , 10-II-96 , 10-III-96 , 10-IV-96 , 10-IX-95 , 10-IX-96 , 10-V-96 , 10-VII-96 , 10-VIII-96 , 10-X-95 , 11-I-96 , 11-II-96 , 11-III-96 , 11-IX-95 , 11-IX-96 , 11-V-96 , 11-VI-96 , 11-VII-96 , 11-X-95 , 11-XI-95 , 11-XII-95 , 12-I-96 , 12-II-96 , 12-III-96 , 12-IX-95 , 12-V-96 , 12-VII-96 , 12-VIII-96 , 12-X-95 , 13-I-96 , 13-II-96 , 13-III-96 , 13-IV-96 , 13-IX-95 , 13-IX-96 , 13-V-96 , 13-VII-96 , 13-VIII-96 , 13-X-95 , 13-XI-95 , 13-XII-95 , 14-I-96 , 14-II-96 , 14-III-96 , 14-IV-96 , 14-IX-95 , 14-IX-96 , 14-V-96 , 14-VIII-96 , 14-X-95 , 14-XI-95 , 14-XII-95 , 15-I-96 , 15-II-96 , 15-III-96 , 15-IV-96 , 15-IX-95 , 15-V-96 , 15-VI-96 , 15-VII-96 , 15-X-95 , 16-I-96 , 16-II-96 , 16-III-96 , 16-IV-96 , 16-IX-95 , 16-V-96 , 16-VII-96 , 16-VIII-96 , 16-X-95 , 17-I-96 , 17-II-96 , 17-IV-96 , 17-IX-95 , 17-V-96 , 17-VII-96 , 17-VIII-96 , 17-X-95 , 18-I-96 , 18-II-96 , 18-III-96 , 18-IV-96 , 18-IX-95 , 18-IX-96 , 18-V-96 , 18-VII-96 , 18-X-95 , 18-XI-95 , 18-XII-95 , 19-I-96 , 19-II-96 , 19-III-96 , 19-IV-96 , 19-IX-95 , 19-IX-96 , 19-V-96 , 19-VII-96 , 19-VIII-96 , 19-X-95 , 2-III-96 , 2-IV-96 , 2-IX-95 , 2-IX-96 , 2-V-96 , 2-VII-96 , 2-VIII-96 , 2-X-95 , 20-I-96 , 20-II-96 , 20-III-96 , 20-IV-96 , 20-IX-95 , 20-IX-96 , 20-V-96 , 20-VI-96 , 20-VII-96 , 20-VIII-96 , 20-X-95 , 21-I-96 , 21-II-96 , 21-III-96 , 21-IV-96 , 21-IX-95 , 21-IX-96 , 21-V-96 , 21-VI-96 , 21-X-95 , 22-I-96 , 22-II-96 , 22-III-96 , 22-IV-96 , 22-V-96 , 22-VI-96 , 22-VII-96 , 22-VIII-96 , 22-X-95 , 22-XI-95 , 22-XII-95 , 23-I-96 , 23-II-96 , 23-III-96 , 23-IV-96 , 23-IX-95 , 23-IX-96 , 23-V-96 , 23-VI-96 , 23-VII-96 , 23-VIII-96 , 23-XI-95 , 23-XII-95 , 24-I-96 , 24-II-96 , 24-III-96 , 24-IV-96 , 24-IX-95 , 24-IX-96 , 24-V-96 , 24-VII-96 , 24-VIII-96 , 24-X-95 , 25-I-96 , 25-II-96 , 25-III-96 , 25-IV-96 , 25-IX-95 , 25-IX-96 , 25-V-96 , 25-VI-96 , 25-VII-96 , 25-XI-95 , 25-XII-95 , 26-II-96 , 26-III-96 , 26-IV-96 , 26-IX-95 , 26-IX-96 , 26-V-96 , 26-VI-96 , 26-VIII-96 , 26-XI-95 , 26-XII-95 , 27-I-96 , 27-II-96 , 27-IV-96 , 27-IX-95 , 27-IX-96 , 27-VI-96 , 27-VII-96 , 27-VIII-96 , 27-XI-95 , 27-XII-95 , 28-I-96 , 28-II-96 , 28-IX-95 , 28-IX-96 , 28-VIII-96 , 28-X-95 , 28-XI-95 , 28-XII-95 , 29-III-96 , 29-IX-95 , 29-VI-96 , 29-VII-96 , 29-VIII-96 , 29-XI-95 , 29-XII-95 , 3-I-96 , 3-III-96 , 3-IV-96 , 3-IX-95 , 3-IX-96 , 3-V-96 , 3-VI-96 , 3-VII-96 , 3-VIII-96 , 3-X-95 , 30-III-96 ,

30-IV-96 , 30-IX-95 , 30-IX-96 , 30-VII-96 , 30-VIII-96 , 30-XI-95 , 30-XII-95 , 31-III-96 , 31-V-96 , 31-VIII-96 , 31-X-95 , 31-XII-95 , 4-I-96 , 4-III-96 , 4-IV-96 , 4-IX-96 , 4-V-96 , 4-VI-96 , 4-VII-96 , 4-X-95 , 4-XI-95 , 4-XII-95 , 5-I-96 , 5-II-96 , 5-III-96 , 5-IV-96 , 5-IX-95 , 5-V-96 , 5-VI-96 , 5-VIII-96 , 5-X-95 , 6-I-96 , 6-II-96 , 6-III-96 , 6-IV-96 , 6-IX-95 , 6-V-96 , 6-VII-96 , 6-VIII-96 , 6-X-95 , 6-XI-95 , 6-XII-95 , 7-I-96 , 7-II-96 , 7-III-96 , 7-IV-96 , 7-IX-95 , 7-IX-96 , 7-V-96 , 7-VII-96 , 7-VIII-96 , 7-X-95 , 7-XI-95 , 7-XII-95 , 8-I-96 , 8-II-96 , 8-III-96 , 8-IV-96 , 8-V-96 , 8-VI-96 , 8-VII-96 , 8-VIII-96 , 8-X-95 , 8-XI-95 , 8-XII-95 , 9-II-96 , 9-III-96 , 9-IV-96 , 9-IX-95 , 9-V-96 , 9-VI-96 , 9-VII-96 , 9-VIII-96 , 9-X-95 , 9-XI-95 , 9-XII-95

Clase-0-2 (65 01.00): 1-IV-96 , 1-XI-95 , 1-XII-95 , 10-VI-96 , 10-XI-95 , 10-XII-95 , 11-IV-96 , 12-IV-96 , 12-IX-96 , 12-VI-96 , 12-XI-95 , 12-XII-95 , 13-VI-96 , 14-VI-96 , 15-IX-96 , 15-XI-95 , 15-XII-95 , 16-IX-96 , 16-VI-96 , 16-XI-95 , 16-XII-95 , 17-III-96 , 17-IX-96 , 17-VI-96 , 17-XI-95 , 17-XII-95 , 19-VI-96 , 19-XI-95 , 19-XII-95 , 2-I-96 , 2-XI-95 , 2-XII-95 , 21-VIII-96 , 23-X-95 , 24-VI-96 , 24-XI-95 , 24-XII-95 , 25-X-95 , 26-VII-96 , 26-X-95 , 27-III-96 , 27-V-96 , 27-X-95 , 28-IV-96 , 28-V-96 , 28-VI-96 , 29-II-96 , 29-IV-96 , 29-V-96 , 29-X-95 , 3-XI-95 , 3-XII-95 , 30-V-96 , 30-X-95 , 4-IX-95 , 5-IX-96 , 5-VII-96 , 5-XI-95 , 5-XII-95 , 6-IX-96 , 6-VI-96 , 7-VI-96 , 8-IX-96 , 9-I-96 , 9-IX-96

Clase-0-3 (2 01.00): 22-IX-95 , 26-I-96

Clase-0-4 (7 01.00): 18-VI-96 , 2-VI-96 , 20-XI-95 , 20-XII-95 , 21-XI-95 , 21-XII-95 , 31-VII-96

Clase-0-5 (15 01.00): 1-IX-96 , 11-VIII-96 , 14-VII-96 , 15-VIII-96 , 18-VIII-96 , 21-VII-96 , 22-IX-96 , 25-VIII-96 , 28-VII-96 , 29-I-96 , 29-IX-96 , 30-VI-96 , 4-II-96 , 4-VIII-96 , 8-IX-95

Clase-0-6 (5 01.00): 1-II-96 , 2-II-96 , 3-II-96 , 30-I-96 , 31-I-96

Clase-0-7 (1 01.00): 28-III-96

Dispersión de las propiedades cuantitativas

Clase	1	2	3	4	5	6	7
Q-E	00.10	00.09	00.04	00.08	00.10	00.02	00.00
PH-E	00.15	00.17	00.06	00.13	00.17	00.14	00.00
SS-E	00.06	00.12	00.05	00.09	00.06	00.14	00.00
SSV-E	00.05	00.07	00.04	00.05	00.06	00.09	00.00
DQO-E	00.08	00.06	00.19	00.06	00.04	00.04	00.00
DBO-E	00.05	00.06	00.12	00.13	00.04	00.00	00.00

Dispersión de las propiedades cuantitativas

Clase	1	2	3	4	5	6	7
Q-E	42503.99	42093.07	48660.25	41309.60	32644.01	22343.98	41522.50
PH-E	07.64	07.58	07.55	07.40	07.57	07.50	07.30
SS-E	187.60	318.66	141.00	457.14	119.47	169.00	655.00
SSV-E	142.32	235.69	112.50	336.57	90.53	57.41	593.00
DQO-E	411.22	576.52	1289.50	807.71	270.07	96.20	1108.00
DBO-E	195.64	279.45	877.50	481.29	127.19	216.84	700.00

INFORME DE CLASIFICACION

26 de enero de 1998

Conjunto de datos: GIR9596

Radio: 0.75

N. Clases: 5

Función de Distancia: HAMMING

Método de clasificación: "LINNEO+"

Normalización: CONTINUO

Lista de propiedades: ACTUACIONES

CLASES

Clase-0-1 (268 00.75): 1-I-96 , 1-III-96 , 1-IV-96 , 1-IX-95 , 1-V-96 , 1-VI-96 , 1-X-95 , 1-XI-95 , 1-XII-95 , 10-I-96 , 10-II-96 , 10-III-96 , 10-IV-96 , 10-IX-95 , 10-VI-96 , 10-VIII-96 , 10-X-95 , 10-XI-95 , 10-XII-95 , 11-I-96 , 11-II-96 , 11-III-96 , 11-IV-96 , 11-IX-95 , 11-VI-96 , 11-VIII-96 , 11-X-95 , 11-XI-95 , 11-XII-95 , 12-I-96 , 12-II-96 , 12-III-96 , 12-IV-96 , 12-IX-95 , 12-X-95 , 12-XI-95 , 12-XII-95 , 13-I-96 , 13-II-96 , 13-III-96 , 13-IV-96 , 13-IX-95 , 13-X-95 , 13-XI-95 , 13-XII-95 , 14-I-96 , 14-II-96 , 14-III-96 , 14-IV-96 , 14-IX-95 , 14-X-95 , 14-XI-95 , 14-XII-95 , 15-I-96 , 15-II-96 , 15-III-96 , 15-IV-96 , 15-IX-95 , 15-VIII-96 , 15-X-95 , 15-XI-95 , 15-XII-95 , 16-I-96 , 16-II-96 , 16-III-96 , 16-IV-96 , 16-IX-95 , 16-VIII-96 , 16-X-95 , 16-XI-95 , 16-XII-95 , 17-I-96 , 17-II-96 , 17-III-96 , 17-IX-95 , 17-VIII-96 , 17-X-95 , 17-XI-95 , 17-XII-95 , 18-I-96 , 18-II-96 , 18-III-96 , 18-VIII-96 , 18-X-95 , 18-XI-95 , 18-XII-95 , 19-I-96 , 19-II-96 , 19-III-96 , 19-IV-96 , 19-IX-95 , 19-X-95 , 19-XI-95 , 19-XII-95 , 2-I-96 , 2-III-96 , 2-IV-96 , 2-IX-95 , 2-V-96 , 2-VI-96 , 2-X-95 , 2-XI-95 , 2-XII-95 , 20-I-96 , 20-II-96 , 20-III-96 , 20-IV-96 , 20-IX-95 , 20-V-96 , 20-X-95 , 20-XI-95 , 20-XII-95 , 21-I-96 , 21-II-96 , 21-III-96 , 21-IV-96 , 21-IX-95 , 21-IX-96 , 21-VII-96 , 21-X-95 , 21-XI-95 , 21-XII-95 , 22-I-96 , 22-II-96 , 22-III-96 , 22-IV-96 , 22-IX-95 , 22-X-95 , 23-I-96 , 23-II-96 , 23-III-96 , 23-IV-96 , 23-IX-95 , 23-V-96 , 23-X-95 , 23-XI-95 , 23-XII-95 , 24-I-96 , 24-II-96 , 24-III-96 , 24-IV-96 , 24-IX-95 , 24-V-96 , 24-VIII-96 , 24-X-95 , 24-XI-95 , 24-XII-95 , 25-I-96 , 25-II-96 , 25-III-96 , 25-IV-96 , 25-IX-95 , 25-V-96 , 25-VIII-96 , 25-X-95 , 25-XI-95 , 25-XII-95 , 26-I-96 , 26-II-96 , 26-III-96 , 26-IV-96 , 26-IX-95 , 26-V-96 , 26-X-95 , 26-XI-95 , 26-XII-95 , 27-I-96 , 27-II-96 , 27-III-96 , 27-IV-96 , 27-IX-95 , 27-V-96 , 27-X-95 , 27-XI-95 , 27-XII-95 , 28-I-96 , 28-II-96 , 28-III-96 , 28-IV-96 , 28-IX-95 , 28-V-96 , 28-X-95 , 28-XI-95 , 28-XII-95 , 29-I-96 , 29-III-96 , 29-IX-95 , 29-V-96 , 29-X-95 , 29-XI-95 , 29-XII-95 , 3-I-96 , 3-III-96 , 3-IV-96 , 3-IX-95 , 3-V-96 , 3-VI-96 , 3-VIII-96 , 3-X-95 , 3-XI-95 , 3-XII-95 , 30-III-96 , 30-IV-96 , 30-IX-95 , 30-V-96 , 30-XI-95 , 30-XII-95 , 31-III-96 , 31-V-96 , 31-X-95 , 31-XII-95 , 4-I-96 , 4-III-96 , 4-IV-96 , 4-IX-95 , 4-V-96 , 4-VI-96 , 4-VIII-96 , 4-X-95 , 4-XI-95 , 4-XII-95 , 5-I-96 , 5-II-96 , 5-III-96 , 5-IV-96 , 5-IX-95 , 5-V-96 , 5-VI-96

, 5-X-95 , 5-XI-95 , 5-XII-95 , 6-I-96 , 6-II-96 , 6-III-96 , 6-IV-96 , 6-IX-95 , 6-V-96 , 6-VI-96 , 6-X-95 , 6-XI-95 , 6-XII-95 , 7-I-96 , 7-II-96 , 7-III-96 , 7-IV-96 , 7-IX-95 , 7-V-96 , 7-VI-96 , 7-X-95 , 7-XI-95 , 7-XII-95 , 8-I-96 , 8-II-96 , 8-III-96 , 8-IV-96 , 8-IX-95 , 8-VI-96 , 8-X-95 , 8-XI-95 , 8-XII-95 , 9-I-96 , 9-II-96 , 9-III-96 , 9-IV-96 , 9-IX-95 , 9-VI-96 , 9-X-95 , 9-XI-95 , 9-XII-95

Clase-0-2 (103 00.75): 1-IX-96 , 1-VII-96 , 1-VIII-96 , 10-IX-96 , 10-VII-96 , 11-IX-96 , 11-VII-96 , 12-IX-96 , 12-VI-96 , 12-VII-96 , 12-VIII-96 , 13-IX-96 , 13-VI-96 , 13-VII-96 , 13-VIII-96 , 14-IX-96 , 14-VI-96 , 14-VII-96 , 14-VIII-96 , 15-IX-96 , 15-VI-96 , 15-VII-96 , 16-IX-96 , 16-VI-96 , 16-VII-96 , 17-IV-96 , 17-IX-96 , 17-VI-96 , 17-VII-96 , 18-IV-96 , 18-IX-96 , 18-VII-96 , 19-IX-96 , 19-VI-96 , 19-VII-96 , 19-VIII-96 , 2-IX-96 , 2-VII-96 , 2-VIII-96 , 20-IX-96 , 20-VI-96 , 20-VII-96 , 20-VIII-96 , 21-VI-96 , 21-VIII-96 , 22-IX-96 , 22-VI-96 , 22-VII-96 , 22-VIII-96 , 22-XI-95 , 22-XII-95 , 23-IX-96 , 23-VI-96 , 23-VII-96 , 23-VIII-96 , 24-IX-96 , 24-VI-96 , 24-VII-96 , 25-IX-96 , 25-VI-96 , 25-VII-96 , 26-IX-96 , 26-VI-96 , 26-VII-96 , 26-VIII-96 , 27-IX-96 , 27-VI-96 , 27-VII-96 , 27-VIII-96 , 28-IX-96 , 28-VI-96 , 28-VII-96 , 28-VIII-96 , 29-IX-96 , 29-VI-96 , 29-VII-96 , 29-VIII-96 , 3-IX-96 , 3-VII-96 , 30-IX-96 , 30-VI-96 , 30-VII-96 , 30-VIII-96 , 30-X-95 , 31-VII-96 , 31-VIII-96 , 4-IX-96 , 4-VII-96 , 5-IX-96 , 5-VII-96 , 5-VIII-96 , 6-IX-96 , 6-VII-96 , 6-VIII-96 , 7-IX-96 , 7-VII-96 , 7-VIII-96 , 8-IX-96 , 8-VII-96 , 8-VIII-96 , 9-IX-96 , 9-VII-96 , 9-VIII-96

Clase-0-3 (4 00.75): 18-IX-95 , 18-VI-96 , 24-I-96 , 29-I-96

Clase-0-4 (6 00.75): 1-II-96 , 2-II-96 , 3-II-96 , 30-I-96 , 31-I-96 , 4-II-96

Clase-0-5 (15 00.75): 10-V-96 , 11-V-96 , 12-V-96 , 13-V-96 , 14-V-96 , 15-V-96 , 16-V-96 , 17-V-96 , 18-V-96 , 19-V-96 , 21-V-96 , 22-V-96 , 29-IV-96 , 8-V-96 , 9-V-96

Dispersion de las propiedades cuantitativas

Clase	1	2	3	4	5
QB-B	00.07	00.08	00.05	00.02	00.11
QR-G	00.06	00.04	00.03	00.00	00.09
QP-G	00.10	00.09	00.10	00.00	00.02
FE-E	00.14	00.08	00.18	00.19	00.10

Dispersion de las propiedades cuantitativas

Clase	1	2	3	4	5
QB-B	39432.97	37977.46	33835.82	21799.37	44104.53
QR-G	41539.25	42145.41	27737.15	18131.52	35225.68
QP-G	569.11	804.71	296.02	00.00	644.89
FE-E	43.81	54.78	44.15	09.76	27.39

NEOTRANSICIONES 2

=====

Alfa = 0

Estados: G-EST-2.5

Entrada: G-ENT-1.0

Actuacion: G-ACT-0.75



Est:	1	Seg:	1	Ent:	1	Act:	1	Cont:	173.0
Est:	1	Seg:	1	Ent:	1	Act:	2	Cont:	51.0
Est:	1	Seg:	1	Ent:	1	Act:	3	Cont:	1.0
Est:	1	Seg:	1	Ent:	1	Act:	5	Cont:	12.0
Est:	1	Seg:	1	Ent:	2	Act:	1	Cont:	34.0
Est:	1	Seg:	1	Ent:	2	Act:	2	Cont:	11.0
Est:	1	Seg:	1	Ent:	3	Act:	1	Cont:	2.0
Est:	1	Seg:	1	Ent:	4	Act:	1	Cont:	4.0
Est:	1	Seg:	1	Ent:	4	Act:	3	Cont:	1.0
Est:	1	Seg:	1	Ent:	5	Act:	1	Cont:	7.0
Est:	1	Seg:	1	Ent:	5	Act:	2	Cont:	6.0
Est:	1	Seg:	1	Ent:	5	Act:	3	Cont:	1.0
Est:	1	Seg:	2	Ent:	1	Act:	1	Cont:	3.0
Est:	1	Seg:	2	Ent:	1	Act:	2	Cont:	5.0
Est:	1	Seg:	2	Ent:	1	Act:	5	Cont:	1.0
Est:	1	Seg:	2	Ent:	2	Act:	1	Cont:	1.0
Est:	1	Seg:	2	Ent:	2	Act:	2	Cont:	2.0
Est:	1	Seg:	2	Ent:	2	Act:	5	Cont:	1.0
Est:	1	Seg:	3	Ent:	1	Act:	1	Cont:	5.0
Est:	1	Seg:	3	Ent:	2	Act:	1	Cont:	4.0
Est:	1	Seg:	3	Ent:	4	Act:	1	Cont:	1.0
Est:	1	Seg:	4	Ent:	6	Act:	4	Cont:	1.0
Est:	1	Seg:	5	Ent:	1	Act:	1	Cont:	3.0
Est:	1	Seg:	5	Ent:	1	Act:	2	Cont:	3.0
Est:	1	Seg:	5	Ent:	1	Act:	3	Cont:	1.0
Est:	1	Seg:	5	Ent:	2	Act:	2	Cont:	2.0
Est:	1	Seg:	6	Ent:	1	Act:	1	Cont:	1.0
Est:	2	Seg:	1	Ent:	1	Act:	1	Cont:	4.0
Est:	2	Seg:	1	Ent:	1	Act:	2	Cont:	5.0
Est:	2	Seg:	1	Ent:	1	Act:	5	Cont:	1.0
Est:	2	Seg:	1	Ent:	2	Act:	1	Cont:	1.0
Est:	2	Seg:	1	Ent:	2	Act:	2	Cont:	1.0
Est:	2	Seg:	2	Ent:	1	Act:	2	Cont:	1.0
Est:	2	Seg:	3	Ent:	1	Act:	1	Cont:	1.0
Est:	2	Seg:	3	Ent:	2	Act:	1	Cont:	1.0
Est:	3	Seg:	1	Ent:	1	Act:	1	Cont:	7.0
Est:	3	Seg:	1	Ent:	1	Act:	2	Cont:	2.0
Est:	3	Seg:	1	Ent:	2	Act:	1	Cont:	2.0
Est:	3	Seg:	2	Ent:	1	Act:	1	Cont:	1.0
Est:	3	Seg:	3	Ent:	1	Act:	1	Cont:	2.0
Est:	3	Seg:	3	Ent:	1	Act:	2	Cont:	1.0
Est:	4	Seg:	1	Ent:	1	Act:	1	Cont:	1.0
Est:	4	Seg:	4	Ent:	5	Act:	4	Cont:	1.0
Est:	4	Seg:	4	Ent:	6	Act:	4	Cont:	4.0
Est:	5	Seg:	1	Ent:	1	Act:	1	Cont:	4.0
Est:	5	Seg:	1	Ent:	1	Act:	2	Cont:	3.0
Est:	5	Seg:	1	Ent:	4	Act:	2	Cont:	1.0
Est:	5	Seg:	1	Ent:	7	Act:	1	Cont:	1.0
Est:	5	Seg:	2	Ent:	1	Act:	1	Cont:	1.0
Est:	5	Seg:	5	Ent:	1	Act:	1	Cont:	1.0
Est:	5	Seg:	5	Ent:	1	Act:	2	Cont:	4.0
Est:	5	Seg:	5	Ent:	2	Act:	1	Cont:	1.0
Est:	5	Seg:	5	Ent:	2	Act:	2	Cont:	3.0
Est:	5	Seg:	6	Ent:	2	Act:	2	Cont:	1.0
Est:	6	Seg:	5	Ent:	1	Act:	1	Cont:	1.0
Est:	6	Seg:	5	Ent:	1	Act:	2	Cont:	1.0

INFORME COMPLETO DE LAS TRANSICIONES 2

=====

DEFINICION DE LOS NODOS:

Elementos nodo 1 -> 337.0

QA-G	:	236080.92
PH-D	:	7.56
SS-D	:	86.17
SSV-D	:	63.33
DQO-D	:	245.38
DBO-D	:	117.79
PH-S	:	7.52
SS-S	:	14.59
SSV-S	:	10.94
DQO-S	:	49.32
DBO-S	:	18.43
V30-B	:	247.43
MLSS-B	:	1765.20
MLVSS-B	:	1342.95
MCRT-B	:	10.97

Elementos nodo 2 -> 16.0

QA-G	:	235850.14
PH-D	:	7.65
SS-D	:	134.37
SSV-D	:	99.56
DQO-D	:	295.37
DBO-D	:	156.19
PH-S	:	7.65
SS-S	:	17.16
SSV-S	:	13.33
DQO-S	:	47.87
DBO-S	:	15.21
V30-B	:	232.00
MLSS-B	:	1857.37
MLVSS-B	:	1436.75
MCRT-B	:	9.49

Elementos nodo 3 -> 15.0

QA-G	:	247513.22
PH-D	:	7.42
SS-D	:	105.67
SSV-D	:	77.20
DQO-D	:	325.93
DBO-D	:	154.46
PH-S	:	7.38
SS-S	:	15.02
SSV-S	:	11.55
DQO-S	:	45.93
DBO-S	:	21.58
V30-B	:	466.00
MLSS-B	:	2048.93
MLVSS-B	:	1609.33
MCRT-B	:	10.68

Elementos nodo 4 -> 6.0

QA-G	:	122829.33
PH-D	:	7.59

SS-D	:	64.94
SSV-D	:	30.74
DQO-D	:	88.33
DBO-D	:	110.55
PH-S	:	7.37
SS-S	:	8.48
SSV-S	:	5.11
DQO-S	:	21.83
DBO-S	:	16.96
V30-B	:	339.33
MLSS-B	:	2929.83
MLVSS-B	:	1937.17
MCRT-B	:	258.20

Elementos nodo 5 -> 20.0

QA-G	:	179237.94
PH-D	:	7.65
SS-D	:	107.05
SSV-D	:	74.60
DQO-D	:	283.65
DBO-D	:	141.04
PH-S	:	7.73
SS-S	:	45.66
SSV-S	:	33.53
DQO-S	:	89.06
DBO-S	:	31.17
V30-B	:	351.75
MLSS-B	:	1228.60
MLVSS-B	:	960.45
MCRT-B	:	5.88

Elementos nodo 6 -> 2.0

QA-G	:	185811.05
PH-D	:	7.55
SS-D	:	92.50
SSV-D	:	67.50
DQO-D	:	287.50
DBO-D	:	131.50
PH-S	:	7.55
SS-S	:	153.00
SSV-S	:	118.40
DQO-S	:	152.50
DBO-S	:	80.00
V30-B	:	435.00
MLSS-B	:	1253.00
MLVSS-B	:	980.00
MCRT-B	:	2.21

DEFINICION DE LOS ARCOS:

Est:	1	Seg:	1	Ent:	1	Act:	1	Cont:	173.0
------	---	------	---	------	---	------	---	-------	-------

>> Entradas

Q-E	:	43454.75
PH-E	:	7.63
SS-E	:	182.32
SSV-E	:	137.91
DQO-E	:	400.70
DBO-E	:	185.28

>> Actuaciones

QB-B	:	39725.85
------	---	----------

QR-G : 41143.64
QP-G : 556.77
FE-E : 43.75

Est: 1 Seg: 1 Ent: 1 Act: 2 Cont: 51.0

>> Entradas

Q-E : 38977.15
PH-E : 7.66
SS-E : 191.57
SSV-E : 148.20
DQO-E : 394.73
DBO-E : 212.76

>> Actuaciones

QB-B : 37685.91
QR-G : 41980.38
QP-G : 784.77
FE-E : 57.19

Est: 1 Seg: 1 Ent: 1 Act: 3 Cont: 1.0

>> Entradas

Q-E : 30607.10
PH-E : 7.62
SS-E : 212.00
SSV-E : 159.04
DQO-E : 442.23
DBO-E : 216.84

>> Actuaciones

QB-B : 30151.90
QR-G : 27348.70
QP-G : 189.70
FE-E : 45.20

Est: 1 Seg: 1 Ent: 1 Act: 5 Cont: 12.0

>> Entradas

Q-E : 45237.61
PH-E : 7.72
SS-E : 178.50
SSV-E : 138.84
DQO-E : 398.67
DBO-E : 194.43

>> Actuaciones

QB-B : 44383.26
QR-G : 34561.63
QP-G : 648.43
FE-E : 27.79

Est: 1 Seg: 1 Ent: 2 Act: 1 Cont: 34.0

>> Entradas

Q-E : 42958.54
PH-E : 7.55
SS-E : 343.59
SSV-E : 253.26
DQO-E : 561.67
DBO-E : 284.62

>> Actuaciones

QB-B : 38677.86
QR-G : 42543.06
QP-G : 559.85
FE-E : 48.40

Est: 1 Seg: 1 Ent: 2 Act: 2 Cont: 11.0
>> Entradas
Q-E : 39827.00
PH-E : 7.64
SS-E : 301.00
SSV-E : 213.64
DQO-E : 594.82
DBO-E : 253.91
>> Actuaciones
QB-B : 38437.88
QR-G : 41692.88
QP-G : 846.07
FE-E : 54.51

Est: 1 Seg: 1 Ent: 3 Act: 1 Cont: 2.0
>> Entradas
Q-E : 48660.25
PH-E : 7.55
SS-E : 141.00
SSV-E : 112.50
DQO-E : 1289.50
DBO-E : 877.50
>> Actuaciones
QB-B : 39000.00
QR-G : 41435.55
QP-G : 450.80
FE-E : 21.40

Est: 1 Seg: 1 Ent: 4 Act: 1 Cont: 4.0
>> Entradas
Q-E : 42214.87
PH-E : 7.40
SS-E : 436.00
SSV-E : 323.50
DQO-E : 807.25
DBO-E : 498.75
>> Actuaciones
QB-B : 39000.00
QR-G : 42921.70
QP-G : 585.85
FE-E : 45.48

Est: 1 Seg: 1 Ent: 4 Act: 3 Cont: 1.0
>> Entradas
Q-E : 35589.30
PH-E : 7.60
SS-E : 468.00
SSV-E : 338.00
DQO-E : 636.00
DBO-E : 472.00
>> Actuaciones
QB-B : 35001.30
QR-G : 28343.80
QP-G : 413.70
FE-E : 57.50

Est: 1 Seg: 1 Ent: 5 Act: 1 Cont: 7.0
>> Entradas
Q-E : 33359.24

PH-E	:	7.50
SS-E	:	125.43
SSV-E	:	99.00
DQO-E	:	287.71
DBO-E	:	133.41

>> Actuaciones

QB-B	:	31964.49
QR-G	:	42208.40
QP-G	:	635.47
FE-E	:	49.39

Est:	1	Seg:	1	Ent:	5	Act:	2	Cont:	6.0
------	---	------	---	------	---	------	---	-------	-----

>> Entradas

Q-E	:	33020.42
PH-E	:	7.63
SS-E	:	129.17
SSV-E	:	97.33
DQO-E	:	292.83
DBO-E	:	133.83

>> Actuaciones

QB-B	:	32704.45
QR-G	:	41170.18
QP-G	:	785.23
FE-E	:	53.63

Est:	1	Seg:	1	Ent:	5	Act:	3	Cont:	1.0
------	---	------	---	------	---	------	---	-------	-----

>> Entradas

Q-E	:	34360.00
PH-E	:	7.70
SS-E	:	62.00
SSV-E	:	30.00
DQO-E	:	100.00
DBO-E	:	98.00

>> Actuaciones

QB-B	:	33898.00
QR-G	:	26218.00
QP-G	:	188.00
FE-E	:	56.40

Est:	1	Seg:	2	Ent:	1	Act:	1	Cont:	3.0
------	---	------	---	------	---	------	---	-------	-----

>> Entradas

Q-E	:	43163.43
PH-E	:	7.67
SS-E	:	193.00
SSV-E	:	156.00
DQO-E	:	522.33
DBO-E	:	198.00

>> Actuaciones

QB-B	:	39000.00
QR-G	:	40454.43
QP-G	:	623.43
FE-E	:	44.20

Est:	1	Seg:	2	Ent:	1	Act:	2	Cont:	5.0
------	---	------	---	------	---	------	---	-------	-----

>> Entradas

Q-E	:	39527.26
PH-E	:	7.70
SS-E	:	176.60
SSV-E	:	137.80
DQO-E	:	498.00

DBO-E : 207.60
>> Actuaciones
QB-B : 37001.00
QR-G : 41303.34
QP-G : 768.76
FE-E : 46.86

Est: 1 Seg: 2 Ent: 1 Act: 5 Cont: 1.0

>> Entradas
Q-E : 47774.10
PH-E : 7.80
SS-E : 231.00
SSV-E : 187.00
DQO-E : 466.00
DBO-E : 240.00
>> Actuaciones
QB-B : 47774.10
QR-G : 42735.80
QP-G : 660.70
FE-E : 24.60

Est: 1 Seg: 2 Ent: 2 Act: 1 Cont: 1.0

>> Entradas
Q-E : 44791.00
PH-E : 7.60
SS-E : 255.00
SSV-E : 200.00
DQO-E : 624.00
DBO-E : 381.00
>> Actuaciones
QB-B : 39000.00
QR-G : 42073.20
QP-G : 653.50
FE-E : 44.30

Est: 1 Seg: 2 Ent: 2 Act: 2 Cont: 2.0

>> Entradas
Q-E : 44827.25
PH-E : 7.65
SS-E : 277.00
SSV-E : 201.00
DQO-E : 559.00
DBO-E : 282.50
>> Actuaciones
QB-B : 42113.90
QR-G : 43268.85
QP-G : 894.10
FE-E : 55.20

Est: 1 Seg: 2 Ent: 2 Act: 5 Cont: 1.0

>> Entradas
Q-E : 34600.10
PH-E : 7.70
SS-E : 359.00
SSV-E : 252.00
DQO-E : 630.00
DBO-E : 251.00
>> Actuaciones
QB-B : 34289.10
QR-G : 27351.00

QP-G : 566.00
FE-E : 20.50

Est: 1 Seg: 3 Ent: 1 Act: 1 Cont: 5.0

>> Entradas

Q-E : 46022.68
PH-E : 7.56
SS-E : 203.00
SSV-E : 157.20
DQO-E : 470.00
DBO-E : 202.57

>> Actuaciones

QB-B : 39964.10
QR-G : 44093.16
QP-G : 644.58
FE-E : 36.74

Est: 1 Seg: 3 Ent: 2 Act: 1 Cont: 4.0

>> Entradas

Q-E : 43147.72
PH-E : 7.55
SS-E : 270.75
SSV-E : 213.25
DQO-E : 579.00
DBO-E : 280.25

>> Actuaciones

QB-B : 39268.55
QR-G : 42635.68
QP-G : 637.05
FE-E : 47.98

Est: 1 Seg: 3 Ent: 4 Act: 1 Cont: 1.0

>> Entradas

Q-E : 44008.40
PH-E : 7.30
SS-E : 462.00
SSV-E : 336.00
DQO-E : 889.00
DBO-E : 370.00

>> Actuaciones

QB-B : 39000.00
QR-G : 43300.00
QP-G : 540.00
FE-E : 45.50

Est: 1 Seg: 4 Ent: 6 Act: 4 Cont: 1.0

>> Entradas

Q-E : 20500.00
PH-E : 7.60
SS-E : 313.00
SSV-E : 37.00
DQO-E : 27.00
DBO-E : 216.84

>> Actuaciones

QB-B : 19883.00
QR-G : 18065.00
QP-G : 0.00
FE-E : 13.00

Est: 1 Seg: 5 Ent: 1 Act: 1 Cont: 3.0

>> Entradas

Q-E : 43360.10
PH-E : 7.77
SS-E : 213.00
SSV-E : 169.00
DQO-E : 504.33
DBO-E : 179.33

>> Actuaciones

QB-B : 40455.00
QR-G : 42436.90
QP-G : 678.00
FE-E : 38.63

Est: 1 Seg: 5 Ent: 1 Act: 2 Cont: 3.0

>> Entradas

Q-E : 36498.23
PH-E : 7.67
SS-E : 188.33
SSV-E : 147.33
DQO-E : 478.67
DBO-E : 206.67

>> Actuaciones

QB-B : 35597.90
QR-G : 42812.40
QP-G : 808.33
FE-E : 58.80

Est: 1 Seg: 5 Ent: 1 Act: 3 Cont: 1.0

>> Entradas

Q-E : 36870.10
PH-E : 7.50
SS-E : 245.00
SSV-E : 94.00
DQO-E : 235.00
DBO-E : 138.00

>> Actuaciones

QB-B : 36292.10
QR-G : 29038.10
QP-G : 392.70
FE-E : 17.50

Est: 1 Seg: 5 Ent: 2 Act: 2 Cont: 2.0

>> Entradas

Q-E : 36399.05
PH-E : 7.60
SS-E : 268.00
SSV-E : 214.50
DQO-E : 652.00
DBO-E : 304.00

>> Actuaciones

QB-B : 36399.05
QR-G : 43412.65
QP-G : 881.60
FE-E : 53.85

Est: 1 Seg: 6 Ent: 1 Act: 1 Cont: 1.0

>> Entradas

Q-E : 45352.40
PH-E : 7.60

SS-E	:	185.00
SSV-E	:	156.00
DQO-E	:	612.00
DBO-E	:	193.00
>> Actuaciones		
QB-B	:	44772.40
QR-G	:	43314.20
QP-G	:	694.20
FE-E	:	34.10

Est:	2	Seg:	1	Ent:	1	Act:	1	Cont:	4.0
------	---	------	---	------	---	------	---	-------	-----

>> Entradas		
Q-E	:	43355.97
PH-E	:	7.58
SS-E	:	213.25
SSV-E	:	164.02
DQO-E	:	390.00
DBO-E	:	256.13
>> Actuaciones		
QB-B	:	39000.00
QR-G	:	38951.45
QP-G	:	626.08
FE-E	:	37.92

Est:	2	Seg:	1	Ent:	1	Act:	2	Cont:	5.0
------	---	------	---	------	---	------	---	-------	-----

>> Entradas		
Q-E	:	39425.16
PH-E	:	7.63
SS-E	:	210.20
SSV-E	:	157.41
DQO-E	:	490.40
DBO-E	:	213.73
>> Actuaciones		
QB-B	:	37775.42
QR-G	:	42222.46
QP-G	:	864.32
FE-E	:	49.90

Est:	2	Seg:	1	Ent:	1	Act:	5	Cont:	1.0
------	---	------	---	------	---	------	---	-------	-----

>> Entradas		
Q-E	:	46905.70
PH-E	:	7.60
SS-E	:	209.00
SSV-E	:	168.00
DQO-E	:	456.00
DBO-E	:	198.00
>> Actuaciones		
QB-B	:	46905.70
QR-G	:	43558.80
QP-G	:	665.40
FE-E	:	32.30

Est:	2	Seg:	1	Ent:	2	Act:	1	Cont:	1.0
------	---	------	---	------	---	------	---	-------	-----

>> Entradas		
Q-E	:	45527.40
PH-E	:	7.80
SS-E	:	276.00
SSV-E	:	212.00
DQO-E	:	530.00
DBO-E	:	236.00

>> Actuaciones

QB-B	:	44985.40
QR-G	:	42805.70
QP-G	:	673.80
FE-E	:	39.20

Est: 2 Seg: 1 Ent: 2 Act: 2 Cont: 1.0

>> Entradas

Q-E	:	35735.90
PH-E	:	7.60
SS-E	:	396.00
SSV-E	:	309.00
DQO-E	:	574.00
DBO-E	:	368.00

>> Actuaciones

QB-B	:	35735.90
QR-G	:	36042.90
QP-G	:	755.40
FE-E	:	54.90

Est: 2 Seg: 2 Ent: 1 Act: 2 Cont: 1.0

>> Entradas

Q-E	:	39427.60
PH-E	:	7.70
SS-E	:	153.00
SSV-E	:	121.00
DQO-E	:	407.00
DBO-E	:	200.00

>> Actuaciones

QB-B	:	39000.00
QR-G	:	42711.20
QP-G	:	677.40
FE-E	:	56.40

Est: 2 Seg: 3 Ent: 1 Act: 1 Cont: 1.0

>> Entradas

Q-E	:	43360.00
PH-E	:	7.50
SS-E	:	196.00
SSV-E	:	157.00
DQO-E	:	358.00
DBO-E	:	374.00

>> Actuaciones

QB-B	:	39000.00
QR-G	:	42823.00
QP-G	:	534.40
FE-E	:	43.00

Est: 2 Seg: 3 Ent: 2 Act: 1 Cont: 1.0

>> Entradas

Q-E	:	47449.00
PH-E	:	7.50
SS-E	:	236.00
SSV-E	:	182.00
DQO-E	:	606.00
DBO-E	:	249.00

>> Actuaciones

QB-B	:	46861.00
QR-G	:	41938.50
QP-G	:	659.20

FE-E : 58.90

Est: 3 Seg: 1 Ent: 1 Act: 1 Cont: 7.0

>> Entradas

Q-E : 41855.97
PH-E : 7.51
SS-E : 209.29
SSV-E : 160.87
DQO-E : 456.29
DBO-E : 220.07

>> Actuaciones

QB-B : 39400.21
QR-G : 41824.21
QP-G : 606.21
FE-E : 41.83

Est: 3 Seg: 1 Ent: 1 Act: 2 Cont: 2.0

>> Entradas

Q-E : 46319.40
PH-E : 7.65
SS-E : 234.00
SSV-E : 154.00
DQO-E : 449.50
DBO-E : 185.00

>> Actuaciones

QB-B : 42101.05
QR-G : 43051.25
QP-G : 921.10
FE-E : 47.55

Est: 3 Seg: 1 Ent: 2 Act: 1 Cont: 2.0

>> Entradas

Q-E : 41668.35
PH-E : 7.50
SS-E : 328.50
SSV-E : 259.50
DQO-E : 568.12
DBO-E : 256.00

>> Actuaciones

QB-B : 39000.00
QR-G : 44104.45
QP-G : 557.45
FE-E : 47.85

Est: 3 Seg: 2 Ent: 1 Act: 1 Cont: 1.0

>> Entradas

Q-E : 40803.40
PH-E : 7.70
SS-E : 194.00
SSV-E : 153.00
DQO-E : 643.00
DBO-E : 204.00

>> Actuaciones

QB-B : 39000.00
QR-G : 43581.70
QP-G : 538.10
FE-E : 38.90

Est: 3 Seg: 3 Ent: 1 Act: 1 Cont: 2.0

>> Entradas

Q-E : 43444.85
PH-E : 7.40
SS-E : 174.00
SSV-E : 150.50
DQO-E : 441.50
DBO-E : 205.92

>> Actuaciones

QB-B : 39000.00
QR-G : 44155.80
QP-G : 550.85
FE-E : 47.60

Est: 3 Seg: 3 Ent: 1 Act: 2 Cont: 1.0

>> Entradas

Q-E : 46578.30
PH-E : 7.70
SS-E : 190.00
SSV-E : 122.00
DQO-E : 522.00
DBO-E : 163.00

>> Actuaciones

QB-B : 46097.90
QR-G : 42502.40
QP-G : 878.90
FE-E : 28.80

Est: 4 Seg: 1 Ent: 1 Act: 1 Cont: 1.0

>> Entradas

Q-E : 46080.00
PH-E : 7.50
SS-E : 128.00
SSV-E : 81.00
DQO-E : 258.00
DBO-E : 69.00

>> Actuaciones

QB-B : 39000.00
QR-G : 36195.70
QP-G : 337.70
FE-E : 29.50

Est: 4 Seg: 4 Ent: 5 Act: 4 Cont: 1.0

>> Entradas

Q-E : 23662.90
PH-E : 7.60
SS-E : 77.00
SSV-E : 51.00
DQO-E : 180.00
DBO-E : 73.00

>> Actuaciones

QB-B : 22891.00
QR-G : 18150.30
QP-G : 0.00
FE-E : 0.00

Est: 4 Seg: 4 Ent: 6 Act: 4 Cont: 4.0

>> Entradas

Q-E : 22804.97
PH-E : 7.48
SS-E : 133.00

SSV-E	:	62.51
DQO-E	:	113.50
DBO-E	:	216.84
>> Actuaciones		
QB-B	:	22005.55
QR-G	:	18143.45
QP-G	:	0.00
FE-E	:	11.38

Est:	5	Seg:	1	Ent:	1	Act:	1	Cont:	4.0
------	---	------	---	------	---	------	---	-------	-----

>> Entradas		
Q-E	:	44816.33
PH-E	:	7.58
SS-E	:	180.25
SSV-E	:	132.27
DQO-E	:	345.25
DBO-E	:	188.17
>> Actuaciones		
QB-B	:	41413.18
QR-G	:	42344.10
QP-G	:	601.35
FE-E	:	34.55

Est:	5	Seg:	1	Ent:	1	Act:	2	Cont:	3.0
------	---	------	---	------	---	------	---	-------	-----

>> Entradas		
Q-E	:	36832.97
PH-E	:	7.62
SS-E	:	212.00
SSV-E	:	159.04
DQO-E	:	524.00
DBO-E	:	216.84
>> Actuaciones		
QB-B	:	36627.53
QR-G	:	43105.83
QP-G	:	808.60
FE-E	:	52.23

Est:	5	Seg:	1	Ent:	4	Act:	2	Cont:	1.0
------	---	------	---	------	---	------	---	-------	-----

>> Entradas		
Q-E	:	40710.00
PH-E	:	7.30
SS-E	:	526.00
SSV-E	:	388.00
DQO-E	:	900.00
DBO-E	:	532.00
>> Actuaciones		
QB-B	:	39000.00
QR-G	:	42827.00
QP-G	:	679.00
FE-E	:	63.30

Est:	5	Seg:	1	Ent:	7	Act:	1	Cont:	1.0
------	---	------	---	------	---	------	---	-------	-----

>> Entradas		
Q-E	:	41522.50
PH-E	:	7.30
SS-E	:	655.00
SSV-E	:	593.00
DQO-E	:	1108.00
DBO-E	:	700.00
>> Actuaciones		

QB-B	:	39000.00
QR-G	:	40785.90
QP-G	:	684.10
FE-E	:	41.10

Est: 5 Seg: 2 Ent: 1 Act: 1 Cont: 1.0

>> Entradas

Q-E	:	44122.40
PH-E	:	7.70
SS-E	:	227.00
SSV-E	:	185.00
DQO-E	:	522.00
DBO-E	:	246.00

>> Actuaciones

QB-B	:	43584.30
QR-G	:	43147.70
QP-G	:	668.20
FE-E	:	38.20

Est: 5 Seg: 5 Ent: 1 Act: 1 Cont: 1.0

>> Entradas

Q-E	:	45680.00
PH-E	:	7.70
SS-E	:	296.00
SSV-E	:	196.00
DQO-E	:	500.00
DBO-E	:	165.00

>> Actuaciones

QB-B	:	39000.00
QR-G	:	42776.00
QP-G	:	686.00
FE-E	:	23.80

Est: 5 Seg: 5 Ent: 1 Act: 2 Cont: 4.0

>> Entradas

Q-E	:	43389.27
PH-E	:	7.65
SS-E	:	185.25
SSV-E	:	137.25
DQO-E	:	395.50
DBO-E	:	263.50

>> Actuaciones

QB-B	:	42656.78
QR-G	:	43765.28
QP-G	:	792.23
FE-E	:	54.47

Est: 5 Seg: 5 Ent: 2 Act: 1 Cont: 1.0

>> Entradas

Q-E	:	42334.00
PH-E	:	7.70
SS-E	:	248.00
SSV-E	:	196.00
DQO-E	:	513.00
DBO-E	:	307.00

>> Actuaciones

QB-B	:	39000.00
QR-G	:	39078.40
QP-G	:	676.70
FE-E	:	27.70

Est: 5 Seg: 5 Ent: 2 Act: 2 Cont: 3.0

>> Entradas

Q-E	:	42832.93
PH-E	:	7.60
SS-E	:	289.67
SSV-E	:	206.00
DQO-E	:	669.33
DBO-E	:	278.33

>> Actuaciones

QB-B	:	42392.93
QR-G	:	44187.70
QP-G	:	837.30
FE-E	:	52.70

Est: 5 Seg: 6 Ent: 2 Act: 2 Cont: 1.0

>> Entradas

Q-E	:	40045.70
PH-E	:	7.60
SS-E	:	251.00
SSV-E	:	187.00
DQO-E	:	475.00
DBO-E	:	261.00

>> Actuaciones

QB-B	:	40045.70
QR-G	:	43509.70
QP-G	:	872.00
FE-E	:	45.70

Est: 6 Seg: 5 Ent: 1 Act: 1 Cont: 1.0

>> Entradas

Q-E	:	43319.00
PH-E	:	7.70
SS-E	:	201.00
SSV-E	:	157.00
DQO-E	:	465.00
DBO-E	:	176.00

>> Actuaciones

QB-B	:	42748.20
QR-G	:	42403.10
QP-G	:	684.40
FE-E	:	46.50

Est: 6 Seg: 5 Ent: 1 Act: 2 Cont: 1.0

>> Entradas

Q-E	:	41181.80
PH-E	:	7.60
SS-E	:	191.00
SSV-E	:	154.00
DQO-E	:	480.00
DBO-E	:	216.84

>> Actuaciones

QB-B	:	41181.80
QR-G	:	44269.10
QP-G	:	890.20
FE-E	:	49.60

NEOTRANSICIONES 3

=====

Alfa = 0

Estados: G-EST-2.5

Est:	1	Seg:	1	Cont:	303.0
Est:	1	Seg:	2	Cont:	13.0
Est:	1	Seg:	3	Cont:	10.0
Est:	1	Seg:	4	Cont:	1.0
Est:	1	Seg:	5	Cont:	9.0
Est:	1	Seg:	6	Cont:	1.0
Est:	2	Seg:	1	Cont:	12.0
Est:	2	Seg:	2	Cont:	1.0
Est:	2	Seg:	3	Cont:	2.0
Est:	3	Seg:	1	Cont:	11.0
Est:	3	Seg:	2	Cont:	1.0
Est:	3	Seg:	3	Cont:	3.0
Est:	4	Seg:	1	Cont:	1.0
Est:	4	Seg:	4	Cont:	5.0
Est:	5	Seg:	1	Cont:	9.0
Est:	5	Seg:	2	Cont:	1.0
Est:	5	Seg:	5	Cont:	9.0
Est:	5	Seg:	6	Cont:	1.0
Est:	6	Seg:	5	Cont:	2.0

INFORME COMPLETO DE LAS TRANSICIONES 3
=====

DEFINICION DE LOS NODOS:

Elementos nodo 1 -> 337.0

QA-G	:	236080.92
PH-D	:	7.56
SS-D	:	86.17
SSV-D	:	63.33
DQO-D	:	245.38
DBO-D	:	117.79
PH-S	:	7.52
SS-S	:	14.59
SSV-S	:	10.94
DQO-S	:	49.32
DBO-S	:	18.43
V30-B	:	247.43
MLSS-B	:	1765.20
MLVSS-B	:	1342.95
MCRT-B	:	10.97

Elementos nodo 2 -> 16.0

QA-G	:	235850.14
PH-D	:	7.65
SS-D	:	134.37
SSV-D	:	99.56
DQO-D	:	295.37
DBO-D	:	156.19
PH-S	:	7.65
SS-S	:	17.16
SSV-S	:	13.33
DQO-S	:	47.87
DBO-S	:	15.21
V30-B	:	232.00
MLSS-B	:	1857.37
MLVSS-B	:	1436.75
MCRT-B	:	9.49

Elementos nodo 3 -> 15.0

QA-G	:	247513.22
PH-D	:	7.42
SS-D	:	105.67
SSV-D	:	77.20
DQO-D	:	325.93
DBO-D	:	154.46
PH-S	:	7.38
SS-S	:	15.02
SSV-S	:	11.55
DQO-S	:	45.93
DBO-S	:	21.58
V30-B	:	466.00
MLSS-B	:	2048.93
MLVSS-B	:	1609.33
MCRT-B	:	10.68

Elementos nodo 4 -> 6.0

QA-G	:	122829.33
PH-D	:	7.59

SS-D	:	64.94
SSV-D	:	30.74
DQO-D	:	88.33
DBO-D	:	110.55
PH-S	:	7.37
SS-S	:	8.48
SSV-S	:	5.11
DQO-S	:	21.83
DBO-S	:	16.96
V30-B	:	339.33
MLSS-B	:	2929.83
MLVSS-B	:	1937.17
MCRT-B	:	258.20

Elementos nodo 5 -> 20.0

QA-G	:	179237.94
PH-D	:	7.65
SS-D	:	107.05
SSV-D	:	74.60
DQO-D	:	283.65
DBO-D	:	141.04
PH-S	:	7.73
SS-S	:	45.66
SSV-S	:	33.53
DQO-S	:	89.06
DBO-S	:	31.17
V30-B	:	351.75
MLSS-B	:	1228.60
MLVSS-B	:	960.45
MCRT-B	:	5.88

Elementos nodo 6 -> 2.0

QA-G	:	185811.05
PH-D	:	7.55
SS-D	:	92.50
SSV-D	:	67.50
DQO-D	:	287.50
DBO-D	:	131.50
PH-S	:	7.55
SS-S	:	153.00
SSV-S	:	118.40
DQO-S	:	152.50
DBO-S	:	80.00
V30-B	:	435.00
MLSS-B	:	1253.00
MLVSS-B	:	980.00
MCRT-B	:	2.21

DEFINICION DE LOS ARCOS:

Est:	1	Seg:	1	Cont:	303.0
>> Entradas					
Q-E	:	42064.09			
PH-E	:	7.62			
SS-E	:	207.48			
SSV-E	:	156.33			
DQO-E	:	431.13			
DBO-E	:	211.16			
>> Actuaciones					
QB-B	:	39003.45			

QR-G	:	41114.27
QP-G	:	612.75
FE-E	:	46.59

Est: 1 Seg: 2 Cont: 13.0

>> Entradas

Q-E	:	41842.02
PH-E	:	7.68
SS-E	:	220.08
SSV-E	:	169.08
DQO-E	:	530.38
DBO-E	:	236.08

>> Actuaciones

QB-B	:	39022.77
QR-G	:	40505.98
QP-G	:	721.73
FE-E	:	43.59

Est: 1 Seg: 3 Cont: 10.0

>> Entradas

Q-E	:	44671.27
PH-E	:	7.53
SS-E	:	256.00
SSV-E	:	197.50
DQO-E	:	555.50
DBO-E	:	250.38

>> Actuaciones

QB-B	:	39589.47
QR-G	:	43430.85
QP-G	:	631.11
FE-E	:	42.11

Est: 1 Seg: 4 Cont: 1.0

>> Entradas

Q-E	:	20500.00
PH-E	:	7.60
SS-E	:	313.00
SSV-E	:	37.00
DQO-E	:	27.00
DBO-E	:	216.84

>> Actuaciones

QB-B	:	19883.00
QR-G	:	18065.00
QP-G	:	0.00
FE-E	:	13.00

Est: 1 Seg: 5 Cont: 9.0

>> Entradas

Q-E	:	38804.80
PH-E	:	7.67
SS-E	:	220.56
SSV-E	:	163.56
DQO-E	:	498.67
DBO-E	:	211.56

>> Actuaciones

QB-B	:	37472.10
QR-G	:	41290.14
QP-G	:	734.99
FE-E	:	46.39

Est: 1 Seg: 6 Cont: 1.0

>> Entradas

Q-E	:	45352.40
PH-E	:	7.60
SS-E	:	185.00
SSV-E	:	156.00
DQO-E	:	612.00
DBO-E	:	193.00

>> Actuaciones

QB-B	:	44772.40
QR-G	:	43314.20
QP-G	:	694.20
FE-E	:	34.10

Est: 2 Seg: 1 Cont: 12.0

>> Entradas

Q-E	:	41559.89
PH-E	:	7.62
SS-E	:	232.08
SSV-E	:	177.68
DQO-E	:	464.33
DBO-E	:	241.27

>> Actuaciones

QB-B	:	39375.34
QR-G	:	40777.12
QP-G	:	743.38
FE-E	:	43.97

Est: 2 Seg: 2 Cont: 1.0

>> Entradas

Q-E	:	39427.60
PH-E	:	7.70
SS-E	:	153.00
SSV-E	:	121.00
DQO-E	:	407.00
DBO-E	:	200.00

>> Actuaciones

QB-B	:	39000.00
QR-G	:	42711.20
QP-G	:	677.40
FE-E	:	56.40

Est: 2 Seg: 3 Cont: 2.0

>> Entradas

Q-E	:	45404.50
PH-E	:	7.50
SS-E	:	216.00
SSV-E	:	169.50
DQO-E	:	482.00
DBO-E	:	311.50

>> Actuaciones

QB-B	:	42930.50
QR-G	:	42380.75
QP-G	:	596.80
FE-E	:	50.95

Est: 3 Seg: 1 Cont: 11.0

>> Entradas

Q-E	:	42633.39
-----	---	----------

PH-E	:	7.53
SS-E	:	235.46
SSV-E	:	177.56
DQO-	:	475.38
DBO-E	:	220.23

>> Actuaciones

QB-B	:	39818.51
QR-G	:	42461.90
QP-G	:	654.60
FE-E	:	43.96

Est: 3 Seg: 2 Cont: 1.0

>> Entradas

Q-E	:	40803.40
PH-E	:	7.70
SS-E	:	194.00
SSV-E	:	153.00
DQO-E	:	643.00
DBO-E	:	204.00

>> Actuaciones

QB-B	:	39000.00
QR-G	:	43581.70
QP-G	:	538.10
FE-E	:	38.90

Est: 3 Seg: 3 Cont: 3.0

>> Entradas

Q-E	:	44489.33
PH-E	:	7.50
SS-E	:	179.33
SSV-E	:	141.00
DQO-E	:	468.33
DBO-E	:	191.61

>> Actuaciones

QB-B	:	41365.97
QR-G	:	43604.67
QP-G	:	660.20
FE-E	:	41.33

Est: 4 Seg: 1 Cont: 1.0

>> Entradas

Q-E	:	46080.00
PH-E	:	7.50
SS-E	:	128.00
SSV-E	:	81.00
DQO-E	:	258.00
DBO-E	:	69.00

>> Actuaciones

QB-B	:	39000.00
QR-G	:	36195.70
QP-G	:	337.70
FE-E	:	29.50

Est: 4 Seg: 4 Cont: 5.0

>> Entradas

Q-E	:	22976.56
PH-E	:	7.50
SS-E	:	121.80
SSV-E	:	60.21
DQO-E	:	126.80

DBO-E : 188.07
>> Actuaciones
QB-B : 22182.64
QR-G : 18144.82
QP-G : 0.00
FE-E : 9.11

Est: 5 Seg: 1 Cont: 9.0

>> Entradas
Q-E : 41332.97
PH-E : 7.53
SS-E : 282.00
SSV-E : 220.80
DQO-E : 551.22
DBO-E : 292.80

>> Actuaciones
QB-B : 39281.70
QR-G : 42478.53
QP-G : 688.26
FE-E : 44.37

Est: 5 Seg: 2 Cont: 1.0

>> Entradas
Q-E : 44122.40
PH-E : 7.70
SS-E : 227.00
SSV-E : 185.00
DQO-E : 522.00
DBO-E : 246.00

>> Actuaciones
QB-B : 43584.30
QR-G : 43147.70
QP-G : 668.20
FE-E : 38.20

Est: 5 Seg: 5 Cont: 9.0

>> Entradas
Q-E : 43341.10
PH-E : 7.64
SS-E : 239.33
SSV-E : 173.22
DQO-E : 511.44
DBO-E : 262.33

>> Actuaciones
QB-B : 41756.21
QR-G : 43275.40
QP-G : 782.61
FE-E : 47.50

Est: 5 Seg: 6 Cont: 1.0

>> Entradas
Q-E : 40045.70
PH-E : 7.60
SS-E : 251.00
SSV-E : 187.00
DQO-E : 475.00
DBO-E : 261.00

>> Actuaciones
QB-B : 40045.70
QR-G : 43509.70

QP-G	:	872.00
FE-E	:	45.70

Est: 6 Seg: 5 Cont: 2.0

>> Entradas

Q-E	:	42250.40
PH-E	:	7.65
SS-E	:	196.00
SSV-E	:	155.50
DQO-E	:	472.50
DBO-E	:	196.42

>> Actuaciones

QB-B	:	41965.00
QR-G	:	43336.10
QP-G	:	787.30
FE-E	:	48.05