



Facultat de Ciències
Departament de Física-Institut de Ciència i Tecnologia
Ambientals (ICTA)

TESI DOCTORAL
2004



Eduard Costa Garangou

Directors: Dr. Joan Albert Sanchez Cabeza
Dr. Pere Masqué Barri



El Dr. Joan Albert Sánchez Cabeza, professor titular de l'àrea de coneixement de Física Aplicada del Departament de Física de la Universitat Autònoma de Barcelona i actualment Director de Laboratori al Marine Environment Laboratory (IAEA, Monaco), i el Dr. Pere Masqué Barri, investigador Ramón y Cajal de l'Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals (ICTA) de la UAB.

CERTIFIQUEM:

que la Tesi doctoral "*Processos de sedimentació i distribució de radioactivitat natural i artificial en sistemes aquàtics continentals de Catalunya (embassaments de Flix i tram català del riu Ebre, Camarasa i Llacs Pirinencs)*", del programa de doctorat de Ciències Ambientals, realitzada sota la nostra direcció pel Sr. Eduard Costa i Garangou, llicenciat en Ciències Ambientals, reuneix les condicions requerides per a ser defensada davant del tribunal escollit a tal efecte.

I perquè així consti, signem a Bellaterra el dimecres 20 d'octubre del 2004.

Dr. Joan Albert Sánchez Cabeza

Dr. Pere Masqué Barri

ELS AGRAÏMENTS

Aquest espai que aquí sembla tan petit però que per a mi representa tant és el que dedico a totes les persones que han estat al meu costat al llarg d'aquest temps d'elaboració d'aquest treball de tesi doctoral.

Primer de tot agraeixo als meus directors la possibilitat de treballar en un camp tan interessant i desconegut alhora com és la Radioactivitat Ambiental. A en Joan Albert per ser qui m'ha aconsellat, perquè valora molt la iniciativa de les persones i recompensa l'esforç dels que treballen amb ell. Desitjar-li molta sort en la nova aventura en què s'embarca. A en Pere, per ser la persona que m'ha aconsellat alhora de resoldre moltes qüestions que se'm presentaven a mesura que aprofundia en la investigació i per tota la seva col·laboració i seguiment. A tots els companys de feina: en Jordi Garcia per la seva alegria i motivació i per tot el temps que m'ha dedicat; a en Joan Manel, el mestre de català i del laboratori i a l'Anna, que sempre ha estat disposada a donar-me un cop de mà en tot el que fes falta. Gràcies per la seva infinita ajuda en el processat del gran volum de mostres que suposava una empresa com la iniciada. Als tècnics del grup de suport, Manel Garcia, per haver trobat en ell un amic i una gran persona, que m'ha escoltat i animat en tot moment, i per totes les hores que hem rigut junts en els llocs més inversemblants. A en Rafa, geni de la guitarra i en Jordi per deixar-me sempre la seva porta oberta per a tot. A l'Ainhoa que ha realitzat el seu treball de final de carrera al nostre grup integrant-se esplèndidament, i a en Juan Antonio Luna pels seus consells matemàtics tan apreciats. I a totes les noves becaries, l'Ester, l'Elisabet i la Carolina, que omplen el departament de simpatia i ganes de col·laborar i treballar.

Als membres del grup de Física, en Khalil Amgarou per la seva experiència i ajuda tècnica, a en Javier Castelo pels seus consells i visió global de les coses i en general a tots els companys de la planta, Paco Fernández, Carme Baixeras, Carles Domingo, Moaad Bakali, Tayeb Bouassoule i a les nostres secretàries, Maite, Mercè i Cèlia.

A l'equip de geòlegs de la UB, dirigit per en Miquel Canals, amb qui hem col·laborat plegats a les campanyes MORE. Destacar a en Toni Calafat, que ha coordinat les campanyes agafant-se les coses amb filosofia i decisió, per ser un cap de campanya carismàtic i un molt bon company de recerca.

A l'equip del departament de Química Ambiental dirigits per en Joan Grimalt i al grup de recerca de l'Institut de Ciències del Mar, dirigit per l'Albert Palanques.

A la família, la mare i el pare, pel seu amor incondicional i per despertar-me les ganes d'aprendre. Perquè m'han ajudat sempre tant com han pogut i més. A la meva estimada germana Míriam per escoltar-me i comprendre'm sempre que ho he necessitat. I a la tieta Nuri que sóc com un fill per ella i que sempre té un moment per pensar en mi estigui on estigui del món. A tots ells els agraeixo que sempre estan al meu costat, m'estimen i creuen fermament en mi.

Agraeixo a l'Evelyn, la petitona, per ser un tresoret que està sempre al meu costat i que m'acompanya en el camí de la vida. Pels infinits moments de felicitat que hem compartit junts i perquè m'ha impregnat de curiositats i de reptes. Per fer-me veure lo petit que és el món i que si un s'ho proposa pot aconseguir tot el que vulgui. T'agraeixo els teus consells i l'haver-me motivat a escriure. Gràcies per tot i estic molt feliç d'haver-te trobat.

Al pistatxo, un lloc especial i ple de màgia. Que continueu essent uns artistes en tot moment. Agrair-vos l'amistat i l'haver-me despertat l'esperit creatiu, fent-me veure que tots portem el poder de la creativitat a dintre nostre.

A la tia Asunción que m'estima com un fill més i a la "vecina".

Aquest treball de tesi ha estat possible gràcies a una beca de la Generalitat de Catalunya de Formació de Personal Investigador (2001 FPI 00471), al Projecte Flix: "Estudi de la dinàmica del compostos organoclorats persistents i altres contaminants en els sistemes aquàtics continentals" subvencionat per l'Agència Catalana de l'aigua, Comissió interdepartamental de recerca i tecnologia, i al projecte MORE "Modelización del relleno de embalses"(CICYT Proyecto 2FD97-1133).



*A l'Evelyn
Amb tot el meu amor.*

EDUARD



La gran onada de Kanagawa
Katsushika Hokusai (1760-1849)

El mundo es eso – reveló-. Un montón de gente, un mar de fueguitos. Cada persona brilla con luz propia entre todas las demás. No hay dos fuegos iguales. Hay fuegos grandes y fuegos chicos y fuegos de todos los colores. Hay gente de fuego sereno, que ni se entera del viento, y gente de fuego loco, que llena el aire de chispas. Algunos fuegos, fuegos bobos, no alumbran ni queman; pero otros arden la vida con tantas ganas que no se puede mirarlos sin parpadear, y quien se acerca, se enciende

Eduardo Galeano (*Libro de los Abrazos*)

ÍNDIX

Els agraïments

Índex.....	i
1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS	1
2. DESCRIPCIÓ DE L'ÀREA D'ESTUDI	
2.1. Les conques de la xarxa hidrogràfica catalana.....	9
2.2. El clima i pluviometria de la conca de l'Ebre i de la Noguera Pallaresa	14
2.3. Els embassaments i els seus subambients sedimentaris	15
2.4. L'estat ecològic dels embassaments	16
2.5. Geologia	17
2.6. Vegetació i usos del sòl.....	19
2.7. Llacs del Pirineu (marc geogràfic, clima, geologia i vegetació).....	20
2.8. La indústria associada a les preses de Camarasa i de Flix	20
2.8.1. <i>Breu revisió històrica de les preses i producció elèctrica a Catalunya: La Barcelona Traction</i>	22
2.8.2. <i>Construcció i característiques tècniques de les preses</i>	23
2.8.2.1. Embassament de Camarasa.....	23
2.8.2.2. Embassament de Flix	28
2.8.3. <i>La Sociedad Electroquímica de Flix S.A (SEQF)</i>	30
2.8.3.1. Etapes industrials	32
2.8.3.2. Processos industrials: l'electròlisi.....	33
2.8.3.3. Processos industrials: la producció de fosfat bicàlcic (DCP).....	35
2.8.3.4. Impacte ambiental de l' <i>Electroquímica de Flix S.A</i>	39
3. RADIOTRAÇADORS AMBIENTALS	
3.1. Radiotraçadors ambientals	47
3.2. El cicle del ²¹⁰ Pb.....	48
3.2.1. <i>El ²¹⁰Pb i la seva distribució a l'atmosfera</i>	48
3.2.2. <i>Les fonts de ²¹⁰Pb en medis lacustres: llacs i embassament</i>	51
3.3. El comportament dels radionúclids naturals en el sistema riu-estuari-costa.....	52
3.4. La datació per ²¹⁰ Pb en excés i els seus models	55
3.4.1. <i>Paràmetres dels models</i>	56
3.4.2. <i>Model CIC (Constant Initial Concentration)</i>	57
3.4.3. <i>Model CFCS (Constant Flux: Constant Sedimentation)</i>	57
3.4.4. <i>Model CRS (Constant Rate of Supply)</i>	58
3.4.5. <i>Model PF (Periodic Flux)</i>	58
3.5. Altres radionúclids	59
3.5.1. <i>Datació per ¹³⁷Cs</i>	59
3.5.2. <i>⁶⁰Co</i>	60
4. MÈTODES	
4.1. Campanyes i metodologies de mostreig.....	65
4.1.1. <i>Embassament de Camarasa</i>	65
4.1.2. <i>Embassament de Flix i tram català del riu Ebre</i>	68
4.1.2. <i>Llacs pirinencs</i>	74
4.1.2. <i>Sòls de la conca de la Noguera Pallaresa</i>	74

4.2. Anàlisi	76
4.2.1. <i>Granulometria</i>	76
4.2.2. <i>Anàlisi ²¹⁰Pb i ²¹⁰Po</i>	77
4.2.3. <i>Anàlisi ²²⁶Ra</i>	78
4.2.4. <i>Anàlisi ²²²Rn</i>	78
4.3. Sistemes de detecció d'espectrometria alfa	79
4.3.1. <i>Detectors</i>	80
4.3.2. <i>Mòduls duals i cambres de buit</i>	80
4.3.3. <i>Analitzador multicanal (MCA)</i>	80
4.3.4. <i>Calibratge del detector</i>	81
4.3.5. <i>Anàlisis dels espectres</i>	81
4.3.6. <i>Control de qualitat</i>	83
4.4. Sistemes de detecció d'espectrometria gamma	84
4.4.1. <i>Detectors</i>	84
4.4.2. <i>Calibratge del detector</i>	86
4.4.3. <i>Control de qualitat</i>	88
4.5. Determinació del ²¹⁰ Pb total	88
4.6. Espectrometria beta per centelleig líquid	90

5. RESULTATS I DISCUSSIÓ

5.1. PART I: L'EMBASSAMENT DE FLIX	93
5.1.1. <i>Introducció</i>	96
5.1.2. <i>Granulometria dels testimonis de Flix</i>	96
5.1.3. <i>Perfils de radionúclids naturals</i>	96
5.1.4. <i>Factors d'enriquiment</i>	115
5.1.5. <i>Estimació de l'inventari radioactiu</i>	115
5.1.6. <i>Datació dels testimonis de Flix</i>	118
5.1.7. <i>Associació d'altres contaminants als residus fosfatats NORM</i>	118
5.1.8. <i>Discussió dels resultats de l'embassament de Flix</i>	126
5.1.9. <i>Sediments superficials del tram català del riu Ebre</i>	132
5.2. PART II: L'EMBASSAMENT DE CAMARASA	141
5.2.1. <i>Granulometria i potencial redox (Eh)</i>	143
5.2.2. <i>Perfils de ²¹⁰Pb en excés i ¹³⁷Cs</i>	143
5.2.3. <i>Datacions i ritmes de sedimentació</i>	146
5.2.3.1. <i>Model CIC</i>	146
5.2.3.2. <i>Model CFCS i datació per ¹³⁷Cs</i>	152
5.2.4. <i>Discussió dels perfils de ²¹⁰Pb i ¹³⁷Cs</i>	156
5.2.4.1. <i>Previsió del reompliment</i>	157
5.2.5. <i>Inventaris de ¹³⁷Cs i ²¹⁰Pb en excés</i>	160
5.2.6. <i>Flux de ²¹⁰Pb en la trampa de sediment</i>	160
5.3. PART III: FLUX ATMOSFÈRIC DE ²¹⁰ Pb i ¹³⁷ Cs A LA CONCA DE LA NOGUERA PALLARESA I PART ALTA DE LA NOGUERA RIBAGORÇANA	167
5.3.1. <i>Estudi dels sòls de la conca de la Noguera Pallaresa</i>	169
5.3.1.1. <i>Perfils de ²¹⁰Pb en excés i ¹³⁷Cs</i>	169
5.3.1.2. <i>Inventaris de ²¹⁰Pb en excés i ¹³⁷Cs</i>	170
5.3.1.3. <i>Flux atmosfèric de ²¹⁰Pb en excés</i>	172

5.3.2. <i>El factor de focalització a l'embassament de Camarasa</i>	176
5.4. PART IV: ELS LLACS D'ALTA MUNTANYA (PIRINEU).....	179
5.4.1. <i>¹³⁷Cs i ²¹⁰Pb en els sediments superficials</i>	181
5.4.2. <i>Discussió dels valors d'activitats de ¹³⁷Cs i ²¹⁰Pb en excés</i>	184
5.4.3. <i>Normalització de contaminants a través del ²¹⁰Pb en excés</i>	185
5.4.3.1. <i>La normalització i els seus mètodes</i>	185
5.4.3.2. <i>Normalització de metalls pesants per ²¹⁰Pb excés</i>	186
5.4.3.3. <i>Normalització de compostos organoclorats per ²¹⁰Pb en excés</i>	188
6. SÍNTESI I CONCLUSIONS	
6.1. <i>Embassament de Flix i tram baix del riu Ebre</i>	197
6.2. <i>Embassament de Camarasa</i>	202
6.3. <i>Sòls de la conca de la Noguera Pallaresa</i>	204
6.4. <i>Llacs d'alta muntanya (Pirineu)</i>	205
7. ESTUDIS PROSPECTIUS I PERSPECTIVES FUTURES	
7.1. <i>Estudis prospectius a l'embassament de Flix i tram baix del riu Ebre</i>	207
7.1.1. <i>El ²²⁶Ra en les aigües del riu Ebre</i>	209
7.1.2. <i>Nivells de gas radó a la vila de Flix</i>	214
7.1.3. <i>Estimació aproximada de la dosi rebuda per la població riberenca de l'Ebre</i>	216
7.1.4. <i>La radioactivitat en l'arròs del delta de l'Ebre</i>	220
7.2. <i>Perspectives</i>	221
BIBLIOGRAFIA	223
ANNEX	

FIGURES

Figura 2.1. <i>Croquis de la conca de l'Ebre i les seves subconques hidrogràfiques.</i>	10
Figura 2.2. <i>Subconques hidrogràfiques de Catalunya</i>	10
Figura 2.3. <i>Altimetria de la conca de la Noguera Pallaresa.</i>	10
Figura 2.4. <i>Situació, volum i potència instal·lada de les centrals elèctriques de Catalunya</i>	11
Figura 2.5. <i>Cabals anuals del riu Ebre (en hm³a⁻¹) al seu pas per Tortosa durant el període 1979/99.</i> ..	12
Figura 2.6. <i>Pluviometria i àrees climàtiques de Catalunya. Els requadres indiquen l'àrea climàtica de les nostres zones d'estudi.</i>	12
Figura 2.7. a. <i>Representació de les 3 posicions habituals de la falca salina en relació a la distància a la desembocadura del riu Ebre i al perfil del fons fluvial</i>	14
Figura 2.8. <i>Tall del Pirineu on es detallen els material que hi afluïren</i>	18
Figura 2.9. <i>Producció d'energia elèctrica a Catalunya (dades del 2000)</i>	23
Figura 2.10. <i>Procés de construcció de la resclosa i sistema generador de la presa de Camarasa(1917-1922).</i>	25
Figura 2.11. <i>Vista en alçada i en planta de la central de Camarasa.</i>	26
Figura 2.12. <i>Variacions de la cota hídrica de l'embassament de Camarasa en el període 1998-2001).</i> ..	27
Figura 2.13. <i>Situació de la central i presa de l'embassament de Flix.</i>	28
Figura 2.14. <i>Cabals d'entrada al sistema d'embassaments de Talarn-Terradets-Camarasa durant el període 1998-2000.</i>	29
Figura 2.15. <i>Vista aèria de la presa de Flix i de l'indústria de clor-sosa i fosfat bicàlcic.</i>	30
Figura 2.16. <i>Vista de la planta de producció de fosfat bicàlcic de Flix</i>	33
Figura 2.17. <i>Aparença del fosfat bicàlcic un cop manufacturat.</i>	36
Figura 3.1. <i>Cadena de desintegració de l'²³⁸U on s'indica la situació del ²¹⁰Pb, i el ²¹⁰Po passant pel ²¹⁰Bi amb els respectius semiperíodes de desintegració.</i>	49
Figura 3.2. <i>Cadena natural de desintegració radioactiva del ²³²Th.</i>	49
Figura 3.3. <i>Cadena natural de desintegració radioactiva de l'²³⁵U.</i>	50
Figura 3.4. <i>Cicle del ²¹⁰Pb.</i>	52
Figura 3.5. <i>Concentració de ¹³⁷Cs calculada a partir de les mostres d'aire recollides al laboratori de Risø (Dinamarca) en el període 1958-1991.</i>	61
Figura 3.6. <i>Procés de formació del ⁶⁰Co (captura neutrònica del ⁵⁹Co)(Q=7.492 MeV) en una central nuclear.</i>	61
Figura 4.1. <i>Ortofotomapa de l'embassament de Camarasa.</i>	67
Figura 4.2. <i>Situació de les mostres de l'embassament de Camarasa.</i>	67
Figura 4.3. a. i b. <i>Recollidor de testimonis sedimentaris de gravetat. c. Tallador de testimonis. d. Embarcació model Zodiac per a realitzar el mostreig.</i>	67
Figura 4.4. <i>Trampa de sediments instal·lada en l'embassament de Camarasa, Technicap PPS 4/3.</i>	68
Figura 4.5. a, b, c, d, e. <i>Imatges del mostreig dels testimonis de Flix. f. Treballs al laboratori</i>	69
Figura 4.6. <i>Ortofotomapa on s'aprecia el meandre de Flix, la localització de la població i la presa.</i>	69
Figura 4.7. <i>Vista aèria de la planta electroquímica de Flix. Detall dels deltes de contaminació abocats a les ribes de l'Ebre.</i>	69
Figura 4.8. <i>Mapa de l'embassament de Camarasa a escala 1:50.000 on es destaca la planta electroquímica.</i>	70
Figura 4.9. <i>Mapa batimètric de l'embassament de Flix on es localitzen els punts de mostreig dels testimonis.</i>	70
Figura 4.10. <i>Localització dels punts mostrejats al llarg del tram baix del riu Ebre</i>	71
Figura 4.11. <i>Ampliació del tram del delta de l'Ebre on es detalla la localització de les dragues OEB18, OEB19, OEB20, i OEB21.</i>	72
Figura 4.12. <i>Monitor portàtil PRASSI.</i>	73
Figura 4.13. <i>Oryza sativa</i>	73
Figura 4.14. <i>Localització dels llacs pirinencs estudiats</i>	74
Figura 4.15. <i>Situació dels sòls mostrejats en l'estudi de flux de ²¹⁰Pb atmosfèric sobre un mapa topogràfic de Catalunya</i>	76
Figura 4.16. <i>Sistema de mostreig dels sòls</i>	77
Figura 4.17. <i>Sistema de digestió CEM, model MDS-2000</i>	78
Figura 4.18. a. <i>Sistema d'espectrometria alfa, CANBERRA Alpha Analyst b. Vista interior de la planxeta porta disc del sistema CANBERRA Alpha Analyst</i>	82
Figura 4.19. <i>Espectre alfa característic amb els dos pics ben diferenciats de ²⁰⁹Po i ²¹⁰Pb</i>	83
Figura 4.20. <i>Intercomparació alfa del Consejo de Seguridad Nuclear, CSN-CIEMAT 2002.</i>	87

Figura 4.21. a. Sistema d'espectrometria gamma (GM3 detector de pou) . b. Espectre típic de l'anàlisi gamma d'una mostra de sediment	88
Figura 4.22. Representació dels valors de ^{137}Cs i ^{40}K de la intercomparació CSN-CIEMAT 2002.	88
Figura 4.23. Comparació de les activitats de ^{210}Pb total dels llacs del Pirineu mesurades per espectrometria alfa amb les concentracions de ^{210}Pb total mesurades per espectrometria gamma.	89
Figura 4.24. Vista del detector de centelleig líquid Quantulus 1220.....	90
Figura 4.25. Vista interior del Quantulus on es pot apreciar la disposició dels vials de mesura	90
Figura 4.26. Espectre típic dels fills del ^{226}Ra (^{222}Rn , ^{218}Po i ^{214}Po) mesurat amb el detector Quantulus 1220 de centelleig líquid.....	91
Figura 5.1.1. Distribució granulomètrica de la fracció fina dels sediments de l'embassament de Flix....	97
Figura 5.1.2. Perfils de ^{210}Pb i ^{137}Cs del testimoni VC1	99
Figura 5.1.3. Perfils de ^{210}Pb i ^{40}K en el testimoni VC1	100
Figura 5.1.4. Correlació lineal del ^{40}K amb el ^{226}Ra del testimoni VC1, $r^2 = 0.67$	100
Figura 5.1.5. Perfils de ^{210}Pb , ^{226}Ra i ^{238}U del testimoni VC1	107
Figura 5.1.6. Perfils de ^{210}Pb i ^{226}Ra del testimoni VC2	108
Figura 5.1.7. Perfils de ^{232}Th i ^{238}U del testimoni VC2.....	109
Figura 5.1.8. Perfils de ^{210}Pb , ^{226}Ra i ^{238}U del testimoni VC3	110
Figura 5.1.9. Perfils de ^{210}Pb i ^{226}Ra del testimoni VC4.....	111
Figura 5.1.10. Perfils de ^{232}Th i ^{238}U del testimoni VC4.....	112
Figura 5.1.11. Perfils de ^{210}Pb i ^{226}Ra del testimoni VC5.....	113
Figura 5.1.12. Perfils de ^{210}Pb i ^{226}Ra del testimoni VC5.....	114
Figura 5.1.13. Datacions en el perfil de ^{210}Pb del testimoni VC5.	119
Figura 5.1.14. Perfils de P, Si i ^{210}Pb en testimoni VC1.....	120
Figura 5.1.15. Perfil de ^{210}Pb i ^{137}Cs del VC1, indicant també les datacions indirectes mitjançant la presència dels residus NORM, ^{137}Cs , mercuri i compostos clorats.	122
Figura 5.1.16. Correlació entre el P i el ^{210}Pb del testimoni VC4 ($r^2 = 0.88$).....	123
Figura 5.1.17. Representació gràfica de la concentració de Ca i de l'activitat de ^{210}Pb en profunditat en el testimoni VC2.....	123
Figura 5.1.18. Correlació dels residus NORM amb el Cr, Cd, Ni, Zn i Cu en els testimonis VC2, VC4 i VC5.....	124
Figura 5.1.19. Distribució del mercuri i del ^{210}Pb en profunditat en el testimoni VC1.....	125
Figura 5.1.20. Perfil de ^{226}Ra i PCB-28 en el testimoni VC4.....	127
Figura 5.1.21. Nivells d' ^{238}U i ^{232}Th , ^{226}Ra , ^{210}Pb en excés, ^{60}Co i ^{137}Cs en les mostres seleccionades per l'estudi del tram del riu Ebre entre l'embassament de Flix i la desembocadura (Bq kg^{-1})	136
Figura 5.1.22. Distribució de la radioactivitat natural i artificial en els sediments del tram baix del riu Ebre	137
Figura 5.1.23. Concentracions de ^{137}Cs , ^{210}Pb en excés, ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{238}U i ^{60}Co en els sediments superficials mostrejats al llarg del riu Ebre des de l'embassament de Flix fins al delta de l'Ebre.....	139
Figura 5.2.1. Granulometria i tamany del gra, perfil de densitat i Eh, ^{210}Pb en excés i ^{137}Cs del testimoni SCA2.....	147
Figura 5.2.2. Granulometria i tamany del gra, perfil de densitat i Eh, ^{210}Pb en excés i ^{137}Cs del testimoni SCA5.....	148
Figura 5.2.3. Perfils de densitat, ^{210}Pb en excés i ^{137}Cs del testimoni SCA8.....	149
Figura 5.2.4. Granulometria i tamany del gra, perfils de densitat i Eh, ^{210}Pb en excés i ^{137}Cs del testimoni SCA1.....	150
Figura 5.2.5. Granulometria i tamany del gra, perfils de densitat i Eh, ^{210}Pb en excés i ^{137}Cs del testimoni SCA4. Els valors d'MDA pel perfil de ^{137}Cs són: $<4.2 \text{ Bq kg}^{-1}$ (4.5 cm); $<2.5 \text{ Bq kg}^{-1}$ (14.5 cm); $<4.4 \text{ Bq kg}^{-1}$ (36.5 cm).....	151
Figura 5.2.6. Model CF:CS al perfil de ^{210}Pb en excés del testimoni SCA2 als primers 25 cm ($r = 1.2 \pm 0.2 \text{ cm a}^{-1}$).....	154
Figura 5.2.7. Model CF:CS al perfil de ^{210}Pb en excés del testimoni SCA5 en els primers 25 cm ($r = 1.4 \pm 0.3 \text{ cm a}^{-1}$).....	154
Figura 5.2.8. Model CF:CS al perfil del testimoni SCA1 aplicat en els quatre punts entre el 10-25 cm, $r = 1.2 \pm 0.2 \text{ cm a}^{-1}$	154
Figura 5.2.9. Resum de les taxes de sedimentació a diferents parts de l'embassament de Camarasa ...	155
Figura 5.2.10. Variació de la concentració de ^{210}Pb en excés durant el període de mostreig de la trampa sedimentària.....	163
Figura 5.2.11. Relació entre el flux de massa i el flux de ^{210}Pb en excés de la trampa de sediment, i relació del flux de ^{210}Pb en excés i la cota hídrica	165
Figura 5.3.1. Perfil de ^{137}Cs del sòl SOLE1 ajustat a la funció del pic en superfície (5.2)	170

Figura 5.3.2. Perfil de ^{137}Cs del sòl SOSO1 ajustat a la funció exponencial (5.1).....	170
Figura 5.3.3. Perfils de ^{210}Pb en excés, ^{210}Pb de base i de ^{137}Cs en diferents sòls obtinguts al llarg de la conca de la Noguera Pallaresa	171
Figura 5.3.4. Correlació entre l'inventari de ^{137}Cs dels sòls i la precipitació.	175
Figura 5.3.5. Fluxos de ^{210}Pb en excés dels sòls en funció de la precipitació.....	175
Figura 5.3.6. Mapa pluviomètric de la conca de la Noguera Pallaresa i Noguera Ribagorçana on s'indiquen els punts de mostreig dels sòls	177
Figura 5.4.1. Concentracions de ^{210}Pb en excés, ^{137}Cs , ^{226}Ra i ^{40}K en els sediment superficials (0.5 cm) de 73 llacs pirinencs.	182
Figura 5.4.2. Relació entre el ^{210}Pb en excés i el ^{137}Cs en el grup de 73 llacs analitzats per espectrometria alfa i gamma.	185
Figura 5.4.3. Distribució de la concentració de Zn i Cd en els sediments superficials de 73 llacs pirinencs	189
Figura 5.4.4. Representació de la correlació TOC(%) versus ^{210}Pb en excés en els llacs pirinencs.....	190
Figura 5.4.5. Concentracions d'hexaclorobenzè i d' α -hexaclorociclohexà (α -HCH) en els sediments dels llacs pirinencs. Dalt: valors directes. Baix: normalitzats pel ^{210}Pb excés	191
Figura 5.4.6. Concentracions de γ -hexaclorociclohexà (γ -HCH) i 4,4'-DDE en els sediments dels llacs pirinencs. Dalt: valors directes. Baix: normalitzats pel ^{210}Pb excés	192
Figura 6.1. Nivells de radioactivitat de la fosforita i rangs d'activitat dels fangs de l'embassament de Flix generats durant el procés de producció del fosfat bicàlcic.....	199
Figura 7.1. Concentracions de ^{226}Ra dissolt i matèria en suspensió en les aigües del riu Ebre (període juliol 2003)	212
Figura 7.2. Ampliació de la figura 7.1 on es detalla la concentració de ^{226}Ra dissolt i matèria en suspensió en les aigües del riu Ebre a partir de l'estació d'Ascó fins a la desembocadura del riu (període juliol 2003).	212
Figura 7.3. Localització dels diferents punts de mostreig del radó en exteriors a la vila de Flix.	215
Figura 7.4. Vies d'exposició de l'home com a conseqüència dels abocaments de residus NORM	219

TAULES

Taula 2.1. Variacions històriques del cabal del riu Ebre en el seu pas per Flix	12
Taula 2.2. Pluviometria mitjana anual mesurada en diverses estacions pluviomètriques situades a la conca de la Noguera Pallaresa	15
Taula 2.3. Estatges de vegetació de Catalunya (Folch, 1981).....	20
Taula 2.4. Característiques generals dels embassaments de Camarasa, Terradets i Talarn	25
Taula 2.5. Característiques dels equips de la central hidroelèctrica	26
Taula 2.6. Característiques generals de l'embassament de Flix	30
Taula 2.7. Característiques dels equips de la central hidroelèctrica de Flix	30
Taula 2.8. Evolució històrica de la producció química de la l'electroquímica de Flix (Centenario de la fàbrica, 1997).	34
Taula 2.9. Concentració dels metalls pesants en diferents dipòsits sedimentaris de roca fosfòrica (Kongshaug et al. 2002)	38
Taula 2.10. Activitat ($Bq\ kg^{-1}$) de la roca fosfòrica segons la seva procedència	38
Taula 2.11. Distribució de la radioactivitat entre la roca fosfòrica, el producte i els residus fosfòrics ...	38
Taula 4.1. Localització dels testimonis de sediment de l'embassament de Camarasa i trampa sedimentària	66
Taula 4.2. Testimonis recollits a l'embassament de Flix	69
Taula 4.3. Localització de les 11 dragues mostrejades en el tram baix del riu Ebre des de Miravet fins a la desembocadura al delta de l'Ebre	72
Taula 4.4. Localització de les mostres d'aigua obtingudes en el tram Català del riu Ebre	73
Taula 4.5. Localització de les mostres d'aire obtingudes a la població de Flix per tal de determinar la concentració de gas radó en exteriors	74
Taula 4.6. Localització i característiques dels sòls mostrejats en aquest estudi	77
Taula 4.7. Mitjanes ($n=4$) i rang dels fons dels detectors ORTEC per a mesures de ^{210}Po	85
Taula 4.8. Taxa de comptatge de ^{210}Po en alguns dels blancs representatiu obtinguts al llarg d'aquest estudi	85
Taula 4.9. Radioelements mesurats amb el GM1, les seves línies d'emissió i l'interval dels valors mínims detectable	87
Taula 4.10. Radioelements estudiats, les seves línies d'emissió i l'interval dels valors mínims detectables per als testimonis sedimentaris	87
Taula 4.11. Intercomparació del Consejo de Seguridad Nuclear CSN-CIEMAT 2000 i CSN-CIEMAT 2002.	88
Taula 5.1.1. Rang d'activitats dels radionúclids presents en els 5 testimonis mostrejats en els deltes de descarrega de l'embassament de Flix	115
Taula 5.1.2. Factors d'enriquiment pel ^{210}Pb , ^{226}Ra i ^{238}U en el tram contaminat dels testimonis de Flix	116
Taula 5.1.3. Inventaris dels radionúclids naturals acumulats en els residus submergits de l'embassament de Flix	116
Taula 5.1.4. Revisió bibliogràfica de les concentracions de les activitats de la matèria prima (fosforita), productes fosfòrics (fertilitzants (simple superfosfat), fosfat bicàlcic per als animals), productes intermitjos de producció (precipitats de $CaCl$) i residus de producció de la indústria del fòsfor (fosfat de guix derivat de la indústria de l'àcid fosfòric i residus de la producció del fosfat bicàlcic).	117
Taula 5.1.5. Concentracions de DDT i PCB-180, PCB-28 en el testimoni VCI	127
Taula 5.1.6. Límits de concentració i quantitat establerts per la directiva 96/29/Euratom	128
Taula 5.1.7. Activitats mesurades en les dragues sedimentàries del tram català del riu Ebre	135
Taula 5.1.8. Concentracions dels radionúclids naturals i artificials en sediments superficials en el tram català de l'Ebre (període 1989-1993) reportades per Pujol (1996) i Pujol i Sanchez-Cabeza (2000)	135
Taula 5.2.1. Potencials de reducció a la capa superficial dels testimonis sedimentaris	144
Taula 5.2.2. Datacions i ritmes de sedimentació aplicant el model CIC	153
Taula 5.2.3. Ritmes de sedimentació a partir dels perfils de concentració de ^{137}Cs	154
Taula 5.2.4. Ritmes de sedimentació aplicant el model CF:CS	155
Taula 5.2.5. Ritmes de sedimentació calculats en diferents embassaments	155
Taula 5.2.6. Punta de cabal (cresta) i cabal relatiu de diferents estacions de les conques afectades per l'avinguda del 6 al 8 de novembre del 1982	156

Taula 5.2.7. Previsió del reompliment de l'embassament sense considerar l'efecte puntual de les avingudes	158
Taula 5.2.8. Estimació del volum de l'embassament proposada pel Departament d'Estratigrafia, Paleontologia i Geociències Marines de la UB	159
Taula 5.2.9. Inventaris de ^{210}Pb en excés i ^{137}Cs i fluxos anuals ^{210}Pb en excés estimats en els darrers 15 anys	160
Taula 5.2.10. Activitat de ^{210}Pb , flux de massa i flux de ^{210}Pb en excés en les mostres de la trampa sedimentària	162
Taula 5.2.11. Flux de massa estimat als testimonis sedimentaris mitjançant el ^{137}Cs i el flux de massa calculat a través de la trampa de sediment.	163
Taula 5.2.12. Inventaris de ^{210}Pb en excés i fluxos anuals de ^{210}Pb en excés estimats en els darrers 15 anys	163
Taula 5.3.1. Inventaris de ^{210}Pb en excés i ^{137}Cs , flux atmosfèric i estimació de la concentració de ^{210}Pb en aigua de pluja a partir de les mostres de sòls obtinguts a la conca de la Noguera Pallaresa ..	173
Taula 5.3.2. Revisió dels valors de flux de ^{210}Pb en excés mesurats a partir de sòls	174
Taula 5.3.3. Inventaris de ^{210}Pb en excés en els darrers 15 anys dels testimonis sedimentaris de l'embassament de Camarasa	177
Taula 5.3.4. Factors de focalització a l'embassament de Camarasa	177
Taula 5.4.1. Concentracions de Zn i Cd dels llacs de la Vall d'Aran normalitzades per ^{210}Pb en excés ..	190
Taula 7.1. Activitats de ^{226}Ra dissolt i mesures de la matèria en suspensió de les aigües del riu Ebre des de l'embassament de Flix fins a la desembocadura del riu Ebre obtingudes durant l'estiu de 2003	210
Taula 7.2. Activitats de radi dissolt (^{226}Ra) mesurades en diversos rius i estuaris	213
Taula 7.3. Resultats de les concentracions de ^{222}Rn (Bq m^{-3}) a diferents parts de la vila de Flix	215
Taula 7.4. Factors de conversió per ingestió per als membres del públic (Sv Bq^{-1}) (IAEA, Safety series No. 115, 1996).	218
Taula 7.5. Estimació de la dosi rebuda pel consum d'aigua potable del riu Ebre	220
Taula 9.1. Concentració dels radionúclids al llarg del testimoni VC1 (Bq kg^{-1})	247
Taula 9.2. Concentració dels radionúclids al llarg del testimoni VC2 (Bq kg^{-1})	248
Taula 9.3. Concentració dels radionúclids al llarg del testimoni VC3 (Bq kg^{-1})	248
Taula 9.4. Concentració dels radionúclids al llarg del testimoni VC4 (Bq kg^{-1})	249
Taula 9.5. Concentració dels radionúclids al llarg del testimoni VC5 (Bq kg^{-1})	250
Taula 9.6a. Distribució de la concentració de ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{238}U i ^{232}Th en el testimoni OEB1700 mostrejat en el delta de l'Ebre (Bq kg^{-1})	250
Taula 9.6b. Distribució de la concentració de ^{137}Cs , ^{226}Ra , ^{238}U i ^{232}Th en el testimoni OEB1800 mostrejat en el delta de l'Ebre (Bq kg^{-1})	250
Taula 9.7. Resultats de la distribució dels radioelements en concentració al llarg del perfil de 0-23 cm del sòl SOLE1	251
Taula 9.8. Resultats de la distribució dels radioelements en concentració al llarg del perfil de 0-33 cm del sòl SOBA-1	251
Taula 9.9. Resultats de la distribució del ^{226}Ra en concentració al llarg del perfil de 0-33 cm del sòl SOCA1	251
Taula 9.10. Resultats de la distribució dels radioelements en concentració al llarg del perfil de 0-25 cm del sòl SOAG1	252
Taula 9.11. Resultats de la distribució dels radioelements en concentració al llarg del perfil de 0-39 cm del sòl SOPO1	252
Taula 9.12. Resultats de la distribució dels radioelements en concentració al llarg del perfil de 0-33 cm del sòl SOSO2	253
Taula 9.13. Resultats de la distribució dels radioelements en concentració al llarg del perfil de 0-33 cm del sòl SOCRAMI	253
Taula 9.14. Localització dels llacs d'alta muntanya dels Pirineus	254
Taula 9.15. Activitats dels radionúclids presents en els primers 0.5 cm superficials dels llacs del Pirineu (Bq kg^{-1})	256
Taula 9.16. Concentracions de Zn i Cd normalitzats per ^{210}Pb en excés	258
Taula 9.17. Concentracions d'organoclorats presents en els llacs d'alta muntanya normalitzats per ^{210}Pb excés	260

1. INTRODUCCIÓ I OBJECTIUS

Els elements radioactius naturals i artificials s'han convertit en una eina cada vegada més important en l'estudi dels processos ambientals com ara els estudis d'erosió, episodis contaminants, reconstrucció paleoclimàtica, estudis biogeoquímics i en molts casos aporten informació important per a comprendre i predir el comportament d'un ecosistema.

Els elements radioactius presents en el medi poden ser artificials o naturals. Els radionúclids naturals es poden classificar en primordials i cosmogènics:

1. Els radionúclids primordials són els que es troben a la Terra des de la seva formació i que, gràcies als seus elevats períodes de semidesintegració ($>10^8$ a), encara els trobem a l'actualitat. D'aquests radioelements uns es desintegren de forma directa formant un element estable, com ara el ^{40}K o el ^{87}Rb , i d'altres formen part de cadenes radioactives naturals, on a partir d'un element progenitor es produeixen successives desintegracions radioactives. Com a resultat de les tres cadenes existents a l'actualitat es formen isòtops radioactius fins arribar a un isòtop estable de Pb. Les dues sèries radioactives naturals al medi que més contribueixen en concepte de radioactivitat natural són la sèrie de l'urani (^{238}U) i la del tori (^{232}Th), i en menor mesura la sèrie de l'actini (^{235}U). Existia una quarta sèrie radioactiva, la del ^{237}Np , però que es desintegrà completament, de manera que avui només es troba en petites quantitats en certes instal·lacions nuclears.
2. La radioactivitat d'origen cosmogènic és la que es produeix majoritàriament en les parts altes de l'atmosfera a través de la interacció dels components atmosfèrics i la radiació d'alta energia provenint de l'espai exterior. La radiació, formada per protons i en un 10% d'ions d' ^4He (UNSCEAR, 2000), interacciona amb la matèria i desencadena reaccions nuclears que formen els radioelements cosmogènics com ara el ^3H , ^7Be , ^{14}C , ^{22}Na i el ^{32}Si .

La radioactivitat artificial procedeix de l'activitat de l'home i es produeix en les proves d'armament nuclear, atmosfèriques i terrestres, i en el cicle del combustible nuclear (^{90}Sr , ^{137}Cs , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am , etc.).

Els radiotracadors ambientals ens permeten estudiar i traçar les unitats d'un ecosistema de manera integrada: la deposició atmosfèrica, la bioacumulació en organismes vius, la distribució a la columna d'aigua, la distribució dels fluxos de partícules i finalment la integració del senyal en l'arxiu sedimentari o en els sòls. Per a què un radionúclid es pugui utilitzar com a traçador ambiental s'ha de poder identificar i conèixer el terme font, com per exemple la producció de ^{210}Pb a partir de l'exhalació de ^{222}Rn de l'escorça terrestre. L'altre condició és que el traçador presenti un període de desintegració comparable amb el temps característic del procés que volem estudiar. Un exemple és l'ús del ^7Be , radioelement amb un període de desintegració curt (53.29 d) i que s'utilitza per a traçar fenòmens sedimentaris ràpids.

Les àrees d'estudi en les que s'ha dut a terme el present treball de tesi són 3: l'embassament de Flix i el tram baix del riu Ebre, l'embassament de Camarasa i la seva conca hidrogràfica i finalment un grup de llacs repartits per tot el Pirineu.

L'embassament de Flix és l'última gran infraestructura hidràulica del riu Ebre, situada a 95 km de la seva desembocadura. Aquest embassament desperta interès científic ja que s'ha convertit en un sistema sedimentari receptor de contaminació (residus *Naturally Occurring Radioactive*

Materials (NORM), compostos organoclorats, metalls pesants) procedent de l'*Electroquímica de Flix* instal·lada a la seva riba dreta des de principi de segle. De la mateixa manera, per tal d'avaluar si hi ha senyals de mobilització de contaminants aigües avall de la presa també s'ha estudiat el tram baix del riu Ebre, un dels darrers ambients fluvials europeus amb un ecosistema autòcton.

La següent àrea d'estudi és l'embassament de Camarasa. Després d'un primer estudi sedimentari mitjançant els traçadors de ^{210}Pb en excés i de ^{137}Cs en 3 embassaments de la conca de la Noguera Pallaresa (Camarasa, Cellers i Sant Antoni) es decidí centrar el treball a l'embassament de Camarasa. La seva situació, al final del sistema de la Noguera Pallaresa, i la seva morfologia irregular i sinuosa el converteixen en un embassament interessant per a l'estudi de la dinàmica sedimentària i de reompliment al llarg del temps.

Finalment, els llacs d'alta muntanya són uns sistemes aquàtics remots que es caracteritzen per tenir uns ritmes de sedimentació molt baixos. Aquests sistemes sedimentaris s'han convertit en un registre de contaminació atmosfèrica regional i remota que els fan interessants de cara a estudis ambientals.

Els objectius d'aquest treball de tesi són:

1. Estudiar l'impacte dels residus NORM generats per l'*Electroquímica de Flix* que es troben presents en el llit del riu Ebre. Avaluar l'impacte d'aquests residus al llarg dels 95 km aigües avall de riu, des de l'embassament de Flix fins a la seva desembocadura.
2. Aplicar els radiotraçadors ^{210}Pb (de la cadena de l'urani) i el ^{137}Cs (d'origen artificial) per a datar els sediments de l'embassament de Camarasa i establir els seus ritmes de sedimentació, a partir dels quals es pot fer un previsió del seu reompliment sedimentari i calcular el seu període de vida útil com a embassament hidroelèctric.
3. El coneixement del flux de ^{210}Pb en cada zona de la conca esdevé una eina de gran utilitat per a estudiar el fenomen de *focusing* en els embassaments i per a elaborar futurs estudis d'erosió. L'objectiu és elaborar un estudi detallat dels fluxos i inventaris de ^{210}Pb en excés i ^{137}Cs a partir del mostreig de sòls en diferents punts de la conca de la Noguera Pallaresa amb la finalitat d'establir la correlació dels fluxos de ^{210}Pb amb la precipitació.
4. Avaluar la possible aplicació del ^{210}Pb en excés com a normalitzador dels diferents contaminants metàl·lics i compostos orgànics que es registren en llacs remots i poder així, comparar els diferents llacs entre ells i detectar les fonts de contaminació.

La nostra recerca s'emmarca dins de dos projectes:

El projecte "Estudi de la dinàmica dels compostos organoclorats persistents en els sistemes aquàtics continentals" té per objectiu estudiar de manera global els compostos organoclorats, metalls pesants i radionúclids naturals i artificial en els sediments dels principals rius i llacs de Catalunya i zones especialment contaminades. El projecte dedica una atenció especial a la zona de l'embassament de Flix i tram baix del riu Ebre per la seva activitat industrial i les possibles conseqüències ambientals que pot tenir sobre el medi. Aquest projecte s'ha realitzat conjuntament amb el grup de recerca del Departament de Química Ambiental del Centre d'Investigació i Desenvolupament (CID-CSIC), dirigit pel Dr. Joan Grimalt, que s'ha encarregat de les anàlisis dels compostos organoclorats; el grup d'investigació del

Departament de Geologia Marina i Oceanografia Física de l'Institut de Ciències del Mar (ICM-CSIC) de Barcelona, dirigit pel Dr. Albert Palanques, encarregat d'elaborar les anàlisis dels metalls pesants, i el grup d'Ecologia del Centre d'Estudis Avançats de Blanes sota la direcció del Dr. Jordi Catalán, que s'ha centrat en l'estudi dels pigments sedimentaris dels fangs de Flix i metalls dels llacs pirinencs.

L'altre projecte és el que s'anomena MORE "Modelización del relleno de embalses" (CICYT, 2FD97-1133), que s'ha realitzat conjuntament amb el Departament d'Estratigrafia, Paleontologia i Geociències Marines de la Universitat de Barcelona (UB), i que té per objectiu modelitzar els processos de reompliment sedimentari en el sistema d'embassaments format pel pantà de Sant Antoni, Terradets i Camarasa a partir d'un estudi de la granulometria del material sedimentari, sísmica de reflexió, magnetisme, carbó orgànic del sediment, descripció de la columna d'aigua (temperatura, conductivitat, velocitat dels corrents etc.) i un estudi de la distribució dels radionúclids naturals (^{210}Pb , ^7Be) i artificials (^{90}Sr , ^{240}Pu , ^{137}Cs) a la columna d'aigua, als sediments (datació de sediments) i en sòls de la conca de la Noguera Pallaresa.

La tesi doctoral s'estructura en dues parts. La primera part és de caràcter descriptiu. Així, en el capítol 2 es defineixen les àrees d'estudi. En aquest mateix capítol es fa una revisió històrica de les preses a Catalunya i del seu paper en la electrificació i industrialització del país. En el cas de l'embassament de Flix també es detallen els diferents processos industrials que tenen lloc al complex electroquímic (producció de clor, compostos organoclorats i fosfat bicàlcic) i quines són les possibles conseqüències ambientals dels residus que s'aboquen al riu Ebre. En el següent capítol es defineixen els conceptes de la radioactivitat natural i artificial i es descriuen els principals radiotracadors ambientals, les seves aplicacions i el seu comportament en els sistemes aquàtics (continental i marí). S'entra en detall en la descripció del ^{210}Pb i els seus models de datació i el ^{137}Cs , ja que ambdós radioatracadors s'utilitzen en la datació dels sediments de l'embassament de Flix, Camarasa i llacs Pirinencs. Finalment en el capítol 4 es presenten els diferents sistemes de mostreig i la metodologia de treball emprada al camp i al laboratori.

La segona part de la memòria està formada pels capítols 5, 6 i 7. El capítol 5 està dedicat als resultats i discussió i s'estructura en 4 subapartats: en el primer (Part I) es presenten els resultats de l'embassament de Flix i del tram baix del riu Ebre. En concret, s'interpreten els perfils de ^{210}Pb , ^{226}Ra , ^{238}U , ^{232}Th i ^{40}K i ^{137}Cs i s'elabora una cronologia de la contaminació al pantà de Flix. Simultàniament es descriuen els altres contaminants associats als residus de producció de la planta de fosfat bicàlcic de Flix i s'estableixen les correlacions d'aquests contaminants amb els residus NORM. En aquest mateix capítol es presenten de manera general les propostes de remeiació per solucionar o minimitzar la problemàtica medi ambiental que sofreix l'embassament. Aquests resultats es completen amb l'estudi de la distribució de la radioactivitat natural en els sediments superficials de tot el tram català del riu Ebre aigües avall de Flix fins al delta de l'Ebre.

El segon apartat (Part II) està dedicat a l'embassament de Camarasa. S'interpreten els perfils de ^{210}Pb en excés i ^{137}Cs , s'elaboren les respectives datacions a través dels models de ^{210}Pb (CIC i CFCS) i el ^{137}Cs , es calculen els ritmes de sedimentació i els fluxos de ^{210}Pb en excés i fluxos de massa. La Part III recull els resultats de l'estudi del flux atmosfèric de ^{210}Pb en excés mesurat en diferents sòls de la conca de la Noguera Pallaresa i es descriu la seva aplicació en el càlcul dels factors de focalització en les diferents parts de l'embassament de Camarasa.

Finalment, la Part IV del capítol de resultats engloba els valors de les concentracions de ^{210}Pb en excés i de ^{137}Cs dels sediments superficials dels llacs d'alta muntanya del Pirineu. En aquest apartat també s'estudia l'aplicació del ^{210}Pb en excés per a normalitzar les concentracions de Zn i Cd en els llacs de la Vall d'Aran i les concentracions d'alguns compostos orgànics (hexaclorobenzè (HCB), hexaclorociclohexà (HCH) i DDE) dels 70 llacs estudiats.

En el capítol 6 s'elabora una síntesis dels resultats i es presenten les principals conclusions del treball de tesi.

Ja per acabar, el capítol 7 està dedicat als estudis prospectius que s'han dut a terme al llarg d'aquesta recerca: estudi de la concentració de radi (^{226}Ra) en les aigües de l'Ebre, l'estimació dels nivells de gas radó en els exteriors de la vila de Flix, l'estimació aproximada de la dosi rebuda per la població riberenca a través del consum d'aigua del riu Ebre, i una primera aproximació als nivells de radioactivitat presents en l'arròs del delta. Finalment es recullen les perspectives de recerca que s'obren a partir d'aquest treball.

2. DESCRIPCIÓ DE L'ÀREA D'ESTUDI

2.1	Les conques de la xarxa hidrogràfica catalana.....	9
2.2	El clima i pluviometria de la conca de l'Ebre i de la Noguera Pallaresa	13
2.3	Els embassaments i els seus subambients sedimentaris	14
2.4	L'estat ecològic dels embassaments	15
2.5	Geologia.....	16
2.6	Vegetació i usos del sòl	18
2.7	Llacs del Pirineu (marc geogràfic, clima, geologia i vegetació).....	18
2.8	La indústria associada a les preses de Camarasa i Flix	20
2.8.1.	Breu revisió històrica de les preses i producció elèctrica a Catalunya: <i>Barcelona Traction</i>	20
2.8.2.	Construcció i característiques tècniques de les preses.....	22
2.8.2.1.	Embassament de Camarasa.....	22
2.8.2.2.	Embassament de Flix.....	26
2.8.3	La <i>Sociedad Electroquímica de Flix (SEQF)</i>	28
2.8.3.1.	Etapas industrials.....	31
2.8.3.2.	Processos industrials: l'electròlisi.....	32
2.8.3.3.	Processos industrials: la producció del fosfat bicàlcic (DCP).....	34
2.8.3.4.	Impacte ambiental de l' <i>Electroquímica de Flix S.A.</i>	38

El present treball de tesi s'emmarca en 3 àrees d'estudi: l'embassament de Camarasa, l'embassament de Flix i tram baix del riu Ebre i finalment un grup de llacs d'alta muntanya distribuïts al llarg del Pirineu Aragonès i Català. En aquest capítol ens centrarem en la descripció d'aquests ambients lacustres així com, descriurem la indústria que es troba associada als embassaments de Camarasa i Flix.

2.1 Les conques de la xarxa hidrogràfica catalana

La xarxa hidrogràfica catalana està formada per tres conques:

- La conca del Pirineu oriental i sistema Mediterrani. Els rius d'aquesta conca vessen les seves aigües a la mar Mediterrània, amb cabals de l'ordre de $500 \text{ hm}^3 \text{ a}^{-1}$, com és el cas del Riu Llobregat i del Riu Ter, o d'entre $100 - 200 \text{ hm}^3 \text{ a}^{-1}$ del Riu Muga, el Besòs, la Tordera i el Riu Fluvià, i de fins a cabals de l'ordre dels $50 \text{ hm}^3 \text{ a}^{-1}$ de mitjana del Riu Foix i Francolí.
- La conca del Riu Garona, que té la seva capçalera a la Vall d'Aran, s'estén en la direcció nord-oest cap a l'Oceà Atlàntic, amb un cabal de $570 \text{ hm}^3 \text{ a}^{-1}$
- La conca del Riu Ebre i Pirineu occidental es troba a la vessant nord-oriental de la Península Ibèrica. El riu Ebre neix a les muntanyes de Pico Tres Mares (Cantàbria) a uns 2250 m d'altitud, fruit de l'acumulació de les aigües de pluja i desgel que posteriorment acaben aflorant més avall, a Fontibre, prop de Reinosa. Té una longitud total aproximada de 910.5 km i més de 200 afluents, amb una superfície de conca hidrogràfica de 85362 km² (Fig 2.1). Les seves aigües transcorren per les comunitats autònomes de Cantàbria, Castella Lleó, el País Basc, la Rioja, Navarra, Aragó i Catalunya, circulant a través de la vall que porta el seu mateix nom, amb un predomini del clima interior-àrid. Gràcies a l'aport de les aigües dels seus afluents, principalment procedents dels Pirineus (p.e: Rius Aragón, Gállego, Cinca i el Segre), l'Ebre esdevé un dels rius més calabossos d'Espanya, amb un cabal mitjà de $13.400 \text{ hm}^3 \text{ a}^{-1}$ en el seu pas per Tortosa (Fig 2.1, 2.2, 2.5) (Confederación Hidrogràfica del Ebro (CHE), 1998; Ibáñez *et al.*, 1999a).

Embassament de Camarasa

L'embassament de Camarasa es troba a la conca de la Noguera Pallaresa (Fig 2.3), que forma part de la conca del riu Segre. El riu Segre té una longitud de 257 km i un cabal de $3000 \text{ hm}^3 \text{ a}^{-1}$, amb dos afluents principals: la Noguera Ribagorçana, de 130 km, i la Noguera Pallaresa, de 143 km, amb uns cabals de 800 i $1500 \text{ hm}^3 \text{ a}^{-1}$ respectivament. La conca del Segre té una extensió de 23000 km², dels quals 2821 km² constitueixen la conca de la Noguera Pallaresa (Fig. 2.1, 2.2). Dins d'aquesta conca, l'embassament de Camarasa (propietat de FECSA-ENHER del grup ENDESA) es troba formant part del sistema d'embassaments Talarn-Terradets-Camarasa (Fig 2.4) i drena directament una subconca de 304 km². Les seves dimensions són de 26 km de llarg per 1300 m d'amplada màxima, amb una superfície de 6.24 km². L'embassament es troba en la zona de l'Alta Noguera (comarca de la Noguera), en el contacte entre la depressió Central catalana i els Pre-Pirineus. Aquesta zona s'estén pel vessant meridional de la gran serra del Montsec (d'Ares i de Rúbies) que marca el límit administratiu entre la comarca del Pallars Jussà i la Noguera i per on s'obren pas el riu Noguera Ribagorçana a través de l'estret de Mont-rebei, al límit oest, i la Noguera Pallaresa pel pas de Terradets.

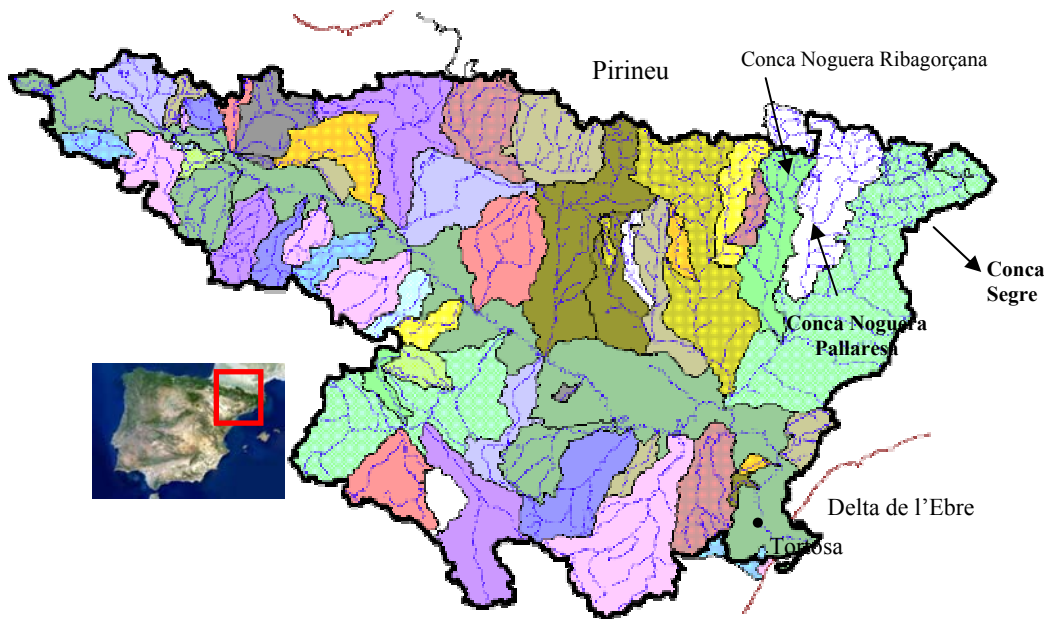


Figura 2.1. Croquis de la conca de l'Ebre i les seves subconques hidrogràfiques. Font: Confederación Hidrogràfica del Ebro (<http://www.chebro.es>).



Fig. 2.2. Subconques hidrogràfiques de Catalunya: 1. La Garona, 2. La Noguera Pallaresa, 3. La Noguera Ribagorçana, 4. El Segre (2-3-4 Conca del Segre) 5. Ebre, 6. Rieres meridionals, 7. La Sènia, 8. El Francolí, 9. El Gaià, 10. Riera de la Bisbal, 11. El Foix, 12. Rieres del Garraf, 13. El Llobregat, 14. El Besòs, 15. Rieres del Maresme, 16. La Tordera, 17. El Ter, 18. Rieres Costa Brava, 19. El Fluvià, 20. La Muga.

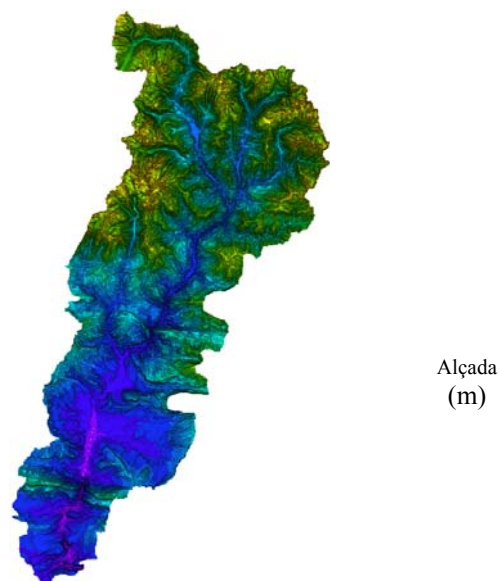


Fig. 2.3. Altimetria de la conca de la Noguera Pallaresa. Font: Dept. d'Estratigrafia, Paleontologia i Geociències Marines de la Universitat de Barcelona (UB).

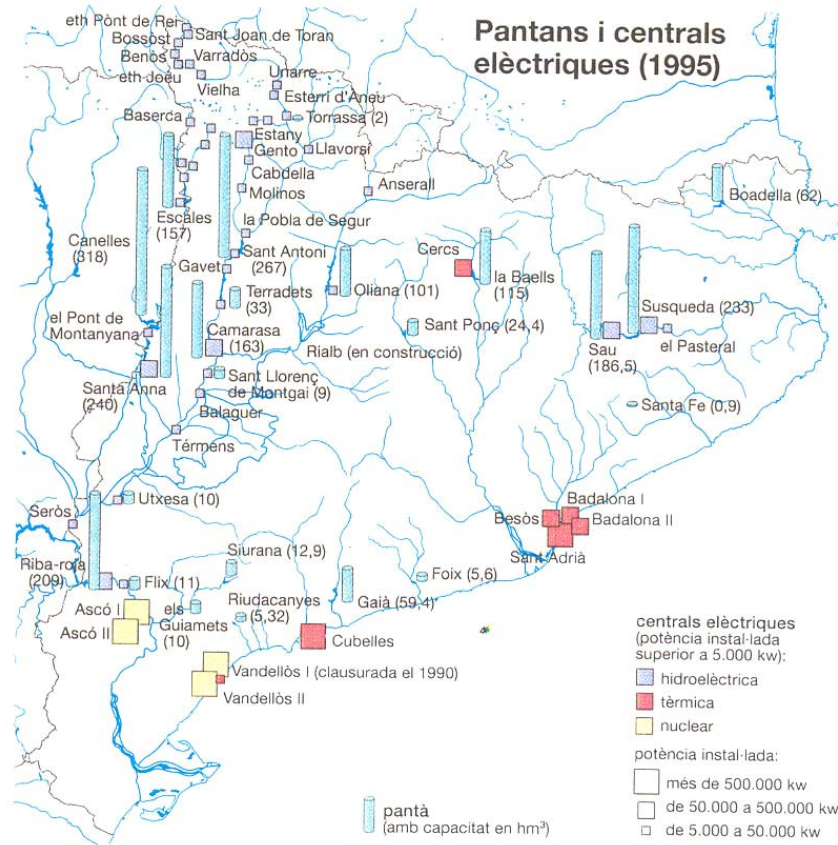


Figura 2.4. Situació, volum i potència instal·lada de les centrals elèctriques de Catalunya.
 Font: *Atles d'Història de Catalunya, Barcelona (1998).*

Embassament de Flix

L'embassament de Flix forma part del sistema d'embassaments Mequinensa-Riba-roja-Flix (Fig 2.4) situat en el tram baix del riu Ebre, a la comarca de la Ribera d'Ebre. Seguint el curs del riu, i un cop superat l'embassament de Mequinensa, trobem immediatament l'embassament de Riba-roja, inundat per les aigües del riu Ebre, les aigües d'aiguabarreig Cinca-Segre i les aigües del riu Matarranya. Finalment trobem l'embassament de Flix que esdevé la darrera gran estructura hidràulica que presenta el riu Ebre abans de la seva desembocadura al Delta de l'Ebre. L'embassament és propietat de FECSA-ENHER (grup ENDESA) i les seves funcions principals són la producció elèctrica, principalment per a l'activitat industrial de la zona, i la regulació del subministrament d'aigua per a la central nuclear d'Ascó. L'àrea d'estudi s'estén des de l'embassament de Flix, de 12 km de llarg, una superfície de 3.2 km² i un volum total de 11.4 hm³, fins a la desembocadura de l'Ebre, en el Delta de l'Ebre.

La conca del riu Ebre és molt complexa, amb uns cabals que presenten una variació estacional molt acusada i fortament vinculats a les característiques de cada tram del perfil fluvial. El cabal mitjà anual del riu Ebre en el seu naixement, Fontibre, és d'11 m³s⁻¹. En el seu pas per Miranda de Ebro esdevé de 81 m³ s⁻¹ i de 264 m³ s⁻¹ a la ciutat de Saragossa. A la zona de Flix el cabal del riu pren uns valors de l'ordre de 100 m³ s⁻¹ durant els mesos d'estiu i de

Taula 2.1. Variacions històriques del cabal del riu Ebre en el seu pas per Flix. (Font: Fons històric FECSA-ENHER (del grup ENDESA))

Anys	Cabal mitjà anual (m ³ s ⁻¹) a Flix
1929	291
1930	441
1934	306
1949	145
1952	364

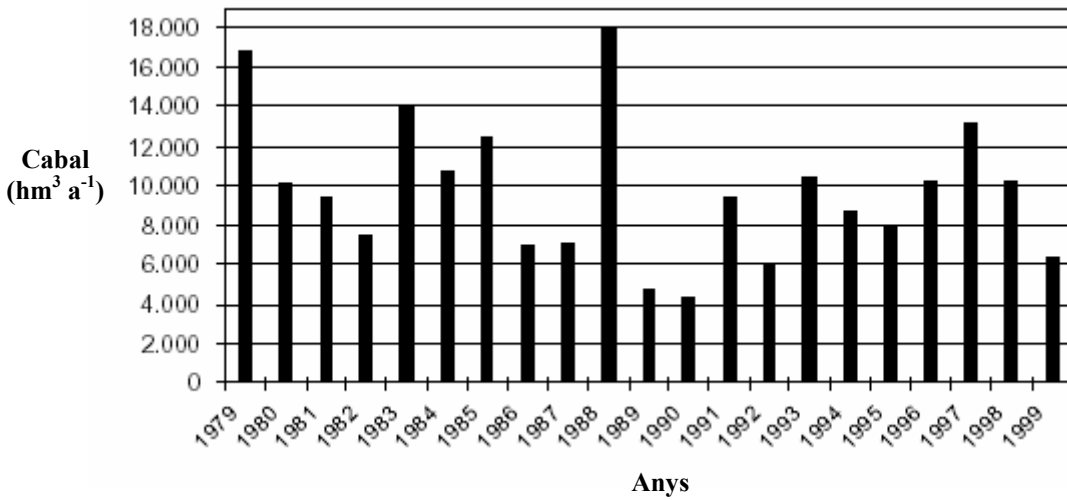


Fig. 2.5. Cabals anuals del riu Ebre (en hm³a⁻¹) al seu pas per Tortosa durant el període 1979/99. (Figura adaptada de Prat et al., 2002.).

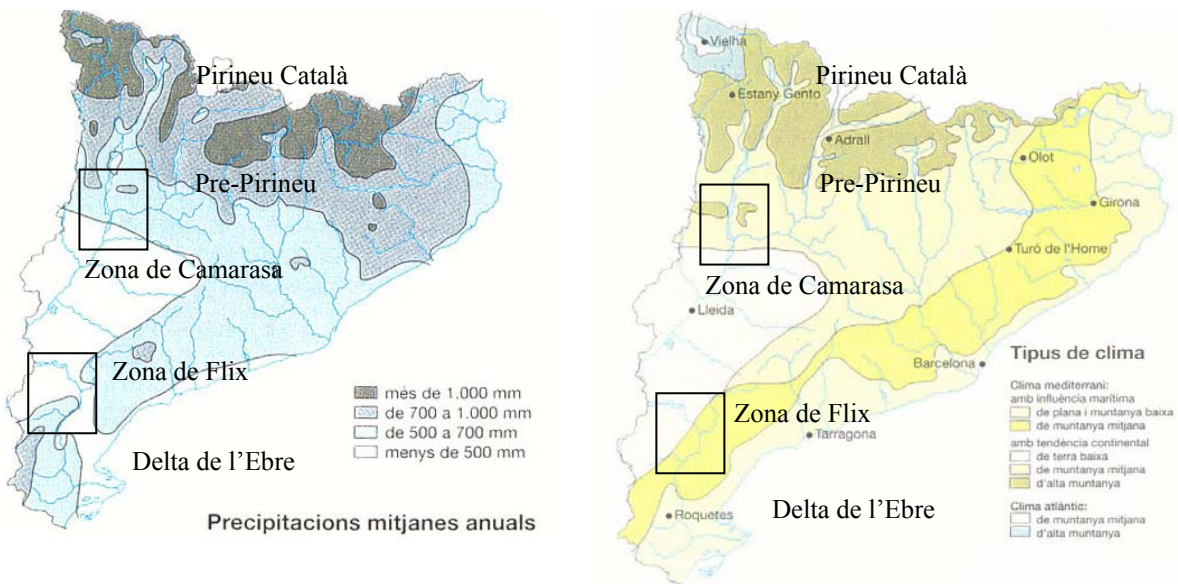


Figura 2.6. Pluviometria i àrees climàtiques de Catalunya. Els requadres indiquen l'àrea climàtica de les nostres zones d'estudi. Font: Atlas de la Història de Catalunya. Barcelona (1998).

500 –700 m³ s⁻¹ durant els mesos de pluja (Sánchez-Vilanova, 2001). Finalment a Tortosa el riu porta un cabal mitjà anual de 424 m³ s⁻¹ (Ibàñez *et al.*, 1999b). En la taula 2.1 es detalla la variació dels cabals mitjans anuals en el tram del riu Ebre en el seu pas per la vila de Flix des de l'any 1929 fins al 1952. En la figura 2.5 s'aprecia la variació anual del cabal al seu pas per Tortosa (hm³ a⁻¹).

Històricament el riu Ebre s'ha caracteritzat per les seves riuades que han alterat la vida i les activitats en les seves ribes. La primera inundació de l'Ebre de la qual es té constància històrica és la del 10 de novembre del 1448. La segueixen les avingudes dels anys 1582, 1605 i 1617. Durant els anys 1700 al 1787 es registraren 7 avingudes, com ara la del 9 d'octubre del 1787 (Jover-Flix, 1973; Barriendos, 2000). Destacar també les crescudes del 7 de gener del 1826 i la del 9 de setembre del 1845. Tanmateix, s'ha de tenir en compte que la dinàmica fluvial del riu en els segles passats sense la presència de preses era diferent a la dinàmica actual. Avui dia les preses laminen les riuades i minimitzen les situacions catastròfiques. Tot i això, encara es poden donar simultàniament una sèrie de factors que fan que l'Ebre torni a mostrar la seva força hídrica. Així doncs, no hem d'oblidar les avingudes del 4 de gener del 1961, la del 1980, o la inundació de la primera setmana de novembre del 1982, que va afectar a alguns afluents de l'Ebre (Riu Segre, Noguera Ribagorçana, Noguera Pallaresa) (Batlle *et al.*, 2000). A l'octubre del 2000 es produí una altra crescuda històrica, i finalment, la darrera gran riuada tingué lloc el febrer del 2003 (Llasat *et al.*, 2004).

Comportament hidrodinàmic del tram baix del riu Ebre i estuari del delta de l'Ebre

L'Ebre desemboca en un mar semitancat (Mar Mediterrani), on l'efecte de les mareas és molt poc important (Ibàñez *et al.*, 2000). És per aquest motiu que aquesta tipologia de rius desemboquen creant una morfologia deltaica molt característica en forma de llengua sedimentària que penetra cap a l'interior del mar. Segons Ibàñez (1993), el riu esdevé el factor que controla la dinàmica de l'estuari, establint un equilibri entre l'aigua dolça i la salada en forma de falca salina o estratificació, amb una capa d'aigua dolça a la part superior i una làmina d'aigua salada (o intrusió marina) més densa, a la part inferior. Ibàñez i col·laboradors (1999) demostren que les dues variables més importants que controlen l'avanç i el retrocés de la falca són el cabal del riu, que es inversament proporcional al gruix i a la longitud de la falca, i les irregularitats del fons fluvial (Figura 2.7). La distribució de la variable profunditat al llarg de l'estuari provocarà que la falca es mobilitzi amb facilitat en els trams més profunds, o per contra, que romangui més temps en les regions fluvial poc profundes per un efecte d'aïllament físic.

Ibàñez i col·laboradors (1999) descriuen 3 possibles posicions de la falca salina en el Riu Ebre. La falca salina comença a créixer (posició 1 de la figura 2.7) quan el riu transporta un cabal d'entre 300-400 m³ s⁻¹ (menor que la mitjana anual de descàrrega del riu de 424 m³ s⁻¹), ocupant 9.5 km de longitud des de la desembocadura. La següent posició de la falca (posició 2) és la més habitual (Ibàñez *et al.*, 1999) i té lloc quan el cabal del riu és inferior als 100-300 m³ s⁻¹, passant en pocs dies de la posició 1 a la 2, a l'altura de l'Illa de Gràcia, situada a 18 km aigües amunt de la desembocadura del riu. La falca roman immòbil en aquest punt, i només retrocedirà en direcció al mar si el riu torna a abocar un cabal de l'ordre dels 400 m³ s⁻¹. La darrera situació (posició 3) només té lloc quan l'estrès hídric es manté amb uns cabals fluvials inferiors als 100 m³ s⁻¹. Llavors es quan la falca continua progressant aigües amunt, assolint una longitud de 30-32 km des de la desembocadura, just per sobre de la vila d'Amposta, a les proximitats de la desembocadura del barranc de la Galera (Ibàñez 1993; Ibàñez *et al.*, 1997).

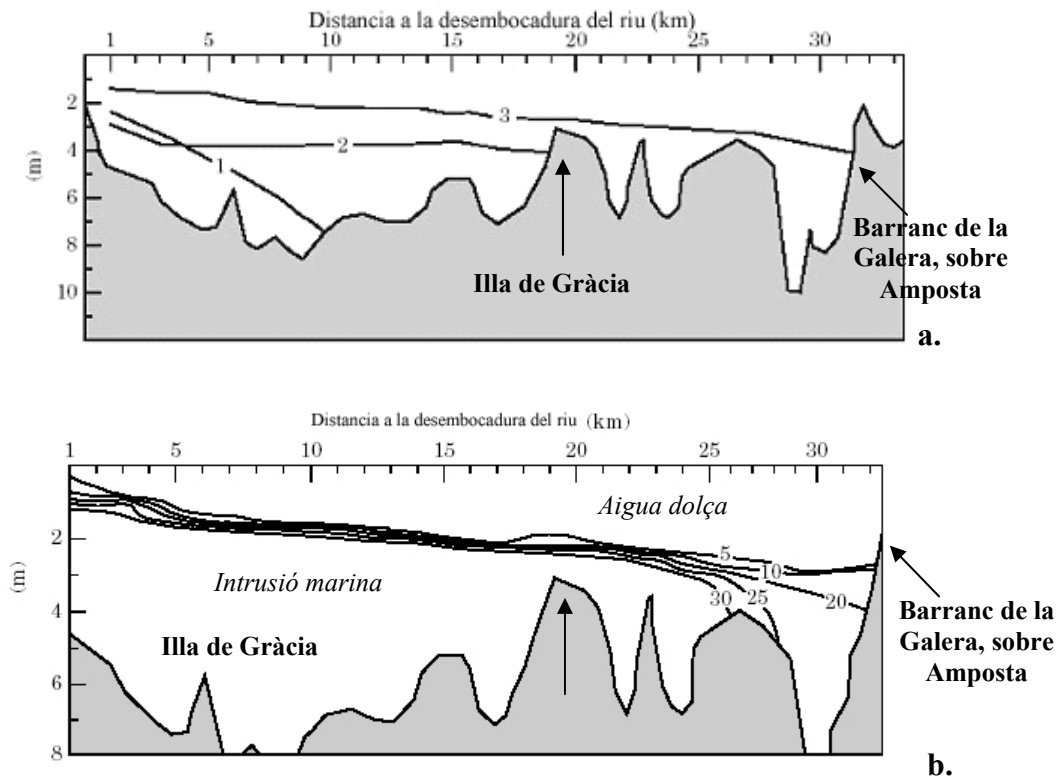


Fig 2.7. a. Representació de les 3 posicions habituals de la falca salina en relació a la distància a la desembocadura del riu Ebre i al perfil del fons fluvial: (1) límit als 9,5 km de la desembocadura, (2) límit a 18 km (Illa de Gràcia), (3) a 30 km (situació de màxima salinitat). **b.** Distribució dels contorns de salinitat (g l^{-1}) en l'estuari del riu Ebre mesurats el dia 13 de març del 1989 amb un cabal constant del riu de $60 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, i on es pot apreciar la forta estratificació salina, amb una falca de 40-50 cm de gruix. (Figures adaptades d'Ibàñez et al., 1999.).

2.2 El clima i la pluviometria de la conca de l'Ebre i de la Noguera Pallaresa

Els factors que governen la diversitat climàtica són la distància al mar (climes marítics i amb tendència continental), el relleu, l'altitud, l'exposició solar i l'orientació en relació als vents humits (Bolòs et al., 1983).

Embassament de Camarasa

La conca del Segre està influenciada per un clima mediterrani amb tendència continental de muntanya mitjana i a la seva part baixa domina la una tendència continental de terra baixa, característica per ser un ambient sec i de fortes oscil·lacions tèrmiques. La conca de la Noguera Pallaresa presenta una pluviometria de 700 a 1000 mm a^{-1} a la part més alta, d'entre 500 a 700 mm a^{-1} a la part central i de menys de 500 mm a^{-1} la part més baixa (Figura. 2.6). En la taula 2.2 es mostra un recull històric de les mitjanes de de precipitació anual dels darrers 100 anys en les estacions ubicades a les centrals hidroelèctriques de Gavet, la presa de Talarn

Taula 2.2. *Pluviometria mitjana anual mesurada en diverses estacions pluviomètriques situades a la conca de la Noguera Pallaresa. Font: Instituto Metereologico Español (IME).*

Estacions	Coordenades		Altitud (m)	Període (anys)	Pluviometria mitjana anual (mm a ⁻¹)
	Latitud (E)	Longitud (N)			
Central de Gavet	00° 53' 54"	42° 06' 17"	380	1937-1994	509 ± 122
Presa de Talarn	00° 54' 29"	42° 10' 25"	425	1915-1995	506 ± 128
Embassament de Terradets	00° 53' 46"	42° 02' 57"	399	1926-1996	558 ± 137
Embassament de Sant Llorenç	00° 50' 06"	41° 51' 16"	245	1928-1996	375 ± 117
Observatori de Lleida	00° 37' 07"	41° 37' 13"	202	1915-1981	395 ± 130
Vilamitjana	00° 54' 38"	42° 09' 25"	415	1968-1997	483 ± 112
Vilanova de la Barca	00° 43' 26"	41° 41' 14"	180	1971-1989	281 ± 94
Tremp	00° 54' 00"	42° 10' 00"	468	1916-1941	459 ± 80
Pobla de Segur	00° 58' 18"	42° 15' 01"	550	1928-1994	577 ± 112

l'embassament de Terradets, l'embassament de Sant Llorenç, i en diverses estacions meteorològiques instal·lades en els pobles propers a l'embassament de Camarasa com ara l'observatori de Lleida, Vilamitjana, Vilanova de la Barca, Pobla de Segur i Tremp. Es pot apreciar que l'interval pluviomètric presenta una variació marcada segons la localització de l'estació de mostreig, amb valors compresos entre els 281±94 mm a⁻¹ de Vilanova de la Barca, fins als 577±112 mm a⁻¹ de la Pobla de Segur.

Embassament de Flix

Segons Bolós i Vigo (1984), el clima de la regió de Flix és mediterrani continental de baixa altitud (continental de terra baixa). Aquest clima és típic de les terres d'interior, on l'entrada de l'aire humit i temperat de la Mediterrània es troba dificultada per les muntanyes del Sistema Mediterrani Català. Aquesta barrera determina que el clima sigui més sec i amb diferències entre màximes i mínimes més importants i amb una pluviometria inferior als 500 mm a⁻¹ (Martín-Vide, 1987). En concret, a la vila de Flix la precipitació anual és baixa amb un valor aproximat de 400 mm a⁻¹ i de 341 mm a⁻¹ a la zona del baix Cinca (Fraga).

2.3 Els embassaments i els subambients sedimentaris

Els embassaments, aproximadament més d'un miler a Espanya, són ambients lacustres on predominen els processos físics i on els sediments són aportats en processos d'avingudes i redistribuïts posteriorment. Els seus ritmes de sedimentació són elevats i presenten generalment uns importants factors d'acumulació o de "focusing" (FF) (Van Metre *et al.*, 1997). Els embassaments tenen bàsicament una triple funció:

- i) Estabilitzar la disponibilitat d'aigua i regular-la per a diferents usos (consum en nuclis urbans, usos industrials i agrícoles).
- ii) L'explotació hidroelèctrica per tal de generar electricitat a través dels salts de gravetat.

iii) Disminuir el risc d'inundacions tot laminant les avingudes.

Segons Thornton (1990) i Navas i col·laboradors (1998), en un embassament es poden definir, en termes generals, quatre subambients sedimentaris:

- *El delta de cua* correspon al dipòsit sedimentari format a la desembocadura del riu que alimenta l'embassament. En aquest part de l'embassament hi dominen els processos de tracció fluvial: el delta presenta una elevada potència sedimentària a causa de la ràpida pèrdua de energia dels corrents fluvials en arribar al pantà, amb la corresponent disminució de la capacitat de càrrega i la deposició del material transportat per arrossegament.
- *Els deltes dels torrents laterals* solen presentar una activitat intermitent i són visibles a les lleres de l'embassament durant les èpoques en què la cota hídrica és molt baixa (ventalls deltaics)
- *Els fons dels embassaments:*
 1. *La franja litoral* correspon a la zona del voltant del vas de l'embassament, on el reompliment sol ser generalment molt escàs.
 2. *Els estretaments* corresponen a les zones de l'embassament que s'acaben reduint a l'eix del curs submergit del riu.
 3. *El llit del riu* queda submergit sota les aigües inundades de l'embassament. És un ambient que adquireix importància en la dinàmica sedimentària de l'embassament quan les cotes hídriques són baixes. En canvi, en els períodes en què l'embassament està ple l'eix fluvial presenta una relativa inactivitat en termes de sedimentació.
 4. *La plana al·luvial de la vall del riu* sol correspondre a la major part de l'embassament, en termes volumètrics, i es troba formada principalment per llims i argiles.
- *Acumulació de la presa.* A la zona propera a la presa l'eix del riu interacciona amb la barrera física, fet que provoca una acumulació sedimentària a les seves proximitats.

2.4 L'estat ecològic dels embassaments

Els embassaments, tot i ser d'origen antròpic, constitueixen ecosistemes lacustre amb les seves comunitats vegetals i animals característiques. Tanmateix, existeixen diversos factors que provoquen canvis i alteracions en aquestes comunitats. En la bibliografia, trobem diversos treballs en què s'avalua l'estat ecològic dels embassaments i els potencials factors alteradors del seu equilibri ecològic (Armengol & García, 1997; Avilés *et al.*, 1997; Prat, 1997).

Segons Prat (1997) s'han determinat 3 possibles factors que poden provocar una pèrdua de l'estat ecològic natural d'un ecosistema aquàtic, com ara els embassaments.

- 1) *La destrucció del seu hàbitat, o desaparició física del sistema.* Aquesta destrucció pot ser causada per les canalitzacions fluvials o transvasaments, la destrucció del bosc de ribera, la freqüentació de l'home, els represaments de llacs i rius, l'especulació del territori, o la sobreexplotació dels aqüífers, sobretot per un ús industrial o agrícola.

- 2) *La contaminació com a font de canvis en el funcionament de l'ecosistema aquàtic.* L'arribada d'aigües contaminades a un ecosistema aquàtic pot provocar alteracions irreversibles a través de canvis en la temperatura, processos d'acidificació, l'increment de la presència de sòlids en suspensió, l'entrada de fertilitzants procedents dels camps propers (rics en nitrogen, fòsfor i sals en general), la contaminació per compostos orgànics (de procedència industrial, purins ramaders i dels abocaments d'aigües residuals de les poblacions). L'excés de compostos orgànics (rics en nitrogen i fòsfor) en les aigües dels embassaments fruit de les activitats humanes, provoquen un consumeix ràpid de l'oxigen de l'aigua. Com a conseqüència, es produeixen diferents graus d'anòxia en les aigües dels embassaments, que acaben provocant la mort per asfíxia dels organismes aquàtics (eutrofització). L'*eutrofització* és doncs, aquest creixement desmesurat de les comunitats d'algues afavorit per l'excés de nitrogen i principalment del fòsfor, factors limitants del creixement de les plantes en la fotosíntesis, que arriben a les aigües dels embassaments a conseqüència de l'activitat humana en forma, principalment, de compostos orgànics. Pel seu grau d'eutrofització, els embassaments es poden classificar en oligotròfics, mesotròfics, eutròfics i hipertròfics. Estudis recents estimen que l'eutrofització a Espanya afecta entre el 40 % i 50 % dels embassaments de més de 10 hm³ (Armengol & Garcia, 1997 i Avilés *et al.*, 1997).

Els embassaments també són receptors de compostos tòxics que alteren el cicle biològic dels organismes de l'ecosistema i en redueixen la seva capacitat de vida. Un exemple són els metalls pesants, fruit principalment dels tractaments industrials, els contaminants orgànics del tipus amoníac, nitrats (McCarthy *et al.* 1996), els pesticides i els microcontaminants orgànics clorats, com el DDT, PCB, HCB (Fernández *et al.* 2003).

- 3) Els canvis d'usos del sòl a la conca provoquen una contaminació difusa i un aport de sediments al vas sedimentari. Com a conseqüència, l'embassament actua de trampa de sediments rics en contaminants, i simultàniament va perdent el seu volum útil.

2.5 Geologia

Embassament de Camarasa

L'embassament de Camarasa es troba situat a la formació del pre-Pirineu. La serralada del pre-Pirineu és el resultat del xoc entre la placa Ibèrica i l'Europea, conegut com a l'orogènia Alpina. D'aquest xoc es formà la falla nord-pirinenca que lliscà sobre el material del Keuper, tot desencadenant la formació d'una sèrie d'espectaculars encavalcaments del material sedimentari (calcàries, dolomites, margues i gresos del Secundari i Terciari) i configurant l'actual marc geològic de la regió: el Montsec d'Ares (1678 m), el Montsec de Rúbies, les serres de Sant Mamet (1374 m) i la serra de Montclús (901 m) (Albert i Bertran *et al.*, 1985).

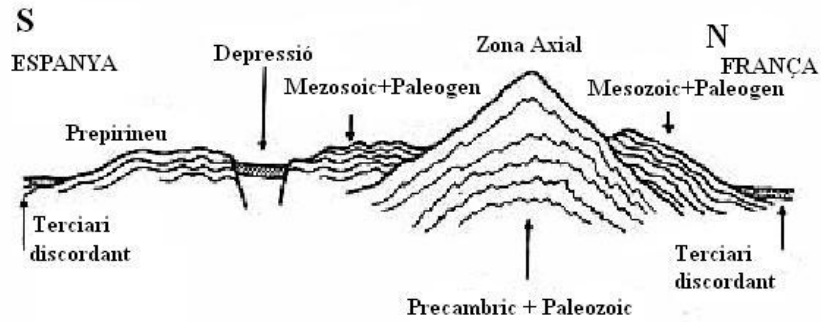


Fig 2.8. Tall del Pirineu on es detallen els material que hi afloren (Teixell, 1995)

Els plecs es troben orientats predominantment en direcció est-oest. Els materials que hi afloren corresponen a un sòcol paleozoic format per roques metamòrfiques i roques granítiques. Aquests materials es troben a la part central, a l'anomenada Zona Axial. Seguidament, trobem una successió sedimentària Permiana i Mesozoica pre-orogènica en què hi predominen les roques calcàries d'origen marí, i finalment un conjunt de roques sedimentàries detrítiques terciàries dipositades sincrònicament a la deformació pirinenca (Fig. 2.8) (Teixell, 1995).

Les unitats geològiques que afloren a la zona de l'embassament de Camarasa són roques sedimentàries, principalment calcàries i dolomites del Secundari o Mesozoic, juntament amb material del quaternari que es distribueix al llarg de tota la zona fluvial. Les característiques impermeables d'aquests materials van esdevenir un factor clau alhora d'enclavar el salt de Camarasa en aquesta zona. Tot i això, les dolomites, que afloren a la zona de la presa, originaren importants problemes de filtracions en l'estructura de la presa que es van començar a tractar l'any 1927, 5 anys després de la finalització de la seva construcció. En l'actualitat la pèrdua d'aigua s'ha resolt fins a l'actual 80 % de reducció d'infiltracions, passant dels $14.46 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de pèrdues inicials fins als actuals $2.6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ que equivalen, segons Sánchez-Vilanova (1990), a $15 \cdot 10^6 \text{ kWh potencials a}^{-1}$.

Embassament de Flix

El conjunt geològic de la zona el formen les muntanyes de roca calcària i de margues del Sistema Prelitoral Català en una zona de transició des de la Depressió de l'Ebre fins a les muntanyes de la costa (Ports de Basseit, la serra de Montsant i de Prades). El riu Ebre, en aquest tram entre el Baix Cinca i la Ribera d'Ebre, serpenteja entre les Serralades de Campells, circulant entre penya-segats i parets abruptes, i per la serra d'Aubera i la de Valldecotoma, amb el barranc de Valldegranada, per on el riu fa entrada a la Ribera d'Ebre. En aquest regió l'Ebre descriu tres importants meandres encaixant-se en els sediments tabulars d'origen oligocènic de color roig (Teixell, 1995). El primer meandre es troba ocupat per la vila de Riba-roja. En el segon hi trobem el terme municipal de Flix, on el riu fa un gir important en direcció sud, i en el tercer meandre hi ha la central nuclear d'Ascó. Un cop a la vall d'Ascó, el riu travessa una dura alineació de calcàries i dolomites pel conegut Pas de l'Ase, fins a arribar a Garcia. El riu continua el seu curs fins a la depressió de Mora. Aquesta depressió és una fossa sedimentària reomplerta amb sediments quaternaris que fins als anys 40 estava constantment exposada a processos d'inundació fluvial. Actualment, el represament del riu Ebre ha minimitzat els desbordaments del riu en aquesta zona. Finalment el riu acaba

desembocant al Mar Mediterrani tot formant el delta de l'Ebre (comarca del Baix Ebre i Montsià). El creixement d'aquest delta s'inicià fa tan sols uns 3.5 milions d'anys (Pliocè mitjà i superior). La seva configuració actual s'ha produït, bàsicament, durant el darrer mil·lenni, associada a la forta desforestació de la vall de l'Ebre, i al respectiu increment dels aports sedimentaris del riu degut a la major activitat erosiva de la conca. La seva superfície actual és de 330 km². En l'actualitat, però, el 95% dels sediments que transporta el riu queden retinguts en els embassament de la conca, fet que ha provocat l'aturada i estabilització de l'edificació deltaica (Batalla, 2003; Sanz-Montero *et al.*, 1999). En un futur, el Delta pot començar a patir un procés lent de subsidència o enfonsament, provocat pel desequilibri en el balanç màssic. A aquest procés se li afegeix l'augment gradual del nivell a conseqüència de l'escalfament del planeta (Prat i Ibáñez, 2002). El riu Ebre presenta una sola desembocadura funcional, la "Gola de Sorrapa", que es formà durant l'avinguda del 1937. Existeix també una altra desembocadura a uns 3 km al sud, la "Gola de Mitjorn", que s'activa en els moments d'avingudes i temporals.

2.6 Vegetació i usos del sòl

Embassament de Camarasa

Pel que fa als elements que confegixen el mosaic paisatgístic de la Noguera hem diferenciar entre la Noguera Alta, dominada pel relleu muntanyenc i la Noguera Baixa, que coincideix amb la plana. L'economia de la comarca es basa en les explotació agrícola i ramadera. El conreu de secà: collites d'olivera, d'ametllers, conreu del blat i la vinya, abandonada per la plaga de fil·loxera a finals del segle XIX, i represa a l'actualitat eren els elements que dominaven el paisatge. Tanmateix, amb la construcció del canal d'Urgell i del canal auxiliar el paisatge de la plana de la Noguera sofrí una transformació cap al conreu de regadiu. La comarca, amb 1733 km² de superfície, presenta 70.400 ha de terra llaurada i 11.190 ha de pastures permanents. La superfície coberta per terreny forestal és de 47.815 ha (Institut d'Estadística de Catalunya Cens agrari 1989, 1999). El paisatge vegetal és de Terra baixa, fins als 1000 metres i de Muntanya mitjana des dels 1000 fins als 1800 m (taula 2.3). Per tant, a mesura que es remunta la comarca s'aprecia la transició des dels alzinars, a les rouredes, passant per les pinedes de pi roig i els faigs (Enciclopèdia catalana-hiperenciclopèdia, 1997) (vegeu taula 2.3, estatges de vegetació de Catalunya)

Embassament de Flix

El municipi de Flix, amb 4.122 habitants, té una extensió de 117 km², on 6.070 ha corresponen a terreny forestal (3.761 ha ocupades per bosc i 2.307 ha per terrenys de pastura i arbustos i 2 ha pel bosc de ribera al llarg del riu. La vegetació de la zona correspon a un paisatge de terra baixa, amb un predomini de les comunitats vegetals de carrascar o alzar continental, màquia continental, sureda i alzar típic (taula 2.3). El principal motor econòmic de la zona és la indústria Electroquímica de Flix S.A, instal·lada a la riba dreta de l'embassament de Flix, amb una plantilla actual de 380 treballadors, i que a l'any 1970 arribà als 900 operaris. L'agricultura juga un paper secundari a la zona ocupant 3.860 ha de les quals 3.546 ha són de conreu de secà (vinya (230 ha), cereals i ametlles). La terra de regadiu (314 ha) (vegetals i arbres fruiters) es concentra al llarg de la estreta franja de la llera del riu, distribuïda de manera discontinua en les terrasses al·luvials (Enciclopèdia catalana-hiperenciclopèdia, 1997; Muñoz i Hierro, 1997).

Taula 2.3. *Estatges de vegetació de Catalunya (Folch, 1981)*

Regió biogeogràfica	Paisatge	Estatge de vegetació	Altitud (m)	Comunitats vegetals	Espècies importants
Bóreo-Alpina	Alta muntanya	Nival	3000	Vegetació molt escassa	--
		Alpí	2300 a 3000	Prats alpins	<i>Festuca sp. pl.</i>
		Subalpí	1800 a 2300	Pineda de pi negre Avetosa	<i>Pinus mugo subsp. uncinata</i> <i>Abies alba</i>
Eurosiberiana	Muntanya mitjana	Montà	1000 a 1800	Fageda	<i>Fagus sylvatica</i>
				Roureda de roure pèrol	<i>Quercus robur</i>
				Roureda de roure de fulla gran	<i>Quercus petraea</i>
				Pineda de pi roig	<i>Pinus sylvestris</i>
				Roureda de roure martinenc	<i>Quercus humilis</i>
				Roureda de roure reboll	<i>Quercus pyrenaica</i>
Roureda de roure de fulla petita	<i>Quercus faginea</i>				
Mediterrània	Terra baixa	Basal	0 a 1000	Carrascar	<i>Quercus ilex subsp. Rotundifolia</i>
				Màquia continental	<i>Quercus coccifera</i>
				Alzinar muntanyenc	<i>Quercus ilex subsp. Ilex</i>
				Sureda	<i>Quercus suber</i>
				Alzinar litoral o típic	<i>Quercus ilex subsp. Ilex</i>
Màquia litoral	<i>Quercus coccifera</i>				

2.7 Llacs del Pirineu (Marc geogràfic, geologia, clima i vegetació)

Els estanys dels Pirineus són petites masses d'aigua situades entre els 1.600 i 2.600 m d'altitud, amb una superfície normalment inferior a les 15 ha, tot i que n'hi ha de més extensos. Només a la part catalana es comptabilitzen més de 450 estanys, d'un total de 1062 llacs de més de 0.5 ha distribuïts al llarg de tot el Pirineu. El seu origen és glacial, ja siguin de circ o de morrena, amb una antiguitat recent, d'aproximadament 10.000 anys, amb un baix ritme de sedimentació (Ros, 1999). Des del punt de vista ecològic es caracteritzen, principalment, per tenir un cicle tèrmic molt marcat que condiciona la vida en aquests ambients (Terrades *et al.*, 1989). També podem classificar els llacs segons la seva disposició en la conca. Així doncs, es troben dos tipus de conjunts d'estanys: els de circ, situats a les capçaleres, i els de rosari, disposats al llarg de la vall. A més, els estanys també es poden diferenciar per la seva mida i pel tipus de substrat geològic, que condiciona la composició química de les seves aigües. La major part dels llacs pirinencs, però, presenten un substrat de roca ígnia que determina una naturalesa lleugerament àcida de les aigües (San José *et al.*, 1995; Ros, 1999).

Els llacs d'alta muntanya, per la seva situació geogràfica, són uns bons indicadors dels canvis regionals i globals del medi. Segons Camarero & Catalán (1998), la situació geogràfica dels llacs del Pirineu presenta un especial interès, ja que es troben en una zona de transició climàtica entre el règim continental del nord d'Europa i el règim càlid del Mediterrani europeu. Aquest fet provoca la interacció de masses d'aire d'origen Mediterrani, Atlàntic i del Sàhara.

Els principals problemes que afecten a aquests ecosistemes fràgils són, bàsicament:

- la construcció de repeses o connexions subterrànies per a la producció d'energia elèctrica o, per l'abastament per a les estacions d'esquí. Aquesta problemàtica afecta sobretot als llacs de gran tamany, com poden ser el llac de Certascan i l'estany de Tavascan.

- Els problemes relacionats amb l'excessiva freqüentació dels excursionistes, esquiadors, el trànsit rodat, que provoquen una degradació del medi.
- Els problemes de contaminació atmosfèrica procedent de zones allunyades.
 - L'acidificació de les aigües dels llacs per l'efecte de la pluja àcida (Camarero *et al.*, 1995; Camarero & Catalan 1996). Segons Camarero & Catalán (1998) s'estableixen 4 tipus de llacs segons el seu grau de sensibilitat a la pluja àcida: els llacs àcids a causa del seu substrat geològic (pH<5.5 i alcalinitat <0, e g. Pica Palomera); llacs molt sensibles a l'acidificació (pH 5.5-6.6 i alcalinitat 0-50 µeq l⁻¹); llacs sensibles (pH >6.5 i alcalinitat<200 µeq l⁻¹) i finalment els llacs no sensibles gràcies a la seva alcalinitat >200 µeq l⁻¹ i pH al voltant de la neutralitat. Tanmateix Camarero i col·laboradors (1995) puntualitzen que l'efecte de les pluges àcides sobre el Pirineu català es veu minimitzat per l'efecte neutralitzador de les precipitacions carregades amb partícules procedents del Sàhara.
 - La presència de contaminants metàl·lics, fruit de les antigues extraccions mineres de zinc, coure i ferro en diverses zones del Pirineu. Destacar la indústria del zinc a la Vall d'Aran que s'inicià a l'any 1740, quan es descobriren els jaciments de Liat (*La Febre del Zinc*). Aquestes mines van funcionar fins a mitjans del segle XX, exportant fins a 8.000 tones de zinc cada any. Els darrers intents d'extracció es van fer entre els anys 1961 i 1965 a les mines de Liat, però la indústria esdevingué econòmicament inviable i s'abandonà definitivament a l'any 1968 (Vall *et al.*, 2001).
 - La presència de compostos orgànics, com ara els hidrocarburs aromàtics policíclics, compostos organoclorats (Grimalt *et al.* 2001; Fernandez *et al.* 2003) fet que demostra fins a quin punt aquests ambients remots estan exposats a la contaminació global i regional.
 - El canvi climàtic que està afectant al planeta és un altre factor imprevisible que pot alterar i destruir els ecosistemes d'aquests llacs. L'augment de les temperatures generalitzat pot provocar alteracions en els règim de precipitacions de la zona i per tant, alterar a les comunitats biològiques, la dinàmica sedimentària etc.

La zona climàtica del Pirineu es caracteritza per una alta pluviometria associada al pas de sistemes frontals, durant la primavera, tardor i hivern, i precipitacions convectives durant l'estiu. La pluviometria mitjana anual és de 1.000 - 1.300 mm a⁻¹, amb una temperatura mitjana anual de 2 - 9 °C. El règim pluviomètric estacional té el seu màxim a l'estiu i el mínim a l'hivern (Mestre-Campí *et al.*, 1998). En relació a la vegetació, ens trobem en l'ambient d'Alta muntanya (taula 2.3). Els estatges que s'hi desenvolupen són bàsicament l'estatge Subalpí (1800 a 2300 m d'altitud), amb pineda de pi negre i avetoses (*Pinus mugo subsp. uncinata*, i *Abies alba*); l'estatge alpí (2300 a 3000 m), amb prats alpins (*Festuca sp. pl.*) i l'estatge nival (3000 m), amb una vegetació molt escassa (Folch, 1981).

2.8 La indústria associada a les preses de Camarasa i Flix

2.8.1 Breu revisió històrica de les preses i la producció elèctrica a Catalunya: la Barcelona Traction

A principis del segle XX la indústria catalana es trobava escassament desenvolupada per falta d'energia. El sector energètic funcionava amb el carbó de Cardiff anglès, d'elevat cost econòmic i de poca eficiència energètica (Sanchez-Vilanova, 1990). Pel que fa al marc hidroelèctric català es produïa electricitat amb salts de molt poca potència (per exemple el salt del riu Llobregat, amb una potència de sortida de 100-200 kWh) que no els convertien en una alternativa viable al carbó. Però aquest sector experimentà una transformació profunda gràcies a Emili Riu Periquet, amb el projecte del salt hidroelèctric de Capdella, i Domènec Sert, amb el projecte del salt de Camarasa. Plantejaven un aprofitament elèctric amb una potència de 50.000 kWh, que permetria la distribució energia elèctrica i desenvolupar industrialment el Principat (Sánchez-Vilanova, 1990).

Tot i això, els principals economistes espanyols no van recolzar les seves idees pel gran risc econòmic que comportaven, i no fou fins deu anys més tard, l'any 1911, que Emili Riu pogué dur a terme la seva empresa a través de *Energia Elèctrica de Cataluña S.A.*, creada a París per financers francesos i suïssos. Paral·lelament, Domènec Sert, gràcies a la col·laboració amb en Carles Emili Montanyés, trobà el suport econòmic de la *Barcelona Traction Light and Power Co. Ltd.* La *Barcelona Traction* fou creada a Toronto amb capital nord-americà i anglès, i és coneguda popularment amb el nom de "*la Canadenca*". La seva filial a Espanya fou *Riegos y Fuerzas del Ebro S.A.*, que assumí exclusivament les obres d'explotació de les aigües a la Noguera Pallaresa (Sánchez-Vilanova, 1990; Tarraubella i Mirabet, 1990). L'enginyer i president de la filial, Fred Stark Pearson, s'encarregà de tirar endavant els projectes d'en Domènec Sert amb les construccions de l'embassament de Sant Antoni, les centrals de Sossís, de Tremp i de Gavet; el pantà de Cellers i la central de Terradets; l'embassament i central de Sant Llorenç, i l'embassament de Camarasa i la seva central hidroelèctrica. Ja en una segona etapa de l'empresa, *Salto del Ebro S.A.* (filial de *Riegos y Fuerzas del Ebro S.A.*) construiria la darrera gran obra hidràulica de la "*Canadenca*": l'embassament i central de Flix a l'any 1948 (Sánchez-Vilanova, 2001).

"*La Canadenca*" es convertí en l'empresa del sector elèctric català i espanyol més prospera i importat des de principis del segle XX fins a la guerra civil espanyola. Les grans construccions hidroelèctriques, les centrals tèrmiques, la distribució de xarxes elèctriques, l'electrificació ferroviària (ampliació de la xarxa ferroviària metropolitana de Barcelona (F.F.C.C) des de l'any 1924 al 1926), així com també la seva bona política de convenis i absorcions de les petites societats elèctriques que apareixen als principals nuclis urbans foren la clau del seu èxit (Sánchez-Vilanova, 1990). La "*Canadenca*" esdevingué el motor i la columna vertebral de la industrialització i modernització de Catalunya. Es pot dir que electrificà Catalunya, generant més del 70 % de l'energia, i produint aproximadament un 30 % de la producció elèctrica espanyola (Sánchez-Vilanova, 1990; Capel, 1994).

Malgrat tot, el 12 de febrer del 1948 la multinacional *Barcelona Traction Light and Power Co. Ltd.* fou declarada en situació de fallida per un jutjat de Reus. Segons Fortuny (2001), l'empresa fou víctima d'un complot a nivell financer, jurídic i polític organitzat pel règim franquista juntament amb el grup March. El seu organitzador fou el magnat Joan March, financer i mecenes del cop d'estat del dictador Franco del 18 de juliol del 1936 (Genovès *et al.*, 2004). Tal com descriu Fortuny (2001), el règim espanyol no deixava treure capital a l'estranger, de manera que la *Barcelona Traction*, tot i tenir una reconeguda solvència econòmica, no pogué fer efectius els pagaments periòdics als seus socis nord-americans i anglesos. Això provocà una forta caiguda de la cotització dels seus títols en el mercat borsari, fet que aprofità Joan March per adjudicar-se una gran quantitat d'accions a uns preus molt baixos. Quan tingué els títols suficients, en declarà la fallida al tribunal de Reus, el qual l'acceptà l'any 1948. El mateix jutjat, l'any 1952 procedí a la subhasta de tots els béns de la "Canadenca", adjudicant-los íntegrament a l'únic postor que s'hi pogué presentar, que fou la societat mercantil *Fuerzas Eléctricas de Cataluña, S.A. (FECSA)*, recentment creada a Madrid per Joan March. Finalment, March s'apropià de tot el "holding" de la *Barcelona Traction*. Actualment, la companyia *FECSA* s'ha convertit en una de les empreses més importants d'electricitat de Catalunya i el juliol del 1999 inicià el seu procés de fusió amb l'*Empresa nacional Hidroeléctrica de la Ribagorçana S.A. (ENHER)*, sota el nou grup *ENDESA*, juntament amb les seves altres filials *Sevillana, ERZ, Gesa, Eléctrica del Viesgo* i *Saltos de Nansa*. La societat ENHER es constituí a Madrid el 7 desembre de 1946 i fou l'empresa impulsora de l'explotació de l'Alta i la Baixa Ribagorça. Entre els anys 1947 i 1962 construí grans preses com la d'Escales, Canelles, Santa Anna i Cavallers, a la conca de la Ribagorça, l'embassament de Mequinensa, l'any 1964, i el de Riba-roja a l'any 1967 (Sánchez-Vilanova, 1990; Sánchez-Vilanova, 2001).

La producció elèctrica a Catalunya durant l'any 2000 va ser de 36720 GWh, produïts en un 66.8% per les 3 centrals nuclears (Vandellós II, Ascó I i Ascó II) instal·lades al sud de Catalunya i construïdes entre els anys setanta i vuitanta (Fig. 2.9). Aquestes instal·lacions són les que bàsicament alimenten el país d'energia elèctrica i tenen una potència instal·lada superior als 500.000 kW. Un 11 % de la producció elèctrica prové de les centrals hidroelèctriques repartides al llarg de la

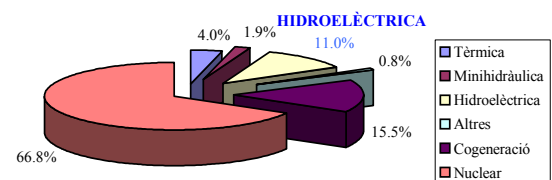


Figura 2.9. Producció d'energia elèctrica a Catalunya (dades del 2000) Font: Direcció General d'Energia i Mines, Generalitat de Catalunya

conca del Pirineu oriental-occidental i de la conca de l'Ebre, amb una potència de sortida de l'ordre dels 50.000 kW cadascuna. El 4% de l'electricitat es produeix a les 7 centrals tèrmiques fòssils (carbó i fuel) ubicades a l'àrea metropolitana de Barcelona, Cubelles i Cercs. Un 15 % de l'electricitat es genera mitjançant processos de cogeneració i finalment, el 2% de l'energia es genera en les centrals minihidràuliques a partir de petits salts d'aigua.

2.8.2. Construcció i característiques tècniques de l'embassament de Camarasa i Flix

2.8.2.1 Embassament de Camarasa

El salt elèctric de Camarasa s'ubica al riu Noguera Pallaresa, prop de la confluència amb el Segre, al pont del Diable, al terme de la Massana (Noguera). La superfície del llac

d'inundació és de 6.24 km² amb una longitud de 26 km i una amplada màxima de 1300 m. És el segon embassament amb major capacitat útil de la conca de la Noguera Pallaresa, 102.5 hm³, amb un cabal mitjà de sortida de 35 m³ s⁻¹ i una potència de sortida mitjana anual de 208 milions de kWh. L'embassament més gran és el de Talarn (Sant Antoni) situat aigües amunt prop dels municipis de Talarn i Tremp, amb una capacitat útil de 184 hm³. Els dos embassaments es troben separats per un petit embassament, el de Terradets, de 23 hm³. Les característiques dels tres embassaments es troben descrites a la taula 2.4. A nivell morfològic podem classificar l'embassament de Camarasa del tipus predominantment triangular i molt allargat (Terradas *et al.*, 1989) amb característiques entre un riu i un llac. Aquests embassaments es caracteritzen per l'asimetria entre la part alta o cua i la zona més propera a la presa. La zona de la presa presenta un desenvolupament vertical de la columna d'aigua semblant a un llac, condicionada pels corrents horitzontals produïts per les entrades i sortides d'aigua. La zona de la cua és típica d'un riu, ja que presenta una forta influència de la circulació horitzontal de les aigües de la Noguera Pallaresa que no permeten cap organització vertical de la columna d'aigua. A Catalunya trobem altres embassaments d'aquest tipus, com ara els de Canelles, Santa Anna, Boadella o Sau.

La resclosa de l'embassament és de gravetat i fou la més gran d'Europa en el moment de la seva construcció, l'any 1922, amb 145 m d'altura per 4 m d'amplada, en la part més alta, i amb un ancoratge de base 50 x 76 x 10 m de profunditat (Fig 2.10). Les fases de la construcció i les instal·lacions han estat àmpliament descrites per l'historiador Llorenç Sánchez-Vilanova (Sánchez-Vilanova, 1990) que destaca la velocitat i eficiència en l'execució de l'ambiciós projecte de construcció del salt de Camarasa, complex per la morfologia del terreny i la magnitud de l'obra. Els treballs s'iniciaren l'any 1917 amb els estudis topogràfics, hidrogeològics i subterranis de l'emplaçament. Seguidament es procedí a la creació d'una fàbrica de ciment i a la realització de desmunts amb voladures de dinamita per a donar lloc als tallers, planxisteria, calderia, fusteria, parc de màquines, oficines i el campament. En aquesta època l'arribada de treballadors immigrants fou espectacular, transformant per complet la realitat social d'aquells pobles. Es construïren comunicacions vitals amb el nucli habitat més proper, la vila de Camarasa, amb un ramal de 6 km, diversos canals, camins, esplanades i fins i tot un funicular que enllaçava la fàbrica de ciment amb el cim de la presa. L'herència deixada d'aquelles comunicacions són l'actual túnel a la roca de 370 m de la carretera del "Doll" en el seu pas per sobre la presa de Camarasa. Posteriorment es canalitzà la Noguera Pallaresa amb un túnel i es procedí al dragat i bombeig de la superfície descoberta, futura receptora del mur de contenció d'aigües. S'iniciaren les obres de l'ancoratge i la construcció de la resclosa, l'any 1919. El 3 d'agost de 1920 es posà en marxa el segon grup de la central hidroelèctrica i cinc dies després el primer grup. La central es finalitzà el 29 d'abril de 1922. Posteriorment es van haver de pal·liar les importants filtracions que tenia la infraestructura. La cota mínima de funcionament, o cota de turbinatge, de la central de Camarasa es situa a 310 m sobre el nivell del mar i la màxima a 436 m sobre el nivell del mar. L'altura de la presa sobre el llit del riu és de 92 m. Consta de dues comportes automàtiques de 27 m d'amplada i 7 m d'altura separades per un pilar central de 3 m, que permeten un cabal de 1000 m³ s⁻¹. A través d'un canal de 220 m de longitud per 7 m d'alçada, i de 110 m³ s⁻¹ de capacitat, es transporta aigua a la cambra d'aigües situada a sobre de la central hidroelèctrica. D'aquesta cambra en surten 4 tubs de 91.25 m de longitud i 2.5 m de diàmetre, que alimenten les turbines. Juntament amb aquests tubs hi ha una captació d'aigua que surt directament de la presa a una cota de 349 m, de 246 x 4 m i 14 m de diàmetre nominal, que alimenta tres dels quatre grups de turbines. La captació està regulada per dues comportes rectangulars de 4.7 x 2.5 m. A la figura 2.11 s'esquematitzen en alçada i en planta les diferents parts de la central de Camarasa.

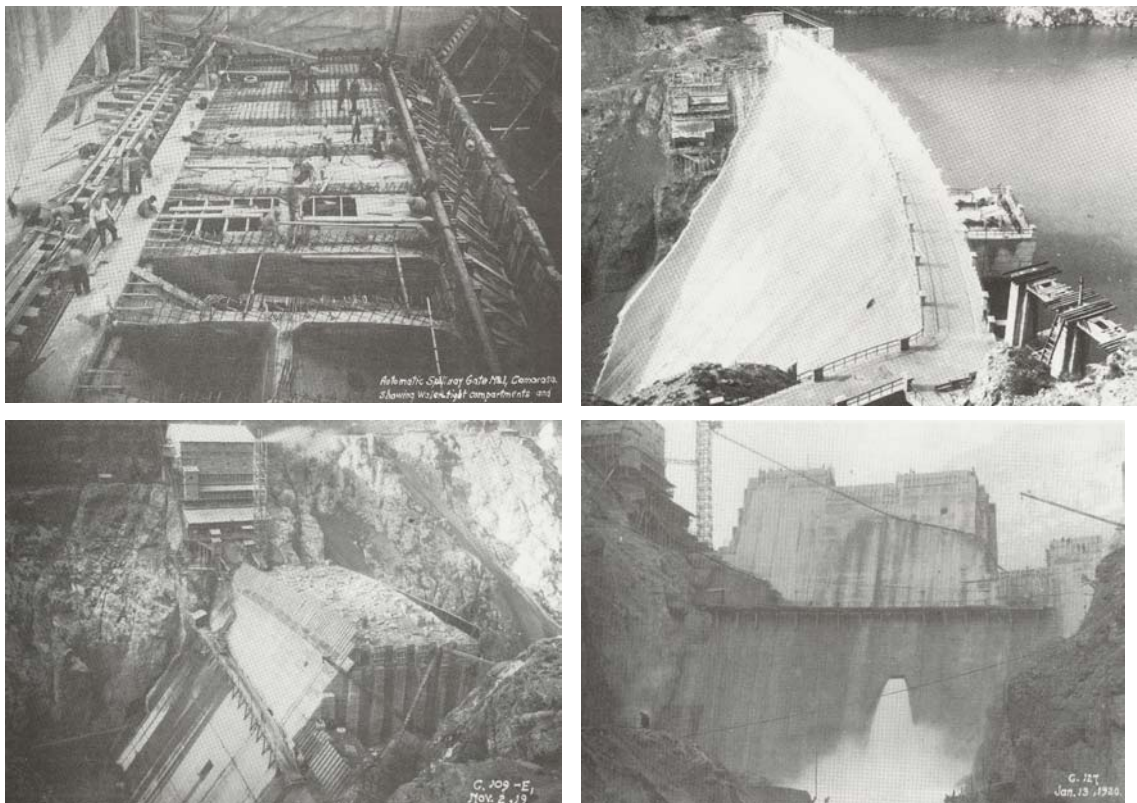


Figura 2.10. Procés de construcció de la resclosa i sistema generador de la presa de Camarasa(1917-1922).

Taula 2.4. Característiques generals dels embassaments de Camarasa, Terradets i Talarn.

Característiques	Camarasa	Terradets	Talarn
Any final de construcció	1922	1935	1916
Tipus de presa	Gravetat	Gravetat	Gravetat
Classe d'aprofitament	Hidroelèctric	Hidroelèctric	Hidroelèctric
Terme municipal	Camarasa	Llimiana	Talarn
Cota màxima embassament (m)	436	372	501
Altura presa sobre els fonaments (m)	92	47	86
Capacitat inicial (hm ³)	146	33	205
Capacitat útil (hm ³)	103	23	184
Superfície de la conca (km ²)	2821	2517	2068
Superfície de l'embassament (km ²)	6.24	3.30	9.27

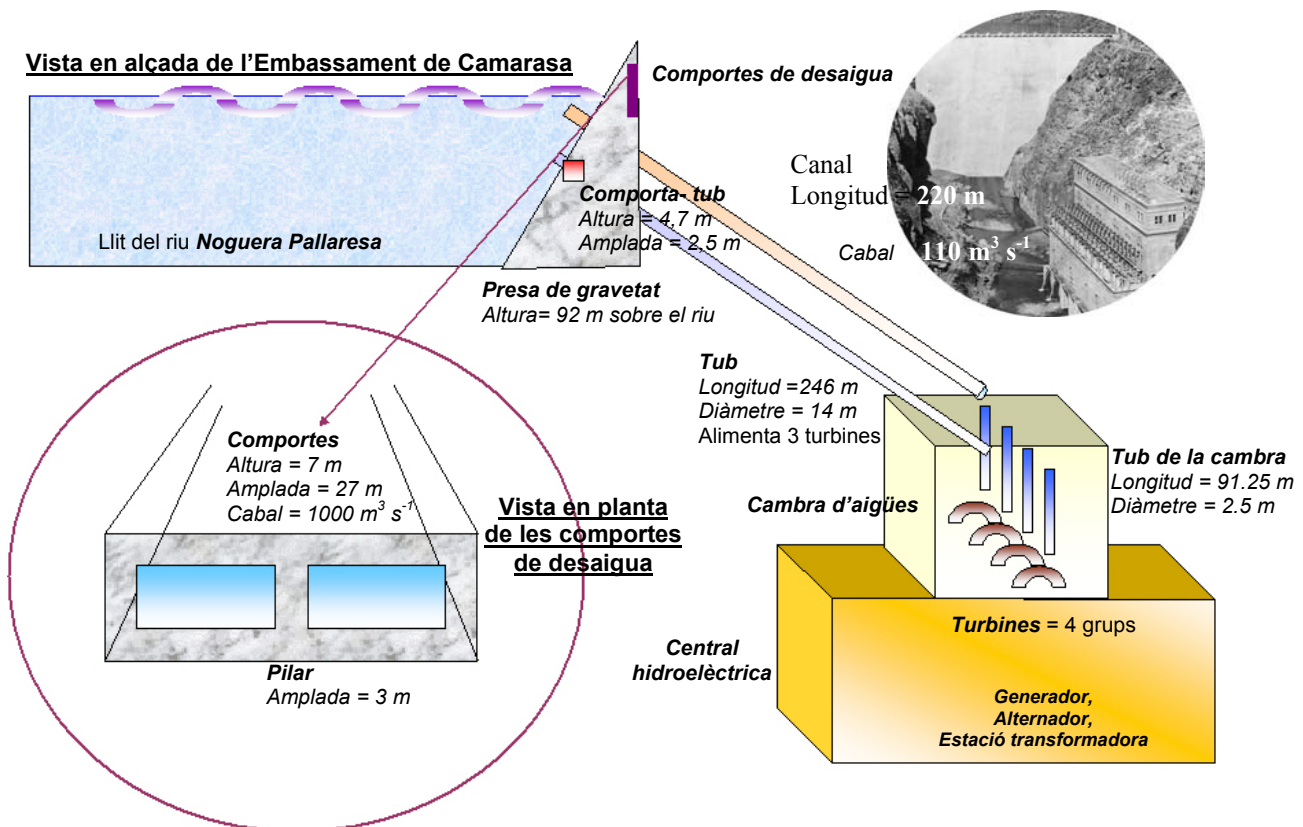


Figura 2.11. Vista en alçada i en planta de la central de Camarasa.

Taula 2.5. Característiques dels equips de la central hidroelèctrica.

Equips	Característiques tècniques
Generador	4 grups generadors Model <i>Francis</i> de 375 rpm
Tipus eix	Vertical amb 22308 kW màxim
Consum	$26 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ d'aigua
Alternador	Trifàsic d'eix vertical de la firma <i>G.E.C</i> * de 375 rpm
Producció elèctrica	14060 kW, a 6.6 kV i a 50 Hz.
Excitatius	Tipus <i>Dinamo</i> connectades a l'alternador de 68 kW a 250 V
Estació transformadora	Eleva el voltatge de 6.6 a 110 kV
Nº transformadors	3 monofàsics de la firma <i>G.E.C</i> en cada grup
Refrigeració	Bany d'oli amb serpentí d'aigua
Potència total sortida	56400 kW ($4700 \text{ kW} * 12$ transformadors)

**G.E.C.*: General Electric Company.

Les característiques tècniques de l'equip generador d'electricitat de la central hidroelèctrica es resumeixen en la taula 2.5.

El règim d'explotació de Camarasa està molt condicionat pels principals factors que controlen la dinàmica de l'embassament de Camarasa: la climatologia, el cabal del riu, gestionat des de l'embassament de Terradets (Cellers), i el consum d'aigua segons les demandes hidroelèctriques de la companyia.

En la figura 2.14 es mostren els cabals d'entrada dels tres embassaments més importants de la Noguera Pallaresa mesurats diàriament des de l'any 1998 fins a principis del 2001. S'observa que l'embassament de Talarn és el més exposat a les màximes de cabal de la conca, amb fortes oscil·lacions que provoquen una variació del cabal d'entrada des dels $10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, a finals d'agost, a un cabal d'entrada de $179 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ durant els mesos del desgel primaveral. En canvi, l'embassament de Terradets experimenta uns contrastos menors, amb uns cabals mínims de $15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ i uns màxims de l'ordre dels $110\text{-}120 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Finalment, l'embassament de Camarasa està sotmès a un fort control hídic i per tant a unes variacions més suaus. S'ha de tenir en compte que és el tercer gran embassament de la Noguera Pallaresa i, en aquest punt, les riuades ja estan fortament laminades. Les seves puntes de cabal arriben a un màxim de $100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ però, d'un dia per l'altre, l'embassament pot deixar de subministrar aigua si així ho exigeixen les demandes hídriques de l'empresa.

Les variacions de la cota hídrica de l'embassament de Camarasa (Fig. 2.12), des de l'any 1998 fins a principis del 2001, ens mostren un descens periòdic de 14 m de desnivell entre els mesos de juliol i agost, on dominen les poques precipitacions i la forta demanda d'aigua de la població. Aquest assecament provoca que la part de la cua es comporti com un riu, encaixant-se en els propis sediments acumulats, i que en les zones més profundes, la part central (la Massana) i el delta de presa, es produeixin corrents importants (Rasós, 2003). La resta de l'any, l'embassament manté una cota constant entre 332-335 m que permet una estabilitat ecològica en l'ecosistema.

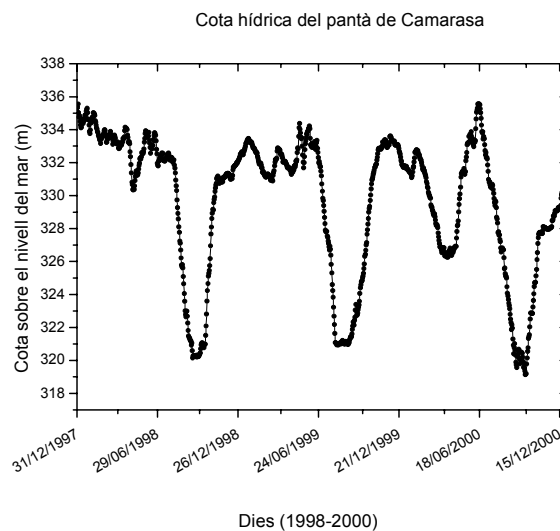


Fig. 2.12. Variacions de la cota hídrica de l'embassament de Camarasa en el període 1998-2001.

2.8.2.2. Embassament de Flix

L'embassament té una superfície d'inundació de 3.2 km², amb un volum total de 11.4 hm³ i un volum útil de 4.5 hm³ (taula 2.6). La resclosa té una alçada de 15.50 m sobre el llit del riu, amb una cota sobre el nivell del mar de coronament de 44.5 m. El salt elèctric que es crea és de 12.10 m. La presa té una part fixa de 400 m de longitud i una part mòbil de 235.5 m, amb una amplada de 2 i 3 m respectivament. Està formada per 7 comportes grans d'elevació, de 24 x 12 m, i una altra comporta automàtica més petita de 24 x 4.5 m que s'acciona quan l'aigua arriba a la cota màxima de funcionament, als 36.55 m sobre el nivell del mar. La capacitat màxima de desguàs de les 7 comportes grans és de 1350 m³ s⁻¹, més els 350 m³ s⁻¹ de capacitat de desguàs que proporciona la comporta automàtica petita. Des de l'embassament deriven un canal de força de 410 m³ s⁻¹ de desguàs i de 365.6 m de longitud; i un canal de navegació de 542.5 m. Des del canal de



Figura 2.13. Situació de la central i presa de l'embassament de Flix

navegació surt un altre canal més curt, de 111 m, anomenat canal d'unió, que permet aïllar el canal de navegació de la cambra de càrrega. Aquest canal de navegació es completa amb un sistema de rescloses de 95 m de longitud i 8.5 m d'amplada, amb l'objectiu de facilitar la navegació i mantenir així la servitud de pas pel riu Ebre (Sánchez-Vilanova, 2001), cosa que ja no es va poder dur a terme en els posteriors embassaments de Riba-roja i Mequinensa. En la figura 2.13 es pot veure on es situen les comportes al llarg de la presa i l'ubicació de la central hidroelèctrica, el canal de força i el canal de navegació. A la figura 2.15 es mostra una vista aèria de la presa, amb les seves comportes (part mòbil i fixa) i la vista del complex industrial de compostos fosfats i de clor-sosa. La construcció de la central i de la presa de Flix passà per diferents etapes. Entre els anys 1897-1898 es posà en marxa la primera central, de petites dimensions, dissenyada per *Schucker & Co.* i *Voith & Co.*, i construïda per l'empresa barcelonina *Marial*, amb només 3140 kW de potència (Sánchez-Vilanova, 2001). Després de petites ampliacions de potència, l'any 1929 la indústria de Flix requeria ampliar urgentment la seva disponibilitat de corrent. La filial *Riegos y Fuerzas del Ebro S.A.* fou l'encarregada d'elaborar un nou projecte hidroelèctric de Flix. L'any 1930 es tancà el contracte amb l'empresa i es constituí una nova filial, l'anomenada *Saltos del Ebro S.A.* que s'encarregaria de la construcció i explotació del salt. Però la guerra civil espanyola aturà el projecte aprovat durant la república. Posteriorment, el gener de l'any 1948, *Saltos del Ebro S.A.* finalitzà la construcció de la presa. La concessió del cabal d'explotació per part del govern fou de 400 m³ s⁻¹ i d'acord amb aquesta concessió es definí l'equip generador i l'estació transformadora amb les característiques que es resumeixen a la taula 2.7 (Sánchez-Vilanova, 2001).

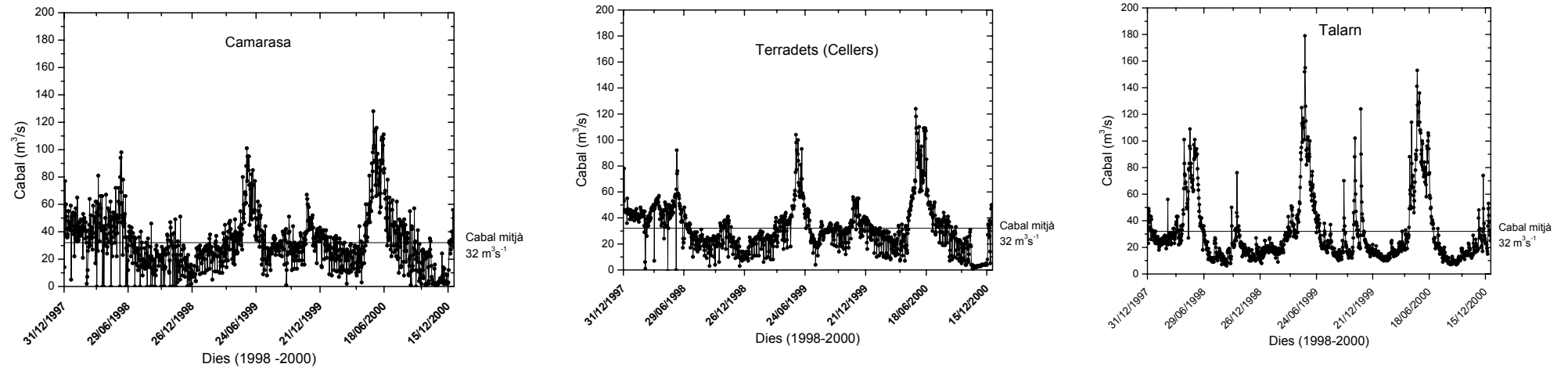
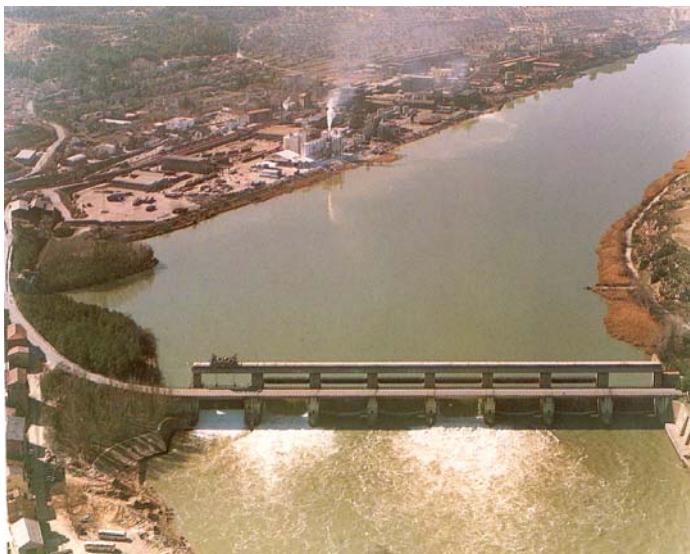


Figura 2.14. Cabals d'entrada al sistema d'embassaments de Talarn-Terradets-Camarasa durant el període 1998-2000.

Taula 2.6. *Característiques generals de l'embassament de Flix.*

Característiques	Flix
Entrada en servei	1948
Classe d'aprofitament	Hidroelèctric
Terme municipal	Flix
Cota màxima embassament (m)	36.55
Altura presa sobre els fonaments (m)	44.95
Capacitat total (hm ³)	11.4
Capacitat útil (hm ³)	4.5
Superfície de la conca (km ²)	82300
Superfície de l'embassament (km ²)	3.2

**Figura 2.15.** *Vista aèria de la presa de Flix i de l'indústria de clor-sosa i fosfat bicàlcic.***Taula 2.7** *Característiques dels equips de la central hidroelèctrica de Flix.*

Equips	Característiques tècniques
<u>Equip generador</u>	4 grups generadors de turbina tipus <i>Kaplan</i> a 125 rpm de la marca <i>Escher Wyss</i>
Tipus eix	Vertical de 14300 CV per màquina
Consum d'aigua	100 m ³ s ⁻¹ per màquina
Alternador	Trifàsics d'eix vertical, de la firma <i>Oerlikon</i>
Producció elèctrica	11.250 kVA per màquina a 6.300 V (*4= 45.000 kVA)
Excitatrius	Tipus <i>Dinamo</i> auxiliars connectades a l'alternador, amb un voltatge de 230V
<u>Estació transformadora</u>	Eleva el voltatge de 6 a 110 kV
Nº transformadors	2 bancs de 3 transformadors monofàsics de la marca <i>Metropolitan Vickers</i>
Refrigeració	Bany d'oli i aerorefrigerat
Potència conjunta de sortida	22.500 kVA cada banc (*2= 45.000 kVA)

2.8.3 *La societat Electroquímica de Flix (EQFSA)*

La societat *Electroquímica de Flix S.A.* (EQFSA) és una de les factories químiques més antigues d'Espanya. Fou la primera planta electrolítica espanyola i la tercera implantada a Europa. La fàbrica es fundà l'any 1897 per les empreses alemanes *Chemiske Fabrik Electrón i Electrilitäts AG*. Es caracteritzava per produir sosa aplicant un sistema més refinat del que s'usava fins al moment, mètode *Solvay* (1861). Aquest nou mètode consistia en produir sosa i clor simultàniament mitjançant l'electròlisi clor-sosa amb cel·les de mercuri.

Els principals factors que afavoriren l'actual ubicació de la factoria química foren els següents (Muñoz i Hierro, 1997):

1. *L'aigua del riu Ebre.* L'important cabal del riu Ebre fou un factor decisiu alhora d'instal·lar la fàbrica en aquell punt, ja que assegurava un subministre inesgotable d'energia hidroelèctrica per al complex industrial.

2. *La presència de l'antic assut àrab* ja indica la tradició d'explotar l'energia que proporciona el riu en aquell tram. L'assut permeté edificar la primera central hidroelèctrica que subministrava l'energia al procés de l'electròlisi. L'assut tenia una forma de presa transversal de 800 m llarg que redirigia les aigües del riu cap a un antic molí de blat (Molí Assut de Flix) i a un canal de regadiu que vorejava totes les terres del voltant del poble (Muñoz i Hierro, 1997; Sánchez-Vilanova, 2001).
3. *Les comunicacions.* La navegabilitat del riu Ebre, històricament eix vertebrador de les relacions comercials d'aquelles terres (Sánchez i Visa, 1994) i el pas per Flix de la línia ferroviària Madrid-Zaragoza-Barcelona, des de l'any 1892, representaren dos factors importants que garantien la ràpida distribució arreu d'Espanya del producte manufacturat a Flix, així com facilitava l'arribada de mà d'obra i matèries primeres (peces de recanvi, productes químics etc.). Posteriorment, un cop instal·lada la planta química, es construí un gran complex ferroviari pel transport de mercaderies i matèries primeres en els terrenys de la fàbrica.
4. *La disponibilitat de lignit a la regió pròxima de Faió, Mequinensa i Almatret.* A meitat del segle XIX s'inicià l'explotació de diverses mines de lignit a la zona. El riu Ebre es va convertir en una via fluvial on hi navegaven els llaüts carregats de lignit aigües avall fins a la vila de Faió. Un cop allí, i gràcies a la seva estació ferroviària, el carbó es podia distribuir pel país. Mequinensa esdevingué un important nucli miner amb dues èpoques de màxima producció: durant la primera guerra mundial i durant la segona guerra mundial amb una producció que arribà a les 230.000 tones de lignit a l'any 1950 (Sánchez-Vilanova, 2001). El carbó era, doncs, un suplement energètic de disponibilitat ràpida gràcies a la proximitat de les seves fonts i podia complementar, si era necessari, l'energia hidroelèctrica generada a partir del riu Ebre.
5. *Les salines de Sant Carles de la Ràpita i la roca calcària de la regió.* La sal esdevingué una matèria primera indispensable pel procés d'electròlisi. El principi de l'electròlisi requereix d'una solució aquosa saturada de clorurs per tal d'obtenir com a producte final la sosa o potassa càustica, el clor i l'hidrogen.
6. *Les facilitats per a construir una colònia industrial aïllada i autosuficient.* La societat adquirí ràpidament una gran extensió de terreny a la zona, juntament amb una concessió de $80 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ d'aigua de l'Ebre (Muñoz i Hierro, 1997). Aquest factor va permetre edificar el complex industrial i al costat, dintre dels terrenys de la factoria, una colònia de treballadors. Les colònies consistien en unes edificacions de mala qualitat i de petites dimensions on hi vivien els treballadors i les seves famílies. Les colònies funcionaven de manera autosuficient com una vila, amb la seva escola i serveis mèdics, de manera que els treballadors pràcticament no s'havien de desplaçar de la fàbrica. Aquesta autosuficiència, juntament amb el fet de que la propietat de l'habitatge era de l'empresa, obligava als treballadors a viure per l'empresa, tot garantint a l'empresari el màxim benefici productiu pel mínim cost econòmic.

2.8.3.1. Etapes industrials de Flix

En aquest apartat es fa un repàs a la història productiva de la factoria, des dels seus inicis fins a l'actualitat, i es detallen els diferents productes manufacturats, segons les exigències del mercat del moment. Cal tenir en compte, però, que l'eix central de la producció ha estat sempre el procés electrolític clor-sosa.

La línia productiva del clor-sosa

L'empresa inicià la seva primera etapa productiva amb la producció de sosa i clorur de calç. En el decurs de la primera guerra mundial, el bloqueig internacional a Alemanya va dificultar el desenvolupament productiu de l'empresa, de capital alemany, per falta de recanvis de maquinària. Durant la II República es va produir un creixement econòmic i productiu important, juntament amb el futur pla de construcció de la presa de Flix, que garantiria el subministre elèctric. L'esclat de la Guerra Civil Espanyola, amb els bombardeigs continus de la factoria, i la Batalla de l'Ebre van destruir per complet la factoria i en general van submergir la regió en una profunda crisi. L'any 1939 s'inicià la reconstrucció de l'empresa, però l'esclat de la segona guerra mundial (1945) alterà de nou el mercat econòmic europeu i es restringí l'arribada de material procedent d'Alemanya. El vertader impuls de la fàbrica fou la construcció de la presa de Flix, que es finalitzà l'any 1948. Des de finals dels anys 50 l'empresa experimentà un progressiu creixement i una diversificació dels seus productes fins a l'etapa daurada dels anys 80, en general per tota la indústria del clor (taula 2.8). Així, a Flix es produïren fins a 140.000 Tm a⁻¹ de clor distribuïdes entre la línia de derivats orgànics, amb més del 65% de la producció (tetraclorur de carboni i percloroetilè), i la línia d'inorgànics, amb un 25 % de la producció (àcid clorhídric, clorit sòdic, etc.). El 10 % restant de la producció consistia en clor líquid.

Els anys 90 foren anys de transformació. L'empresa va redirigir la seva producció a la síntesis de derivats inorgànics, doblant la seva producció d'inorgànics (50%) dominada per l'àcid clorhídric, l'hipoclorit sòdic i el clorur fèrric (taula 2.8). La creixent normativa ambiental va prohibir molts dels derivats clorats orgànics generats a l'empresa, com ara el tricloroetilè, amb una forta quota de mercat durant els anys 80, o l'hexacloroetà i el clorur d'amoni, prohibits a principis dels anys 90. La producció de clor disminuï fins a les 125.000 Tm a⁻¹. La línia d'orgànic (50% de la producció) passà a estar dominada pels clorometans i el percloroetilè.

La línia dels fosfats

L'any 1973 l'empresa inicià la producció de fosfat bicàlcic ("dicalcium phosphate", DCP) per a l'enriquiment dels pinsos compostos alimentaris dirigits al sector de l'aviram, vacu, porcí, i animals domèstics (Fig. 2.16). Durant els anys 90 s'amplià la planta de producció en dues fases (1992 i 1995) i la producció de fosfat passà de les 70.000 Tm a⁻¹, que es produïen fins al moment, fins a les actuals 100.000-110.000 Tm a⁻¹.

Aquest augment de la producció va requerir la implantació de dues noves plantes de producció d'àcid clorhídric (plantes de síntesis III, IV). L'àcid clorhídric és el subproducte de les cloracions orgàniques i és imprescindible per a la fabricació dels fosfat bicàlcic. El mercat destinatari del fosfat bicàlcic de l'Electroquímica de Flix és principalment el mercat interior i el portuguès, on es comercialitzen tres quartes parts de la producció. La quarta part restant s'exporta a països mediterranis de la Unió Europea.



Figura 2.16. Vista de la planta de producció de fosfat bicàlcic de Flix.

A Espanya les principals empreses productores de fosfat bicàlcic es localitzen a les províncies de Huelva, Tarragona i Múrcia. Les empreses de Huelva (*Foret i Fertiberia*) es troben ubicades al marge dret de la desembocadura del Tinto i produeixen fosfat bicàlcic (DCP) i fosfat monocàlcic mitjançant àcid fosfòric. A Cartagena (Múrcia) s'implantarà una nova planta (grup *Fertiberia* del grup *Erkímia*) l'any 2004 i produirà DCP i compostos monocàlcics. Finalment, a la província de Tarragona trobem l'Electroquímica de Flix (grup *Erkimia*), que produeix DCP i que és la que ens ocupa en aquest treball. En termes empresarials, el 60% del mercat nacional de producció de compostos fosfats (fertilitzants, DCP etc.) està controlat pel grup *Fertiberia S.A.* Aquest grup està format per les filials *ERT*, *Fosfórico Español* i *ENFERSA*, i representa l'actual divisió dels compostos fosfats d'*ERCROS S.A.*

2.8.3.2. Processos industrials: l'electròlisi: sosa i clor

El clor es un producte abundant a la naturalesa però no es presenta en forma lliure, sinó que es troba en forma de clorurs i unit mitjançant forts enllaços químics. La indústria extreu el clor i la sosa càustica (hidròxid sòdic) a partir de la sal comuna (clorur sòdic o potàssic) mitjançant el procés d'electròlisi. L'electròlisi és el conjunt de fenòmens que tenen lloc en el pas d'un corrent elèctric continu a través d'una solució aquosa saturada de clorurs alcalins purs provocant la dissolució dels seus ions. Les cel·les electrolítiques es disposen de manera separada i estan connectades entre elles en sèrie. El clor es diposita sobre l'ànode i el sodi sobre el càtode, respectivament. El producte final que s'obté és la sosa o la potassa càustica, el clor i l'hidrogen (Muñoz i Hierro, 1997). A Espanya la producció de clor i derivats està dominada per la multinacional belga *Solvay*, amb una capacitat de producció anual de 230.000 tones repartides entre les plantes de Martorell (Barcelona) i Torrelavega (Santander). El segueix *Energía e Industrias Aragonesas*, amb la fàbrica de Palos de la Frontera (Huelva) i finalment *Erkimia* amb la seva factoria a Flix (125.000 tones). A menor escala productiva trobem les empreses de *ELNOSA* (30.000 tones) amb una fàbrica instal·lada a la població de Lourizán (Pontevedra), *Electroquímica Andaluza* (24.000 tones) amb les factories de Vilaseca (Tarragona), Úbeda (Jaén), i Sabiñánigo (Huesca) i finalment l'*Electroquímica de Herneni* (10.000 tones) (Guipúzcoa) (Santamarta, 2000).

La tecnologia emprada per a fabricar clor-sosa pot ser de tres tipus (Muñoz i Hierro, 1997; Santamarta, 2000):

Taula 2.8. *Evolució històrica de la producció química de l'electroquímica de Flix (Muñoz i Hierro, , 1997).*

Inici de les línies de producció	Productes	Inici de les línies de producció	Productes
1900	Sosa, clor, lleixiu d'hipoclorit sòdic	1947	Clorbenzè
1900	Aigua de Javel	1949	Tetraclorur de carbono
1904	Àcid clorhídric sintètic	1949	Potasa càustica
1902	Clorat sòdic	1950	Protoclorur de sofre
1907	Clorat potàssic	1950-1980	Període on es consolida la producció de les noves línies engegades a finals dels '40-principis dels '50
1907	Tetraclorur de carbono		
1907	Clorur d'estany		
1907	Sals de bari (carbonats, hidròxid bàric)	1973	Inici dels fosfats bicàlcics
1907	Hidrogenació de grasses	1980-90	Màxima producció de les línies de clor orgànic
1907	Àcid clorhídric	1990-1993	Línia d'orgànics (clorometans i el percloroetilè)
1912	Clorur de bari		Inorgànics (l'àcid clorhídric, l'hipoclorit sòdic i el clorur fèrric)
1914-18	Àcido tartàric		<i>(Reducció de la producció total de clor i de la línia de clor orgànic (normativa ambiental). Increment fins al 50 % de clor inorgànic)</i>
1914-18	Fluorur sòdic		Tricloroetilè (1990)
1914-18	Permanganat potàssic		Clorir amònics (1991)
1914-18	Essències		Hexacloroetà (1992)
1914-18	Colorants sintètics		Cloroform-clorur de metilè
1921	Clorur de bari		
1922	Nitrogen		
1922	Amoniac		
1923	Cloratita		
1923	Àcid nítric	Aturades de producció de:	
1923	Sulfat amònic sintètic		
1925	Sulfat sòdic		
1926	Colorants i explosius	1990	Àcid clorhídric de síntesis (III i IV)
1928	Tricloroetilè "tri"		Clorur fèrric
1930	Sals de bari (clorur, carbonat i hidròxid de bari)	1991	Liquació-desbromació de clor
1930	Barita	1991	
1944	Amoniac	1996	
1945	Permanganat potàssic		
1945	DDT		
1947	Cloral	Ampliació de noves plantes:	Policlorur d'alumini (1990)
1947	Hidrat de clorat		
1947	Amoniac		
			Fosfat bicàlci (1992)
			Hipoclorit sòdic (lleixiu) (1992 i 1995)

- *Cel·les de diafragma.* El càtode és de ferro, d'acer o d'aleacions de titani, i l'ànode de grafit o d'aleacions de titani platinades. Les cel·les s'alimenten de forma continua amb la solució salina, i els ions es troben separats per una membrana porosa. Per evaporació s'elimina l'aigua i per recristalització s'elimina la sal com a subproducte i es recull el producte final. La primera planta d'electrolisi de la factoria de Flix, de l'any 1900, treballava amb aquesta tecnologia.
- *Cel·les de mercuri.* El càtode consisteix en una pel·lícula de mercuri que circula per una cubeta d'acer rectangular amb un pendent suau. L'ànode pot ser de grafit o de titani recoberts amb una capa d'òxids metàl·lics. La solució electrolítica que alimenta les cel·les està en un circuit tancat. Així doncs, la solució subproducte resultant del procés d'electròlisi es torna a enriquir iònicament i per recirculació es torna a l'inici del procés. El metall electrolitzat es diposita a sobre del mercuri i forma una amalgama que al passar pel descomponedor reacciona amb l'aigua, tot formant la sosa (potassa) al 50% amb alliberació d'hidrogen. En el cas de la factoria de Flix s'incorporaren dues noves plantes d'electròlisis de cel·les de mercuri de tecnologia alemana (ÜHDE): una a l'any 1949 i l'altre a l'any 1961. A Espanya hi ha un total de 9 plantes de producció de clor-sosa amb cel·les de mercuri, les tres més grans ubicades a Catalunya: Martorell (*Solvay*), Flix (*Ercros*) i Vilaseca (*Aragonesas*) en ordre decreixent de capacitat productiva (Santamarta, 2000).
- *Cel·les de membrana:* és la tecnologia més moderna de les tres esmentades. L'ànode i el càtode estan separats per una membrana d'intercanvi catiònic que només permet el pas d'ions de sodi i aigua. La solució salina entra al compartiment anòdic i s'allibera el clor que s'ha de purificar. Es recull el clor per ventilació, es refrigera, es filtra, s'asseca amb torres regades amb àcid sulfúric i es liqua amb un bescanviador de calor fins a obtenir clor líquid. En el càtode es desprèn hidrogen i es forma la sosa per electròlisis. En tots els sistemes productius, el factor limitant és el cost de producció i el consum elèctric. Aquest sistema consumeix menys electricitat, tot i que els costos de producció són lleugerament superiors, mentre que en termes ambientals és el més respectuós ja que no utilitza mercuri en el procés.

2.8.3.3 Processos industrials: la producció de fosfat bicàlcic

El fòsfor és un element bàsic en les dietes alimentàries animals. Les fonts de P es poden classificar en orgàniques (animal o vegetal) i inorgàniques (mineral) (Mateos i García-Jiménez, 1998; FEDNA, 2003):

- *Orgàniques.* El P orgànic d'origen animal presenta una alta disponibilitat i s'obté sobretot de les molturacions fines d'ossos. En canvi, la disponibilitat de les fonts vegetals és menor i està fortament condicionada pel percentatge de fòsfor en forma de fitats i la temperatura del procés de manufacturació.
- *Inorgàniques.* Les fonts minerals representen la principal font de fòsfor en les dietes animals. De la mateixa manera, són un complement ric en calci i altres minerals essencials (Mg, Fe y Cu). El fosfat bicàlcic dihidratat ha estat el producte més utilitzat

a nivell comercial. Tanmateix, recentment han aparegut en el mercat productes més refinats com ara el fosfat monocàlcic i monobicàlcic.

La manufacturació del fosfat bicàlcic (DCP) a Flix

Els principals factors que controlen la disponibilitat en les fonts de fòsfor mineral són la naturalesa de la roca inicial, el procés de fabricació, i la temperatura del procés. El mètode tradicional de manufacturació del fosfat bicàlcic consisteix en tractar la roca fosfòrica (fosforita, fluoroapatita, fosfat tricàlcic amb un 4 % fluor o fosfat cru) amb un àcid fort (HCl o H₂SO₄) i una font de calci (Ca(OH)₂, CO₃Ca) a altes temperatures (FEDNA, 2003).

Generalment, els processos que utilitzen HCl requereixen temperatures de treball inferiors als d'H₂SO₄ (FEDNA, 2003). El procés industrial de Flix es basa en fer reaccionar l'HCl amb la fosforita del Marroc, per formar fosfat monocàlcic soluble que és neutralitzat, posteriorment, amb el carbonat càlcic (roca calcària). El producte final resultant és una sal càlcica en solució i un precipitat de fosfat bicàlcic. Un cop recollit el precipitat, el producte final té una aparença de pols blanca cristal·lina, amb un contingut aproximat del 17-18 % de fòsfor i un 24 % de calci (Figura 2.17). Els productes més refinats del



Figura 2.17. *Aparença del fosfat bicàlcic un cop manufacturat.*

mercant (els monocàlcics) s'obtenen a partir d'un procés de refinament dels fosfats bicàlcics, fent reaccionar el DCP amb àcid fosfòric a través d'una fase d'escalfament i purificació fins a obtenir, segons les condicions de reacció, fosfats monobicàlcics o productes monocàlcics. El seu contingut en fòsfor és superior al 20% i presenten una menor concentració de fluor i metalls pesants (Muñoz i Hierro, 1997).

El control de qualitat del fosfat bicàlcic (DCP)

Els productes fosfòrics comercials es valoren per la seva disponibilitat de fòsfor. En general els productes més processats contenen menys contaminants (F, Pb, Va, As, Hg, Cd) i presenten valors més elevats de fòsfor. De la mateixa manera, els fosfats en la seva forma hidratada són més disponibles que els deshidratats (FEDNA, 2003). A nivell legal, la legislació europea (Directiva 1999/29/CE, de 22 d'abril del 1999) i espanyola (Reial decret 747/2001, de 29 de juny, BOE 156, de 30-6-2001), pel qual s'estableixen les substàncies i els productes indesitjables en l'alimentació animal, ha establert un detallat protocol de control de qualitat dels fosfats que es comercialitzen per a la dieta animal.

Subproductes de la manufacturació del fosfat bicàlcic (DCP)

Els subproductes resultants de l'elaboració del fosfat bicàlcic són els següents:

1. **Compostos fluorats:** El fluor és un element que forma part de la composició de la roca fosfòrica i és tòxic pels animals. Segons Gäfvert i col·laboradors (2001), la roca fosfòrica sedimentària presenta un 5-6 % de F i per tant esdevé imprescindible eliminar-lo del producte final. Durant el procés químic es separa el fosfat bicàlcic per precipitació i el CaF_2 roman en la solució residual. La temperatura i el pH són els paràmetres que controlen el percentatge de fluor que tindrà el producte final.

2. **El clorur càlcic (CaCl_2).** La solució salina que es manté en dissolució mentre precipita el fosfat bicàlcic està enriquida amb CaCl_2 i CaF_2 . Aquesta solució no pot ser reprocessada i s'elimina del procés com a subproducte.

3. **Metalls pesants procedents de la roca fosfòrica.**

Les roques fosfòriques que s'utilitzen en la indústria dels fosfats poden ser d'origen sedimentari (p.e. dipòsits de Marroc, Algèria i Tunísia), d'origen magmàtic (p.e. dipòsit d'apatita de Kola (Rússia)), o en una forma més minoritària a partir del guano, recent o subfòssil, contingut en illes tropicals (p.e. Illes Christmas (Austràlia), o les Birds Islands (Perú)). La diferència entre els dos principals tipus de roques fosfòriques rau en la seva concentració de metalls i de radioactivitat natural, on la fosforita sedimentària és més rica en metalls i en radioactivitat natural que la d'origen magmàtic (Coward & Burnett (1994); Reichelt *et al.*, 1994; Penfold *et al.*, 1997; Barthel *et al.*, 2000; UNSCEAR (2000); Kongshaug *et al.*, 2002) (taula 2.9 i taula 2.10).

Tan els metalls com els radionúclids continguts en la roca fosfòrica acaben formant part de producte final (fertilitzants, fosfat bicàlcic, etc.) i dels subproductes residuals (Brigden *et al.*, 2002). Els nivells de metalls permesos legalment en els productes bicàlcics comercials es troben detallats en la directiva europea 1999/29/CE, adoptada pel Reial decret 747/2001, de 29 de juny, pel qual s'estableixen les substàncies i els productes indesitjables en l'alimentació animal (BOE 156, de 30-6-2001).

En la taula 2.9 s'observa la diferència en les concentracions dels metalls segons l'origen de la roca fosfòrica (Kongshaug *et al.*, 2002). Com podem observar la roca fosfòrica del Marroc presenta uns nivells més elevats de Cr, Zn i Cd, en comparació a l'apatita de Kola. A la part baixa de la taula també s'indiquen els valors naturals típics dels nivells de metalls en sediments fluvials no contaminats.

4. **Les cadenes radioactives naturals: ^{238}U , ^{232}Th .**

Segons l'informe del Comitè Científic de les Nacions Unides (UNSCEAR) del 2000, la concentració d'elements de la cadena de ^{238}U continguda en les roques fosfòriques és de 1500 a 1700 Bq kg^{-1} , i en casos puntuals de fins a 4000-5000 Bq kg^{-1} depenent del seu origen (taula 2.10). En concret, el nostre laboratori LRA-UAB ha determinat una activitat de $1284 \pm 40 \text{ Bq kg}^{-1}$ de ^{210}Pb , $1343 \pm 13 \text{ Bq kg}^{-1}$ de ^{226}Ra i de $836 \pm 11 \text{ Bq kg}^{-1}$ de ^{238}U per a la fosforita del Marroc utilitzada a les instal·lacions de Flix. Segons Carvalho (1995) i Gäfvert i col·laboradors (2001), la radioactivitat present en la fosforita es distribueix i es concentra, un

Taula 2.9 *Concentració dels metalls pesants en diferents dipòsits sedimentaris de roca fosfòrica (Kongshaug et al., 2002).*

Procedència	Concentració (mg kg ⁻¹ de roca fosfòrica)								
	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Hg	Ni	V	Zn
Marroc	11	30	225	22	7	0.04	26	87	261
Nord Africa	15	60	105	45	6	0.05	33	300	420
Sud Àfrica	6	0.2	1	130	35	0.06	35	3	6
Rússia (Kola)	1	0.1	13	30	3	0.01	2	100	19
Orient Mitjà	6	9	129	43	4	0.05	29	122	315
Amèrica del Nord	12	11	109	23	12	0.05	37	82	204
Sediments fluvials*	10-15	0.1	35-50	25-40	17-30	0.04-0.3	20		50-90

*(Palanques et al., 1999)

Taula 2.10. *Activitat (Bq kg⁻¹) de la roca fosfòrica segons la seva procedència.*

Procedència	Activitat (Bq kg ⁻¹)			Referència
	²³⁸ U	²²⁶ Ra	²³² Th	
Marroc	1740	1702	33	Reichert et al., (1994)
Marroc	1003	1406		Carvalho (1995)
Rússia	390		25	Barthel et al., (2000)
Túnia (Gafsa)	830 ± 130	540 ± 60	-	Papastefanou (2001)
Senegal (Taiba)	1700 ± 160	1530 ± 75	-	Papastefanou (2001)
Jordània	450 ± 190	958 ± 42		Papastefanou (2001)
Israel	1800 ± 100	1801.0 ± 3.6	6.8 ± 1.0	Papastefanou (2001)
Sud Àfrica	182 ± 4	112.4 ± 1.0	374.7 ± 1.1	Papastefanou, (2001)

Taula 2.11. *Distribució de la radioactivitat entre la roca fosfòrica, el producte i els residus fosfòrics.*

Localització	Material	Activitat mitjana (Bq kg ⁻¹)			Referència
		²¹⁰ Pb	²²⁶ Ra	²³⁸ U	
Portugal	Fertilitzant (18% P ₂ O ₅)	638	862	632	
	Fertilitzant (30% P ₂ O ₅)	630	608	941	Carvalho (1995)
	Fertilitzant (46% P ₂ O ₅)	574	342	1867	Carvalho (1995)
	Fosfat de guix (residu)	589	950	26	Carvalho (1995)
	Fosfat de guix (residu)		1043	156	Carvalho (1995)
	Fosforita del Marroc	1083	1406	1003	Carvalho (1995)
Suècia	Fosfat bicàlcic (producte)	169±7	15±1	954±38	Carvalho (1995)
	Fosfat de guix	100±5	142±4	8.0±0.5	Gärfvert et al., (2001)
	Precipitat de CaCl ₂	3480±25 2	78±8		Gärfvert et al., (2001)

cop tractada, en els productes fosfòrics finals i en els respectius subproductes. Gäfvvert i col·laboradors (2001), en el seu estudi dels fluxos de radionúclids en la producció del fosfat bicàlcic a partir de fosforita sedimentària, estableixen que el 80% del ^{226}Ra queda retingut en el precipitat de clorur càlcic (CaCl_2). El ^{226}Ra té un comportament químic molt similar al calci, de manera que durant el processat de la roca fosfòrica el radi co-precipita amb els clorurs en forma de clorur de radi. En canvi, ^{238}U resta retingut majoritàriament en el fosfat bicàlcic (producte final). Per exemple, Gäfvvert i col·laboradors (2001) mesuren una activitat de $954 \pm 38 \text{ Bq kg}^{-1}$ d' ^{238}U , $15 \pm 1 \text{ Bq kg}^{-1}$ de ^{226}Ra i $169 \pm 7 \text{ Bq kg}^{-1}$ de ^{210}Pb en el producte destinat al pinso pels animals de producció (fosfat bicàlcic) (vegeu taula 2.11).

Carvalho (1995) també descriu aquestes relacions entre ^{238}U i el ^{226}Ra al llarg del procés productiu i observa com les concentracions d' ^{238}U són superiors en el producte, en aquest cas fertilitzants fosfòrics, que en els subproductes residuals. De la mateixa manera, observa que els nivells de ^{226}Ra són més elevats en els residus fosfòrics que en el producte (taula 2.11). En relació a la presència de ^{226}Ra en els productes segons la riquesa de fòsfor, Carvalho (1995) observa una relació inversament proporcional entre les dues variables, on els fosfats amb menys percentatge de fòsfor esdevenen els més ric en radi. Pel que fa a la distribució del ^{210}Pb , Gäfvvert i col·laboradors (2001) i Carvalho (1995) observen una distribució uniforme entre el producte final i els subproductes (taula 2.11).

Per tant, el producte final, així com els residus resultants del procés industrial presenten concentracions d'elements radioactius que provenen de la roca fosfòrica sedimentària. Aquests tipus de residus són conegut amb el nom de residus NORM (*Natural Occurring Radioactivity*). És a dir, elements que es troben en el medi de forma natural i que no són nocius a causa de la seva inaccessibilitat, però que es concentren, després d'un tractament industrial, en forma de producte o residu. Aquests residus s'emmagatzema en molts casos s'aboquen de manera incontrolada al medi, interaccionant amb l'ecosistema (Cowart i Burnett, 1994; Reichelt *et al.*, 1994; Hull i Burnett, 1996) (vegeu apartat 2.8.3.4).

2.8.3.4. *Impacte ambiental de l'Electroquímica de Flix*

Els agents contaminants procedents de Flix es poden agrupar bàsicament en tres grups:

- i) Els residus radioactius NORM
- ii) Els metalls dels residus de producció, juntament amb el mercuri, subproducte de la producció de clor-sosa
- iii) Els organoclorats

- i) Els residus radioactius NORM

Els fangs residuals de Flix, rics en radioactivitat natural, es poden remobilitzar i ser arrossegats aigües avall de l'embassament durant els períodes d'avingudes i de buidat de l'embassament. Per tant, la seva presència en l'ecosistema fluvial representa una font potencial de dosi rebuda per la població riberenca, ja que poden dispersar-se i entrar a la cadena tròfica.

ii) Els metalls

Els residus de Flix són rics en metalls pesants, especialment Cr, Zn, Cd (Palanques *et al.*, dades no publicades). Aquests metalls es poden remobilitzar amb els sediments o passar en solució aquosa i entrar als organismes vius fluvials i deltaics i a la cadena tròfica.

Per exemple, la zona del delta és una de les grans productores de *Mytilus edulis* d'Espanya, amb unes 3000 tones a l'any, que són consumides íntegrament a Catalunya i a València (Ramón *et al.*, 2002). A la zona de la província de Tarragona, una de les més industrialitzades de Catalunya, s'han realitzat diversos estudis sobre la incorporació de metalls a través de la dieta alimentària (Schuhmacher *et al.*, 1991; Schuhmacher *et al.*, 1993). Segons Llobet i col·laboradors, (2003), en el seu estudi de les concentracions d'arseni, cadmi, mercuri i plom en la dieta dels catalans, s'estima que la incorporació mitjana d'As és de 272.7 µg d⁻¹ a la província de Tarragona i de 223.6 µg d⁻¹ a Catalunya, que no representa un augment estadísticament significatiu. La seva incorporació és deu, bàsicament, al consum de peix, musclos i marisc en general. Tanmateix, aquest valor és lleugerament més baix que el que presenten els països tradicionalment consumidors de peix, com ara el Japó o el País Vasc. La incorporació de Cd ingerit pels habitants de la província de Tarragona s'estima en 56 µg d⁻¹ a l'any 2001 i de 18 µg d⁻¹ a l'any 2003. La seva incorporació es produeix a través del consum de cereals i pel peix i marisc, amb uns nivells similars als reportats en altres països europeus. La incorporació de mercuri per la població de la província de Tarragona és de 4.8 µg d⁻¹, més alta que la incorporació reportada per exemple a la Gran Bretanya (3 µg d⁻¹) o a Dinamarca (3.3 µg d⁻¹) (Llobet *et al.*, 2003).

El Mercuri procedent de l'Electroquímica de Flix

El mercuri és un dels residus més perillosos de la indústria del clor. Les plantes de clor-sosa que treballen amb tecnologia de cel·les de mercuri tenen problemes de fuites pels corrents de clor, sosa, salmorra, fangs sòlids, per les aigües residuals i per l'aire (Santamarta, 2000). Les emissions totals de mercuri a l'aire, aigua i productes procedents de les plantes de clor-àlcali d'Europa occidental van ser de 9.5 tones l'any 1998, oscil·lant entre 0.2 i 3.0 g de Hg Tm⁻¹ de clor produït en les plantes individuals. S'estima que a la Unió Europea (UE) hi ha aproximadament unes 12.000 tones d'aquest metall pesant contingudes en les cel·les de mercuri (IPPC, 2000). Segons la *Convenció per la Protecció del Medi Ambient Marí de l'Atlàntic Nord Oriental* (OSPARCOM) durant l'any 1997 es van comptabilitzar 31 tones de mercuri en la indústria clor-sosa en forma de residus sòlids no reciclats, com per exemple els llots de grafit procedents de l'ús de l'ànode de grafit.

Per tant, el problema de les fuites de mercuri que tenen lloc en les plantes de clor-sosa amb tecnologia de cel·les de mercuri es podria solucionar si es reconvertis i s'adoptés la tecnologia de cel·les de membrana. Per contra, si la tecnologia no és substituïda, l'Oficina Europea de Medi Ambient (comunicat del 27 de febrer del 2003) proposa separar i emmagatzemar el mercuri de les cel·les i evitar la seva reintroducció en el mercat comercial. A Europa s'instal·laren plantes de cel·les de mercuri fins a la meitat de la dècada dels '70 i entre els anys 1982 i 1995 s'anaren tancant o reconvertint a cel·les de membrana. Finalment, a l'abril del

2001 es celebrà la *Convenció OSPARCOM* on els estats signants ratificaven l'acceptació de tancar totes les plantes amb tecnologia de mercuri abans de l'any 2010.

A la zona de Flix la presència del mercuri en les aigües del riu Ebre no és estrany ja que l'empresa té un permís de la *Confederación Hidrográfica del Ebro* per fer abocaments controlats sota uns límits legals establerts. Malgrat tot, el risc d'episodis de contaminació aguda per mercuri existeix. Un bon exemple fou el dia 25 de desembre del 2001, en que s'abocà una quantitat incerta de mercuri al riu Ebre a l'altura de la factoria de Flix i que intoxicà els organismes del tram baix del riu Ebre (4000 peixos morts) (Margalef, 2002). Dos dies després de l'abocament, la concentració de mercuri detectada en l'aigua, segons les analítiques de l'Agència Catalana de l'Aigua, fou de 7.7 mg L^{-1} , quan el màxim autoritzat per la llei és de 1 mg L^{-1} per les aigües prepotables (aigües que no han estat objecte de cap tractament industrial) (Reial Decret 927/1988, de 29 de juliol).

El mercuri en la seva forma inorgànica (Hg^0) s'oxida a Hg^{2+} i pot passar en els medis aquàtics en forma de sals inorgàniques. Les formes inorgàniques del mercuri no són perilloses perquè es mantenen inactives als sediments, però en contacte amb microorganismes es produeixen metilacions aeròbies o anaeròbies del metall, formant complexos orgànics que es mobilitzen dissolent-se a l'aigua. Els principals complexos són el metilmercuri (CH_3Hg^+) i el dimetilmercuri (CH_3HgCH_3). Aquest últim és molt volàtil i s'escapa a l'atmosfera. El metilmercuri es manté en dissolució incorporant-se al metabolisme dels organismes aquàtics, bioacumulant-se i mobilitzant-se per la cadena tròfica, causant efectes neurotòxics (Fitzgerald i Clarkson, 1991; Clarkson, 1992).

Batista i col·laboradors (1996) realitzaren un estudi conjunt a les viles de Flix (planta de clorosa), Tarragona (important complex poliquímic) i Tortosa (economia basada en el comerç i la agricultura) utilitzant el cabell humà com a biomarcador, amb l'objectiu d'avaluar el grau d'exposició ambiental de la població al mercuri. Observaren una concentració mitjana de mercuri en el cabell dels individus de Flix és de $0.57 \mu\text{g g}^{-1}$, inferior al valor mitjà de $0.83 \mu\text{g g}^{-1}$ mesurat als cabells dels habitants de Tarragona i els $0.97 \mu\text{g g}^{-1}$ de la població de Tortosa. L'explicació rau en la dieta dels habitants de Flix. Tot i que la taxa d'ingestió de peix és similar, la dieta dels flixencs és més rica en peix congelat en comparació al consum de peix majoritàriament fresc de la població de Tarragona i Tortosa. Segons Schuhmacher i col·laboradors (1994) els nivells de mercuri que presenten els peixos de la costa tarragonina són significativament més elevats que a la resta de Catalunya, amb una concentració de $219 \mu\text{g kg}^{-1}$ en pes humit. Per contra, la mitjana de mercuri en el peix congelat d'Espanya és de $55 \mu\text{g kg}^{-1}$ en pes humit (Moreiras i Cuadrado 1992).

iii) Els organoclorats

Juntament amb els residus rics en radioactivitat natural i els metalls també trobem associats a la indústria del clor, els compostos organoclorats.

Els compostos orgànics persistents s'han començat a produir a partir de la dècada dels '40. Els principals productors són els Estats Units d'Amèrica i d'Europa (Santamarta, 2000). Aquests productes orgànics, a diferència dels compostos orgànics naturals, no es degraden a l'entrar en contacte amb l'oxigen, si no que foren dissenyats per ser molècules d'elevada

estabilitat química mitjançant àtoms de clor en substitució dels àtoms de carboni. La seva principal aplicació ha en el camp dels pesticides: en forma d'Hexaclorobenzè (HCB) (fungicida per al tractament de llavors i preservador de la fusta), DDT com a insecticida, i els seus productes de degradació (p.e. lindà, metoxiclor (autoritzat a Espanya), aldrín etc.). El popular DDT (o DDE un cop metabolitzat pels organismes), prohibit des del 1972 en molts països occidentals, i en concret a l'any 1978 a la Comunitat Econòmica Europea, està encara en ús en països en vies de desenvolupament, sobretot tropicals, pel seu baix cost econòmic i per la seva eficàcia en la lluita contra els insectes transmissors de malalties com el paludisme (malària). Els policlorobifenils (PCB) van ser utilitzats com a olis resistents a la temperatura. Paral·lelament a aquestes línies de producció de clorats començaren a aparèixer diversos subproductes com ara les dioxines, (família de 75 compostos clorats) populars des de la catàstrofe de l'any 1976 de la factoria de *Hoffman La Roche* de Seveso (Itàlia) i els dibenzofurans (furans) fruit de la combustió parcial o total de productes orgànics, presents en la producció de plàstics de policlorur de vinil (PVC), el blanqueig de la pasta de paper amb clor i la incineració de residus.

Tampoc cal oblidar els hidrocarburs aromàtics policíclics (PAH), que són un altre grup d'orgànics persistents però de naturalesa diferent als organoclorats. Els PAH estan constituïts per anells aromàtics (benzènics) i es formen en processos de combustió, ja sigui de forma natural (incendis, volcans etc.) o antròpica (consum combustibles fòssils) (Fernández, *et al.*, 2000). L'estabilitat química d'aquests compostos organoclorats els ha convertit en elements contaminants persistents en el medi i amb un gran poder de dispersió gràcies a la seva condició de semi-volàtils i liposolubles (Grimalt, *et al.*, 2001). Aquestes propietats permeten que els organoclorats persistents s'incorporin a les xarxes tròfiques, siguin metabolitzats pels organismes i bioacumulats en el teixit adipós. Les conseqüències finals de la incorporació d'aquests productes poden ser els càncers, pèrdues de fertilitat, anormalitats metabòliques en peixos i aus, i trastorns hormonals (disruptors endocrins) (Grimalt *et al.*, 1994; Soto *et al.*, 1994; Portas *et al.*, 1999; Santamarta, J., 2000; Lomborg, 2001; Ribas-Fitó *et al.*, 2001). S'ha comprovat que aquests compostos, un cop s'evaporen al medi, es concentren principalment en els ecosistemes propers a les fonts de producció (Fernández *et al.*, 2000; Grimalt *et al.*, 2001; Fernández *et al.*, 2003). Tanmateix, la seva presència ha estat registrada en tots els ecosistemes d'arreu del planeta, des dels llacs d'alta muntanya (Fernández *et al.*, 2001), als organismes de les planes abissals, passant per les zones fredes on s'acumulen gràcies als mecanismes de condensació (Allen-Gill *et al.*, 1997). La seva distribució és tan universal que ja s'han establert uns nivells considerats "habituals" en les poblacions humanes no contaminades per alguna font específica, amb valors de 10 mg L⁻¹ de DDE, de 1 mg L⁻¹ d'HCB i de 5 mg L⁻¹ de b-HCH (Grimalt, 2002).

A nivell Europeu, l'aplicació de la Directiva de la UE sobre Prevenció y Controls Integrats de la Contaminació (IPPC) ha proposat reduir les emissions de clorats al medi ambient. L'enorme perillositat d'aquestes substàncies ha comportat la redacció d'un conveni, l'anomenat Conveni d'Estocolm (2001), on s'estableix una llista de 12 substàncies organoclorades, les quals els països signants es comprometen a disminuir i a aturar-ne la producció. Aquestes substàncies són, entre d'altres, el HCB, les dioxines, els PCB i el DDT.

La situació a l'Ebre i a Flix

En el riu Ebre trobem dos focus importants de contaminació per organoclorats. Un s'ubica al Riu Cinca (afluent de l'Ebre) en el seu pas per Monzón (Osca) i l'altre a la població de Flix (Marco *et al.*, 1998). A la vila de Monzón hi ha un important polígon industrial en el qual hi

ha emplaçada l'empresa de *Montecinca*, productora dels pesticides dicofol i tetradifol, i subproductes del DDT. L'empresa inicià la seva producció l'any 1987 i aboca al riu compostos com ara el cloroform, els triclorobenzens i els DDTs, tots ells regulats per l'autorització d'abocaments d'aigües residuals al riu Ebre (revisada el maig del 2000), concedida per la Confederació Hidrogràfica de l'Ebre (CHE). Juntament amb els abocament dels afluents líquids industrials, l'empresa aboca els seus llots sòlids residuals en un terreny ubicat a les ribes del Cinca. Els anys 1997 i 1999 foren anys especialment crítics per les aigües i la biota del riu Cinca, doncs es registraren accidents importants per abocaments de DDT, produint una gran mortalitat de peixos, amb concentracions de fins a $10.000 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ de peix fresc. El laboratori INTERLAB (INTERLAB, 1999) elaborà un estudi per la CHE per tal de confirmar si la contaminació de DDT provenia efectivament de l'empresa Montecinca. Els resultats confirmaren aquesta hipòtesi, registrant nivells de fins a 5218 ng g^{-1} i 12138 ng g^{-1} de DDT en els fetges dels barbs i carpes, respectivament.

L'altre punt crític de l'Ebre per contaminació de compostos organoclorats és a Flix, amb la planta de síntesi de clor i derivats. Recentment s'han publicat diversos estudis per tal d'avaluar l'efecte que pot tenir el complex electroquímic a la zona (Grimalt *et al.*, 1994; Sala *et al.*, 1999a; Ribas-Fito *et al.*, 2001, 2003). L'any 1994, a arrel de l'estudi publicat per Grimalt i col·laboradors (1994) es detectà que la vila de Flix presenta els nivells més elevats d'HCB a l'atmosfera reportats fins al moment, amb concentracions que arriben a ser 1000 vegades superior als nivells normals atmosfèrics. Sala i col·laboradors (1999) realitzaren un estudi basant-se en una població de 1.800 individus de la zona de Flix amb l'objectiu d'establir l'estat de salut general de la població de Flix i les possibles correlacions entre els nivells elevats de contaminants en sang i les malalties associades a exposicions prolongades al HCB (càncers, hipotiroidisme, malalties neurodegeneratives etc.). L'estudi detectà nivells elevats de HCB en la sang dels operaris de sexe masculí de la planta electroquímica, amb valors de 50 i 100 vegades per sobre dels valors normals de la població no exposada (1 mg L^{-1} d'HCB). La conclusió fou que els habitants de la vila de Flix presenten un nivell de salut normal però, per contra, els treballadors de la factoria, especialment els homes, presentaven una major freqüència de malalties causades pels hexaclorobenzens.

El darrer estudi epidemiològic realitzat a la zona és el de Ribas-Fitó i col·laboradors (2003), que incorpora investigadors de l'Institut Municipal d'Investigació Mèdica de Barcelona (IMM) i del Centre d'Investigació i Desenvolupament (CID-CSIC). La població estudiada fou una cohort d'aproximadament 100 mares i nadons nascuts entre els anys 1997 i 1999, en els quals es realitzaren estudis de desenvolupament neuronal, mesures dels nivells d'organoclorats en sang materna, llet materna, sang de les criatures i la possible transferència mare-fetus a través de la placenta. Els resultats foren que tots els nounats estudiats presentaven nivells quantificables d'HCB, DDE i PCBs en la sang i superiors a les concentracions que es troben normalment en els adults. Es detectaren també organoclorats a la sang del cordó umbilical aportats a través de la llet materna. Paradoxalment, malgrat que es demostrà que la llet materna era una de les vies d'incorporació d'organoclorats (HCB, PCB, DDE) en els infants, els nadons amb una lactància natural presentaren un millor desenvolupament neuroconductual que els alimentats artificialment. Per tant, tot i la presència d'agents tòxics, es recomanà l'alimentació amb llet materna a les mares d'aquella zona. L'altra conclusió que es destaca d'aquest estudi és que els infants que reben una major dosis de DDE en el decurs de la seva vida fetal, experimenten un retard en la seva maduresa mental i desenvolupament psicomotriu a l'edat de 13 mesos de vida.

