

AGRAÏMENTS

Aquest document és el resultat d'un curs de treball durant el qual l'ajuda requerida ha estat extensa. Per això, volem donar les gràcies a les següents persones.

Primer de tot, voldríem agrair als nostres tutors el suport i l'ajuda donada en aquest projecte : a la Maria Martín, per l'assessorament tècnic i científic, així com per resoldre els diferents problemes que ens hem anat trobant. A l'Emili Mató, tutor de l'assignatura projecte de ciències ambientals, que ens ha aconsellat des d'un altre punt de vista.

Al Dr. Bartrolí, al qual hem consultat sempre que ens ha estat necessari ja que hem treballat a partir de la seva tesi doctoral.

A l'Astrid Torra, estudiant de publicitat i relacions públiques, per l'ajuda en l'elaboració del logotip i a l'imatge de la hipotètica empresa.

A l'Ester Serradell i en Sergi Coll, amics nostres, per la seva paciència i ajuda durant la realització del projecte, aportant noves idees i consells.

Finalment, agrair l'ajuda de totes aquelles persones amb qui ens hem posat en contacte i, de manera desinteressada, ens han facilitat moltes de les dades que necessitàvem.

A TOTS VOSALTRES : MOLTES GRÀCIES !

PRESENTACIÓ

Aquesta memòria respon a l'assignatura "Projecte" de Ciències Ambientals.

Aquesta matèria, al realitzar-se a l'últim curs, pretén consolidar els coneixements adquirits al llarg de la llicenciatura. Al dur-se a terme un treball pràctic es posen en comú els diferents aprenentatges desenvolupats al llarg d'aquesta carrera multidisciplinària.

A més a més, al ser un treball en equip es posa de manifest la dificultat de treballar en grup i són moltes les ocasions en què s'ha d'aprendre a cedir i fer un esforç per entendre els diferents punts de vista i de treball dels altres. Alhora, però, també cal destacar de manera molt positiva, aquest intercanvi de coneixements i és evident que cal pensar individualment però actuar conjuntament.

La memòria que hi ha a continuació és l'avaluació ambiental del nitrogen a Catalunya, tot analitzant l'evolució que aquest element tant important ha tingut des del 1997 al 2003 en el nostre país.

Vam escollir aquest tema perquè tot i ser una problemàtica actual a molts països és un tema bastant desconegut, sobretot arreu de l'Estat Espanyol. Per tant, ens va interessar poder treballar en un projecte innovador i cada cop més rellevant als països més avançats d'Europa.

ÍNDEX


1. OBJECTIUS	6
2. INTRODUCCIÓ	8
2.1 IMPORTÀNCIA DEL NITROGEN PER ALS ÉSSERS VIUS	8
2.2 DISTRIBUCIÓ BIOGEOQUÍMICA DEL NITROGEN	8
<i>Litosfera</i>	9
<i>Atmosfera</i>	9
<i>Biosfera</i>	10
<i>Hidrosfera</i>	11
2.3 EL NITROGEN: UN NUTRIENT LIMITANT	11
2.4 PRINCIPALS FACTORS D'ALTERACIÓ DEL CICLE PREINDUSTRIAL DEL NITROGEN	11
<i>La producció d'aliments</i>	12
<i>La producció d'energia</i>	13
<i>Perspectives futures</i>	13
2.5 IMPACTES DERIVATS DE L'ALTERACIÓ DEL CICLE PREINDUSTRIAL DEL NITROGEN	14
<i>Impactes sobre el medi ambient a escala mundial</i>	15
<i>Impactes sobre el medi ambient a escala regional</i>	18
<i>Impactes sobre el medi ambient a escala local</i>	21
<i>Impactes sobre la salut humana</i>	23
2.6 PROBLEMÀTIQUES AMBIENTALS VINCULADES AL NITROGEN A CATALUNYA.	24
2.7 NECESSITATS D'UNA METODOLOGIA D'ANÀLISI GLOBAL.	26
3. MÈTODE: ANÀLISI DELS FLUXOS D'UNA SUBSTÀNCIA (AFS)	30
3.1 MÈTODES D'ANÀLISI GLOBAL DE LES PROBLEMÀTIQUES DEL NITROGEN	30
3.2 BASES DE L'ANÀLISI DELS FLUXOS DELS MATERIALS (AFM) I DE L'ANÀLISI DELS FLUXOS D'UNA SUBSTÀNCIA (AFS), COM A EINES D'ANÀLISI DELS PROBLEMES AMBIENTALS	31
3.3 AFS I POLÍTICA AMBIENTAL	33
3.4 EL MÈTODE D'ANÀLISI DELS FLUXOS D'UNA SUBSTÀNCIA	33
4. ANTECEDENTS	40
5. ANÀLISI DEL FLUX DE SUBSTÀNCIES DEL NITROGEN A CATALUNYA: DEFINICIÓ DEL SISTEMA D'ESTUDI.	42
5.1 INTRODUCCIÓ	42
5.2 DEFINICIÓ DE LA SUBSTÀNCIA A ESTUDIAR	42
5.3 DEFINICIÓ ESCALA D'ESTUDI.	43
5.4 DEFINICIÓ DE L'ESCALA TEMPORAL.	43
6. ANÀLISI FLUX DE SUBSTÀNCIES DEL NITROGEN A CATALUNYA: DESCRIPCIÓ GENERAL DELS FLUXOS	45
6.1 NOMENCLATURA DELS FLUXOS	45
6.2 FONTS DE DADES EMPRADES	46
6.3 DIFICULTATS EN L'OBTENCIÓ DE LES DADES	47
6.4 INCERTESA EN LA QUANTIFICACIÓ	48
6.5 DESCRIPCIÓ DE LA QUANTIFICACIÓ DELS DIVERSOS FLUXOS	49
7. ANÀLISI FLUX SUBSTÀNCIES DEL NITROGEN A CATALUNYA: DESCRIPCIÓ I QUANTIFICACIÓ DELS COMPARTIMENTS	51
7.1 DIAGRAMA BÀSIC DELS FLUXOS DEL SISTEMA D'ESTUDI	51
7.2 DESCRIPCIÓ DE LA QUANTIFICACIÓ DELS DIVERSOS COMPARTIMENTS	52
7.3 TROPOSFERA (A)	53
7.4 SÒLS AGRÍCOLES (B)	59
7.5 ALTRES SÒLS (C)	68
7.6 PROCESSOS DE COMBUSTIÓ (D)	73
7.7 AIGÜES SUBTERRÀNIES (E)	78

7.8 SUBMINISTRAMENT D'AIGUA (F)	82
7.9 AIGÜES SUPERFICIALS (G)	85
7.10 INDÚSTRIA (H)	90
7.11 GESTIÓ DE RESIDUS (I)	95
7.12 GESTIÓ D'AIGÜES RESIDUALS (J)	100
7.13 SECTOR PÚBLIC I CONSUMIDORS (K)	105
7.14 RAMADERIA (L)	109
8. ANÀLISI GLOBAL	115
8.1 INTRODUCCIÓ	115
8.2 DIAGRAMA DEL MODEL DE AFS DEL NITROGEN A CATALUNYA	115
8.3 IMPORTÀNCIA RELATIVA DELS COMPARTIMENTS DINS DEL CICLE	118
8.4 ACUMULACIÓ DE NITROGEN EN EL SISTEMA D'ESTUDI	118
8.5 IMPORTÀNCIA SOBRE EL MEDI	119
8.6 ASPECTES A CONSIDERAR D'ALTRES COMPARTIMENTS	124
9. PROPOSTES DE MILLORA	126
9.1 MESURES SOCIALS	126
9.2 MESURES POLÍTIQUES I ECONÒMIQUES	126
9.3 MESURES CIENTÍFIQUES I TECNOLÒGIQUES	126
9.4 MESURES CONCRETES PEL SECTOR AGRÍCOLA I RAMADER	127
9.5 MESURES DE MILLORA PROPOSADES PER L'ADMINISTRACIÓ	129
10. CONCLUSIONS	135
11. ABREVIATURES I ACRÒNIMS	139
12. BIBLIOGRAFIA	141
<i>BIBLIOGRAFIA BÀSICA</i>	<i>141</i>
<i>ALTRA BIBLIOGRAFIA</i>	<i>142</i>

ANNEX I : QUANTIFICACIÓ DELS FLUXOS

ANNEX II : TAULES QUANTIFICACIÓ DELS FLUXOS

TITOL : OBJECTIUS



1. OBJECTIUS

La complexitat del cicle del nitrogen, els impactes a diferents escales global, regional i local, les dificultats en l'establiment de les relacions causa-efecte, així com les diferències regionals fan necessari l'ús d'estudis globals i integradors per tal de millorar el coneixement sobre els aspectes econòmics, socials i ambientals que intervenen en el cicle del nitrogen propi de cada regió geogràfica.

L'objectiu d'aquest projecte és en primera fase:

1. Actualitzar el balanç de nitrogen a Catalunya.
2. Identificar els principals factors que intervenen en les problemàtiques ambientals, actuals o futures, dels compostos nitrogenats a Catalunya.
3. Comparar els resultats obtinguts amb estudis anteriors. Estudiar la influència de les mesures preses per les Administracions en la problemàtica del nitrogen a Catalunya.

En la segona fase, l'objectiu del projecte és l'anàlisi dels resultats de la quantificació del model de fluxos de nitrogen a Catalunya per tal de:

4. Determinar quins són els principals processos del cicle del nitrogen de Catalunya dels quals caldria millorar el seu coneixement.
5. Proposar millores per mitigar i/o solucionar determinats punts negres de contaminació dels compostos nitrogenats.

TÍTOL : INTRODUCCIÓ



2. INTRODUCCIÓ

2.1 IMPORTÀNCIA DEL NITROGEN PER ALS ÉSSERS VIUS

El N juntament amb el C, H i O és un dels elements principals en la composició dels éssers vius. Tots els éssers vius necessiten del nitrogen pel seu desenvolupament. En gairebé tots els processos de transformació de la matèria viva, el nitrogen hi està involucrat.

El nitrogen és un component essencial d'importants molècules orgàniques com les proteïnes, el material genètic o la clorofil·la. Dins d'aquests compostos orgànics, les proteïnes, degut a la seva abundància i a la seva necessitat de renovació, són les molècules orgàniques que fan requerir als éssers vius un major aport de nitrogen.

Les proteïnes estan presents en tots els teixits vius i desenvolupen funcions essencials en la regulació metabòlica, en la defensa contra els microorganismes i en el metabolisme cel·lular. Totes les cèl·lules del cos humà estan parcialment compostes de proteïnes que es reemplacen contínuament degut al procés de deteriorament que sofreixen. En tant que les proteïnes són un dels components essencials de tots els éssers vius i, per tant, de l'espècie humana, tots els organismes vius necessiten d'aportacions de nitrogen per a poder viure.

2.2 DISTRIBUCIÓ BIOGEOQUÍMICA DEL NITROGEN

Encara que el nitrogen és un dels elements més àmpliament distribuïts en la naturalesa, la seva disponibilitat per als éssers vius és escassa. Això és degut a què es troba majoritàriament en formes no assimilables (roques i N₂ atmosfèric) per a la majoria d'organismes (Taula 1) . Per ser assimilable per a la majoria d'éssers vius el nitrogen ha d'estar fixat o actiu, és a dir, ha d'estar combinat amb altres elements químics com el C, O o H.

L'escassa presència de formes de nitrogen assimilables pels éssers vius, en la majoria dels ecosistemes, és el motiu principal de què el nitrogen hagi estat, al llarg del procés evolutiu, un nutrient limitant del creixement dels organismes vius en molts ecosistemes.

- Taula 1. Distribució biogeoquímica del nitrogen a la Terra.

Reserva de nitrogen	Quantitat de N, en Tg (10^{12} g)	Percentatge de N sobre la quantitat total (%)
Litosfera	$1,9 \cdot 10^{11}$	98
Atmosfera	$3,9 \cdot 10^9$	1,9
Hidrosfera	$2,2 \cdot 10^7$	0,01
Biosfera	$1,9 \cdot 10^6$	0,001

Font: [Haynes, 1986; Stevenson, 1986; Tamm, 1991]

Litosfera

La reserva més important de nitrogen és la litosfera amb un 98% (Taula 1). Tanmateix, la major part del nitrogen present en la litosfera no intervé en el cicle global del nitrogen, ja que pràcticament tot es troba estabilitzat formant part de roques primàries i secundàries.

Tan sols un 0,03% del nitrogen de la litosfera [Aparicio-Tejo *et al.*, 1993] es troba en el sòl no formant part de roques primàries o secundàries, i d'aquest només una proporció molt petita està en formes assimilables pels éssers vius (NO_3^- i NH_4^+). Per tant, el nitrogen de la litosfera té una participació relativament molt baixa en el cicle biogeoquímic del nitrogen, ja que està majoritàriament present en formes no assimilables per als éssers vius.

Atmosfera

El nitrogen és el principal component de l'atmosfera terrestre. Aproximadament el 78 per cent de l'aire sec en l'atmosfera és nitrogen. Malgrat que el gas nitrogen de l'atmosfera representa només el 1,9% (Taula 1) del nitrogen en massa de la Terra, la major part del nitrogen necessari pel creixement de les plantes, font d'aliment a la vegada dels animals, prové en últim terme de l'atmosfera.

Pràcticament tot el nitrogen de l'atmosfera està en forma de N_2 . El nitrogen en la forma de N_2 no és aprofitable pels organismes superiors, ja que la molècula de N_2 , té un triple enllaç covalent d'estructura $\text{N}\equiv\text{N}$, que fa que aquest compost sigui summament estable i molt difícil de trencar. Només alguns gèneres de bacteries, d'actinomicets i certes algues verd-blaves (cianobactèris) són capaços de fixar el nitrogen, transformant el nitrogen en forma de N_2 present en l'atmosfera, en un compost nitrogenat biològicament assimilable pels organismes superiors.

També es troben a l'atmosfera quantitats petites però significatives d'altres compostos nitrogenats (Taula 2) com el N_2O , NO , NO_2 , NH_3 , HNO_3 , NO_3^- , NH_4^+ i N orgànic (aquest últim present en els aerosols).

- Taula 2. Distribució del nitrogen a l'atmosfera.

Forma de compost nitrogenat	Quantitat de N, en Tg (10^{12} g)
N₂	$3,9 \cdot 10^9$
N₂O	$1,4 \cdot 10^3$
NH₄⁺	1,7
NO_x	1 - 4
NO₃⁻	0,5
HNO₃	0,2
N orgànic	1

Font: [Haynes, 1986; Tamm, 1991]

Biosfera

En comparació a les quantitats de nitrogen que contenen la litosfera i l'atmosfera, la quantitat present en la biosfera és molt i molt petita (Taula 1), tan sols representa el 0,001% de tot el nitrogen de la Terra. La distribució del nitrogen a la biosfera, entre els ecosistemes terrestres i marins està expressada numèricament en la Taula 3.

- Taula 3. Distribució del nitrogen a la biosfera.

Forma de compost nitrogenat	Ecosistemes terrestres		Ecosistemes marins	
	Quantitat en Tg de N	distribució %	Quantitat en Tg de N	distribució %
Nitrogen orgànic	$3 - 5,5 \cdot 10^5$	82.2	$5,3 - 6,5 \cdot 10^5$	48.7
Dipòsits de carbó	$0,1 - 1,2 \cdot 10^5$	12.6	-	
N soluble:	$1 \cdot 10^3$	0.2		
NO ₃ ⁻			$5,7 - 6,5 \cdot 10^5$	50.3
NH ₄ ⁺			$5 - 7 \cdot 10^3$	0.5
NO ₂ ⁻			$0,5 \cdot 5 \cdot 10^3$	0.2
N insoluble	$1 - 1,6 \cdot 10^4$	2.6	-	
Biomassa de plantes	$1 - 1,4 \cdot 10^4$	2.3	$0,3 - 1 \cdot 10^3$	0.05
Biomassa animals	$0,2 - 1 \cdot 10^3$	0.1	$0,17 - 3 \cdot 10^3$	0.1

Font: [Haynes, 1986; Tamm, 1991]

El nitrogen orgànic constitueix una part considerable del nitrogen dels ecosistemes marins (50%) i dels terrestres (82%). En els ecosistemes terrestres, el nitrogen orgànic juntament amb el nitrogen fixat en forma de NH₄⁺ per les argiles, supera llargament les formes de nitrogen inorgànic solubles (NO₃⁻ i NH₄⁺), assimilables per les plantes (Taula 3).

Els microorganismes presents en el sòl són els responsables de convertir el nitrogen contingut en la matèria orgànica morta (el 82% del nitrogen dels sòls), cap a formes de nitrogen minerals (NO₃⁻ i NH₄⁺), les quals si són assimilables per a les plantes.

L'escassa presència de formes de nitrogen assimilables per les plantes en la majoria de sòls, fa que el nitrogen esdevingui, sovint, el nutrient limitant del seu creixement.

Hidrosfera

El nitrogen a la hidrosfera està present en diverses formes com N_2 , NH_4^+ , NO_2 , NO_3^- , i matèria orgànica particulada o dissolta. El 95% d'aquest nitrogen està en forma de gas N_2 dissolt i no té pràcticament cap activitat química o biològica. És per això, que només una petita part del nitrogen present a la hidrosfera pot ser considerat com a nitrogen actiu, aquell que pot ser utilitzat pels éssers vius.

2.3 EL NITROGEN: UN NUTRIENT LIMITANT

Els elevats requeriments de nitrogen per part dels éssers vius, per a la síntesi de proteïnes i d'altres molècules orgàniques, juntament amb l'escassa presència de formes de nitrogen assimilables en la majoria dels ecosistemes, són les causes essencials de que el nitrogen hagi estat al llarg de la història evolutiva recent, un nutrient limitant del creixement dels organismes vius en molts ecosistemes, els quals han hagut d'adaptar-se.

La limitació del nitrogen disponible en nombrosos ecosistemes terrestres, marins i d'aigües dolces, ha jugat un paper clau en el control de la composició de les espècies, de la seva diversitat, de les seves dinàmiques i de la seva funcionalitat.

Moltes espècies de plantes s'han adaptat a aquesta limitació, aconseguint el seu òptim funcional en condicions de baixa disponibilitat de nitrogen en el sòl. Essent les plantes l'aliment dels herbívors i aquests l'aliment dels seus depredadors, tota la cadena tròfica dels ecosistemes ha estat, fins fa poc, altament condicionada per la disponibilitat de nitrogen en el medi.

2.4 PRINCIPALS FACTORS D'ALTERACIÓ DEL CICLE PREINDUSTRIAL DEL NITROGEN

S'estima que el cicle preindustrial del nitrogen, abans de l'aparició de l'agricultura intensiva i de la utilització dels combustibles fòssils, estava aproximadament balancejat [Delwiche, 1972; Schlesinger, 1991; Galloway et al., 1995a]. Les activitats humanes han alterat el cicle preindustrial del nitrogen.

Es creu que degut a les activitats humanes [Galloway et al., 1995a; Vitousek et al., 1997] s'ha duplicat la quantitat de nitrogen transferit (fixat) des de l'atmosfera cap a formes disponibles per als éssers vius. Com a conseqüència, la quantitat de nitrogen fixat i, per tant, biològicament actiu que circula actualment per l'atmosfera i la biosfera de la Terra, és la més gran existent al llarg del període de la història corresponent a l'espècie humana.

L'augment del nitrogen actiu que circula, avui en dia pel planeta, ha fet que el nitrogen hagi deixat d'ésser el nutrient limitant del creixement dels organismes vius en determinats ecosistemes arribant, per contra, a motivar episodis d'eutrofització de les aigües superficials o marines. Existeixen, paral·lelament, d'altres problemàtiques ambientals vinculades a l'augment dels compostos nitrogenats actius que circulen pel planeta : l'escalfament de la Terra, la pluja àcida, l'explotació i la degradació del sòl, la contaminació de les aigües subterrànies per nitrats, canvis en la composició d'espècies dels ecosistemes o la producció d'ozó troposfèric.

Dues han estat essencialment les activitats humanes que han originat l'alteració del cicle global del nitrogen: l'augment de la producció alimentària (vinculada a la utilització de fertilitzants nitrogenats) i l'augment de la producció d'energia (vinculada a la combustió de combustibles fòssils a altes temperatures).

La producció d'aliments

La producció d'aliments a nivell mundial ha estat condicionada en els darrers anys per l'enorme increment de la població mundial. Des de principi dels anys seixanta la població mundial s'ha doblat, passat dels poc més de 3.000 milions als més de 6.000 milions actuals.

La necessitat de satisfer aquesta creixent demanada d'aliments, tot i l'escàs creixement de la quantitat de terres dedicades al conreu, s'ha aconseguit sobretot a partir dels anys seixanta mitjançant l'aplicació de fertilitzants. La producció de cereals permet estimar la producció d'aliments, ja que són sembrats aproximadament en la meitat dels terrenys de conreu del món.

Pràcticament tots els fertilitzants nitrogenats utilitzats avui en dia utilitzen l'amoníac com a matèria primera.

Mitjançant el procés de Haber-Bosch, s'aconsegueix que una molècula de nitrogen gas es combini amb tres molècules d'hidrogen a temperatura i pressió elevades, en

presència d'un catalitzador, donant lloc a la formació de dues molècules d'amoníac. D'aquesta manera s'aconsegueix fixar el nitrogen atmosfèric (N_2), transformant-lo en compostos de nitrogen que són assimilables per a tots els éssers vius.

Per una banda, l'aplicació de fertilitzants als sòls agrícoles ha permès incrementar la productivitat de la terra. Per l'altra, ha comportat l'increment del nitrogen actiu o fixat que circula pel planeta, el qual està estretament lligat a diverses problemàtiques ambientals.

La producció d'energia

Durant els processos de combustió de combustibles fòssils es donen les altes temperatures necessàries perquè es produeixi la fixació de nitrogen en forma de NO. El nitrogen fixat durant la combustió de combustibles fòssils pot provenir de dues fonts: del N_2 atmosfèric o del nitrogen que contenen emmagatzemat els propis combustibles fòssils.

Les proporcions de nitrogen atmosfèric i de nitrogen present en el combustible, fixades durant el procés de combustió, varien depenent del tipus de combustible i de la temperatura i de la pressió del procés.

El nitrogen fixat antropogènicament durant els processos de combustió de combustibles fòssils (NO_x) és emès a l'atmosfera. Posteriorment, aquest nitrogen fixat és deposicionat per mitjà de la pluja o en forma de partícules sòlides en els ecosistemes terrestres i marins, on pot ésser utilitzat pels éssers vius. Aquesta entrada de nitrogen fixat pot contribuir a causar diferents problemàtiques ambientals com la degradació del sòls o l'eutrofització d'ecosistemes.

Perspectives futures

Existeixen en l'actualitat dos factors que condicionen l'increment del nitrogen fixat degut a les activitats humanes:

- a) L'augment de la població mundial.
- b) L'augment del nivell de vida en certs països.

Aquests dos factors, són la causa principal del creixement en la demanda d'aliments i de combustibles fòssils a nivell mundial. Cal, a més a més, tenir present que existeixen encara greus problemes de mal nutrició en molts països en desenvolupament essent, per tant, necessari no sols mantenir sinó augmentar la quantitat de menjar per càpita existent actualment.

Es preveu, doncs, que en un futur proper, més fertilitzants i més combustibles fòssils seran utilitzats per tal de satisfer les creixents demandes d'aliments i d'energia al món.

Aquest fet comportaria un augment en les quantitats de nitrogen mobilitzat (augment del nitrogen atmosfèric transferit cap a formes disponibles per als éssers vius) a nivell mundial. L'increment de la quantitat de nitrogen mobilitzat podria originar nous impactes sobre el medi ambient i la salut humana o agreujar els existents.

2.5 IMPACTES DERIVATS DE L'ALTERACIÓ DEL CICLE PREINDUSTRIAL DEL NITROGEN

La problemàtica actual del nitrogen és àmplia, es presenta a diferents escales (global, regional i local) i sota diferents aspectes (impactes sobre la salut humana i impactes en el medi ambient). La Taula 4 exposa els principals impactes provocats per l'alteració del cicle preindustrial del nitrogen, degut a les activitats humanes.

- Taula 4. Resum dels impactes provocats per l'alteració del cicle preindustrial del nitrogen, degut a les activitats humanes.

Impactes sobre el medi ambient a:	
Escala Global:	Causa:
· Efecte hivernacle.	· Emissions de N ₂ O.
· Disminució de la capa d'ozó estratosfèric.	· Emissions de N ₂ O.
Escala Regional:	Causa:
· Saturació d'ecosistemes terrestres.	· Nitrogen actiu deposicionat.
· L'eutrofització dels ecosistemes aquàtics.	· Nitrogen actiu deposicionat i els NO ₃ ⁻ presents en de les aigües.
· Canvis en la biodiversitat dels ecosistemes.	· Nitrogen actiu deposicionat.
· L'acidificació dels ecosistemes.	· Nitrogen actiu deposicionat.
Escala Local:	Causa:
· Formació de l'ozó troposfèric i l'smog fotoquímic.	· Emissions de NO _x .
· Problemes d'olors associats amb la producció animal.	· Volatilització de NH ₃ .
Impactes sobre la salut humana:	
	Causa:
· Problemes respiratoris.	· Ozó troposfèric.
	· Partícules fines d'aerosols.
	· NO ₂ .
· Metahemoglobinèmia i formació de nitrosamines.	· Els NO ₃ ⁻ i NO ₂ ⁻ presents en l'aigua i els aliments.

Impactes sobre el medi ambient a escala mundial

L'augment de la desnitrificació

La desnitrificació ha estat i és encara actualment, la principal via de retorn del nitrogen fixat des dels ecosistemes terrestres cap a l'atmosfera. Per mitjà de la desnitrificació, el nitrogen prèviament fixat, retorna altra vegada a l'atmosfera, tancant-se d'aquesta forma el cicle natural del nitrogen.

La desnitrificació és el procés de respiració anaeròbia en el què els òxids de N (NO_3^- , NO_2^-) actuen com a acceptors terminals d'electrons. En aquest procés el nitrat és successivament reduït en quatre etapes successives via: NO_2^- , NO, N_2O i N_2 a través de reductasses específiques lligades a la cadena de transport electrònic de la membrana citoplasmàtica (Figura 1).



Figura 1. Seqüència reductiva dels òxids de nitrogen en el procés de desnitrificació. R=reductassa. Font: [Saguer, 1997].

Depenent de les condicions ambientals existents i de l'organisme responsable [Parton et al., 1996; Saguer, 1997], la seqüència reductiva pot quedar parcialment interrompuda, essent part dels NO i N_2O generats emesos a l'atmosfera. En determinades condicions, les emissions de NO o de N_2O poden arribar a convertir-se en el principal producte emès fruit del procés desnitrificant.

El nitrogen actiu que circula actualment pel planeta ha augmentat degut a les activitats humanes. Aquest fet ha provocat que més nitrogen sigui desnitrificat actualment que en l'època preindustrial. Aquest augment de la quantitat de nitrogen actiu desnitrificat és la causa fonamental de l'increment de les emissions de N_2O , compost generat secundàriament durant el procés de desnitrificació.

El N_2O és un component natural de l'atmosfera terrestre. L'efecte de les activitats humanes ha estat incrementar les emissions de N_2O que es donen de forma natural. La conseqüència ha estat l'augment de la concentració de N_2O a l'atmosfera de la Terra, el qual ha estat quantificat entre 3 i 6 Tg[†] de N- N_2O any⁻¹ [Schlesinger, 1991; Kinzig i Socolow, 1994; Saguer, 1997].

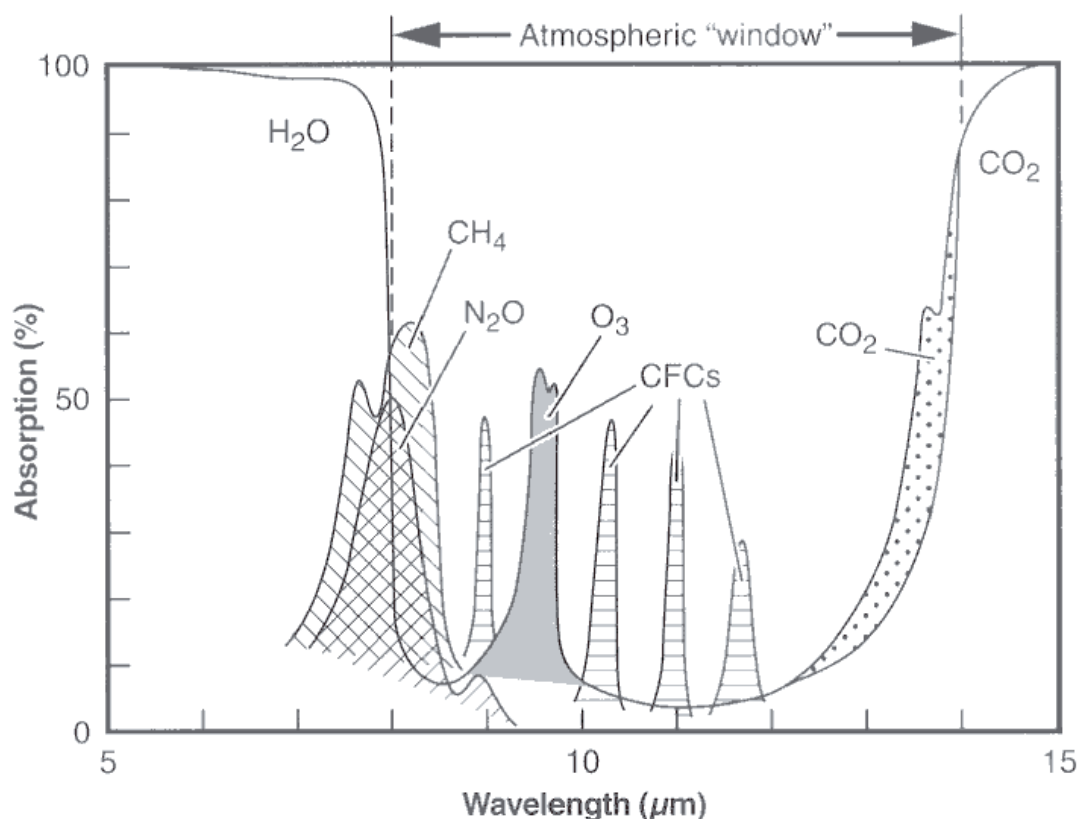
[†] Teragram (Tg) equival a 10^{12} grams.

Els principals impactes ambientals vinculats a l'augment de la concentració de N_2O a l'atmosfera s'expliquen a continuació.

L'efecte hivernacle

L'atmosfera terrestre presenta una "finestra atmosfèrica" de pas entre les longituds de 8 i 13 μm , per on de forma natural part de la radiació infraroja emesa per la Terra s'escapa. L'efecte hivernacle és causat per l'increment de la concentració atmosfèrica de compostos com el CO_2 , el N_2O , el CH_4 o els CFCs, que són capaços de captar les longituds d'ona emeses en aquesta franja, retornant part de l'energia emesa per la Terra cap a la superfície terrestre (Figura 2).

Sobre una base molècula a molècula el potencial d'absorció radiatiu del N_2O és més de 200 vegades el del CO_2 ($1,8 \cdot 10^{-5} Wm^{-2}/ppbv$ el CO_2 i $3,7 \cdot 10^{-3} Wm^{-2}/ppbv$ el N_2O). Degut a la seva força radiativa per molècula i al seu temps de residència atmosfèric (100-200 anys) es calcula que el N_2O és el causant d'aproximadament el 5% de l'efecte hivernacle [Kinzig i Socolow, 1994; Saguer, 1997], tot i ésser 1000 vegades menys abundant que el CO_2 en l'atmosfera terrestre.



- Figura 2. Espectre d'absorció de l'atmosfera en la regió de la "finestra atmosfèrica". Representació de les bandes i del tant per cent d'absorció de les principals molècules. Font: [Truco, 1997].

Existeixen altres possibles interaccions entre el cicle del nitrogen i l'efecte hivernacle. Segons Kinzig i Socolow (1994) en determinats ecosistemes l'augment en la deposició d'amoni ha reduït el metà (CH₄) consumit pels sòls. La causa seria, segurament, la impossibilitat que tenen alguns enzims de distingir entre el NH₄⁺ i el CH₄. Com que el metà (CH₄) és un gas que té capacitat d'absorbir radiació infraroja, indirectament l'amoni també seria responsable de part de l'efecte hivernacle.

Per altra banda, segons diversos autors [Den Elzen *et al.*, 1997; Erisman i Monteny, 1998] l'excessiva fertilització de determinats ecosistemes, degut a l'increment de formes de nitrogen actiu disponibles, hauria comportat un augment de la producció primària de determinats ecosistemes, essent capturat part del CO₂ atmosfèric per part de la biosfera. Aquest fet podria explicar en part perquè la concentració de CO₂ a l'atmosfera terrestre és menor a la esperada segons les estimacions d'emissions existents.

En aquest cas, l'increment en el nitrogen actiu circulant provocat per les activitats humanes, tindria com a efecte la disminució de la concentració del CO₂ atmosfèric, el qual és el principal causant de l'efecte hivernacle. Tot i això, cal tenir en compte que els ecosistemes terrestres són sistemes complexos on interaccionen molts factors, sent molt difícil determinar el grau d'interrelació entre el cicle del carboni i el cicle del nitrogen.

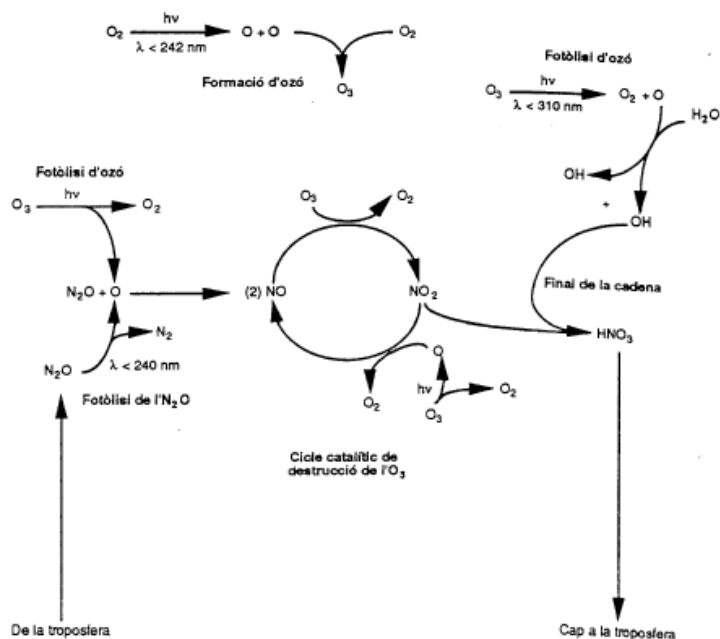
La disminució de la capa ozó

Donada la seva estabilitat a nivell de la troposfera, el N₂O pot arribar a l'estratosfera convertint-se en la font principal de NO_x estratosfèrics. Malgrat ser el N₂O essencialment destruït per fotòlisi a l'estratosfera (1), també es donen reaccions secundàries, de l'ordre del 5% (2, 3), on per reacció amb l'oxigen dissociat de l'O₃ [O^{*}] es forma NO.



Font: [Truco, 1997].

El N₂O és un subministrador de forma secundària de NO a l'estratosfera. El NO juga un paper clau com a catalitzador en la destrucció l'ozó estratosfèric (Figura 3), sobretot si es té en compte que resta intacte al final del procés.



- Figura 3. Química atmosfèrica del N₂O. Font: [Saguer, 1997].

Impactes sobre el medi ambient a escala regional

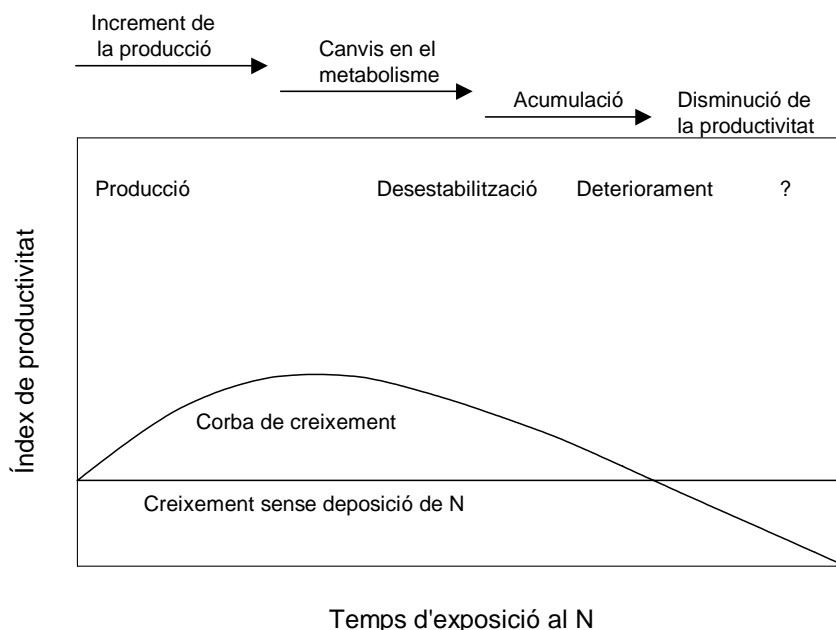
L'augment de les emissions d'òxids de nitrogen NO_x (principalment degudes a l'ús de combustibles fòssils) i de la volatilització d'amoniac NH₃ (principalment degudes a les explotacions ramaderes) a l'atmosfera, estan estretament vinculades a un conjunt d'impactes sobre determinats ecosistemes terrestres i marins.

Saturació d'ecosistemes terrestres

Existeix un nivell òptim de nitrogen per a cada ecosistema, el qual està directament relacionat amb l'òptim de productivitat de l'ecosistema. La causa de l'existència d'aquest òptim és el fet que el nitrogen és sovint un element limitant del creixement de molts dels ecosistemes agraris i forestals del món.

En les àrees amb una alta concentració d'activitats humanes es sobrepassa sovint aquest nivell òptim de nitrogen i sorgeixen problemes ambientals relacionats amb el seu excés. El concepte de l'existència d'un òptim de nitrogen per a cada ecosistema està àmpliament explicat per Cowling *et al.* (1998).

Addicions successives de nitrogen per damunt de l'òptim acaben causant, en un principi, una desestabilització i posteriorment un deteriorament de l'ecosistema, donant com a resultat final una disminució de la productivitat (veure Figura 4).



- Figura 4. Corba hipotètica de productivitat d'un bosc segons les entrades de nitrogen existents. Font: [Cowling *et al.*, 1998].

La Figura 4, mostra que un bosc sense entrades de nitrogen per deposició atmosfèrica, manté un "índex de productivitat" relativament constant; que un bosc que rep uns aports moderats de nitrogen per deposició respon incrementant la seva productivitat fins a un màxim (l'òptim esmentat anteriorment); que increments successius en els aports de nitrogen per deposició acaben desestabilitzant el bosc i reduint-ne finalment la productivitat.

Per tant, l'excessiva fertilització que ha introduït l'home mitjançant l'augment de les formes de nitrogen actiu presents en els ecosistemes terrestres i marins, pot acabar sent, finalment, perjudicial pels propis ecosistemes. Aquests efectes negatius en els ecosistemes es poden veure agreujats quan la rapidesa amb què varia un procés és molt gran (com passa en el cas del cicle global del nitrogen), perquè no permet la seva adaptació [Kinzig i Socolow, 1994].

L'eutrofització dels ecosistemes aquàtics

Existeixen un conjunt d'ecosistemes aquàtics on la productivitat primària neta està controlada per les entrades de nitrogen o fòsfor. El fenomen de l'eutrofització es produeix quan un augment en les entrades de nitrogen o fòsfor permet el ràpid desenvolupament de gran quantitat d'algues i plàncton en la superfície de les aigües dels mars (en la costa), dels rius o dels llacs. Posteriorment, quan aquestes algues moren es depositen al fons. La descomposició d'aquest elevat nombre d'algues i plàncton exhaurix l'oxigen dissolt de les aigües provocant la mor de peixos i d'altres animals aquàtics.

Canvis en la biodiversitat dels ecosistemes

L'addició d'un nutrient limitant pot canviar substancialment el tipus d'espècies dominants en els ecosistemes, implicant una disminució de la biodiversitat global dels ecosistemes.

Degut a que molts ecosistemes estan limitats pel nitrogen, l'augment del nitrogen depositat produirà, almenys inicialment, un increment de la productivitat primària neta d'aquests ecosistemes. Inevitablement, però, determinades espècies assimilaran el nitrogen addicional disponible més fàcilment que d'altres, produint-se un creixement diferenciat de les espècies, el qual donarà lloc finalment a una alteració en la composició de les espècies de l'ecosistema.

L'alteració en la composició de les espècies d'un ecosistema pot canviar-ne les seves funcions i/o reduir-ne la seva biodiversitat.

Existeixen resultats experimentals sobre els efectes de l'addició de nitrogen en pastures d'Anglaterra [Vitousek *et al.*, 1997] i dels Estats Units [Moffat, 1998] els quals mostren canvis en la composició de les espècies de les pastures.

Acidificació dels ecosistemes

El nitrogen contribueix a l'acidificació dels ecosistemes per dues vies : mitjançant l'àcid nítric (format a partir dels òxids de nitrogen) en forma de pluja àcida, i de forma indirecte, per mitjà de l'amoni (NH_4^+) deposicionat i sotmès a un procés de nitrificació posterior.

Un mol de sulfat d'amoni $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ deposicionat (format a partir de la reacció de neutralització entre el H_2SO_4 i el NH_3), pot alliberar 4 mols de protons (H^+) durant el procés de nitrificació de l'amoniac. També la deposició seca del NH_3 pot alliberar un protó durant el procés de nitrificació [Bouwman *et al.*, 1997]. Fins i tot segons alguns experts [Galloway *et al.*, 1995b] les emissions globals de NH_3 , són potencialment més acidificants que les emissions actuals de diòxid de sofre (SO_2) o d'òxids de nitrogen (NO_x).

El principal efecte de l'acidificació en els ecosistemes aquàtics ha estat la disminució del pH de nombrosos llacs de Nord Amèrica i Escandinava. La disminució del pH s'ha vist acompanyada per un augment de l'alumini dissolt, el qual és tòxic per a les plantes i els animals. El resultat final ha estat una desaparició o disminució important de les plantes i els animals presents en aquests llacs.

En els sòls, els efectes de l'acidificació són diversos. Determinats nutrients que estan retinguts en la matriu en la seva forma iònica (com el Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ i el Na^+) degut a que compensen la càrrega negativa de les argiles i de determinats materials orgànics, són desplaçats com a conseqüència de l'augment de la concentració d'ions hidrogen (H^+).

Aquesta és una via de mobilització dels nutrients retinguts en la matriu argilo-húmica, la qual pot arribar a superar les necessitats de les plantes. L'efecte resultant és la lixiviació dels nutrients presents en forma catiònica en el sòl, produint finalment una pèrdua de nutrients del sòl.

L'acidificació dels sòls també pot mobilitzar l'alumini, amb les conseqüències citades anteriorment, així com d'altres cations metàl·lics. La mobilització de metalls com el plom, el cadmi, l'arsènic i el mercuri pot causar problemes de toxicitat semblants als de l'alumini.

Impactes sobre el medi ambient a escala local

Formació de l'ozó troposfèric i l'smog fotoquímic

En les ciutats l'absorció de la radiació solar incident per part de la pol·lució (aerosols i partícules sòlides en suspensió), pot arribar a provocar que l'aire de la capa situada a una altura d'un a dos quilòmetres s'escalfi més que el de les capes inferiors i superiors [Domènech, 1991], ocasionant la formació d'una capa d'inversió tèrmica. Sota certes condicions meteorològiques, com és el predomini d'un anticicló estacionari que impedeixi el moviment de les masses d'aire, es fa difícil trencar la capa d'inversió tèrmica que es forma durant el període de radiació solar. Conseqüentment, els contaminants que es van generant no es dispersen adequadament, sinó que s'acumulen a la part baixa de l'atmosfera urbana.

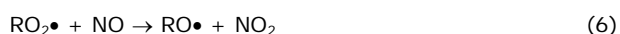
La fotòlisi del diòxid de nitrogen (NO_2) acumulat en la part baixa de l'atmosfera urbana, inicia tota la cadena de reaccions químiques atmosfèriques que acaben generant la formació d'ozó troposfèric i el smog fotoquímic.

El diòxid de nitrogen es descompon per fotòlisi en àtoms d'oxigen i d'òxid nítric (1) [Turco, 1997]. Al seu torn, aquests àtoms d'oxigen generats es combinen amb oxigen molecular i produeixen ozó (2).

En un principi l'ozó no s'acumula a l'atmosfera urbana sinó que, així que es forma, reacciona amb l'òxid nítric produint novament diòxid de nitrogen i oxigen molecular (3), amb la qual cosa es tanca el cicle, establint-se un equilibri entre les concentracions de NO, NO₂ i O₃ existents.



La presència en l'atmosfera urbana radicals peròxid (RO₂•), formats a causa de l'oxidació d'hidrocarburs pels radicals hidroxil (4 i 5) [Turco, 1997], provoca que el cicle anterior es trenqui per una transformació addicional d'òxid nítric en diòxid de nitrogen (6). Aquesta transformació el que fa és deixar menys òxid nítric disponible per eliminar l'ozó generat, donant lloc a l'acumulació de NO₂ i O₃ (essent ambdós gasos, perillosos a altes concentracions).



El smog fotoquímic es caracteritza per la formació de contaminants secundaris, com els compostos carbonílics, l'àcid nítric (HNO₃) o els PAN (nitrat de peroxiacetil), fruit de les reaccions químiques que es produeixen entre el diòxid de nitrogen i l'ozó acumulats, i el monòxid de carboni i els hidrocarburs emesos pels automòbils. Aquests contaminants secundaris formats, sovint tenen efectes nocius sobre el medi i la salut. S'han descrit, per exemple, efectes nocius sobre la vegetació per part dels PAN, el O₃ i el NO₂ o efectes sobre la degradació dels materials de construcció i monuments per part de l'àcid nítric [Domènech, 1991].

Les partícules sòlides i els aerosols acumulats en l'atmosfera de la ciutat degut a la situació d'inversió tèrmica, actuen com a centres de condensació dels contaminants, produint les boires d'un color groc marronós, típiques del smog. Aquestes boires produeixen una disminució de la visibilitat en les zones urbanes.

Problemes d'olors associats amb la producció animal

La producció animal industrial concentra mitjançant l'estabulat un elevat nombre d'animals en un espai reduït. La gestió dels excrements generats, principalment l'emmagatzematge i l'ús com a fertilitzant orgànic, comporten l'emissió per volatilització d'amoniac (NH_3).

L'amoniac és un gas que és caracteritzat pel seu olor desagradable. Les emissions de NH_3 que es produeixen durant l'emmagatzematge o l'aplicació en el sòl, són causa d'importantes molèsties en les poblacions pròximes als centres de producció animal.

Impactes sobre la salut humana

Problemes respiratoris

Dins dels contaminants que més efectes tenen sobre la salut dels éssers humans s'hi troben el NO_2 , partícules fines d'aerosols que contenen NO_3^- i els oxidants fotoquímics (ozó, PAN,...).

El diòxid de nitrogen, en concentracions entre 1 i 5 ppmv, afecta els tubs bronquials dificultant la respiració. Concentracions més elevades de diòxid de nitrogen poden agreujar malalties com la bronquitis o causar edemes pulmonars [Domènech, 1991; Truco, 1997].

Els nitrats continguts en les fines partícules d'aerosols són un compost corrosiu que ataca els teixits pulmonars.

D'entre els oxidants fotoquímics (contaminants secundaris que es formen en situacions de smog urbà) el principal oxidant produït és l'ozó. Els primers símptomes de la presència d'aquest gas a nivells superiors a 0,3 ppmv consisteixen en sequedat de coll, seguida de freqüent mal de cap. En concentracions d'1 ppmv, aproximadament, es produeix una estenosi bronquial que provoca una resistència al pas de l'aire. Prenent com a referència determinats experiments realitzats amb animals, es creu que l'ozó, a concentracions d'1 ppmv, podria ser el causant d'un cert envelliment dels teixits pulmonars [Domènech, 1991]. Altres oxidants fotoquímics produeixen irritació als ulls, en el cas dels PAN, per exposició de cinc minuts a concentracions superiors a 0,7 ppmv.

Problemes relacionats amb un excés de NO₃⁻ i NO₂⁻ en l'aigua i els aliments

Hi ha dos problemes de salut relacionats amb la presència de NO₃⁻ i NO₂⁻ en les aigües i en els aliments.

El primer és degut a què els NO₃⁻ presents en les aigües i en els aliments, tot i no ésser tòxics per si mateixos, poden reduir-se a l'estómac a NO₂⁻, els quals són la de causa d'una malaltia anomenada metahemoglobinemia.

El nitrat esdevé tòxic, causant la metahemoglobinemia quan sota determinades condicions són reduïts a NO₂⁻ pels microorganismes. Aquestes condicions, són més probables en els estómacs dels infants i dels remugants que en l'estómac dels humans adults.

El segon problema és la formació de nitrosamines, les quals són compostos cancerígens, mutagènics i altament tòxics a baixes concentracions. Les nitrosamines es formen per reacció dels NO₂⁻ amb les amines. Els nitrats ingerits amb l'aigua i els aliments, són tal i com en el cas anterior, potencialment perillosos ja que poden ésser reduïts a NO₂⁻.

Estudis recents creuen, però, que els NO₃⁻ no serien la causa principal de la producció de NO₂⁻, sinó l'existència d'una infecció gastrointestinal [Avery, 1999]. D'altres estudis afirmen que la ingestió de NO₃⁻ pot tenir també efectes beneficiosos per la salut, com la millora dels mecanismes de defensa contra els microorganismes patògens del sistema digestiu [Haas *et al.*, 1999]. En definitiva doncs, són necessaris més estudis per acabar de comprendre els efectes sobre la salut humana del NO₃⁻ ingerits.

2.6 PROBLEMÀTIQUES AMBIENTALS VINCULADES AL NITROGEN A CATALUNYA.

La problemàtica actual del nitrogen és àmplia i abasta diferents escales. Catalunya, com a regió desenvolupada de la Unió Europea, contribueix en moltes de les problemàtiques d'àmbit global i regional explicades anteriorment. A escala global, Catalunya intervé en l'increment de les emissions del gas N₂O, el qual contribueix a l'efecte hivernacle i a la destrucció de la capa d'ozó; les seves problemàtiques són tractades dins dels protocols de Kyoto i Montreal. A escala regional, les emissions de NO_x i els NH_x de Catalunya ajuden a l'eutrofització i a l'acidificació de sòls, rius i llacs.

De forma més específica, Catalunya, de la mateixa manera que d'altres regions de la Unió Europea, presenta considerables problemes de contaminació de les aigües subterrànies i superficials degut als compostos nitrogenats. L'augment de la concentració de nitrogen a les aigües superficials i subterrànies motivà l'aprovació de directives específiques (Directiva 91/676/CEE del Consell, del 12 desembre de 1991, relativa a la protecció de les aigües contra la contaminació produïda per nitrats originats per l'agricultura) i l'aplicació de tecnologies de depuració (Directiva 91/271/CEE del Consell, del 21 de maig de 1991, sobre el tractament de les aigües residuals urbanes) per part de la Unió Europea.

La contaminació de les aigües subterrànies i superficials ha estat un tema d'especial interès ambiental a Catalunya. Això fa que s'hagin desenvolupat en els darrers anys un seguit d'accions encaminades a resoldre aquesta problemàtica. Pel que fa a les aigües superficials, s'han desenvolupat plans de sanejament de les aigües residuals urbanes (PSARU I i II) [ACA, 2003] i industrials, amb l'objectiu de millorar la qualitat dels rius catalans. Pel que fa a les aigües subterrànies, s'han desenvolupat programes i plans (Codi de bones pràctiques agràries en relació amb el nitrogen, Ordre de 22 d'octubre de 1998; el Decret 205/2000, d'aprovació del programa de mesures agronòmiques aplicables a les zones vulnerables en relació amb la contaminació de nitrats procedents de fonts agràries i el Decret 220/2001 de gestió de les dejeccions ramaderes) per tal de reduir la contaminació de nitrats d'origen agrícola.

Tot i la gran quantitat d'esforços i inversions realitzades, l'impacte ambiental associat a la presència de compostos nitrogenats en les aigües superficials i subterrànies de Catalunya no s'ha resolt satisfactòriament.

Per contra, les aigües residuals abocades a les aigües superficials properes a la costa o directament al mar, continuen tenint en molts casos, alts continguts de compostos nitrogenats. Pel que fa a les aigües subterrànies varies zones de Catalunya han estat declarades zones vulnerables en relació amb la contaminació de nitrats. La concentració de nitrats presents en els aqüífers d'aquestes zones supera de manera gairebé sistemàtica el límit de 50 mg/l de nitrats màxim establert per la reglamentació tecnicosanitària per a aigües potables d'ús públic (RD 1138/1990).

La major part dels plans i les estratègies desenvolupades han treballat cadascuna de les problemàtiques de manera individual i específica; massa sovint sobre la base de senzilles relacions causa-efecte.

La complexitat del cicle del nitrogen i les interconnexions que s'estableixen entre les diverses problemàtiques ambientals on intervé el nitrogen, fan que sovint siguin diversos els factors que influeixen en aquestes problemàtiques. Aquesta multiplicitat de factors influents en les problemàtiques ambientals degudes als compostos nitrogenats, fan difícil l'establiment de senzilles relacions causa-efecte i el poder resoldre de forma eficient les diverses problemàtiques si es treballen per separat.

2.7 NECESSITATS D'UNA METODOLOGIA D'ANÀLISI GLOBAL.

El cicle biogeoquímic del nitrogen està caracteritzat per la seva diversitat, heterogeneïtat i complexitat. Degut a les seves característiques, el cicle del nitrogen ha estat estudiat per disciplines molt diverses. Geòlegs, químics, físics, ambientòlegs, biòlegs, enginyers agrònoms, farmacèutics, enginyers químics, psicòlegs o antropòlegs han investigat temes relacionats amb el cicle del nitrogen.

La recerca però, ha estat sovint encaminada cap a únicament una de les problemàtiques del cicle del nitrogen, com ara:

- L'eutrofització de llacs.
- La contaminació de les aigües subterrànies.
- Les emissions d'òxids de nitrogen.

L'estudi particular i específic dels diferents aspectes del cicle, ha propiciat en part, que actualment la majoria de regulacions i estratègies estiguin encaminades a resoldre cada una de les problemàtiques per separat.

Existeixen regulacions i estratègies per reduir la volatilització d'amoniac, per reduir els nitrats presents en les aigües superficials i subterrànies o per reduir les emissions d'òxids de nitrogen dels cotxes. Convien, per exemple, actualment unes regulacions encaminades a fer front als impactes de les formes oxidades del nitrogen (NO_x) i unes altres regulacions encaminades a fer front als impactes de les formes reduïdes del nitrogen (NH_x).

Aquestes regulacions s'han desenvolupat sense tenir en consideració que una molècula de nitrogen fixat alliberada al medi, pot tenir efectes molt diversos i canviant en el temps. Això és degut a que sota certes condicions ambientals, aquesta molècula, pot combinar-se i transformar-se en una altra forma de nitrogen fixat.

La diversitat dels nivells d'oxidació que presenta el nitrogen (+5, +4, +3, +1, 0, -1 i -3), explica la seva capacitat de transformació, ja que pot combinar-se amb l'hidrogen, l'oxigen i altres àtoms per a formar una gran varietat de compostos biològics. Aquesta capacitat de combinació i transformació que té el nitrogen, és la causa de que una molècula de nitrogen emesa degut a l'acció de l'home, pugui tenir un sèrie d'impactes en cadena. Per exemple, una molècula de NO que emet un cotxe, pot ésser fàcilment oxidada a NO₂, contribuint a la formació del smog urbà; posteriorment aquesta molècula pot reaccionar a l'atmosfera formant HNO₃, el qual contribueix amb la seva deposició a l'acidificació i l'eutrofització dels ecosistemes.

A més a més, existeixen un conjunt d'impactes com l'eutrofització i l'acidificació d'ecosistemes, on la causa de l'impacte no és una espècie nitrogenada concreta (formes oxidades, NO_x o formes reduïdes, NH_x), sinó la quantitat total de nitrogen actiu dipositat, bàsicament la suma de NO_x i NH_x [Cowling *et al.*, 1998].


Algunes d'aquestes regulacions o estratègies parcials, desenvolupades sense tenir en compte el cicle de nitrogen com un tot, han causat impactes secundaris negatius sobre el medi i la salut humana. Hi ha molts exemples d'interaccions negatives no contemplades a priori. Per exemple, la implementació del catalitzador en els cotxes per tal de reduir les emissions de NO_x, ha augmentat les emissions de N₂O [Olivier *et al.*, 1998]; o la injecció de la fracció líquida dels purins al sòl, per tal de disminuir la volatilització d'amoniac, ha incrementat les emissions de N₂O [Olivier *et al.*, 1998] o també la contaminació per nitrats en les aigües de determinats indrets [Erisman i Monteny, 1998].

Sembla clar doncs, la necessitat de desenvolupar polítiques i regulacions que tinguin en compte la capacitat de transformació de les espècies nitrogenades en la natura i les interaccions existents entre les diferents espècies nitrogenades. Cal desenvolupar unes estratègies més racionals i integradores, des d'una òptica global que abasti els aspectes socials, econòmics i ambientals que intervenen en els problemes vinculats amb el nitrogen i que tingui present les interaccions existents.

La complexitat del cicle del nitrogen, els impactes a diferents escales global, regional i local, les dificultats en l'establiment de les relacions causa-efecte, així com les diferències regionals fan necessari l'ús d'estudis globals i integradors per tal de millorar el coneixement sobre els aspectes econòmics, socials i ambientals que intervenen en el cicle propi de cada regió geogràfica.

Estudis a escala local o regional haurien de permetre reduir la incertesa deguda a la complexitat del cicle i ajudar a interpretar les relacions causa-efecte més particulars de cada regió.

TÍTOL : MÈTODE



3. MÈTODE: ANÀLISI DELS FLUXOS D'UNA SUBSTÀNCIA (AFS)

3.1 MÈTODES D'ANÀLISI GLOBAL DE LES PROBLEMÀTIQUES DEL NITROGEN

Des de diversos països europeus, així com determinats organismes internacionals s'ha vist la necessitat de desenvolupar eines d'anàlisi globals, per tal d'obtenir una visió de conjunt sobre les problemàtiques ambientals vinculades als compostos nitrogenats.

La OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) i el EUROSTAT (European Statistic) desenvoluparen el 1994 dues metodologies basades en els balanços de nitrogen, amb l'objectiu d'obtenir una major comprensió de les complexes interrelacions existents: el "nitrogen soil surface balance" i el "farm gate balance". Ambdues metodologies calculen les entrades i sortides de nitrogen del sistema estudiat, dels sòls agrícoles en el cas del nitrogen soil surface balance, i d'un país, regió o granja en el cas del farm gate balance. L'objectiu principal d'ambdues metodologies és identificar quines són les vies d'entrada que contribueixen a generar els excedents de nitrogen detectats [Pau i Vidal, 1999].

Paral·lelament, en determinats països europeus s'han realitzat estudis semblants basats també en l'aplicació de balanços de nitrogen al sector agrícola [Oenema i Roest, 1998; Jørgensen, 1999] o a un escala estatal (Àustria [Fleckseder, 1992], Noruega [Bleken i Bakken, 1997a], Holanda [Olsthoorn i Frong, 1998], Alemanya [Isermann i Isermann, 1998; Franziska i Schulz, 1998]), però amb un nivell d'aprofundiment major al que s'estudia la problemàtica en el farm gate balance o el nitrogen soil surface balance.

Les diferents metodologies i estudis tenen un tret comú : la utilització dels balanços de matèria com a eina per analitzar les problemàtiques del nitrogen. L'anàlisi en termes físics, mitjançant l'ús de balanços de matèria, permet la comptabilització de les fonts puntuals i de les fonts difuses (molt importants en el cas del nitrogen), obtenint finalment una visió global i força objectiva de la influència de les diverses fonts respecte el problema del nitrogen.

3.2 BASES DE L'ANÀLISI DELS FLUXOS DELS MATERIALS (AFM) I DE L'ANÀLISI DELS FLUXOS D'UNA SUBSTÀNCIA (AFS), COM A EINES D'ANÀLISI DELS PROBLEMES AMBIENTALS

A la dècada dels anys 80 Baccini i Brunner [Baccini i Brunner, 1991], desenvoluparen una metodologia per valorar el metabolisme d'una regió, l'Anàlisi dels Fluxos dels Materials (AFM), amb l'objectiu de millorar el coneixement dels efectes de les activitats humanes sobre el medi ambient d'un territori.

L' Anàlisi dels Fluxos dels Materials (AFM), utilitza el principi dels balanços de matèria,

$$\text{Entrades} + \text{Generació} = \text{Sortides} + \text{Acumulació}$$

per tal de realitzar un estudi sistemàtic i exhaustiu dels fluxos de materials dintre d'un sistema definit.

A partir de la millora en el coneixement de la dinàmica dels fluxos dels materials antropogènics (aquells que són induïts per l'acció de l'home), s'intenta establir l'impacte de les diferents activitats humanes sobre els recursos essencials del territori: l'aigua, l'aire i el sòl.

La primera etapa del mètode del AFM és la definició del sistema d'estudi. La definició del sistema d'estudi es realitza mitjançant:

1)La divisió del sistema d'estudi en compartiments i subsistemes. Els compartiments principals serien: l'atmosfera, la litosfera, la hidrosfera, la biosfera i la tecnosfera [Baccini i Brunner, 1991]. En funció de la tipologia de l'estudi aquests compartiments principals són dividits en diversos subsistemes.

2)L'establiment del diagrama de fluxos dels materials entre els diferents compartiments o subsistemes.

El mètode del AFM requereix en una primera etapa identificar les principals fonts i estocs del material, les transformacions del material dintre dels compartiments estudiats i els fluxos de transport entre compartiments. La posterior quantificació i anàlisi del sistema identificat, permet establir l'impacte de les diferents activitats humanes sobre els recursos naturals.

El AFM pretén ésser una eina de gestió que faciliti la comprensió de les complexes relacions existents entre el medi ambient i l'economia d'una regió. La millor comprensió de les relacions existents entre el medi ambient i l'economia permet dissenyar actuacions encaminades a aconseguir una major sostenibilitat en els fluxos de materials de la regió d'estudi. Aquesta major sostenibilitat s'aconsegueix mitjançant l'optimització i el control de les entrades, les sortides i les reserves dels materials existents.

L'estructuració i l'estandardització de la metodologia de l'Anàlisi dels Fluxos dels Materials (AFM) com a eina d'anàlisi dels problemes ambientals, s'ha anat desenvolupant al llarg dels anys noranta. En aquest sentit s'han definit i estructurat per part de diversos autors cadascuna de les etapes de l'anàlisi, així com les diverses tipologies de AFM que es poden portar a terme [Bauer et al., 1997; Brigezu et al., 1997a; Gleiß et al., 1998].

Paral·lelament, l'any 1996 es posa en marxa una xarxa d'experts en la metodologia del AFM, per tal de treballar plegats en l'estandardització de la metodologia i establir les seves possibles utilitzacions [ConAccount, 2003]. L'Agència Europea del Medi Ambient va començar a subvencionar l'any 2000 aquest projecte, amb l'objectiu de facilitar i potenciar l'ús del AFM com a eina d'anàlisi de l'impacte de l'economia sobre el medi ambient, per part dels estats membres de la UE.

Dins de les diverses tipologies del mètode de l'Anàlisi dels Fluxos dels Materials (AFM) desenvolupades durant els darrers anys s'hi troba l'Anàlisi dels Fluxos d'una Substància (AFS). El AFS bàsicament el que fa és adaptar la metodologia del AFM per a l'estudi d'una substància concreta. En el AFM s'estudien conjuntament tots els materials que entren i surten del sistema d'estudi, agregant-los finalment tots en unitats físiques, generalment tones, de materials d'entrada o sortida. El AFS se centra en l'estudi d'una substància (amiant, coure, fòsfor,...) o grup de substàncies (metalls pesants, nutrients, plàstics,...) compresa/es dins de la totalitat de materials que estudia el AFM.

El fet que el AFM estudiï el metabolisme de la totalitat de materials que circulen per una regió i que el AFS se centri en l'estudi d'una substància concreta, fa que el AFM i el AFS tinguin una utilitat diferent.

La utilització del AFS s'ha centrat en l'estudi i en l'anàlisi de les problemàtiques ambientals, generalment complexes i de difícil solució, associades a una substància o grups de substàncies concretes. El major nombre d'aplicacions de AFS existents es centren en l'estudi del metabolisme dels metalls pesants .

3.3 AFS I POLÍTICA AMBIENTAL

El AFS pretén ajudar en la comprensió de les complexes interrelacions existents entre el medi ambient i l'economia, essent el seu objectiu final el servir d'eina de decisió i gestió en polítiques ambientals.

El AFS és un instrument d'anàlisi que ens pot ser d'ajuda en el planejament i el suport de determinades polítiques ambientals. La visió de conjunt que proporciona permet clarificar les relacions entre els fluxos de la substància d'estudi i els problemes ambientals existents, identificar els fluxos més problemàtics i quantificar la contribució de cada factor (sector, activitat, procés) en un problema determinat.

Per altra banda, la modelització del sistema d'estudi permet fer i valorar prediccions, així com identificar possibles problemes futurs, com per exemple, l'acumulació d'una substància en un estoc determinat. La modelització també permet estimar i comparar l'efectivitat de determinades mesures ambientals o preveure els possibles efectes d'una decisió política que influeixi, directe o indirectament, en els fluxos materials d'una substància.

3.4 EL MÈTODE D'ANÀLISI DELS FLUXOS D'UNA SUBSTÀNCIA

La idea bàsica d'un Anàlisi dels Fluxos d'una Substància és simple. És la descripció, generalment acotada en el període anual, de l'intercanvi d'una substància entre l'atmosfera, la litosfera, la biosfera i la tecnosfera de la regió o sistema d'estudi. O dit en altres paraules, és la descripció de les relacions entre el medi i les activitats econòmiques d'una regió o sistema, en termes d'unitats físiques de la substància a estudiar.

Etapes d'un AFS:

De forma general, un Anàlisi dels Fluxos d'una Substància (AFS) comprèn tres etapes. Les tres etapes, estan detalladament explicades en cadascuna de les referències citades a continuació:

- 1) Definició del sistema d'estudi [Van der Voet et al., 1995a].
- 2) Quantificació del conjunt d'estocs i fluxos identificats [Van der Voet et al., 1995b].
- 3) Interpretació dels resultats [Van der Voet et al., 1999].

Definició del sistema d'estudi

La primera etapa en qualsevol estudi basat en els fluxos de materials, és la definició del sistema a estudiar. El sistema a estudiar s'ha de definir en l'espai, el temps i quina és la substància a estudiar [Van der Voet et al., 1995a].

La realització d'una acurada i profunda deliberació del model a aplicar (dels límits del sistema, de la divisió del sistema en compartiments, dels fluxos considerats, etc...) durant l'etapa de definició del sistema, és cabdal per tal d'aconseguir un model útil per l'estudi de la problemàtica que motiva la realització del AFS.

Primerament, cal elegir la substància o grup de substàncies a estudiar. En el cas que s'elegeixi un grup de substàncies, aquestes han de tenir unes característiques que les relacionin entre si. Exemples de grups de substàncies estudiades mitjançant el AFS són estudis sobre nutrients (nitrogen i fòsfor) o sobre metalls pesats.

En segon lloc, cal realitzar la delimitació física de la regió a estudiar. En general, no hi ha restriccions en la delimitació de les dimensions de la regió d'estudi, podent anar des de l'escala local a la global. L'elecció d'uns límits que coincideixin amb els límits polítics o administratius d'un territori, com ara un país o grup de països, té determinats avantatges. Fonamentalment, els avantatges són la major facilitat per aconseguir dades estadístiques, per exemple les referides a importacions i exportacions, així com la possibilitat de lligar els resultats amb el disseny d'una política ambiental pel territori estudiat. Una altra possibilitat és l'elecció dels límits segons criteris de geografia física com serien, per exemple, l'elecció de la conca d'un riu [Goolsby et al., 2000] o una badia [Wit i Bendoricchio, 2001].

Finalment, cal escollir els límits temporals de l'estudi, els quals solen ésser d'un any. Així, generalment es comptabilitzen les entrades, sortides i acumulacions que es donen dins del sistema durant un any. La raó principal és que normalment les dades estadístiques amb les que es treballa estan referides a períodes d'un any.

A més a més, treballar amb períodes temporals inferiors a l'any pot provocar distorsions estacionals, ja que determinats fluxos poden canviar el seu valor segons en quin període (estiu, tardor,...) es fa l'estudi.

Un cop el sistema d'estudi està degudament delimitat (substància a estudiar, límits físics del sistema i període de temps de l'estudi), es procedeix a dividir el sistema d'estudi en compartiments, com per exemple atmosfera, biosfera, litosfera i tecnosfera. Aquests macrocompartiments poden ésser subdividits, en funció de l'objectiu del treball, en un segon nivell de sectors, activitats o processos, econòmica o ambientalment significatius, com ara: agricultura, indústria, aigües subterrànies, aigües superficials,...

Un cop s'ha compartimentat el sistema d'estudi, es procedeix a definir els fluxos entre compartiments. De cada compartiment entren i surten fluxos, actuant cada compartiment com a element de redistribució de fluxos. El conjunt d'aquests compartiments i els fluxos que els connecten, configuren el diagrama de fluxos de la substància o grup de substàncies d'estudi.

El diagrama de fluxos obtingut al final del procés permet caracteritzar els moviments de la substància o grup de substàncies dins de la regió d'estudi.

Quantificació d'estocs i fluxos

El següent pas és la quantificació dels elements del diagrama de fluxos construït. La recollida de les dades necessàries permet realitzar aquesta quantificació i completar la modelització del sistema.

L'obtenció de dades necessàries per la quantificació és sovint una feina força laboriosa, degut principalment a la diversitat i a la grandària de dades manejades. Les fonts de les dades varien en funció de l'escala i de la tipologia de l'estudi podent ser tan variades com: estadístiques oficials, publicacions i estudis científics, dades analítiques o comunicacions personals d'experts en una temàtica concreta.

De la mateixa manera que tots els estudis que treballen amb una gran quantitat i diversitat de dades, els resultats obtinguts mitjançant un AFS estan sotmesos a un cert grau d'incertesa. La importància de la incertesa dependrà en gran mesura de la disponibilitat, fiabilitat, grandària i varietat de les dades emprades.

Tipologies de model

Essencialment, hi ha tres tipologies de model de diagrama de fluxos de sistemes, les quals tenen diferents requeriments en quant al tipus de dades necessàries per realitzar la modelització, així com distint potencial com a eines de suport de polítiques ambientals [Van der Voet et al., 1995b].

Les tres tipologies són:

1) Registre de dades d'entrades i sortides (Bookkeeping): organització de les dades recollides dels estocs i fluxos, i posterior verificació segons el principi dels balanços de matèria, fins a configurar un model consistent de diagrama de fluxos del sistema. Aquesta tipologia de model permet detectar les problemàtiques ambientals existents, observar tendències futures i avaluar a posteriori els efectes de determinades polítiques.

2) Model estàtic (Static modelling): definició del sistema de fluxos i estocs com a variables dependents unes de les altres, obtenint com a resultat un conjunt d'equacions que modelitzen el metabolisme del sistema d'estudi. Les equacions definides, són resoltes per a un any específic o per a l'estat estacionari del sistema en situació d'equilibri. En aquest model, conèixer la tipologia d'interrelació existent entre els diversos fluxos i estocs, és fins i tot més important que saber la magnitud dels fluxos i estocs.

Aquesta tipologia de model permet detectar de forma més acurada els orígens de les problemàtiques detectades, així com avaluar l'efectivitat de determinades polítiques ambientals.

3) Model dinàmic (Dynamic modelling): aquesta tipologia de model inclou la variable temps a l'hora de modelitzar el sistema. Respecte el model estàtic, la diferència és que en aquest cas les equacions que descriuen les relacions entre els fluxos i els estocs contempnen la variable temps. El model dinàmic permet estimar tendències i fer prediccions sobre situacions futures amb un major grau de certesa.

Igualment que en la majoria de AFS existents fins el moment, en el cas del nitrogen, les seves aplicacions se centren en l'aplicació de les dues primeres tipologies de model de diagrama de fluxos: el Registre de dades d'entrades i sortides i el Model estàtic.

Hi ha actualment dos estudis realitzats a l'entorn del nitrogen mitjançant el mètode del AFS i la utilització del Model estàtic. El realitzat a nivell de la Unió Europea per estudiar tres problemàtiques concretes: la deposició, la lixiviació i l'eutrofització en el Mar del Nord [Van der Voet et al., 1996a; Van der Voet et al., 1996b]. I el realitzat per examinar les emissions de nitrogen de l'agricultura a Dinamarca [Schrøder, 1995].

Avaluació dels resultats

L'objectiu últim de qualsevol AFS sol ser obtenir la informació necessària per servir d'eina de suport per fer front a la problemàtica d'un contaminant o conjunt de contaminants concrets, en un indret determinat. Sovint, però, degut a la complexitat de la problemàtica estudiada, és força difícil traslladar els resultats obtinguts en termes d'enrevessats balls de xifres de fluxos i estocs, a termes útils pels agents polítics, econòmics o socials. És per això, que es fa totalment necessària una etapa encaminada a la avaluació dels resultats obtinguts, per tal de que aquests resultats siguin realment útils com a eines de suport per a polítiques ambientals.

L'avaluació dels resultats pot anar dirigida a diversos aspectes depenent del context i de l'objectiu de l'estudi:

1) A l'avaluació de la robustesa del model.

La interpretació dels resultats pot incloure una discussió sobre les incerteses existents. Degut a la diversitat i quantitat de dades emprades, existeix sovint poca transparència respecte la fiabilitat d'aquestes dades, el que resulta en una poca credibilitat dels resultats obtinguts.

2) A la traducció del model obtingut en termes útils com a eines de suport de les polítiques ambientals. Això es pot fer:

2.1 Lligant l'anàlisi global que dona el AFS, amb un determinat aspecte en funció de l'objectiu de l'estudi. Lindqvist-Östblom et al. (2001a) expliquen els diferents aspectes en que es pot centrar la interpretació dels resultats:

- En la magnitud de les quantitats de la substància.
- En l'exposició de l'home o del medi ambient al contacte de la substància (sobretot emprat per substàncies tòxiques).
- En el potencial ús com a recurs de la substància en sí, o en l'efecte negatiu que pot tenir la substància d'estudi sobre algun recurs.
- En la utilitat de cadascun dels fluxos estudiats per l'ésser humà.
- En la capacitat d'influir sobre els fluxos quantificats.

2.2 Definint indicadors de gestió, que permetin el seguiment de les mesures i actuacions en matèria ambiental. En aquest sentit, Van der Voet et al. (1999) proposen dotze indicadors tipus, com ara acumulació en el medi, taxa de reciclatge o taxa d'explotació de la substància d'estudi.

3) A vincular els resultats obtinguts amb els instruments polítics (normatives, impostos, incentius econòmics,...).

Aquesta possibilitat es pot considerar com una extensió de l'etapa d'interpretació dels resultats, doncs generalment, abans de poder lligar els resultats amb algun tipus d'instrument polític, és necessari la realització d'alguna de les altres tipologies d'interpretació de resultats citades prèviament.

La importància de realitzar una fase d'interpretació de resultats s'ha anat veient conforme s'anava aplicat la metodologia. És per això, que existeixen fins el moment poques experiències d'aplicacions de AFS que hagin realitzat una fase d'interpretació de resultats completa.

TÍTOL : ANTECEDENTS



4. ANTECEDENTS

Els anàlisis de flux de substàncies són mètodes de quantificació relativament nous. Fins fa pocs anys no es veia la necessitat de tenir una visió global per tal d'intervenir de forma local. La tendència dels països més avançats de la Unió Europea és realitzar aquests tipus d'estudis, ja que han vist la importància d'adquirir una visió global dels problemes derivats dels elements bàsics.

A Catalunya només s'ha realitzat un estudi d'aquestes característiques [Bartrolí, 2003], que va definir el sistema d'anàlisis adoptat en el present estudi. El projecte realitzat és una actualització de l'estudi esmentat, per així poder veure l'evolució del flux de Nitrogen. Amb aquest tipus d'estudis, doncs, es contribueix en situar Catalunya en les línies d'investigació europees.

A Catalunya només hi ha un projecte similar al que es proposa:

- Avaluació ambiental del cicle del nitrogen a Catalunya. Aplicació de l'anàlisi del flux de substàncies. Dr. Jordi Bartrolí.

Un altre projecte català, però d'àmbit molt més reduït:

- Balanç d'aigua i nutrients en una conca d'alzinar del Montseny. Estudis i Monografia 13. Àvila, A.C. 1989. Diputació de Barcelona, Servei de Medi Ambient. Barcelona.

Antecedents d'altres països:

- The Anthropogenic Nitrogen Cycle in Norway. In: Controlling Mineral Emissions in Europe Agriculture. Eds. Romstad, E., Jesper, S., And Vatn, A.
- Nutrient balances of the Danube Basin: The role of uncertainties. Water Science and Technology. Buzás, K. 1999.
- A nitrogen balance for Austria. Water Science and Technology. Fleckseder, H. 1992.
- The global nitrogen cycle : changes and consequences. Environmental Pollution. Galloway, J.N.1998.

Finalment, esmentar que actualment no existeix cap legislació que obligui a realitzar anàlisi de fluxos de substàncies globals. Això és degut al fet que aquests mètodes de quantificació són relativament nous.

TÍTOL : ANALISI FLUX SUBSTÀNCIES A CATALUNYA : DEFINICIÓ DEL SISTEMA D'ESTUDI



5. ANÀLISI DEL FLUX DE SUBSTÀNCIES DEL NITROGEN A CATALUNYA: Definició del sistema d'estudi.

5.1 INTRODUCCIÓ

La primera etapa de l'Anàlisi dels Fluxos d'una Substància (AFS), és la definició del sistema a estudiar. Dins de d'aquesta primera etapa de definició podem diferenciar dues subetapes.

La primera subetapa es defineix el sistema d'estudi en:

- La substància a estudiar.
- L'espai, límits físics del sistema.
- El període de temps que comprendrà l'estudi.

En la segona subetapa es construeix el diagrama de fluxos del sistema. Es divideix el sistema d'estudi en compartiments i, posteriorment, s'estableixen els fluxos que entren i surten de cadascun dels compartiments definits (cada compartiment actua com element de recollida i redistribució de fluxos).

El diagrama de fluxos que s'obté al final del procés de construcció permet identificar els moviments de la substància dins la regió d'estudi.

5.2 DEFINICIÓ DE LA SUBSTÀNCIA A ESTUDIAR

L'estudi inclou els principals fluxos on intervenen els compostos nitrogenats actius. Els compostos nitrogenats no actius estan en formes estables (N_2 atmosfèric i compostos nitrogenats que formen part de roques) i pràcticament no intervenen en els cicles biològics dels éssers vius. Tanmateix, es contemplen dos fluxos on sí intervé el nitrogen no actiu (N_2), ja que són necessaris per poder completar el balanç del nitrogen en les compartiments corresponents:

- La fixació de nitrogen (N_2) per mitjà dels processos de combustió. Ja que en aquest cas el nitrogen atmosfèric actua com una important entrada de compostos nitrogenats actius al compartiment troposfera.
- Els fluxos de N_2 produïts com a conseqüència dels processos de desnitrificació. Ja que actuen com una sortida important de compostos nitrogenats actius de diversos compartiments del sistema d'estudi.

5.3 DEFINICIÓ ESCALA D'ESTUDI.

En general, no hi ha restriccions en la delimitació de les dimensions de la regió d'estudi, podent anar des de l'escala local (petit llac, fàbrica, ciutat,...) a la global (país, oceà, planeta Terra,...). L'objectiu de cada estudi particular és el que determina quina és l'escala d'estudi més adequada. En el cas del nitrogen hi ha processos que poden ser rellevants en una determinada escala i no significatius o totalment absents en una altra.

Seguint el treball desenvolupat per Bartrolí (2003), els límits geogràfics del sistema estan definits segons criteris ambientals o administratius, i inclouen la Comunitat Autònoma de Catalunya.

Aquests límits geogràfics només delimiten el sistema en el pla horitzontal. Cal definir també uns límits en el pla vertical (límit superior i inferior del sistema). Com a límit superior s'ha escollit el límit de la troposfera (sobre 10 km d'altitud en promig), doncs es considera que la majoria de compostos actius de nitrogen romanen en aquesta franja de l'atmosfera terrestre. Com a límit inferior s'ha escollit, en cas de presència d'aqüífer el límit inferior de l'aqüífer més profund, i en cas d'absència d'aqüífer la roca mare.

5.4 DEFINICIÓ DE L'ESCALA TEMPORAL.

En l'estudi anterior dut a terme [Bartrolí, 2003] es va decidir que els límits temporals de l'estudi fossin un any natural, ja que és així com són recollides la major part d'estadístiques. La nostra escala temporal és per a l'any 2003.

S'ha escollit aquest any perquè així hi havia cinc anys de diferència respecte les dades anteriors; període que s'ha trobat apropiat per observar una evolució de les dades. A més a més, al començar el projecte a finals del 2005, es veia molt just que s'haguessin publicats les dades necessàries per a l'any 2004.

TÍTOL : AFS DEL NITROGEN A CATALUNYA : DESCRIPCIÓ GENERAL DELS FLUXOS



6. AFS DEL NITROGEN A CATALUNYA: Descripció general dels fluxos

6.1 NOMENCLATURA DELS FLUXOS

El sistema d'estudi ha estat caracteritzat mitjançant 12 compartiments. A cadascun dels 12 compartiments considerats se'ls ha assignat una lletra d'identificació:

Troposfera	A	Aigües superficials	G
Sòls agrícoles	B	Indústria	H
Altres sòls	C	Gestió de residus	I
Processos de Combustió	D	Gestió d'aigües residuals	J
Aigües subterrànies	E	Sector públic i consumidors	K
Subministrament d'aigua	F	Ramaderia	L

Per a cadascun d'aquests compartiments, s'han identificat els fluxos d'entrada i sortida de nitrogen significatius. Fluxos que pel seu paper com a font de nitrogen, com a flux de transport, com a flux de transformació o com a flux d'emmagatzematge, són importats per tal de determinar la dinàmica del nitrogen en cadascun dels compartiments. Per tal de poder diferenciar els 74 fluxos identificats s'ha emprat el següent sistema de codificació:

- a. Cada flux està identificat per dues lletres i una xifra.
- b. La primera lletra identifica el compartiment d'on surt el flux.
- c. La segona lletra identifica el compartiment al qual es dirigeix el flux. Així, per exemple, un flux anomenat JE significaria que és un flux que surt del compartiment J (Gestió d'Aigües Residuals) i que es dirigeix al compartiment E (Aigües subterrànies).
- d. El número es posa de forma correlativa, començant per l'u (JE1, JE2, JE3,...), permetent diferenciar així els fluxos que surten i es dirigeixen al mateix lloc.
- e. Dos tipus de fluxos tenen una configuració més particular, les importacions i les exportacions.

f. Tots els fluxos que surten fora dels límits del sistema es consideren exportacions i s'identifiquen mitjançant la lletra del compartiment d'on surten i les lletres "Exp". Per exemple, el flux JExp1 voldria dir que és un flux que surt del compartiment J (Gestió d'aigües residuals) i que marxa fora dels límits del sistema.

g. Tots els fluxos que entren al sistema des de fora dels seus límits, es consideren importacions i s'identifiquen mitjançant les lletres "Imp" i la lletra del compartiment on es dirigeix; un exemple seria ImpJ1.

6.2 FONTS DE DADES EMPRADES

El cicle del nitrogen es caracteritza per ser un cicle complex, on intervenen processos naturals i antropogènics molt diversos. L'alt grau de diversitat dels processos a quantificar implica que les dades requerides siguin molt diverses i heterogènies. Per tal d'obtenir aquesta diversitat de dades ha calgut emprar una àmplia varietat de fonts d'informació :

- Articles i publicacions científiques
- Dades estadístiques i publicacions oficials
- Accés directe a documents de difusió limitada
- Accés remot (internet) a documents de difusió limitada
- Comunicacions personals d'experts

Caldria afegir que en alguns casos degut a la falta d'una dada disponible o fiable, el flux s'ha estimat per balanç. En la majoria de compartiments les entrades han de ser igual a les sortides; només poden existir petits desequilibris deguts a les incerteses o fluctuacions aleatòries de les dades. En aquests casos si manca un flux per quantificar, aquest es pot estimar indirectament per balanç. Alguns compartiments, però (aigües subterrànies, altres sòls,...), poden no presentar un balanç equilibrat d'entrades i sortides, havent-se de contemplar en aquest casos un terme d'acumulació que tingui en compte les tendències a llarg termini.

Per altra banda, en determinats casos al no haver-hi dades disponibles a escala de Catalunya s'ha hagut d'utilitzar dades d'escales superiors (Espanya) o inferiors (Barcelona) per poder estimar el flux.

6.3 DIFICULTATS EN L'OBTENCIÓ DE LES DADES

Les dificultats trobades al llarg del procés d'obtenció de les dades requerides per la quantificació del model són de diversa naturalesa:

1) Dificultats vinculades a la pròpia naturalesa complexa de la temàtica d'estudi.

Degut a la diversitat de les temàtiques i els aspectes involucrats en el cicle del nitrogen, sovint cal realitzar un feixuc treball de recerca d'informació.

2) Dificultats vinculades a les característiques administratives pròpies de Catalunya, una comunitat autònoma dins de l'estat espanyol.

Dues són les principals dificultats vinculades a aquest fet:

- Determinades dades estadístiques solament són disponibles a nivell estatal. Malgrat que les dades en sí han estat recollides en nivells administratius menors, com ara les comunitats autònomes o les províncies.
- La quantificació dels fluxos comercials, importacions i exportacions, entre Catalunya i la resta de l'estat espanyol és complicada. Per tant, cal arribar-hi indirectament a partir de les dades de transport de mercaderies.

3) Dificultats vinculades a la pròpia naturalesa i funcionament de les administracions.

Això s'exemplifica amb diversos fets com ara:

- L'existència d'una desorganització i dispersió de les estadístiques disponibles entre els diferents òrgans, departament i institucions de l'administració de Catalunya.
- Escassetat de determinada tipologia de dades en unitats físiques enfront de l'existència de les dades en unitats monetàries. Les dades en unitats físiques són molt necessàries pel desenvolupament d'un AFS, així com d'altres estudis de temàtica medi ambiental.

- Opacitat i traves per part de l'administració a l'hora de facilitar les dades.

- Tot i l'existència de dades, aquestes no estan treballades. Sovint l'administració disposa de les dades en brut, les dades han estat recollides en les declaracions o enquestes pertinents, però no estan el suficientment elaborades com perquè puguin ésser utilitzades.

6.4 INCERTESA EN LA QUANTIFICACIÓ

Pràcticament totes les dades emprades per a la construcció dels AFS estan subjectes a més o menys grau d'incertesa. Segons la tipologia, la font i la forma d'obtenció de les diverses dades aquestes tenen un major o menor grau d'incertesa. La gran quantitat i varietat de dades amb les que es treballa en un AFS augmenta les possibilitats de l'existència de certa incertesa en algunes d'aquestes dades.

La metodologia del AFS no es dedica a revisar les dades existents, sinó que es basa en la recerca i el treball amb les millors dades disponibles. En aquest sentit, al llarg de l'estudi, tot i les dificultats trobades, s'ha treballat intensament per obtenir les millors dades disponibles en el moment de realitzar l'estudi.

Cal ser conscients, però, de la possible incertesa de les dades emprades a l'hora de quantificar el model i d'interpretar els resultats obtinguts. En aquest sentit, quan la incertesa associada a un determinat flux quantificat pot ser del mateix ordre de magnitud que el valor del flux, aquest s'ha expressat, en la mesura que les dades ho permetien, com un rang de valors.

Així mateix, per tal de reduir la incertesa de les dades utilitzades i millorar la fiabilitat dels resultats obtinguts s'han aplicat les següents mesures:

- a) Consultar més d'una font i contrastar així el valor de les dades, taxes o factors. En nombrosos casos el resultat final ha estat la obtenció d'un valor estimatiu, fruit de les diverses fonts consultades.

- b) La realització de balanços (en els casos que les entrades haguessin de coincidir amb les sortides) per tal de comprovar el grau de veracitat de les quantificacions realitzades.

c) Finalment, indicar que s'ha tingut una particular cura a l'hora de revisar i intentar reduir la incertesa dels fluxos més grans, doncs és la incertesa vinculada a aquests fluxos la que pot comprometre en major mesura la veracitat dels resultats obtinguts.

6.5 DESCRIPCIÓ DE LA QUANTIFICACIÓ DELS DIVERSOS FLUXOS

A l'Annex I s'adjunten les fitxes de cadascun dels 74 fluxos. En cadascuna de les fitxes es descriu breument el flux, s'explica la metodologia emprada per la seva quantificació i es mostra el valor del flux. Les taules referenciades en les fitxes amb la lletra A seguida d'un número, corresponents als càlculs realitzats, estan disponibles en l'Annex II.

**TÍTOL : AFS NITROGEN CATALUNYA : DESCRIPCIÓ I ANALISI DELS
COMPARTIMENTS**



7. AFS DEL NITROGEN A CATALUNYA: Descripció i Quantificació dels compartiments

7.1 DIAGRAMA BÀSIC DELS FLUXOS DEL SISTEMA D'ESTUDI

El sistema d'estudi ha estat caracteritzat mitjançant 12 compartiments representatius i els fluxos que s'estableixen entre ells, constituint, finalment, un diagrama dels fluxos del nitrogen a Catalunya. Els 12 compartiments han estat escollits per la seva rellevant funció dins del cicle del nitrogen, ja sigui com a font o embornal, com a procés de transport, com a procés transformador o com a procés d'emmagatzematge. Els 12 compartiments considerats són:

- Troposfera
- Sòls agrícoles
- Altres sòls (inclou la seva flora)
- Processos de combustió
- Aigües subterrànies
- Subministrament d'aigua
- Aigües superficials
- Indústria (inclou el sector comerç)
- Gestió de residus
- Gestió d'aigües residuals
- Sector públic i consumidors
- Ramaderia

En la Figura 5 es mostra una representació simplificada del diagrama de fluxos del model del cicle del nitrogen a Catalunya. Les fletxes mostren la direcció de les relacions existents entre els diversos compartiments. Les fletxes que travessen els límits del sistema, representen les entrades i sortides de nitrogen dels límits del sistema d'estudi definits en l'apartat 4.

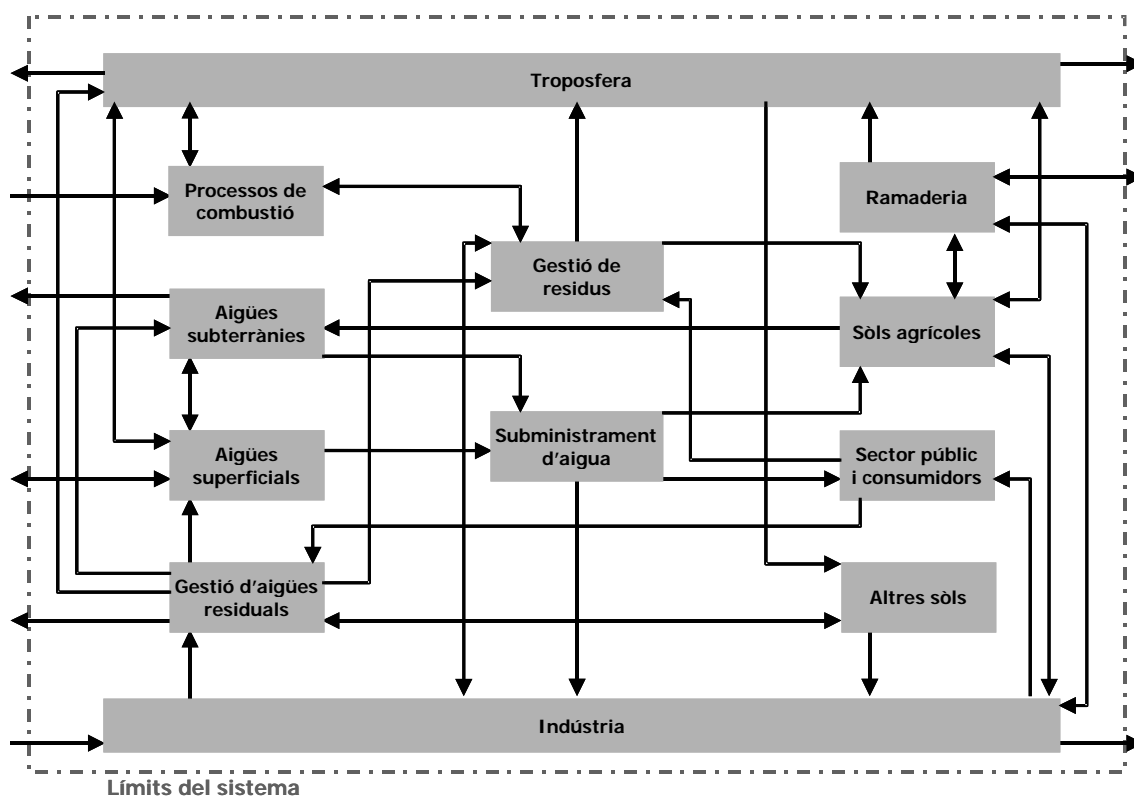


Figura 5. Diagrama de les interrelacions existents entre els diversos compartiments del sistema d'estudi.

7.2 DESCRIPCIÓ DE LA QUANTIFICACIÓ DELS DIVERSOS COMPARTIMENTS

A continuació, per a cadascun dels 12 compartiments considerats dins del model es realitza:

- Una breu descripció del que comprèn el compartiment.
- Es descriuen els principals processos i fluxos del compartiment.
- S'explica com s'ha realitzat el balanç.
- Es mostra un diagrama del compartiment quantificat.
- Es realitza una avaluació del resultat anterior del compartiment i del resultat actual.

7.3 TROPOSFERA (A)

Descripció del compartiment

El compartiment Troposfera comprèn la capa inferior de l'atmosfera (fins als 10 o 11 km d'altitud, en promig). Aproximadament el 78 per cent de l'aire sec en l'atmosfera és nitrogen (N_2). En les capes de l'atmosfera, superiors a la troposfera, hi ha una estabilitat vertical de temperatura molt gran i, per tant, no hi ha fenòmens de convecció. La gran majoria de compostos nitrogenats actius (NO_x i NH_x) emesos des de la superfície terrestre viatgen a través de la troposfera però no travessen els seus límits. Aquesta estabilitat vertical de les capes superiors de l'atmosfera és la raó per la qual s'ha agafat la tropopausa com a límit superior del sistema d'estudi. A l'interior de la troposfera els moviments convectius d'aire afavoreixen la barreja entre els compostos atmosfèrics que arriben a l'estratosfera (constituint una de les causes de la destrucció de l'ozó estratosfèric, apartat 2.5), sortides de nitrogen de la troposfera que resten compensades per un procés de difusió de molècules de nitrogen inactiu (N_2).

El model del cicle del nitrogen a Catalunya estudia els principals fluxos de les formes de nitrogen actives (nitrogen combinat amb altres elements químics com el C, O, o H). Dins del compartiment, però, també s'han contemplat alguns fluxos de la forma inactiva (N_2). Els fluxos de nitrogen inactiu (N_2) considerats s'han contemplat ja que representen transformacions de nitrogen inactiu cap a formes de nitrogen actives, per mitjà de la fixació atmosfèrica, o transformacions de formes actives cap a nitrogen inactiu, per mitjà del procés de desnitrificació.

Descripció de les entrades

Pel que fa a la forma inactiva (N_2), les entrades de nitrogen inactiu a la troposfera són degudes als diversos processos de desnitrificació existents. Aquests diversos processos de desnitrificació estan descrits pels fluxos BA1, GA1 i JA1 de la Taula 5, els quals corresponen a la desnitrificació en els sòls agrícoles, en les aigües superficials i en la gestió de les aigües residuals, respectivament.

El principal gas emès durant els processos de desnitrificació és, generalment, el N_2 , encara que també existeixen emissions d'altres gasos com el N_2O o NO . En el cas de les formes actives les principals vies d'entrada a la troposfera són: per un costat, els processos de volatilització d'amoniac deguts bàsicament a la producció agrícola i ramadera (fluxos BA2, BA3, BA4 i LA1 de la Taula 5) i, per altre costat, les emissions d'òxids de nitrogen degudes als processos de combustió (flux DA1).

Existeix finalment el flux corresponent a les pèrdues durant el procés de compostatge (IA1), el qual inclou emissions de formes actives i inactives (N₂) de nitrogen.

- Taula 5. Fluxos d'entrada al compartiment Troposfera (en tones N/any).

BA1	Nitrogen actiu exportat	1997: 37.596 – 21.230	2003: 74.536 – 65.543
<p>Descripció: Aquest flux caracteritza el procés de desnitrificació que es produeix en els sòls agrícoles de Catalunya. Fruit del procés de desnitrificació els nitrats presents en els sòls agrícoles són emesos a l'atmosfera en forma de diversos compostos nitrogenats: N₂, N₂O i altres compostos. A l'hora de calcular aquestes emissions, no s'ha distingit entre les diferents espècies de compostos nitrogenats (N₂, N₂O,...) en que el nitrat inicial pot ésser emès.</p> <p>Càlculs: Per tal d'estimar aquest flux, s'ha estimat un rang de percentatge del total de fertilitzants emprats que es considera que pot marxar per mitjà del procés de desnitrificació. Per estimar el màxim s'ha mirat en condicions favorables arrossars [Astorga, 1998] i en sòls agrícoles de regadiu [Teira, 1998] quin percentatge del total de nitrogen suposaven les pèrdues per desnitrificació.</p>			
BA2	Pèrdues aplicació purins i fems	1997: 15.813 – 12.652	2003: 14.701
<p>Descripció: Volatilització de compostos amoniacals després de l'aplicació de purins o fems en els sòls agrícoles.</p> <p>Càlculs: A partir del càlcul del flux LB2 corresponent als purins i fems aplicats als sòls agrícoles, s'han aplicat uns factors de volatilització de compostos amoniacals [ECOTEC, 1994; EEA, 2002].</p>			
BA3	Emissions amoníac fertilitzants minerals	1997: 5.502	2003: 5.679
<p>Descripció: Emissions d'amoníac que es produeixen després de l'aplicació de fertilitzants minerals als sòls agrícoles</p> <p>Càlculs: A partir de la quantitat de fertilitzants nitrogenats emprats en el cap català l'any 2003 [Comunicació personal Josep M. Virgili] i la utilització de les diferents tipologies de fertilitzants nitrogenats a Espanya en el mateix any [INE, 2003], s'ha extrapolat quina seria la quantitat de cada tipologia de fertilitzants nitrogenats emprada a Catalunya. Un cop estimada la distribució dels fertilitzants nitrogenats emprats segons tipologia, s'ha procedit a aplicar un factor d'emissió d'amoníac segons tipologia de fertilitzant nitrogenat [EEA, 2002].</p>			
BA4	Altres pèrdues amoníac	1997: 1.346 – 1.145	2003: 992
<p>Descripció: Aquest flux comprèn la resta de pèrdues de compostos amoniacals no contemplades dins dels fluxos "Pèrdues aplicació purins i fems (BA2)" i "Pèrdues aplicació fertilitzants nitrogenats (BA3)". Dins d'aquestes altres pèrdues de compostos amoniacals (BA4) es contemplen les originades en: la volatilització de compostos amoniacals després de l'aplicació del compost als sòls agrícoles; la volatilització de compostos amoniacals després de l'aplicació dels fangs de depuradora als sòls agrícoles; la volatilització de compostos amoniacals després dels fems defecats directament als sòls agrícoles durant el pastureig.</p> <p>Càlculs: Primer s'ha calculat cadascun d'aquests tres processos (volatilització compost, volatilització fangs depuradora i volatilització fems pastureig) per separat. Posteriorment s'han sumat els valors, obtenint un valor total pel flux "Altres pèrdues compostos amoniacals BA4".</p>			
DA1	Aigües rentat sòls urbans	1997: 40.809 – 36.891	2003: 1.300 – 950
<p>Descripció: Nitrogen que entra en el sistema de clavegueram degut al rentat dels sòls urbans durant els episodis de pluja.</p>			

Càlculs: S'han estimat les emissions d'òxids de nitrogen a partir de les dades que subministra EMEP d'emissions d'òxids de nitrogen per zones de 2500 km² (quadrats de 50 km per 50 km). El valor obtingut és un rang d'emissions, doncs en el cas dels quadrats costaners s'ha considerat que hi havia dues possibilitats: que totes les emissions provinguessin de la zona terrestre (Catalunya), o que les emissions provinguessin de la zona terrestre o del mar proporcionalment a la seva presència en el quadrant.

GA1	Desnitrificació aigües superficials	1997: 6.726 - 4	2003: 6.725 - 4
------------	-------------------------------------	------------------------	------------------------

Descripció: Emissions de nitrogen a l'atmosfera fruit del procés de desnitrificació en les aigües superficials.

Càlculs: A partir de les dades proporcionades s'ha estimat un rang de desnitrificació per metre quadrat d'aigua superficial i hora. Posteriorment s'ha multiplicat aquesta taxa per els metres quadrats d'aigües superficials corresponents als rius de Catalunya.

IA1	Pèrdues durant el compostatge	1997: 1.658	2003: 10.345
------------	-------------------------------	--------------------	---------------------

Descripció: Pèrdues de nitrogen que es produeixen durant el procés de compostatge.

Càlculs: S'ha estimat unes pèrdues durant el procés de compostatge per cadascuna de les tipologies de materials d'entrada contemplades. Les tres tipologies de materials d'entrada contemplades són: residus urbans que van a compostatge ; fangs de depuradora que van a compostatge ; residus industrials que van a compostatge.

JA1	Desnitrificació plantes depuradores	1997: 4.480	2003: 1.113
------------	-------------------------------------	--------------------	--------------------

Descripció: Emissions de nitrogen a l'atmosfera fruit del procés de desnitrificació a les plantes depuradores d'aigües residuals urbanes.

Càlculs: Primer s'ha estimat les entrades de nitrogen en les plantes depuradores segons el tipus de tractament. Seguidament s'ha aplicat un factor d'eliminació de nitrogen segons tipologia de tractament. Finalment s'ha restat la part que era eliminada per mitjà dels fangs.

LA1	Emissions amoníac emmagatzematge purins i fems	1997: 40.582 - 31.224	2003: 35.188
------------	--	------------------------------	---------------------

Descripció: Aquest flux caracteritza les pèrdues d'amoníac que es produeixen des de que els purins i fems són defecats en les granges fins que són aplicats als sòls agrícoles.

Càlculs: Per calcular les pèrdues de compostos amoniacals durant l'emmagatzematge dels purins i fems en les granges s'ha aplicat la metodologia descrita en ECETOC (1994). Mitjançant l'aplicació de factors de volatilització de compostos amoniacals als purins i fems defecats dins dels estables [ECOTEC, 1994], s'han obtingut les pèrdues de compostos amoniacals durant l'emmagatzematge.

Dinàmica del nitrogen dins del compartiment Troposfera

El metabolisme del nitrogen en la troposfera es caracteritza per l'existència d'un comportament diferenciat entre les espècies de nitrogen actives (òxids de nitrogen (NO_x), compostos amoniacals (NH_x)) i el nitrogen gas (N₂). Les espècies de nitrogen actives emeses a la troposfera no són compostos estables, es combinen amb facilitat amb d'altres substàncies químiques i retornen en un relatiu curt període de temps a la superfície terrestre [Galloway et al., 1995a; Olivier et al., 1998].

Per contra, el nitrogen gas (N₂) és un gas summament estable en la troposfera terrestre. Només determinats processos biològics, atmosfèrics o industrials són capaços de trencar la molècula fent possible la posterior combinació del nitrogen alliberat amb altres elements químics.

Descripció de les sortides

La via de sortida de la forma inactiva del nitrogen de la troposfera (N₂) són els processos de fixació. Dins dels processos de fixació podem diferenciar entre els processos de fixació biològica (fluxos AB1 i AG1 de la Taula 6, que corresponen a la fixació en els sòls agrícoles i en les aigües superficials respectivament) i els processos de fixació industrial (flux AD1, aquest flux únicament contempla la fixació per mitjà dels processos de combustió, doncs no produïm a Catalunya amoníac a partir del nitrogen gas). Pel que fa al nitrogen actiu, la principal via de sortida de la troposfera és la deposició atmosfèrica en els diferents medis: en els sòls agrícoles (AB2), en altres sòls (AC1) i en les aigües superficials (AG2).

- Taula 6. Fluxos de sortida del compartiment Troposfera (en tones N/any).

AB1	Nitrogen atmosfèric fixat pels cultius	1997: 18.498	2003: 17.000 – 15.500
Descripció: Nitrogen atmosfèric (N ₂) fixat per les plantes lleguminoses i farratgers cultivades a Catalunya			
Càlculs: A partir de les produccions dels diferents farratges i pastures, i assumint que tot el nitrogen de lleguminoses i farratges s'ha fixat pels cultius [IPCC, 2002]. S'han multiplicat les produccions per la composició de nitrogen de cada tipologia de farratge i pastura.			
AB2	Nitrogen deposicionat en sòls agrícoles	1997: 14.335	2003: 9.500 – 7.000
Descripció: Formes reduïdes i oxidades de nitrogen actiu deposicionades en els sòls agrícoles			
Càlculs: A partir de les dades de deposició atmosfèrica d'espècies reduïdes i oxidades de nitrogen per quilòmetre quadrat a Catalunya [EMEP, 2006], s'ha multiplicat aquesta deposició mitjana per els quilòmetres quadrats de conreus existents a Catalunya [DARP, 2006].			
AC1	Nitrogen deposicionat en altres sòls	1997: 34.040	2003: 21.000 – 15.500
Descripció: Formes reduïdes i oxidades de nitrogen actiu deposicionades en els altres sòls			
Càlculs: A partir de les dades de deposició atmosfèrica d'espècies reduïdes i oxidades de nitrogen per quilòmetre quadrat a Catalunya [EMEP, 2006], s'ha multiplicat aquesta deposició mitjana per els quilòmetres quadrats de Catalunya que inclou el compartiment altres sòls [DARP, 2006].			
AD1	Fixació de nitrogen atmosfèric processos de combustió	1997: 27.450 – 23.496	2003: 22.032 – 16.507
Descripció: Nitrogen atmosfèric (N ₂) fixat durant els processos de combustió a alta temperatura			
Càlculs: Aquest flux s'ha calculat per balanç. No és possible l'acumulació o la generació dins del compartiment processos de combustió, així doncs les entrades s'han de compensar amb les sortides.			
AG1	Biofixació aigües superficials	1997: 2.063 - 129	2003: 2.041 – 128
Descripció: Nitrogen atmosfèric (N ₂) fixat pels cianobacteris de les algues de les aigües superficials			

Càlculs: A partir de les referències bibliogràfiques, s'ha estimat un rang e biofixació per metre quadrat d'aigua superficial i any. Posteriorment, aquesta taxa s'ha multiplicat pels metres quadrats d'aigües superficials de Catalunya.

AG2	Nitrogen deposicionat en aigües superficials	1997: 389	2003: 260 – 200
------------	--	------------------	------------------------

Descripció: Formes reduïdes i oxidades de nitrogen actiu deposicionades en les aigües superficials

Càlculs: A partir de les dades de deposició atmosfèrica d'espècies reduïdes i oxidades de nitrogen per quilòmetre quadrat a Catalunya [EMEP, 2006], s'ha multiplicat aquesta deposició mitjana per les hectàrees de rius i llacs a Catalunya [DARP, 2006].

AEXP1	Desnitrificació Sòls Agrícoles	1997: 56.532 – 39.479	2003: 29.000 – 14.500
--------------	--------------------------------	------------------------------	------------------------------

Descripció: Formes reduïdes i oxidades de nitrogen actiu exportades preferentment cap el Mar Mediterrani i França

Càlculs: S'ha considerat que les diferències entre les emissions i la deposició de compostos nitrogenats actius a Catalunya, tenien com a destí preferencialment les zones limítrofes amb Catalunya.

Balanç del compartiment

Si comparem les entrades de nitrogen actiu (NOx i NHx) amb les sortides estimades (Taula 7), trobem que existiria una acumulació teòrica de nitrogen actiu en la troposfera de Catalunya d'entre 79059 - 79032 tones any.

- Taula 7. Entrades i sortides teòriques de compostos nitrogenats actius de la Troposfera de Catalunya.

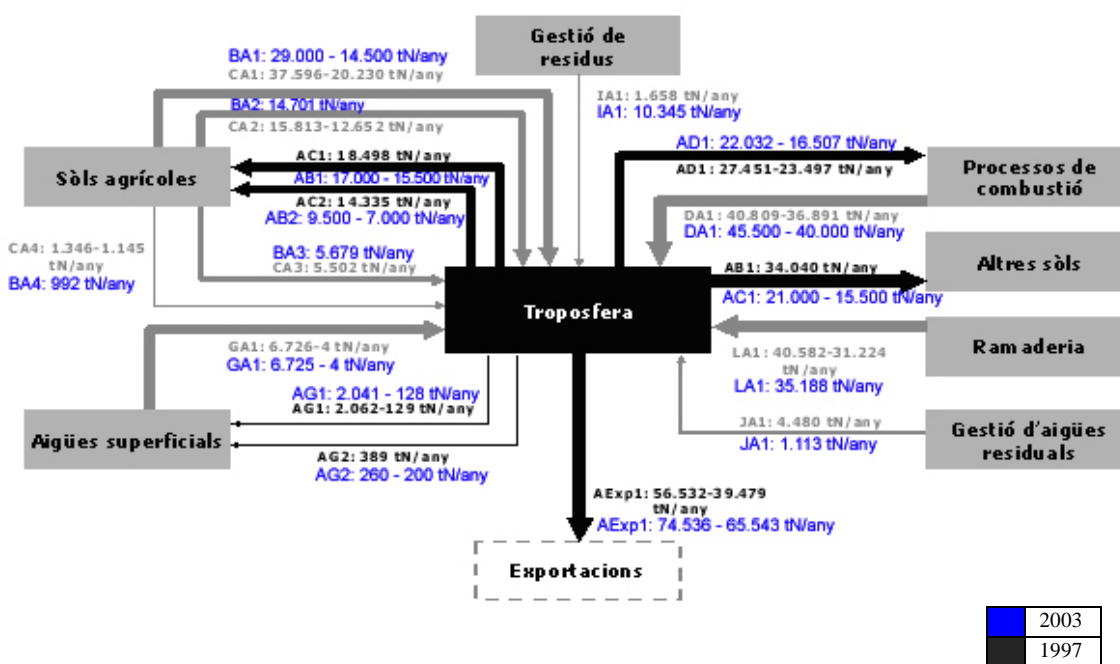
Entrades (Tones N/any)			Sortides (Tones N/any)		
BA2	Pèrdues aplicació purins i fems	14701	AB2	Nitrogen deposicionat en sòls agrícoles	9500-7000
BA3	Emissions amoniac fertilitzants minerals	5679	AC1	Nitrogen deposicionat en altres sòls	21000-15500
BA4	Altres pèrdues amoniac	992	AG2	Nitrogen deposicionat en aigües superficials	260-200
DA1	Emissions processos de combustió	45500 - 40000			
IA1	Pèrdues durant el compostatge*	10345			
LA1	Emissions amoniac emmagatzematge purins i fems	35188			
TOTAL ENTRADES		109819 - 101733	TOTAL SORTIDES		30760 - 22700
BALANÇ ENTRADES SORTIDES:			79059 - 79032 Tones N / any		

*S'ha estimat que entre 75 i 50% de les emissions eren compostos nitrogenats actiu. La resta serien pèrdues per desnitrificació.

No hi ha però, cap evidència d'una acumulació significativa de compostos nitrogenats actius en la troposfera de Catalunya. Degut al relatiu curt temps de vida de la majoria de compostos nitrogenats actius, els NOx aproximadament entre 1 i 10 dies i els NHx entre unes hores i pocs dies [Galloway et al., 1995a; Olivier et

al., 1998], és de suposar que aquest desajust s'hauria de compensar per una exportació de nitrogen actiu.

En principi, aquestes exportacions van a parar a les regions limítrofes del Mar Mediterrani i França on s'ha comprovat que la deposició de compostos nitrogenats actius supera les emissions [Bartrolí, 2003]. S'ha considerat, doncs, que la diferència entre les entrades i sortides de compostos nitrogenats actius en la troposfera de Catalunya origina un flux d'exportacions que té com a destí principalment aquestes dues regions (flux AExp1 Figura 6).



• Figura 6. Diagrama de fluxos del compartiment Troposfera.[†]

Avaluació conjunta de resultats

Les emissions de compostos nitrogenats actius des de la superfície de Catalunya cap a la troposfera són substancialment superiors al nitrogen actiu que retorna des de la troposfera a la superfície en forma de deposició atmosfèrica. La diferència entre les entrades i sortides de nitrogen actiu de la troposfera de Catalunya s'explica per l'exportació de part dels compostos nitrogenats actius emesos des de Catalunya cap altres regions. Les regions receptores d'aquesta exportació serien, preferentment, les regions de França i del Mar Mediterrani.

[†] Els fluxos relacionats amb el compartiment sòls agrícoles tenen diferent nomenclatura però es refereixen al mateix flux.

Des del 1997 fins ara, s'ha detectat un augment de les entrades de nitrogen al compartiment troposfera d'un 11%. Aquest increment és degut, sobretot, per l'augment de les emissions dels processos de combustió i per les pèrdues durant el compostatge. En tots dos casos hi ha la mateixa raó per justificar aquesta diferència : el major nombre de material que va tant a combustió com, sobretot, a compostatge.

Pel que fa a les sortides, aquestes han disminuït un 45% durant aquests darrers cinc anys. Això és conseqüència de les deposicions registrades a Catalunya, tant als sòls agrícoles com a altres sòls.

Per tant, si al 1997 no es detectaven importants impactes ambientals en els ecosistemes de Catalunya [Bartrolí, 2003] actualment, quan les taxes encara són més baixes, tampoc hi ha d'haver problemes en aquest sentit. Tenint en compte aquests resultats, Catalunya té unes deposicions inferiors a la majoria de països europeus [EMEP, 2006].

Això s'explica perquè degut a les condicions geogràfiques de Catalunya (orografia, vents...), però sobretot pel fet de tenir el Mar Mediterrani com a límitrof, la majoria de nitrogen s'acaba exportant a llarg plaç.

Cal, però, tenir en compte que molts dels problemes ambientals associats a elevades taxes de deposició tarden cert temps des de que comencen a originar-se fins que es comencen a detectar [Galloway et al., 1995a; Vitousek et al., 1997]. Per altra banda, també cal tenir en consideració que estem exportant part del nitrogen actiu que produïm i que som, per tant, responsables dels possibles efectes ambientals d'aquestes exportacions de nitrogen actiu.

7.4 SÒLS AGRÍCOLES (B)

Descripció del compartiment

El compartiment Sòls agrícoles comprèn tots els sòls contemplats per la Generalitat de Catalunya com a sòls agrícoles [DARP, 2006]; s'inclouen, doncs, les pastures i el prats cultivats. El conjunt de sòls agrícoles contemplats representa gairebé el 30% del total de superfície de Catalunya.

Com a terme genèric s'interpreta que dins dels sòls agrícoles només es consideren els 30 primers centímetres del sòl, ja que és en aquesta zona on tenen lloc, bàsicament, els fenòmens característics de la producció agrícola [Bartrolí, 2003].

Descripció de les entrades

Hi ha tres vies principals d'entrada de nitrogen actiu en els sòls agrícoles. En primer lloc el nitrogen procedent dels fems i purins aplicats (fluxos LB1 i LB2, Taula 8); en segon lloc, els fertilitzants nitrogenats de síntesi química (flux HB1, Taula 8); i en tercer lloc, les entrades procedents de la troposfera, ja sigui per mitjà de la biofixació (AB1) o de la deposició (AB2). Pel que fa als fluxos d'entrada secundaris (Figura 7) hi ha el compost aplicat (IB1), l'aigua emprada per regar els camps (FB1) i els fangs de depuradora aplicats (JB1).

•Taula 8. Fluxos d'entrada al compartiment Sòls agrícoles (en tones N/any).

AB1	Nitrogen atmosfèric fixat pels cultius	1997: 18.498	2003: 17.000 – 15.500
Descripció: Nitrogen atmosfèric (N ₂) fixat per les plantes lleguminoses i farratgers cultivades a Catalunya			
Càlculs: A partir de les produccions dels diferents farratges i pastures, i assumint que tot el nitrogen de lleguminoses i farratges s'ha fixat pels cultius [IPCC, 2002]. S'han multiplicat les produccions per la composició de nitrogen de cada tipologia de farratge i pastura.			
AB2	Nitrogen deposicionat en sòls agrícoles	1997: 14.335	2003: 9.500 – 7.000
Descripció: Formes reduïdes i oxidades de nitrogen actiu deposicionades en els sòls agrícoles			
Càlculs: A partir de les dades de deposició atmosfèrica d'espècies reduïdes i oxidades de nitrogen per quilòmetre quadrat a Catalunya [EMEP, 2006], s'ha multiplicat aquesta deposició mitjana per els quilòmetres quadrats de conreus existents a Catalunya [DARP, 2006].			
FB1	Aigua agricultura	1997: 3.037	2003: 6.917
Descripció: Aigua consumida per l'agricultura			
Càlculs: Cal considerar que la concentració de nitrogen de les aigües superficials i subterrànies és diferent. A partir de les dades de consum d'aigua per part de l'agricultura, s'estima quina proporció d'aquesta prové d'aigües superficials i quina proporció d'aigües subterrànies. Seguidament és multiplica els cabals d'aigües superficials i subterrànies consumides per una concentració mitjana de nitrogen estimada per cadascuna de les dues tipologies d'aigües.			
HB1	Fertilitzants minerals sòls agrícoles	1997: 66.390	2003: 54.324
Descripció: Fertilitzants minerals nitrogenats aplicats als sòls agrícoles de Catalunya.			
Càlculs: A partir de les dades de fertilitzants minerals nitrogenats [comunicació personal de Josep M. Virgili], sabem les tonelades de Nitrogen.			
IB1	Compost i altres productes orgànics sòls agrícoles	1997: 4.201	2003: 33.921
Descripció: Les diverses tipologies de compost i els residus industrials aplicats als sòls agrícoles.			

Càlculs: Per un costat s'han avaluat les entrades a sòls agrícoles per mitjà de tres tipologies de materials compostats: els residus urbans (rebuig compostat i fracció matèria orgànica compostada), els fangs de depuradora compostats i els residus industrials compostats. Primerament s'han avaluat les entrades d'aquestes tipologies de materials al procés de compostatge per posteriorment estimar les pèrdues de nitrogen durant el procés de compostatge (flux IA1); obtenint finalment el nitrogen aplicat en forma de compost per cada tipologia de material.

JB1	Fangs depuradora sòls agrícoles	1997: 825	2003: 1.648
------------	---------------------------------	------------------	--------------------

Descripció: Fangs de depuradora d'aigües residuals urbanes que van a sòls agrícoles

Càlculs: A partir de la quantitat de fangs de depuradora, en matèria seca, que van a sòls agrícoles, i el percentatge de nitrogen en els fangs de depuradora (en matèria seca).

LB1	Fems defecats sòls agrícoles pastureig	1997: 20.268 – 17.024	2003: 16.818
------------	---	------------------------------	---------------------

Descripció: Aquest flux explica l'entrada de nitrogen als sòls agrícoles per mitjà dels fems defecats durant el pastureig

Càlculs: Per calcular els fems defecats fora de l'estable durant el pastureig s'ha aplicat la metodologia descrita en ECETOC (1994). A partir dels factors d'excreció de nitrogen estimats per classe d'animal i any, s'ha procedit a estimar quina part d'aquests fems eren defecats fora dels estables durant el pastureig.

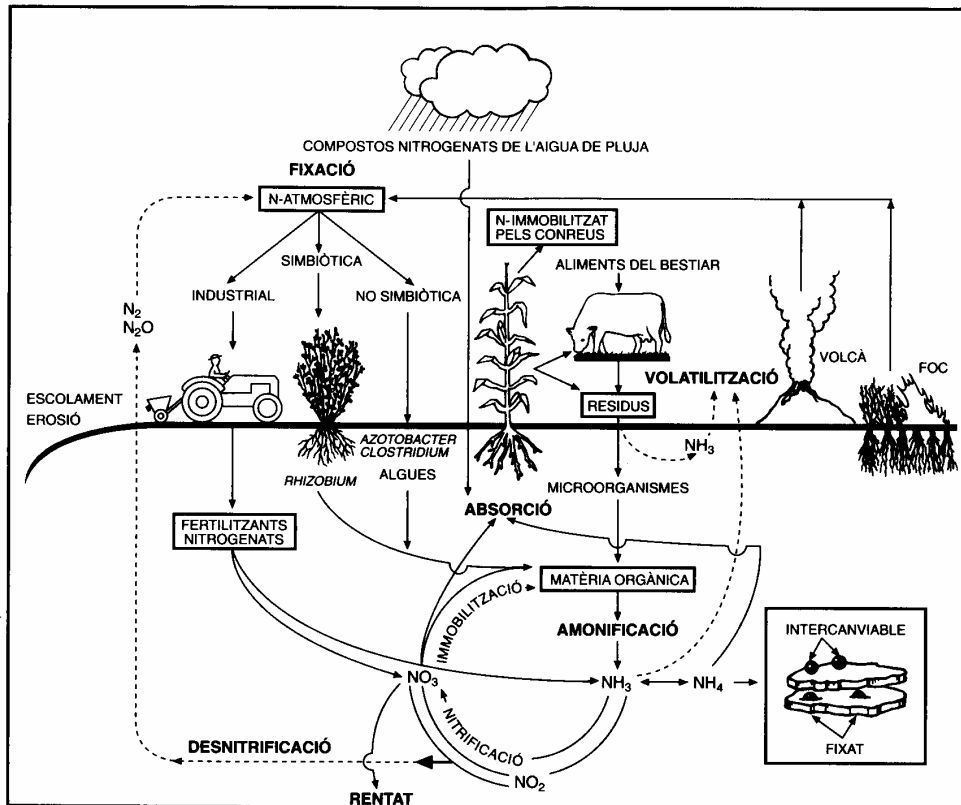
LB2	Purins i fems aplicats sòls agrícoles	1997: 96.322 – 78.018	2003: 88.194
------------	---------------------------------------	------------------------------	---------------------

Descripció: Aquest flux caracteritza als purins i fems que són aplicats als sòls agrícoles

Càlculs: Primerament s'ha estimat el nombre de caps de bestiar presents en mitjana els anys 96, 97 i 98 a Catalunya, per mitjà de la utilització del cens agrari i de les places licitades [DARP, 1996; DARP, 1997; DARP, 1998]. A partir del nombre de caps d'animals presents per cada espècie, i aplicant un factor d'excreció de nitrogen per classe d'animal i any, s'ha calculat la producció anual de nitrogen en forma de purins i fems.

Dinàmica del nitrogen dins del compartiment Sòls agrícoles

Les transformacions del nitrogen representen una part molt important del cicle del nitrogen en el sòl (Figura 8). La biofixació del nitrogen inactiu, i les transformacions del nitrogen orgànic i inorgànic, en són les transformacions més rellevants. Els processos de mineralització i d'immobilització són processos associats a transformacions entre formes orgàniques i inorgàniques de nitrogen. La mineralització, anomenada també amonificació, consisteix en la transformació de formes orgàniques del nitrogen (com ara restes de plantes mortes o excrements d'animals) a formes inorgàniques. La immobilització és el procés d'absorció, per part dels microorganismes, del nitrogen inorgànic (NH₄⁺ i NO₃⁻) present en el sòl.



• Figura 8. Cicle del nitrogen als sòls agrícoles [Junta de Residus, 1996].

Pel que fa a les transformacions entre les diferents formes de nitrogen inorgànic, la nitrificació consisteix en l'oxidació del amoni (NH_4^+) a nitrat (NO_3^-), per mitjà de els bacteris nitrificants. Durant el procés de nitrificació es pot produir òxid de dinitrogen (N_2O). La conseqüència del procés de nitrificació és que el nitrogen resta en el sòl en una forma més susceptible d'ésser perduda, ja sigui per percolació o desnitrificació.

La desnitrificació és la reducció dels nitrats (NO_3^-) o nitrits (NO_2^-) a òxid de dinitrogen (N_2O) i nitrogen inactiu (N_2). La percolació dels nitrats és deguda a que l'ió NO_3^- carregat negativament, no és absorbible per la majoria de sòls. Fet que provoca que els nitrats (NO_3^-) romanguin en la solució del sòl, fins que són absorbits per les plantes, són desnitrificats o percolen cap a les capes inferiors del sòl. El nitrat, i en menor mesura l'amoni, són les principals formes de nitrogen del sòl assimilables per les plantes.

La volatilització de l'amoniac es dona pel desplaçament de l'equilibri existent entre l'ió amoni i l'amoniac ($\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$) a favor de la forma amoniac, degut que a la presència d'ions de carbonat (CO_3^{2-} i HCO_3^-) neutralitzen el protons (H^+) de l'equilibri : $\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NH}_3 + \text{H}^+$ [Hofman i Clercq, 2001].

Descripció de les sortides

Per un costat, tenim les sortides vinculades als productes agrícoles produïts (fluxos BH1 i BL1, Taula 9) i per altre, els fluxos de sortida vinculats a les pèrdues de nitrogen dels sòls agrícoles. Tres són les vies preferents de pèrdues de nitrogen dels sòls agrícoles: la percolació de nitrats (BE1), la desnitrificació (BA1), i la volatilització d'amoniac (fluxos BA2, BA3 i BA4, Taula 9). Existeix, a més a més, un altre flux de pèrdues menor com és l'erosió (BG1).

- Taula 9. Fluxos de sortida del compartiment Sòls agrícoles (en tones N/any).

BA1	Nitrogen actiu exportat	1997: 37.596 – 21.230	2003: 74.536 – 65.543
<p>Descripció: Aquest flux caracteritza el procés de desnitrificació que es produeix en els sòls agrícoles de Catalunya. Fruit del procés de desnitrificació els nitrats presents en els sòls agrícoles són emesos a l'atmosfera en forma de diversos compostos nitrogenats: N_2, N_2O i altres compostos. A l'hora de calcular aquestes emissions, no s'ha distingit entre les diferents espècies de compostos nitrogenats (N_2, N_2O,...) en que el nitrat inicial pot ésser emès.</p> <p>Càlculs: Per tal d'estimar aquest flux, s'ha estimat un rang de percentatge del total de fertilitzants emprats que es considera que pot marxar per mitjà del procés de desnitrificació. Per estimar el màxim s'ha mirat en condicions favorables arrossars [Astorga, 1998] i en sòls agrícoles de regadiu [Teira, 1998] quin percentatge del total de nitrogen suposaven les pèrdues per desnitrificació.</p>			
BA2	Pèrdues aplicació purins i fems	1997: 15.813 – 12.652	2003: 14.701
<p>Descripció: Volatilització de compostos amoniacals després de l'aplicació de purins o fems en els sòls agrícoles.</p> <p>Càlculs: A partir del càlcul del flux LB2 corresponent als purins i fems aplicats als sòls agrícoles, s'han aplicat uns factors de volatilització de compostos amoniacals [ECOTEC, 1994; EEA, 2002].</p>			
BA3	Emissions amoniac fertilitzants minerals	1997: 5.502	2003: 5.679
<p>Descripció: Emissions d'amoniac que es produeixen després de l'aplicació de fertilitzants minerals als sòls agrícoles</p> <p>Càlculs: A partir de la quantitat de fertilitzants nitrogenats emprats en el cap català l'any 2003 [Comunicació personal Josep M. Virgili] i la utilització de les diferents tipologies de fertilitzants nitrogenats a Espanya en el mateix any [INE, 2003], s'ha extrapolat quina seria la quantitat de cada tipologia de fertilitzants nitrogenats emprada a Catalunya. Un cop estimada la distribució dels fertilitzants nitrogenats emprats segons tipologia, s'ha procedit a aplicar un factor d'emissió d'amoniac segons tipologia de fertilitzant nitrogenat [EEA, 2002].</p>			
BA4	Altres pèrdues amoniac	1997: 1.346 – 1.145	2003: 992

Descripció: Aquest flux comprèn la resta de pèrdues de compostos amoniacals no contemplades dins dels fluxos "Pèrdues aplicació purins i fems (BA2)" i "Pèrdues aplicació fertilitzants nitrogenats (BA3)". Dins d'aquestes altres pèrdues de compostos amoniacals (BA4) es contemplen les originades en: la volatilització de compostos amoniacals després de l'aplicació del compost als sòls agrícoles; la volatilització de compostos amoniacals després de l'aplicació dels fangs de depuradora als sòls agrícoles; la volatilització de compostos amoniacals després dels fems defecats directament als sòls agrícoles durant el pastureig.

Càlculs: Primer s'ha calculat cadascun d'aquests tres processos (volatilització compost, volatilització fangs depuradora i volatilització fems pastureig) per separat. Posteriorment s'han sumat els valors, obtenint un valor total pel flux "Altres pèrdues compostos amoniacals BA4".

BE1	Percolació sòls agrícoles	1997: 94.985	2003: 124.750 – 104.674
------------	---------------------------	---------------------	--------------------------------

Descripció: Nitrogen percolat des dels sòls agrícoles cap a les capes inferiors del sòl

Càlculs: Aquest flux s'ha calculat per balanç entre les entrades i sortides del compartiment aigües subterrànies.

BG1	Pèrdues erosió sòls agrícoles	1997: 650 - 65	2003: 640 – 64
------------	-------------------------------	-----------------------	-----------------------

Descripció: Nitrogen que va a aigües superficials procedent de les pèrdues per erosió dels sòls agrícoles

Càlculs: S'han agafat les hectàrees agrícoles de Catalunya i s'han multiplicat per una estimació de les pèrdues de sòl admissibles. A partir del percentatge de matèria orgànica del sòl i del nitrogen contingut en la matèria orgànica del sòl, s'han calculat quantes tones de nitrogen es perdien per erosió.

BH1	Productes agrícoles produïts sòls agrícoles	1997: 39.136	2003: 51.000 – 45.000
------------	---	---------------------	------------------------------

Descripció: Inclou tota la producció agrícola, menys els farratges i les pastures consumits directament pels animals ramaders, els quals estan contemplats dins del flux BL1

Càlculs: Primer s'ha calculat la mitjana de la producció de les diferents tipologies de cultiu per l'any 2000 [DARP,2000]. Per tal d'estimar què suposaven aquestes produccions en termes de nitrogen, s'ha aplicat un factor segons la composició en nitrogen de cadascuna de les tipologies de cultiu. S'han restat les produccions en forma de farratges i pastures, flux BL1, ja que aquestes van directament a ramaderia sense passar pel compartiment Indústria.

BL1	Farratges i pastures	1997: 28.706	2003: 21.000 – 18.000
------------	----------------------	---------------------	------------------------------

Descripció: Producció de farratges i pastures no destinades a l'elaboració de pinsos, consumides directament pels animals ramaders

Càlculs: Primerament s'ha calculat la mitjana de la producció de les diferents tipologies de farratges i pastures durant el període d'estudi [IEC, 2000]. Seguidament per tal d'estimar què suposaven aquestes produccions en termes de nitrogen, s'ha aplicat un factor segons la composició de nitrogen de cadascuna de les tipologies de farratges i pastures. Finalment, s'han restat les produccions de farratges que s'utilitzen com a primeres matèries per pinsos.

Balanç del compartiment

S'ha considerat que degut a les pràctiques agrícoles portades a terme durant anys, la majoria de sòls agrícoles tenen un important contingut de nitrogen i, que per tant, a escala anual no existia una acumulació important de les entrades de nitrogen avaluades (Taula 8) [Bartrolí, 2003].

El problema de quadrar el balanç del nitrogen en els sòls agrícoles d'una regió de les dimensions i de la heterogeneïtat de Catalunya, rau principalment en l'estimació dels fluxos de desnitrificació i percolació. Determinar les pèrdues per desnitrificació i per percolació de nitrats d'un territori agrícola, com el que comprèn aquest estudi, és de gran dificultat i cal tenir consciència de la incertesa associada a aquesta avaluació.

Estimats tots els fluxos d'entrada al compartiment i, a falta de l'estimació dels fluxos de sortida pèrdues per desnitrificació (BA1) i pèrdues per percolació de nitrats (BE1), existeix una diferència entre les entrades i sortides del compartiment d'entre 161258 i 134310 tones de nitrogen any.

El flux de desnitrificació de sòls agrícoles depèn de molts factors. Els principals són [Gispert, 1999]: el contingut en oxigen del sòl, la disponibilitat de nitrats (NO_3^-) en el sòl, el contingut de carboni oxidable en el sòl, la humitat del sòl, el pH del sòl i la temperatura ambient. Com que molts d'aquests factors són variables al llarg temps i depenen de les condicions climatològiques, el procés de desnitrificació és, també, molt variable en el temps i altament dependent de les condicions atmosfèriques [Vermoesen et al., 1993].

Pel que fa a la percolació de nitrats dels sòls agrícoles, encara que s'ha constatat la influència de l'aplicació de fertilitzants nitrogenats en la contaminació per nitrats de les aigües subterrànies, els aspectes quantitius de la relació causa-efecte no han estat encara resolts [Ramos i Varela, 1992]. En aquest mateix sentit s'expressa Frost (1999) quan diu que encara existeixen grans problemes per estimar el metabolisme del nitrogen des de que marxa de la zona de les arrels fins que aquest arriba a les aigües superficials o subterrànies.

Existeix una àmplia bibliografia de models que intenten representar els fluxos de desnitrificació i percolació per zones agrícoles. Aquests models són útils, sobretot, per modelitzar els fluxos de desnitrificació i percolació a escala local. La manca d'homogeneïtat i les dimensions de les zones agrícoles que existeixen a Catalunya fa molt difícil l'aplicació d'algun d'aquests models a escala de Catalunya.

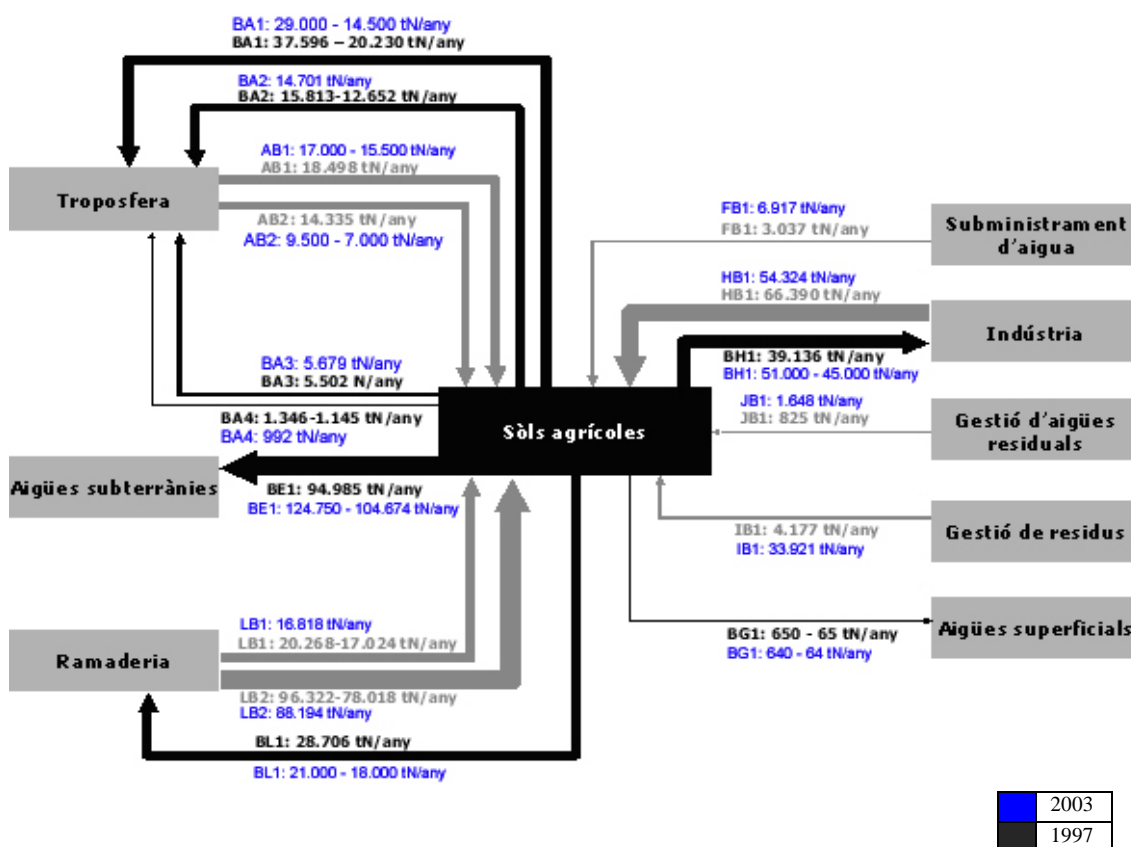
Constatades les dificultats existents en l'estimació del flux de desnitrificació a una escala de les dimensions de Catalunya, es va decidir avaluar aquest flux mitjançant l'estimació de quina quantitat del total de nitrogen aplicat, per mitjà de les diverses

tipologies de fertilitzants, marxava dels sòls agrícoles mitjançant el procés de desnitrificació [Bartrolí, 2003].

S'han utilitzat els valors recomanats per diferents publicacions [Brentrup et al., 2000; Bakken i Bleken, 1997b] i les dades de desnitrificació obtingudes per estudis de camp, realitzats en condicions favorables a la desnitrificació [Astorga, 1998; Teira, 1998], per estimar el valor del flux (BA1, Figura 8).

Avaluats tots els fluxos de sortida menys el flux de percolació, aquest s'ha calculat per balanç. El flux de percolació (BE1, Figura 8) descriu, doncs, les pèrdues d'excés de nitrogen cap a les capes inferiors del sòl un cop avaluats la resta de fluxos de sortida (Taula 9).

Aquest flux és major que al 1997. La causa principal és l'augment de les diverses tipologies de compost i residus industrials que s'apliquen als sòls agrícoles.



• Figura 8. Diagrama de fluxos del compartiment Sòls agrícoles.

Avaluació conjunta de resultats

L'agricultura de Catalunya té una eficiència de transformació del nitrogen que entra als sòls agrícoles en productes aprofitables (fluxos BH1 i BL1 Figura 8) del 29%. Aquesta eficiència ha disminuït respecte el 1997, quan es situava al voltant del 38%. Per tant, encara s'ha ajustat més al valor calculat pel conjunt de l'Europa Occidental [Isermann i Isermann, 1998] al principi dels anys noranta, quan encara no s'havien implementat moltes de les polítiques ambientals, actualment existents, dissenyades per fer front als problemes ambientals que crea el nitrogen.

Al calcular el balanç d'aquest compartiment, però, no es detecta una acumulació de nitrogen en els sòls agrícoles. Això és perquè el nitrogen sobrant o en excés surt dels sòls agrícoles mitjançant diverses vies: volatilització d'amoniac, desnitrificació i percolació de nitrats.

Cadascuna d'aquestes vies de pèrdues de nitrogen pot esdevenir causa de determinats impactes ambientals:

- La volatilització d'amoniac pot provocar, per mitjà de la seva posterior deposició atmosfèrica, l'eutrofització, l'acidificació o canvis en la biodiversitat dels ecosistemes.
- El procés de desnitrificació esdevé una font de producció d'òxid de dinitrogen (N_2O), gas que intervé en l'efecte hivernacle i en la destrucció de l'ozó troposfèric.
- La percolació de nitrats des dels sòls agrícoles és una de les causes de l'acumulació de nitrats en les aigües subterrànies. La presència d'elevats nivells de nitrats (superiors als 50 mg/l) en les aigües impossibilita el seu ús com aigua potable, ja que la ingestió d'aigua amb elevats nivells de nitrats pot ésser la causa d'una malaltia anomenada metahemoglobinèmia en infants.

En aquests darrers cinc anys la percolació ha augmentat, cosa que s'ha traduït en un increment del nombre d'aqüífers registrats amb una concentració de nitrats superior als 50 mg/l [DARP, 2006].

Finalment, cal indicar que encara existeixen grans problemes per conèixer la dinàmica del nitrogen des de que marxa de la zona de les arrels dels sòls agrícoles fins que aquest arriba a les aigües superficials o subterrànies . Per tant, hi ha sempre una determinada incertesa a l'hora d'avaluar els fluxos de desnitrificació i percolació a escala de Catalunya.

7.5 ALTRES SÒLS (C)

Descripció compartiment

El compartiment Altres Sòls comprèn la capa superficial, fins a la profunditat a que arriben les arrels dels arbres, de tots els sòls no agrícoles de Catalunya, així com la flora que sostenen aquests sòls. Dins dels sòls no agrícoles s'inclouen les diverses tipologies de superfícies forestals i els sòls improductius que contempla la Generalitat de Catalunya. Dins dels sòls improductius hi trobem els sòls urbans i d'infraestructures, així com determinades tipologies de sòls naturals improductius com ara les tarteres o les platges.

El conjunt de tipologies de sòls incloses en el compartiment representen aproximadament el 70% de la superfície total de Catalunya, és a dir al voltant de 2.3 milions d'hectàrees.

Descripció de les entrades

Les entrades es caracteritzen per l'existència d'un flux en forma de deposició atmosfèrica (flux AC1, Taula 10) quantitativament molt més gran que la resta de fluxos del compartiment (Figura 9). A banda d'aquest flux, hi ha tres fluxos d'entrada força menors, en termes de nitrogen, provinents del compartiment gestió d'aigües residuals (fluxos JC1, JC2 i JC3, Taula 10). Aquests fluxos corresponen respectivament a les aigües residuals reutilitzades, als fangs de depuradora aplicats i al nitrogen retingut en les fosses sèptiques.

- Taula 10. Fluxos d'entrada al compartiment Altres sòls (tones N/any)

AC1	Nitrogen deposicionat en altres sòls	1997: 34.040	2003: 21.000 – 15.500
Descripció: Formes reduïdes i oxidades de nitrogen actiu deposicionades en els altres sòls			
Càlculs: A partir de les dades de deposició atmosfèrica d'espècies reduïdes i oxidades de nitrogen per quilòmetre quadrat a Catalunya [EMEP, 2006], s'ha multiplicat aquesta deposició mitjana per els quilòmetres quadrats de Catalunya que inclou el compartiment altres sòls [DARP, 2006].			
JC1	Aigües residuals reutilitzades	1997: 821	2003: 927

Descripció: Aigües residuals reutilitzades generalment per a reg.

Càlculs: S'ha calculat a partir del volum d'aigua reutilitzada i l'estimació d'una concentració estàndard de nitrogen en les aigües reutilitzades.

JC2	Fangs depuradora altres sòls	1997: 53	2003: 771
------------	------------------------------	-----------------	------------------

Descripció: Fangs de depuradora d'aigües residuals urbanes que van a altres sòls.

Càlculs: A partir de la quantitat de fangs de depuradora, en matèria seca, que van a sòls no agrícoles, i el percentatge de nitrogen en els fangs de depuradora (en matèria seca).

JC3	Nitrogen retingut fosses sèptiques	1997: 132	2003: 113
------------	------------------------------------	------------------	------------------

Descripció: Nitrogen abocat en fosses sèptiques que queda retingut en el sòl

Càlculs: S'ha aplicat la metodologia proposada per Behrendt et al. (1999). A partir del nombre d'habitants no connectats a xarxa de clavegueram i del factor de producció de nitrogen per persona i dia, es calcula el nitrogen que va a les fosses sèptiques. Posteriorment s'ha estimat quina part queda retinguda al sòl i quina part es transportada a les plantes depuradores pel seu tractament, la resta percola a les aigües subterrànies (flux JE2).

Descripció de les sortides

Pel que fa a les sortides (Taula 11) tenim el flux corresponent al rentat dels sòls urbans durant els episodis de tempesta (CJ1), el flux que representa les restes vegetals emprades pel compostatge dels residus sòlids urbans (CI1) i el flux CH1 corresponent pràcticament tot a la fusta extreta dels boscos.

- Taula 11. Fluxos de sortida del compartiment Altres sòls (en tones N/any).

CH1	Matèries primeres	1997: 2.727 – 2.710	2003: 3.843 – 3.821
------------	-------------------	----------------------------	----------------------------

Descripció: Comprèn les principals primeres matèries extretes del compartiment altres sòls i que van a indústria pel seu processament. Les primeres matèries contemplades han estat la fusta, el suro i la caça.

Càlculs: Primer s'ha quantificat separatament que suposava en termes de nitrogen la fusta, el suro i la caça i posteriorment s'han sumat els tres productes per calcular el flux.

CI1	Restes vegetals compostatge	1997: 428	2003: 2.919
------------	-----------------------------	------------------	--------------------

Descripció: Aports de restes vegetals als materials que es composten.

Càlculs: A partir de les quantitats de les tres tipologies de materials que van a compostatge on s'afegeixen restes vegetals (la fracció orgànica dels residus municipals, els fangs de depuradora i els residus industrials), estimades en el flux IA1, s'ha estimat la proporció de restes vegetals afegides.

CJ1	Emissions processos de combustió	1997: 1.733	2003: 45.500 – 40.000
------------	----------------------------------	--------------------	------------------------------

Descripció: Emissions d'òxids de nitrogen produïdes pels processos de combustió (tant de fonts mòbils com de fonts estàtiques)

Càlculs: S'ha seguit la metodologia aplicada per Behrendt *et al.* (1999). Primerament s'estima la quantitat de nitrogen que entra al sistema de clavegueram per hectàrea de sòl urbà impermeable. Seguidament es multiplica aquest valor pel sòl urbà impermeable de Catalunya.

Balanç del compartiment

Una recopilació exhaustiva de dades de diversos estudis de zones forestals [Àvila, 1989], indica que generalment els boscos són capaços de retenir bona part de les entrades de nitrogen inorgànic, essent la principal via d'entrada la deposició atmosfèrica. En aquest sentit varis autors [Galloway et al., 1995a; Den Elzen et al., 1997 i Vitousek et al., 1997] creuen que part del nitrogen fixat per les activitats humanes s'estaria acumulant actualment en els boscos de les zones temperades del planeta. Malgrat l'existència d'aquest poder de retenció del nitrogen inorgànic que tenen els boscos, aquests com qualsevol ecosistema, tenen un màxim potencial d'absorció de nitrogen [Cowling et al., 1998]. Sobrepassat aquest màxim potencial d'absorció, fet que es dona de forma significativa en certs boscos de l'Europa Central, es comencen a produir importants pèrdues de nitrogen [Moffat, 1998].

Amb caràcter general sembla que els nivells de deposició de nitrogen estimats per Catalunya, al voltant de 15 Kg de N/ha/any podrien ser retinguts per les masses forestals de Catalunya [Bartrolí, 2003]. En aquest sentit, en conques de Catalunya de les muntanyes a Prades i del Montseny [Àvila et al., 1999], s'ha demostrat una elevada eficiència en la retenció del nitrogen inorgànic NO_3^- i NH_4^+ .

Cal considerar, però, que els requeriments dels boscos i, per tant, els potencials fluxos de pèrdues de nitrogen, depenen de l'estat de successió en què es troba el bosc [Vitousek i Reiners, 1975]. En aquest sentit, una zona forestal jove i en creixement té majors requeriments de nitrogen que un bosc vell i estable. Les zones boscoses més ben estudiades de Catalunya, les muntanyes de Prades i del Montseny, són zones que han patit perturbacions, com haver estat històricament talades o haver sofert incendis i tenen, conseqüentment, uns elevats requeriments de nitrogen, podent absorbir pràcticament la totalitat del nitrogen atmosfèric deposicionat.

Els boscos dels Pirineus, els quals són més vells i no estan sotmesos a tantes perturbacions, tindrien en principi un menor potencial de retenció de nitrogen deposicionat. Malgrat tot, els baixos valors de nitrogen de les capçaleres del riu dels Pirineus [Departament de Medi Ambient], semblarien indicar que les pèrdues de nitrogen de les zones boscoses dels Pirineus no serien molt importants. Sembla doncs lògic pensar, que de forma general, les zones boscoses de Catalunya tenen la capacitat de retenir la major part del nitrogen que els entra per deposició atmosfèrica.

Per altra banda, existeixen determinats factors que cal considerar i que dificulten l'obtenció d'un valor fiable pels possibles fluxos de pèrdues de nitrogen de les zones forestals de Catalunya. En els boscos Mediterranis les potencials pèrdues de nitrogen per rentat i erosió o per percolació, tenen un marcat període estacional, associat als episodis de pluja torrencial [Serrasolses et al., 1999], cosa que dificulta la seva quantificació, doncs la major part de pèrdues es produïrien en períodes de temps molt curts.

Així mateix, també s'ha observat que en zones forestals semi-àrides, com les nostres, determinades pertorbacions com ara el foc són un element determinant dels fluxos de nitrogen [Johnson et al., 1998]. Per un costat, importants pèrdues de nitrogen són fruit de la volatilització durant els focs. D'altra banda, després d'un foc, degut a les necessitats de nitrogen de les zones forestals cremades, la biofixació de nitrogen augmenta. Una altra pertorbació a tenir en compte és la incidència dels processos d'abandonament de terres cultivades. En aquest sentit s'ha observat una pèrdua significativa de nutrients durant els primers anys després de l'abandonament [Pardini et al., in press].

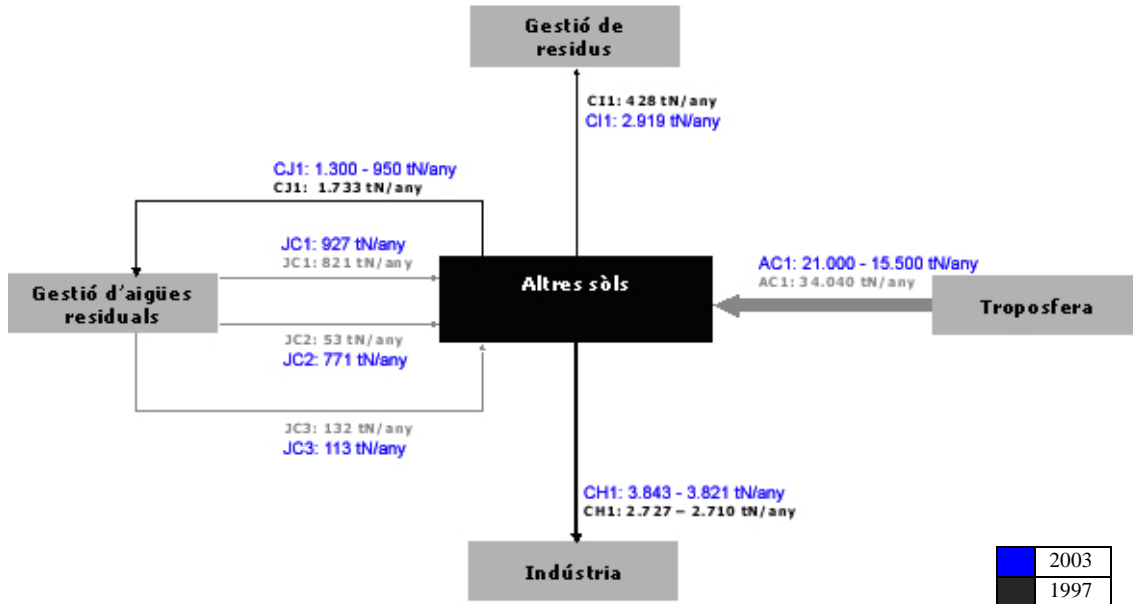
No han estat avaluades les pèrdues de nitrogen, de les zones forestals, per rentat i erosió, per percolació o per mitjà d'emissions a l'atmosfera. Les principals raons per a la no avaluació han estat:

- La verificació, prèvia revisió bibliogràfica, que en termes genèrics les zones boscoses de Catalunya tenen la capacitat de retenir la major part del nitrogen dipositat.
- La quantitat de factors que calia considerar per modelar les diferents variables que descriuen el compartiment de les diverses tipologies de zones forestals existents a Catalunya.
- La constatació, prèvia revisió bibliogràfica i consulta d'experts, que el valor quantitatiu d'aquests fluxos no condiciona els resultats de model.

Per altre costat, es va decidir no avaluar el flux d'entrades per biofixació degut a la variabilitat del valor d'aquest flux [Johnson et al., 1998] i a la relativa poca importància en termes quantitatius, respecte la deposició atmosfèrica, en la majoria de zones forestals [Àvila, 1989].

Constatades aquestes consideracions, el balanç del compartiment Altres sòls dona una acumulació de 14749 - 12540 tones de nitrogen any (Figura 9). Aquesta

acumulació és el resultat de la important entrada de nitrogen en forma de deposició atmosfèrica en front dels fluxos de sortida avaluats en forma d'extracció de biomassa (fluxos CH1 i CI1) i de rentat dels sòls urbans (CJ1).



- Figura 9. Diagrama de fluxos del compartiment Altres sòls.

Avaluació conjunta de resultats

Actualment a Catalunya s'estaria produint una acumulació de nitrogen actiu en les zones forestals, però aquesta s'ha reduït a la meitat en aquests darrers cinc anys.

De forma majoritària, les zones forestals tenen la capacitat de retenir les entrades de nitrogen actiu que es produeixen en forma de deposició atmosfèrica. Els nivells de deposició atmosfèrica estimats per Catalunya a l'any 1997 era, aproximadament de 15 Kg de N/ha/any [Bartrolí, 2003].

En aquest any s'observava a l'Europa Central una tendència a la disminució en la deposició de nitrogen actiu, fruit de les polítiques ambientals dutes a terme durant els darrers anys, mentre que a Catalunya la tendència era a un increment en la deposició de nitrogen actiu i especialment de les espècies reduïdes (NH_x) [EMEP, 2003]. En canvi, ara s'observa una disminució, i per tant, una tendència a equiparar-se als països centroeuropeus.

Aquesta disminució en l'acumulació s'explica, bàsicament, per dos motius : per una banda, ha disminuït gairebé a la meitat el nitrogen deposicionat en aquest compartiment [EMEP, 2006]. Per altra banda, hi ha un augment molt important de les restes vegetals que van a compostatge. Aquest flux, degut a les polítiques aplicades en aquests darrers anys, ha augmentat en un 600%, passant de 582 a 2919 les tones de nitrogen a compostatge.

En aquest sentit és una bona política, ja que les zones forestals tenen un màxim d'absorció de nitrogen actiu [Cowling et al., 1998]. Si es sobrepassa o ens aproximem molt a aquest màxim, es poden començar a produir determinats impactes ambientals, com ara canvis en la biodiversitat o l'eutrofització de determinades zones forestals.

Avui en dia, només existeix un bon coneixement de la dinàmica del nitrogen de poques zones forestals de Catalunya [Rodà et al., 2002]. Cal seguir controlant l'evolució de la dinàmica del nitrogen en aquestes zones per tal de poder detectar possibles indicis d'aproximació al màxim d'absorció d'entrades de nitrogen. Cal, també, investigar la dinàmica del nitrogen en altres tipologies de zones forestals per tal de saber si aquestes són també capaces de retenir les entrades de nitrogen actiu existents.

7.6 PROCESSOS DE COMBUSTIÓ (D)

Descripció del compartiment

Comprèn tots els processos de combustió que tenen lloc a Catalunya, tant els produïts per fonts mòbils, bàsicament el transport, com els produïts per fonts estàtiques (indústries, calefaccions domèstiques, incineradores, centrals de generació d'electricitat,...).

El compartiment inclou tots els processos de combustió independentment de que es produeixin en indrets o instal·lacions situades físicament dins d'altres compartiments, com ara els processos de combustió que es produeixen en determinades indústries. L'agrupació de tots els processos de combustió en un compartiment té dos avantatges:

- Es simplifica el model al contemplar, de forma agrupada, els fluxos de nitrogen dels processos de combustió per a cadascuna de les fonts: per la indústria, pel sector públic i consumidors,...
- La incertesa vinculada als processos de combustió queda concentrada en un sol compartiment. La no repartició d'aquesta incertesa entre els diversos compartiments facilita la verificació de les estimacions realitzades en d'altres compartiments, com ara el compartiment indústria o el compartiment sector públic i consumidors.

Descripció de les entrades

Com a principals fluxos d'entrada al compartiment (Figura 10) tenim la fixació de nitrogen inactiu (N_2) a alta temperatura en forma d'òxids de nitrogen (flux AD1, Taula 12), i el nitrogen que contenen els combustibles fòssils emprats (fluxos ImpD1 i ImpD2, Taula 12). El flux de carbó extret dels sòls de Catalunya (ImpD2) ha estat considerat una importació perquè prové de sòls profunds consolidats; sòls que estan fora dels límits del sistema definits en l'apartat 5. A part d'aquests fluxos d'entrada també hi ha les entrades corresponents als residus sòlids urbans que van a incineradores (ID1); aquest flux representa un forma específica de combustible dels processos de combustió que tenen lloc en les incineradores.

- Taula 12. Fluxos d'entrada al compartiment Processos de combustió (en tones N/any).

AD1	Fixació de nitrogen atmosfèric processos de combustió	1997: 27.450 – 23.496	2003: 22.032 – 16.507
Descripció: Nitrogen atmosfèric (N_2) fixat durant els processos de combustió a alta temperatura			
Càlculs: Aquest flux s'ha calculat per balanç. No és possible l'acumulació o la generació dins del compartiment processos de combustió, així doncs les entrades s'han de compensar amb les sortides.			
ID1	Residus a incineradora	1997: 9.018	2003: 11.720
Descripció: Residus sòlids urbans que van a planta incineradora			
Càlculs: Als residus sòlids que van a incineradora s'han restat els residus inerts. Seguidament, per tal de calcular el que suposaven aquests residus sòlids (sense residus inerts), en termes de nitrogen, s'han multiplicat les tones per la una composició mitjana de nitrogen estimada.			
ImpD1	Importació combustibles fòssils	1997: 9.332	2003: 21.389
Descripció: Combustibles fòssils importats per Catalunya			

Càlculs: No s'ha considerat el consum de gas natural doncs el seu contingut en nitrogen és molt baix. Les tones importades de a la resta de combustibles fòssils s'han calculat a partir de les dades de milers de tep consumides (restant les produïdes a Catalunya en el cas del carbó) i el factor de conversió corresponent. Posteriorment per calcular el que suposaven aquestes importacions en termes de nitrogen s'ha multiplicat les tones per la composició mitjana de nitrogen de cadascuna de les tipologies de combustible.

ImpD2	Carbó extret dels sòls de Catalunya	1997: 3.770	2003: 1.900
--------------	-------------------------------------	--------------------	--------------------

Descripció: Carbó extret dels sòls de Catalunya. No es considera l'extracció d'altres combustibles, doncs és insignificant en termes de nitrogen

Càlculs: S'ha estimat a del partir de les dades de milers de tep i el factor de conversió corresponent les tones de carbó extretes. Per calcular que suposava aquesta extracció en termes de nitrogen s'ha multiplicat les tones per la composició mitjana de nitrogen carbó.

Dinàmica del nitrogen dins del compartiment Processos de combustió

Mitjançant els processos de combustió, formes de nitrogen relativament estables (nitrogen inactiu N₂ i nitrogen contingut en els combustibles emprats) són transformades i emeses a la troposfera com a òxids de nitrogen, formes de nitrogen actives. Aquests òxids de nitrogen emesos poden ser la causa d'alguns del impactes explicats anteriorment.

Descripció de les sortides

Com a fluxos de sortida (Taula 13) tenim les emissions d'òxids de nitrogen (DA1) i les restes dels processos de combustió que tenen lloc en les incineradores (DI1).

- Taula 13. Fluxos de sortida del compartiment Processos de combustió (en tones N/any).

DA1	Aigües rentat sòls urbans	1997: 40.809 – 36.891	2003: 1.300 – 950
------------	---------------------------	------------------------------	--------------------------

Descripció: Nitrogen que entra en el sistema de clavegueram degut al rentat dels sòls urbans durant els episodis de pluja.

Càlculs: S'han estimat les emissions d'òxids de nitrogen a partir de les dades que subministra EMEP d'emissions d'òxids de nitrogen per zones de 2500 km² (quadrats de 50 km per 50 km). El valor obtingut és un rang d'emissions, doncs en el cas dels quadrats costaners s'ha considerat que hi havia dues possibilitats: que totes les emissions provinguessin de la zona terrestre (Catalunya), o que les emissions provinguessin de la zona terrestre o del mar proporcionalment a la seva presència en el quadrant.

DI1	Residus d'incineració RSU	1997: 8.762 – 8.726	2003: 11.542 – 11.516
------------	---------------------------	----------------------------	------------------------------

Descripció: Tots els residus procedents de la incineració dels residus sòlids urbans (RSU) que van a dipòsit controlat. Inclou doncs les cendres o els residus de tractament gasós.

Càlculs: A partir de les tones de RSU que van a incineradora [Junta de Residus, 2006] s'han estimat les emissions d'òxids de nitrogen [EEA, 2002]. Suposant que el nitrogen d'aquestes emissions prové en un 70-80% dels RSU [EEA, 2002], s'ha estimat quina part de les emissions provindrien dels RSU. Estimada la quantitat del nitrogen de les emissions que provenia dels RSU, s'ha calculat per balanç la quantitat de nitrogen que queda retingut en els residus d'incineració.

Balanç del compartiment

Ha d'existir un balanç entre les entrades i sortides de nitrogen del compartiment.

S'han balancejat, per un costat, els processos de combustió que tenen lloc a les incineradores, i per altra banda, la resta dels processos de combustió.

Pel que fa al balanç dels processos de combustió que tenen lloc a les incineradores, les entrades corresponents al nitrogen que contenen els residus sòlids urbans incinerats (flux ID1) han de coincidir amb les sortides avaluades com a emissions d'òxids de nitrogen i com a residus de la incineració dels RSU (flux DI1). El flux DI1 inclou la totalitat dels residus d'incineració (inclou, doncs, per exemple, els residus procedents del tractament dels gasos). Les emissions d'òxids de nitrogen de les incineradores han estat avaluades per mitjà de coeficients d'emissió per tona incinerada. Aquestes emissions estan incloses dins del flux d'emissions dels processos de combustió DA1. Avaluat el flux d'entrada a les incineradores (ID1) i les emissions d'òxids de nitrogen en les incineradores, s'ha estimat per balanç el flux de residus de la incineració dels RSU (flux DI1, Figura 10).

Pel que fa al balanç de la resta dels processos de combustió, les sortides de nitrogen en forma d'emissions d'òxids de nitrogen (flux DA1, Figura 10) s'han estimat mitjançant l'ús de les dades corresponents a emissions d'òxids de nitrogen per quilòmetre quadrat elaborades per EMEP.

El nitrogen emès en forma d'òxids de nitrogen durant els processos de combustió (flux DA1, Figura 10), pot provenir del nitrogen que porten els combustibles emprats o del nitrogen inactiu (N_2) fixat. A continuació s'expliquen els càlculs realitzats per estimar quina part del nitrogen prové dels combustibles emprats i quina part del nitrogen inactiu (N_2) fixat:

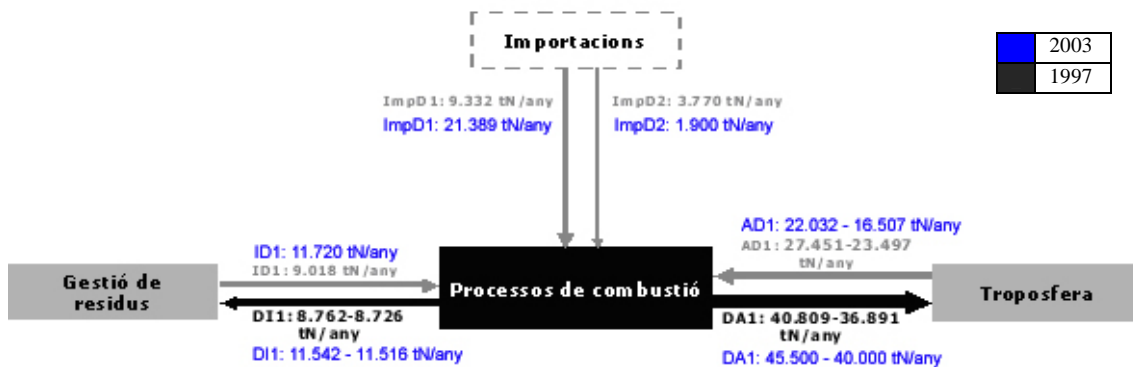
a) Estimació del nitrogen que porten els combustibles emprats.

Tenint en compte la composició dels diversos combustibles emprats en els processos de combustió, només els combustibles fòssils sòlids i líquids tenen quantitats significatives de nitrogen. La quantitat de nitrogen que porten els combustibles fòssils emprats s'ha quantificat per mitjà de la suma dels fluxos:

Importació de combustibles fòssils (ImpD1) i Carbó extret dels sòls de Catalunya (ImpD2).

b) Estimació del nitrogen provinent de la fixació de nitrogen atmosfèric (N₂).

Un cop quantificat el nitrogen que prové dels combustibles fòssils emprats (fluxos ImpD1 i ImpD2) i sabent la quantitat d'òxids de nitrogen produïts pels processos de combustió (flux DA1), s'ha estimat per balanç la quantitat de nitrogen inactiu (N₂) que era fixada durant els processos de combustió a alta temperatura (flux AD1, Figura 10).



• Figura 10. Diagrama de fluxos del compartiment Processos de combustió.

Avaluació conjunta dels resultats.

La mitjana de les emissions d'òxids de nitrogen per càpita a l'any 1997 era de 6,4 Kg de nitrogen [Bartrolí, 2003]. Per l'any 2003 aquest valor ha augmentat 0,4 Kg, és a dir, 6,8 Kg de nitrogen per habitant a Catalunya.

La taxa de l'any 1997, 6,4 Kg de nitrogen ja era inferior a la de la majoria de països europeus: Bèlgica (9.5 Kg N-NOx/hab), Itàlia (9.3 Kg N-NOx/hab), França (8.4 Kg N-NOx/hab) i Holanda (7.8 Kg N-NOx/hab) [Bartrolí, 2003]. Se suposa, que per l'any 2003, Catalunya continua tenint una de les taxes europees més baixes.

De totes maneres, s'ha de constatar la diferència que hi ha entre el valor del 1997 i el del 2003, bàsicament deguda el flux ImpD1, importació combustibles fòssils. Dada totalment lògica, ja que els combustibles fòssils són unes primeres matèries indispensables per aguantar el nostre ritme de desenvolupament.

Per altra banda, les sortides també han augmentat degudes a la combustió de combustibles fòssils i els residus d'incineració. En general, el compartiment ha augmentat entre un 12 i 15 % respecte el valor anterior.

7.7 AIGÜES SUBTERRÀNIES (E)

Descripció del compartiment

El compartiment comprèn els sòls situats per sota del límit inferior dels sòls inclosos dins dels compartiments Sòls agrícoles o Altres sòls. Els sòls compresos dins d'aquest compartiment poden estar saturats o no saturats d'aigua.

El compartiment inclou tots els aqüífers de Catalunya. Com a aqüífer s'entén la formació geològica saturada d'aigua que permet la circulació de l'aigua pels seus porus o esquerdes, fent que l'home pugui utilitzar-la en quantitats apreciables per satisfer les seves necessitats [Custodio i Llamas, 1983].

Descripció de les entrades

La principal entrada (Figura 11) és la percolació de nitrats des dels sòls agrícoles a les aigües subterrànies (flux BE1, Taula 14). Existeixen altres fluxos d'entrada menors (Taula 14) com són la percolació del sistema de clavegueram (JE1), la percolació de les fosses sèptiques (JE2), la percolació dels lixiviats dels dipòsits controlats (IE1) i la infiltració de les aigües superficials (GE1).

- Taula 14. Fluxos d'entrada al compartiment Aigües subterrànies (en tones N/any).

BE1	Percolació sòls agrícoles	1997: 94.985	2003: 124.750 – 104.674
Descripció: Nitrogen percolat des dels sòls agrícoles cap a les capes inferiors del sòl			
Càlculs: Aquest flux s'ha calculat per balanç entre les entrades i sortides del compartiment aigües subterrànies.			
GE1	Infiltració aigües superficials	1997: 2.570	2003: 3.184
Descripció: Volum d'aigua que entra a les aigües subterrànies procedent dels cursos fluvials.			
Càlculs: A partir del càlcul del cabal infiltrat i una estimació de la concentració mitjana de nitrogen a les aigües superficials.			
IE1	Lixiviats dipòsits controlats a aigües subterrànies	1997: 92 - 10	2003: 97 – 10
Descripció: Lixiviats generats en els dipòsits controlats que arriben aigües subterrànies.			

Càlculs: Els abocadors moderns tenen sistemes efectius per tal d'aïllar-los i evitar així que els lixiviats generats arribin a les aigües subterrànies. Malgrat aquest fet existeixen en funcionament abocadors a Catalunya construïts fa temps que poden tenir pèrdues de lixiviats. S'ha suposat que entra el 10% i el 20% dels lixiviats generats, flux IJ1, poden acabar infiltrant-se a les aigües subterrànies.

JE1	Percolació sistema clavegueram	1997: 2.572	2003: 2.829 – 2.813
------------	--------------------------------	--------------------	----------------------------

Descripció: Nitrogen percolat a les aigües subterrànies degut a les pèrdues d'aigües residuals del sistema de clavegueram.

Càlculs: Al total de nitrogen estimat que entra al sistema de clavegueram se li aplica un percentatge de pèrdues.

JE2	Percolació fosses sèptiques	1997: 132	2003: 113
------------	-----------------------------	------------------	------------------

Descripció: Nitrogen percolat des de les fosses sèptiques a les aigües subterrànies.

Càlculs: S'ha aplicat la metodologia proposada per Behrendt et al. (1999). A partir del nombre d'habitants no connectats a xarxa de clavegueram i del factor de producció de nitrogen per persona i dia, es calcula el nitrogen que va a les fosses sèptiques. D'aquest s'estima que una part queda retinguda al sòl, una altre part es transportada a les plantes depuradores pel seu tractament i la resta percola a les aigües subterrànies.

Dinàmica del nitrogen dins del compartiment Aigües subterrànies

Existeix una important incertesa en general, sobre la dinàmica del nitrogen (nitrats) en les aigües subterrànies. En particular hi ha una considerable incertesa en la determinació dels processos de transport i transformació que pateix el nitrogen (nitrats) durant el seu trànsit dels sòl agrícoles a la zona saturada [Frost, 1999].

També existeix una considerable incertesa al voltant del processos que tenen lloc durant el període de residència del nitrogen (nitrats) en la zona saturada del sòl [Zessner i Kroiss, 1997; Andersen et al., 1999; Behrendt, 1999].

Les reserves d'aigües subterrànies de Catalunya estan constituïdes pel volum d'aigua, més o menys constant, que contenen els aquífers de Catalunya. Existeixen un seguit de fluxos d'entrada i sortida de les reserves d'aigües subterrànies. Aquests fluxos d'aigua són els vehicles de transport del nitrogen entre les reserves d'aigua subterrània i els altres compartiments del model.

Descripció de les sortides

Les sortides del compartiment (Taula 15) corresponen al flux de cabal base o d'aflorament d'aigües subterrànies cap a aigües superficials (EG1), al de bombeig pel subministrament d'aigua (EF1) i a la descàrrega d'aigües subterrànies al Mar Mediterrani (EExp1).

- Taula 15. Fluxos de sortida del compartiment Aigües subterrànies (en tones N/any).

EG1	Cabal base o d'aflorament	1997: 6.920 – 6.257	2003: 8.814 – 8.004
Descripció: Aigües subterrànies que sorgeixen fins arribar a les aigües superficials			
Càlculs: Primer s'ha calculat el cabal base de les Conques Internes i després el cabal base de la part catalana de la Conca de l'Ebre. Finalment s'han sumat els dos valors i s'ha restat el cabal d'aigua subterrània que va a Mar, flux EExp1.			
EF1	Aigua subterrània a subministrament	1997: 3.775	2003: 6.569
Descripció: Aigües subterrànies que van a subministrament d'aigua pel seu ús posterior.			
Càlculs: S'ha multiplicat el consum d'aigua dels diferents sectors, pel percentatge d'aigua consumida procedent d'aigües subterrànies i la concentració mitjana de nitrogen estimada per les aigües subterrànies.			
EEXP1	Aigua subterrània al Mar Mediterrani	1997: 1.678 – 1.041	2003: 2.048 – 1.238
Descripció: Aigües subterrànies que descarreguen al Mar Mediterrani			
Càlculs: S'ha multiplicat el cabal d'aigua subterrània que s'estima que va al Mar Mediterrani per la concentració mitjana de nitrogen estimada de les aigües subterrànies que van al Mediterrani.			

Balanç del compartiment

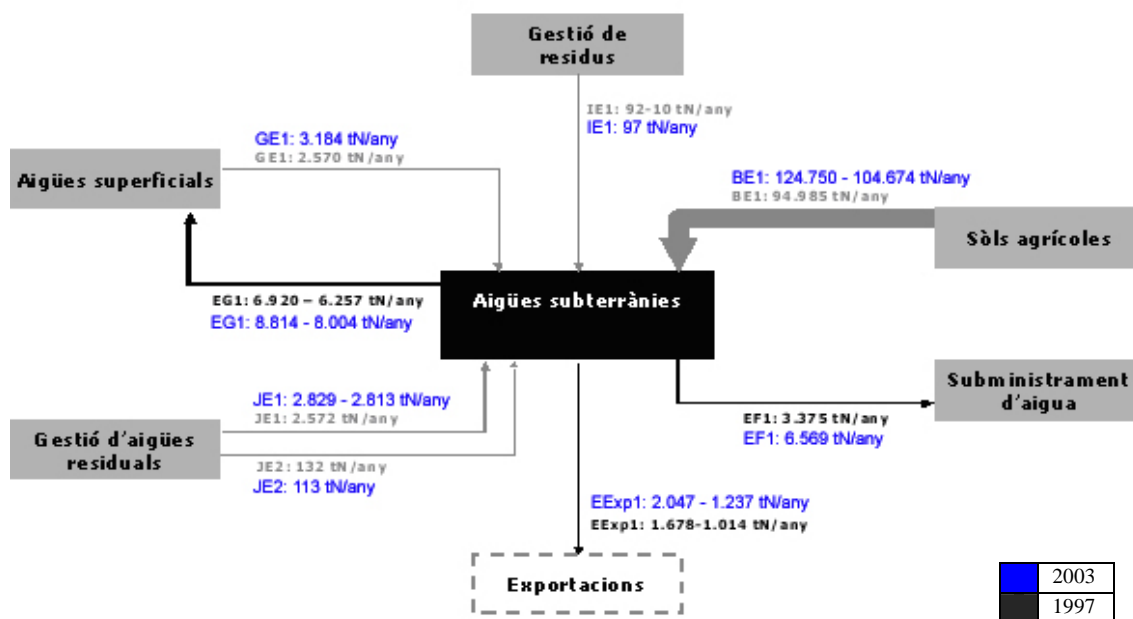
Per la determinació de determinats fluxos (Taula 16) ha estat necessari estimar en primer lloc quin és el cabal d'aigua del flux i calcular posteriorment, a partir de les concentracions mitjanes de compostos nitrogenats, quina és la quantitat de nitrogen que transporta el flux.

- Taula 16. Fluxos en que cal determinar primerament el seu cabal d'aigua per poder estimar posteriorment la quantitat de nitrogen que transporten.

D'entrada al compartiment	De sortida del compartiment
(GE1) Infiltració aigües superficials	(EG1) Cabal base o d'aflorament
	(EF1) Aigua subterrània a subministrament
	(EExp1) Aigua subterrània al Mar Mediterrani

Existeixen dades suficients per avaluar directament el cabal dels fluxos d'aigua subterrània emprada pel subministrament (EF1) i d'aigua subterrània que descarrega al Mar Mediterrani (EExp1). Són insuficients les dades per estimar de forma directa els cabals dels fluxos d'infiltració d'aigües superficials (GE1) i cabal base o d'aflorament d'aigües subterrànies cap a aigües superficials (EG1).

S'ha estimat una acumulació de nitrogen en el compartiment aigües subterrànies de 102508 tones de nitrogen any (Figura 11).



• Figura 11. Diagrama de fluxos del compartiment Aigües subterrànies.

Avaluació conjunta dels resultats

El 95% de les entrades quantificades provenen del flux de percolació dels sòls agrícoles (BE1, Figura 11) esdevenint, conseqüentment, la principal causa de l'acumulació de nitrogen. Aquesta acumulació ha incrementat en un valor mitja del 15%, passant de 89001 a 102508 tnN/any. El flux de percolació (BE1) descriu les pèrdues de nitrogen des dels sòls agrícoles cap a les capes inferiors del sòl. Existeix un decalatge de temps, força variable en funció de la zona geogràfica, entre que el nitrogen surt per percolació dels sòls agrícoles fins que aquest nitrogen arriba a les reserves d'aigües subterrànies. Totes les pèrdues de nitrogen per percolació dels sòls agrícoles quantificades entren anualment al compartiment aigües subterrànies, però no totes entren anualment a les reserves d'aigües subterrànies (aquífers). La determinació de la dinàmica del nitrogen des de que abandona per percolació dels sòls agrícoles fins que arriba a la zona saturada [Frost, 1999; Ramos et al., 1992], així com la determinació dels processos que tenen lloc durant el període de residència del nitrogen en les reserves d'aigües subterrànies, és una de les principals dificultats amb que s'han trobat altres quantificacions de fluxos de nitrogen [Zessner i Kroiss, 1997; Andersen et al., 1999; Behrendt, 1999].

En general, les entrades han augmentat. El fluxe que més ha incrementat, percentualment, és el GE1 (infiltració aigües superficials) que ho ha fet en un 24%,

passant de 2570 a 3184 tnN/any. L'únic fluxe que ha disminuït és el JE2 (percolació fosses sèptiques), que ha disminuït en un 14%. Aquesta disminució es deu ha que disminuït les persones que aboquen a fosses sèptiques, degut a l'increment de la xarxa de clavegueram [ACA, 2006].

Totes les sortides han augmentat l'aport de Nitrogen. La principal sortida d'aquests compartiment és EG1 (cabal base o d'aflorament) que té un valor mitjà de 10165 tnN/any, que representa un increment percentual de 54%. El principal increment percentual el trobem en el fluxe EF1 (Aigua subterrània de subministrament) que ha incrementat un 95%, passant de 3375 a 6569 tnN/Any.

L'acumulació quantificada en el compartiment aigües subterrànies indica que, de forma genèrica, s'està produint, en el compartiment, unes entrades de nitrogen superiors a les sortides. És coneguda l'existència a Catalunya de diversos aquífers amb nivells de nitrats superiors a 50 mg/l, límit fixat segons la reglamentació tecnosanitària (RD 1138/1990) per a la seva utilització com aigua potable.

Com que no existeixen estudis suficients per estimar el volum total dels aquífers de Catalunya, no es pot saber si l'acumulació anual quantificada pel compartiment, es relaciona de forma satisfactòria amb les concentracions de nitrats mesurades en els pous. Per poder avaluar si concorden les entrades de nitrogen al compartiment aigües subterrànies amb les concentracions de nitrats existents als aquífers caldria disminuir l'escala d'estudi al nivell de conca hidrogeològica.

7.8 SUBMINISTRAMENT D'AIGUA (F)

Descripció del compartiment

Comprèn el sistema de captació i distribució de les aigües subterrànies i superficials per al seu ús agrícola, industrial o domèstic. El compartiment subministrament d'aigua actua com a distribuïdor de les fonts d'aigua, compartiments aigües superficials i aigües subterrànies, cap als compartiments que utilitzen l'aigua: sector públic i consumidors, indústria i sòls agrícoles.

Descripció de les entrades

Les entrades de nitrogen (Taula 17) corresponen a les aigües subterrànies (EF1) i a les aigües superficials (GF1) consumides pels diversos sectors.

- Taula 17. Fluxos d'entrada al compartiment Subministrament d'aigua (en tones N/any).

EG1	Cabal base o d'aflorament	1997: 6.920 – 6.257	2003: 8.814 – 8.004
Descripció: Aigües subterrànies que sorgeixen fins arribar a les aigües superficials			
Càlculs: Primer s'ha calculat el cabal base de les Conques Internes i després el cabal base de la part catalana de la Conca de l'Ebre. Finalment s'han sumat els dos valors i s'ha restat el cabal d'aigua subterrània que va a Mar, flux EExp1.			
EF1	Aigua subterrània a subministrament	1997: 3.775	2003: 6.569
Descripció: Aigües subterrànies que van a subministrament d'aigua pel seu ús posterior.			
Càlculs: S'ha multiplicat el consum d'aigua dels diferents sectors, pel percentatge d'aigua consumida procedent d'aigües subterrànies i la concentració mitjana de nitrogen estimada per les aigües subterrànies.			

Descripció de les sortides

Com a fluxos de sortida (Taula 18) tenim l'aigua consumida per l'agricultura (FC1), l'aigua consumida per la indústria (FH1) i l'aigua consumida pel sector públic i consumidors domèstics (FK1).

- Taula 18. Fluxos de sortida del compartiment Subministrament d'aigua (en tones N/any)

FB1	Aigua agricultura	1997: 3.037	2003: 6.917
Descripció: Aigua consumida per l'agricultura			
Càlculs: Cal considerar que la concentració de nitrogen de les aigües superficials i subterrànies és diferent. A partir de les dades de consum d'aigua per part de l'agricultura, s'estima quina proporció d'aquesta prové d'aigües superficials i quina proporció d'aigües subterrànies. Seguidament és multiplica els cabals d'aigües superficials i subterrànies consumides per una concentració mitjana de nitrogen estimada per cadascuna de les dues tipologies d'aigües.			
FH1	Aigua indústria	1997: 1.248	2003: 1.675
Descripció: Aigua consumida per la indústria			

Càlculs: Cal considerar que la concentració de nitrogen de les aigües superficials i subterrànies és diferent. A partir de les dades de consum d'aigua per part de la indústria, s'estima quina proporció d'aquesta prové d'aigües superficials i quina proporció d'aigües subterrànies. Seguidament és multiplica els cabals d'aigües superficials i subterrànies consumides per una concentració mitjana de nitrogen estimada per cadascun de les dues tipologies d'aigües.

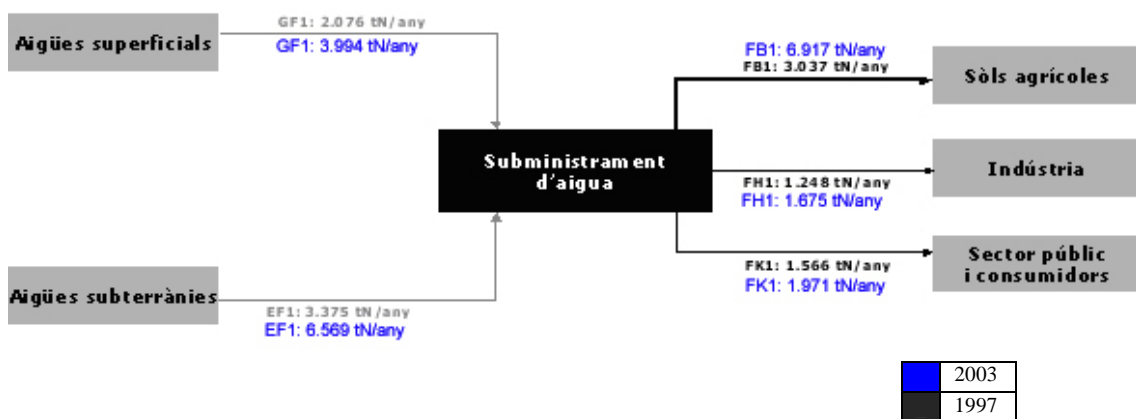
FK1	Aigua sector públic i consumidors	1997: 1.566	2003: 1.971
------------	-----------------------------------	--------------------	--------------------

Descripció: Aigua consumida pel sector públic i els consumidors domèstics.

Càlculs: Cal considerar que la concentració de nitrogen de les aigües superficials i subterrànies és diferent. A partir de les dades de consum d'aigua per del sector públic i els consumidors domèstics, s'estima quina proporció d'aquesta prové d'aigües superficials i quina proporció d'aigües subterrànies. Seguidament és multiplica els cabals d'aigües superficials i subterrànies consumides per una concentració mitjana de nitrogen estimada per cadascun de les dues tipologies d'aigües.

Balanç del compartiment

El compartiment ha d'estar balancejat doncs actua com a distribuïdor de les fonts d'aigua cap als sectors que la consumeixen. La Figura 12 mostra el valor dels diversos fluxos d'entrada i sortida considerats.



•Figura 11. Diagrama de fluxos del compartiment Subministrament d'aigua.

Avaluació conjunta de resultats

Aproximadament el 74% de l'aigua consumida a Catalunya prové de fonts superficials i el 26% restant de fonts subterrànies. L'agricultura és el sector que consumeix més aigua amb prop del 72%. El segueix el sector domèstic amb un 19% i la indústria amb un 9%.

La indústria és per tant el sector que consumeix menys volum d'aigua. El fet que prop del 64% de l'aigua consumida per la indústria sigui de procedència subterrània, aigües que presenten en mitjana majors concentracions de nitrogen

que les aigües superficials, explica perquè el flux de nitrogen associat a l'aigua de subministrament a la indústria (FH1, Figura 12) té un valor semblant al dels fluxos de nitrogen associats al subministrament dels altres sectors (FB1 i FK1, (Figura 12). Al contrari que en el sector indústria, la majoria d'aigua consumida pel sector agricultura i sector domèstic procedeix d'aigües superficials, aproximadament un 79% i un 74% respectivament.

Aquests valors representen un increment relatiu del consum d'aigua agrícola al passar del 60 al 72%. Ha disminuït el sector domèstic en un 8% mentre que la indústria ha passat del 13% al 9%. De totes maneres tot i la reducció percentuals de la indústria i del sector urbà a nivell quantitatiu s'ha experimentat un augment del consum. El sector domèstic ha passat de consumir 564,5 hm³ a 573 hm³ l'any 2003 i la indústria de 261,7 a 283,4 hm³ l'any 2003. L'agricultura ha passat de 1148 a 2202 hm³.

En analitzar els resultats del nou balanç es pot observar que les entrades EF1 i GF1 han passat de 3375 tN/any a 6569 tN/any i 2076 tN/any a 3994 tN/any respectivament. Com es pot veure representa un augment important dels dos valors. Pel que fa a les sortides FB1, FH1 i FK1 els valors han passat de 3037 tN/any a 6917 tN/any, de 1248 tN/any a 1675 tN/any i de 1566 tN/any a 1971 tN/any respectivament. Aquí també es pot apreciar que en tots tres casos hi ha hagut un augment dels valors. En el balanç global les entrades compensen les sortides fent que no hi hagi acumulació.

7.9 AIGÜES SUPERFICIALS (G)

Descripció del compartiment

Inclou l'aigua que transporten les diverses tipologies d'aigües superficials, així com la superfície física que ocupen aquestes aigües superficials (llera dels rius, superfície dels embassaments,...). Dins de les diverses tipologies d'aigües superficials tenim els rius, les rieres, els rierols, els llacs i els embassaments.

El nitrogen present en les aigües superficials pot estar en forma de nitrogen inorgànic o nitrogen orgànic. Les principals fonts potencials de nitrogen orgànic són les aigües residuals i les aportacions del riu Ebre a la seva entrada a Catalunya. No existeixen dades suficients per a poder avaluar quantitativament els moviments i transformacions de nitrogen orgànic en les aigües superficials. Amb caràcter

general però, si que podem considerar que qualitativament el nitrogen orgànic aportat per les aigües residuals i el riu Ebre, és majoritàriament exportat fora dels límits del sistema d'estudi, el Mar Mediterrani.

Descripció de les entrades

Les principals entrades de nitrogen inorgànic corresponen a les aportacions del riu Ebre a la seva entrada a Catalunya (flux ImpG1, Taula 19), les descàrregues del compartiment gestió d'aigües residuals (fluxos JG1, JG2, JG3 i JG4, Taula 19) i el flux d'aflorament d'aigües subterrànies (EG1). Com a entrades de nitrogen inorgànic menors (Figura 13) hi ha l'erosió dels sòls agrícoles (BG1) i les entrades des de la troposfera en forma de biofixació i deposició atmosfèrica (fluxos AG1 i AG2, Taula 19).

- Taula 19. Fluxos d'entrada al compartiment Aigües superficials (en TnN/any).

AG1	Biofixació aigües superficials	1997: 2.063 - 129	2003: 2.041 – 128
Descripció: Nitrogen atmosfèric (N ₂) fixat pels cianobacteris de les algues de les aigües superficials			
Càlculs: A partir de les referències bibliogràfiques, s'ha estimat un rang e biofixació per metre quadrat d'aigua superficial i any. Posteriorment, aquesta taxa s'ha multiplicat pels metres quadrats d'aigües superficials de Catalunya.			
AG2	Nitrogen deposicionat en aigües superficials	1997: 389	2003: 260 – 200
Descripció: Formes reduïdes i oxidades de nitrogen actiu deposicionades en les aigües superficials			
Càlculs: A partir de les dades de deposició atmosfèrica d'espècies reduïdes i oxidades de nitrogen per quilòmetre quadrat a Catalunya [EMEP, 2006], s'ha multiplicat aquesta deposició mitjana per les hectàrees de rius i llacs a Catalunya [DARP, 2006].			
BG1	Pèrdues erosió sòls agrícoles	1997: 650 - 65	2003: 640 – 64
Descripció: Nitrogen que va a aigües superficials procedent de les pèrdues per erosió dels sòls agrícoles			
Càlculs: S'han agafat les hectàrees agrícoles de Catalunya i s'han multiplicat per una estimació de les pèrdues de sòl admissibles. A partir del percentatge de matèria orgànica del sòls i del nitrogen contingut en la matèria orgànica del sòl, s'han calculat quantes tones de nitrogen es perdien per erosió.			
EG1	Cabal base o d'aflorament	1997: 6.920 – 6.257	2003: 8.814 – 8.004
Descripció: Aigües subterrànies que sorgeixen fins arribar a les aigües superficials			
Càlculs: Primer s'ha calculat el cabal base de les Conques Internes i després el cabal base de la part catalana de la Conca de l'Ebre. Finalment s'han sumat els dos valors i s'ha restat el cabal d'aigua subterrània que va a Mar, flux EExp1.			
JG1	Eluents plantes depuradores als rius	1997: 13.132	2003: 527
Descripció: Aigües residuals abocats als rius procedents de les plantes depuradores			

Càlculs: A partir dels càlculs del nitrogen que roman en les aigües residuals després del tractament, es resten les aigües residuals abocades directament al Mar Mediterrani i les aigües residuals reutilitzades (flux JC1).

JG2	Abocaments sector públic i consumidors a la llera pública	1997: 2.890	2003: 1.631
------------	---	--------------------	--------------------

Descripció: Aigües residuals abocades pel sector públic i els consumidors domèstic directament a llera pública sense passar per depuradora.

Càlculs: S'ha aplicat la metodologia proposada per Behrendt et al. (1999). El flux s'ha estimat a partir del nombre d'habitants connectats a sistema de clavegueram però no a planta depuradora i del factor de producció de nitrogen per persona i dia.

JG3	Abocaments indústria a llera pública	1997: 3.497	2003: 3.919
------------	--------------------------------------	--------------------	--------------------

Descripció: Aigües residuals del sector industrial i comercial que s'aboquen directament a llera pública sense passar per una depuradora.

Càlculs: Aigües residuals del sector industrial i comercial que s'aboquen directament a llera pública sense passar per una depuradora.

JG4	By-pass depuradores durant tempestes	1997: 814	2003: 2.353
------------	--------------------------------------	------------------	--------------------

Descripció: Aigües residuals by-passades i abocades als rius per les plantes depuradores durant els episodis de tempesta.

Càlculs: Aquest flux comprèn dos subfluxos. Per un costat s'ha considerat que tot el nitrogen que entra en el sistema de clavegueram degut rentat dels sòls urbans (flux CJ1) és by-passat. Per l'altre costat s'ha estimat quina part de la resta d'entrades de nitrogen en les plantes depuradores era by-passada durant els episodis de tempesta. Finalment després de sumar els dos subfluxos s'ha estimat quina part era abocada directament al mar i quina era abocada als rius.

ImpG1	Importacions aigües superficials	1997: 33.316	2003: 32.639
--------------	----------------------------------	---------------------	---------------------

Descripció: Entrades d'aigües superficials que provenen de fora dels límits administratius de Catalunya: riu Ebre

Càlculs: A partir de les analítiques dels rius, proporcionades per la xarxa d'analítiques d'aigües superficials que té el Departament de Medi Ambient, s'ha calculat la concentració mitjana de nitrogen (NO₃) que conté el riu Ebre. Seguidament s'ha multiplicat la concentració estimada pel cabal del riu.

Dinàmica del nitrogen dins del compartiment Aigües superficials

Les dues principals transformacions que pot patir el nitrogen inorgànic present en les aigües superficials són la desnitrificació i l'assimilació per part dels organismes vius (majoritàriament per part dels organismes vius que resten amb contacte amb el llit del riu).

Descripció de les sortides

El destí final del nitrogen que entra a les aigües superficials és principalment el Mar Mediterrani (Figura 13). Les aportacions al Mar Mediterrani es produeixen per les descarregues dels rius al Mar Mediterrani mitjançant dos fluxos. Per un costat les sortides en forma de nitrogen inorgànic (flux GExp1, Taula 20), i per l'altre costat les sortides en forma de nitrogen orgànic que ha estat assimilat pels organismes vius (flux GExp2, Taula 20). Hi ha altres tres fluxos de sortida de menor importància, la desnitrificació (GA1), la infiltració cap a les aigües subterrànies (GE1) i l'aigua extreta pel consum (GF1).

- Taula 20. Fluxos de sortida del compartiment Aigües superficials (en TnN/any).

GA1	Desnitrificació aigües superficials	1997: 6.726 - 4	2003: 6.725 - 4
Descripció: Emissions de nitrogen a l'atmosfera fruit del procés de desnitrificació en les aigües superficials.			
Càlculs: A partir de les dades proporcionades s'ha estimat un rang de desnitrificació per metre quadrat d'aigua superficial i hora. Posteriorment s'ha multiplicat aquesta taxa per els metres quadrats d'aigües superficials corresponents als rius de Catalunya.			
GE1	Infiltració aigües superficials	1997: 2.570	2003: 3.184
Descripció: Volum d'aigua que entra a les aigües subterrànies procedent dels cursos fluvials.			
Càlculs: A partir del càlcul del cabal infiltrat i una estimació de la concentració mitjana de nitrogen a les aigües superficials.			
GF1	Aigua superficial a subministrament	1997: 2.076	2003: 3.994
Descripció: Aigües superficials que van a subministrament d'aigua pel seu ús posterior.			
Càlculs: S'ha multiplicat el consum d'aigua dels diferents sectors, pel percentatge d'aigua consumida procedent d'aigües superficials i la concentració mitjana de nitrogen estimada per les aigües superficials.			
GEXP1	Exportacions aigües superficials	1997: 42.015	2003: 42.200
Descripció: Sortides d'aigües superficials fora dels límits del sistema : riu Garona, riu segre, descàrregues rius catalans al Mar Mediterrani.			
Càlculs: Sortides d'aigües superficials fora dels límits del sistema: riu Garona, riu Segre, descàrregues rius catalans al Mar Mediterrani.			
GEXP2	Assimilació nitrogen aigües superficials	1997: 16.973 - 6.929	2003: -3.278 - 144
Descripció: Assimilació de nitrogen per part dels organismes vius, principalment el ventós. Es considera que en el transcurs d'un any els organismes que han assimilat el nitrogen surten fora dels límits del sistema en forma de nitrogen orgànic.			
Càlculs: Avaluats la resta de fluxos de sortida del compartiment aigües superficials, i tenint en compte que no existeix acumulació de nitrogen en el compartiment aigües superficials a escala anual, és calcula el flux per balanç.			

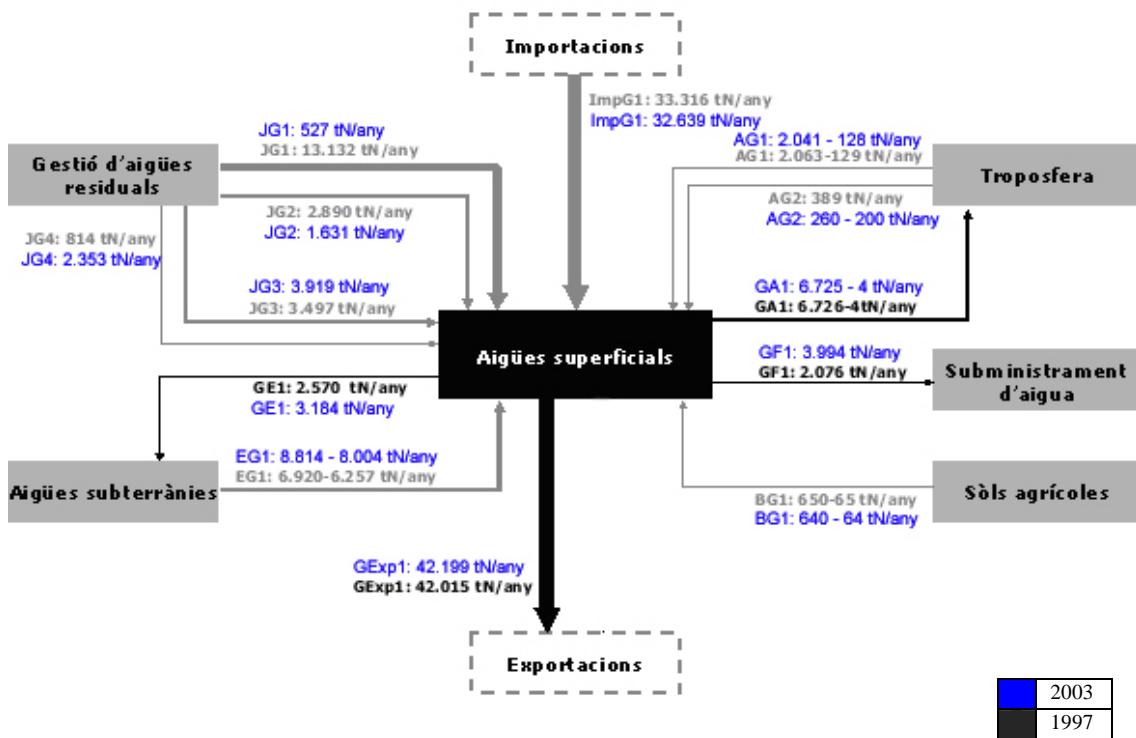
Balanç del compartiment

En la bibliografia [Zessner i Kroiss, 1997; Behrendt i Opitz, 2000; Wit, 2001] s'observa com, generalment, les estimacions d'entrada de nitrogen inorgànic als rius són superiors als valors de nitrogen inorgànic, que es dedueixen de les mesures als rius. A escala temporal anual no pot existir una acumulació significativa de nitrogen inorgànic en els rius. La diferència entre les entrades estimades i els valors analitzats, s'explica per l'existència de vies de sortida del nitrogen inorgànic de la columna d'aigua durant el recorregut del les aigües pel riu.

Aquestes vies de sortida del nitrogen de la columna d'aigua són [Alexander et al., 2000; Peterson et al., 2001]: la desnitrificació (flux GA1, Taula 20) i l'assimilació del nitrogen per part dels organismes vius (flux GExp2, Taula 20).

Per mitjà de la desnitrificació i l'assimilació del nitrogen inorgànic per part dels organismes vius s'eliminen aproximadament entre el 40 i el 20% del total d'entrades de nitrogen inorgànic [Behrendt i Opitz, 2000; Van Drecht, 2001; Wit, 2001]. Abans d'introduir en el model del compartiment les estimacions de sortides per desnitrificació (GA1) i assimilació del nitrogen inorgànic per part dels organismes vius (GExp2), el desajust entre les entrades i sortides de nitrogen inorgànic del compartiment representava aproximadament un 25% del total d'entrades de nitrogen inorgànic.

Degut a la variabilitat de les estimacions de les taxes de desnitrificació [Jackson, 1997; STREAMES, 2003], el flux de pèrdues per desnitrificació (GA1) ha estat avaluat per mitjà d'un ampli rang. Avaluat el flux de desnitrificació (GA1, Figura 13), s'ha estimat per balanç l'altra via de pèrdues de nitrogen inorgànic durant el recorregut del les aigües pel riu: l'assimilació del nitrogen inorgànic per part dels organismes vius (flux GExp2, Figura 13).



• Figura 13. Diagrama de fluxos del compartiment Aigües superficials.

Avaluació conjunta dels resultats

Dues són les principals entrades de nitrogen inorgànic en les aigües superficials de Catalunya. Per un costat, les importacions provinents de l'aigua de l'Ebre a la seva entrada a Catalunya (ImpG1) i per l'altre costat el cabal base o d'aflorament (EG1). La majoria d'aquestes entrades acaben, finalment, al Mar Mediterrani, ja sigui en forma de nitrogen inorgànic o nitrogen orgànic (degut a l'assimilació per part dels organismes vius). Catalunya aboca anualment al Mar Mediterrani unes 50000 tones de nitrogen (fluxos GExp1 i GExp2, Figura 13).

Existeix a Catalunya una important incertesa a l'hora d'avaluar els processos de transformació del nitrogen en les aigües superficials a escala de conca. L'aprofundiment en el coneixement d'aquests processos de transformació a nivell de conca, permetria millora el seguiment del metabolisme del nitrogen en les aigües superficials de Catalunya.

Si comparem l'evolució de les dades, podem observar com hi ha hagut variacions en les entrades. La principal entrada continua sent el fluxe ImpG1 (importacions provinents de l'aigua de l'Ebre a la seva entrada a Catalunya), que gairebé no ha tingut cap canvi, ja que només hi ha una diferència del 2% entre el valor del 1997 i el del 2003, passant de 32639 a 33316 tnN/any. El principal increment percentual de les entrades, és el flux JG4 (By-pass depuradores durant tempestes), que ho ha fet en un 189%, passant de 814 a 2354 tnN/any. La principal disminució percentual la trobem en el flux JG1 (efluents depuradores a rius) que disminueix en un 96%, passant de 13132 a 527 TnN/any.

En les sortides també podem observar grans variacions. El principal increment percentual el trobem en el flux GF1 (aigua superficial a subministrament) que augmenta en un 92%, passant de 2036 a 3994 tnN/any.

7.10 INDÚSTRIA (H)

Descripció del compartiment

El compartiment comprèn tota la indústria i el comerç establerts físicament a Catalunya. S'ha considerat que totes les importacions i exportacions de béns i productes de Catalunya passen pel compartiment Indústria amb dues excepcions, tal i com s'indica a continuació. El compartiment actua com a distribuïdor de les

importacions i exportacions de béns i productes, tal i com correspon al paper del sector comerç que inclou el compartiment.

Existeixen però dos casos on s'ha considerat que els fluxos d'importacions i exportacions de béns i productes no partien o arribaven al compartiment Indústria, sinó que anaven directament cap als compartiments Ramaderia i Processos de combustió:

- les importacions i exportacions d'animals vius
- les importacions i exportacions de combustibles fòssils

Descripció de les entrades

El principal flux d'entrada, amb diferència, són les importacions de béns i productes (flux ImpH1, Figura 14). De la resta de fluxos d'entrada (Taula 21) destaquen els dos fluxos relacionats amb els productes alimentaris, el flux de productes d'origen animal (LH1) i el flux de productes agrícoles (CH1). Existeix també, un flux d'entrada corresponent als residus industrials valoritzats (IH1). Finalment hi ha dos altres fluxos d'entrades menors com són les primeres matèries procedents d'altres sòls (BH1) i l'aigua consumida per la indústria (FH1).

- Taula 21. Fluxos d'entrada al compartiment Indústria.

BH1	Productes agrícoles produïts sòls agrícoles	1997: 39.136	2003: 51.000 – 45.000
Descripció: Inclou tota la producció agrícola, menys els farratges i les pastures consumits directament pels animals ramaders, els quals estan contemplats dins del flux BL1			
Càlculs: Primer s'ha calculat la mitjana de la producció de les diferents tipologies de cultiu per l'any 2000 [DARP,2000]. Per tal d'estimar què suposaven aquestes produccions en termes de nitrogen, s'ha aplicat un factor segons la composició en nitrogen de cadascuna de les tipologies de cultiu. S'han restat les produccions en forma de farratges i pastures, flux BL1, ja que aquestes van directament a ramaderia sense passar pel compartiment Indústria.			
CH1	Matèries primeres	1997: 2.727 – 2.710	2003: 3.843 – 3.821
Descripció: Comprèn les principals primeres matèries extretes del compartiment altres sòls i que van a indústria pel seu processament. Les primeres matèries contemplades han estat la fusta, el suro i la caça.			
Càlculs: Primer s'ha quantificat separatament que suposava en termes de nitrogen la fusta, el suro i la caça i posteriorment s'han sumat els tres productes per calcular el flux.			
FH1	Aigua indústria	1997: 1.248	2003: 1.675

Descripció: Aigua consumida per la indústria

Càlculs: Cal considerar que la concentració de nitrogen de les aigües superficials i subterrànies és diferent. A partir de les dades de consum d'aigua per part de la indústria, s'estima quina proporció d'aquesta prové d'aigües superficials i quina proporció d'aigües subterrànies. Seguidament és multiplica els cabals d'aigües superficials i subterrànies consumides per una concentració mitjana de nitrogen estimada per cadascun de les dues tipologies d'aigües.

IH1	Residus industrials valoritzats	1997: 14.572 – 9.823	2003: 26.486 – 15.954
------------	---------------------------------	-----------------------------	------------------------------

Descripció: Residus industrials reciclats o reutilitzats

Càlculs: S'ha multiplicat les tones de la declaració de residus industrials valoritzats de l'any 2003 [Junta de Residus, 2006] per un estimació de la composició de nitrogen de cada tipologia de residus

LH1	Productes d'origen animal	1997: 51.354 – 44.046	2003: 56.482 – 48.132
------------	---------------------------	------------------------------	------------------------------

Descripció: Productes d'origen animal que són produïts pels animals ramaders de Catalunya

Càlculs: Per un costat s'ha estimat la quantitat de nitrogen continguda en els ous, llet, llana i cera produïdes a Catalunya. Per altra banda s'ha estimat el nitrogen que contenen els animals ramaders morts en els escorxadors. La suma d'aquests dos càlculs dóna el valor del flux.

Al comptabilitzar com a productes animals tot el nitrogen que contenen els animals vius que van a escorxadors, fa que totes les pèrdues que es produeixen durant el procés de transformació queden incloses dins el compartiment Indústria.

ImpH1	Productes i béns importats	1997: 443.398 – 409.068	2003: 540.907 – 496.888
--------------	----------------------------	--------------------------------	--------------------------------

Descripció: Productes i béns importats des de fora dels límits administratius de Catalunya

Càlculs: Hi ha un conjunt de productes importats que per la falta de la necessària disgregació en les dades d'importacions existents s'han estimat separatament: fertilitzants minerals, plàstics i altres productes químics diferents dels fertilitzants minerals i els plàstics. Per alta banda, degut al format de les estadístiques existent, s'han calculat separatament les importacions provinents de la resta de l'estat espanyol i les importacions provinents de l'estranger. Finalment també s'ha considerat com importacions la pesca que es realitza per les confraries catalanes.

Dinàmica del nitrogen dins del compartiment Indústria

Hi ha, principalment, dos processos diferenciats. Per un costat, els processos de transformació de les primeres matèries (productes químics, productes agrícoles, fusta, aigua,...) en béns, productes i residus. I per altre costat, els processos de distribució dels productes ja elaborats, els quals són directament comercialitzats sense patir transformacions significatives.

Descripció de les sortides

Les principals sortides (Taula 22) són les exportacions de béns i productes (flux HExp1, Figura 14) i els pinsos consumits pels animals ramaders (flux HL1, Figura 14). També hi ha com a sortides importants els fertilitzants aplicats als sòls agrícoles (HB1) i les diverses tipologies de béns i productes consumits pel sector públic i consumidors domèstics (fluxos HK1, HK2 i HK3). Finalment, trobem els fluxos corresponents als residus generats pel sector indústria, el flux d'aigües residuals de la indústria (HJ1) i el flux de residus industrials (HI1).

- Taula 22. Fluxos de sortida del compartiment Indústria (en TnN/any).

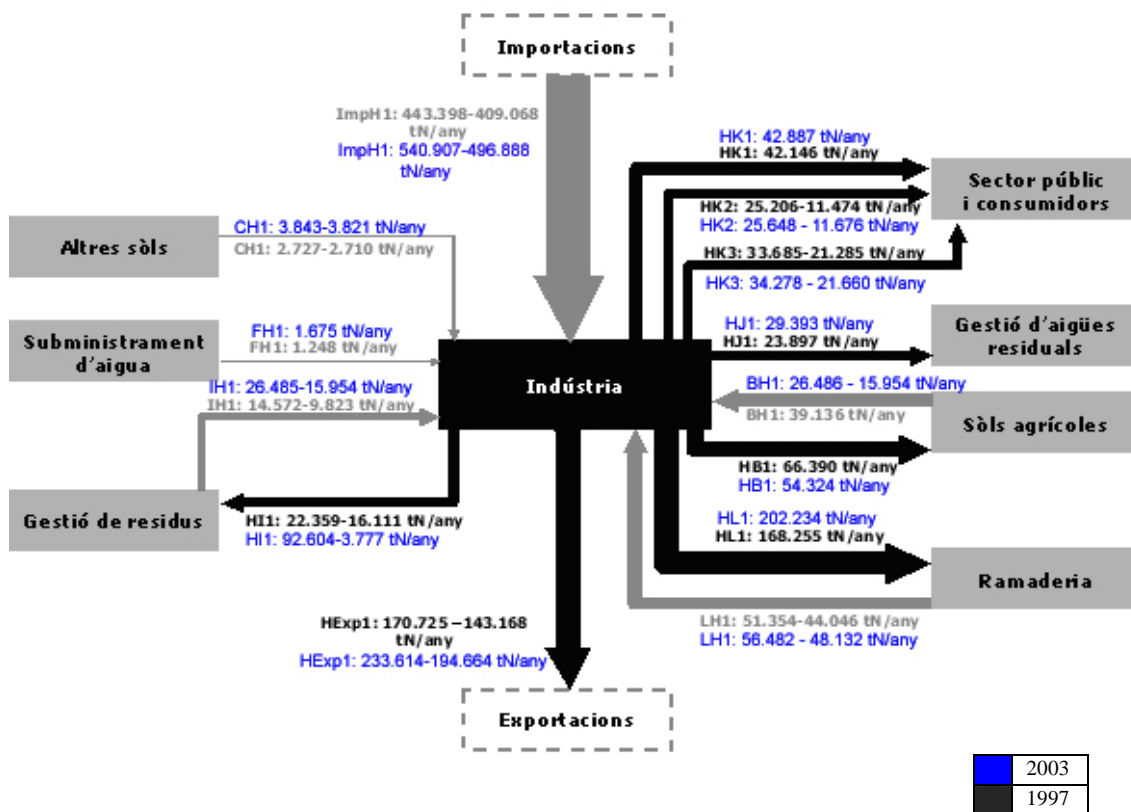
HB1	Fertilitzants minerals sòls agrícoles	1997: 66.390	2003: 54.324
Descripció: Fertilitzants minerals nitrogenats aplicats als sòls agrícoles de Catalunya.			
Càlculs: A partir de les dades de fertilitzants minerals nitrogenats [comunicació personal de Josep M. Virgili], sabem les tonelades de Nitrogen.			
HI 1	Residus industrials a gestió de residus	1997: 22.359 – 16.111	2003: 92.604 – 3.777
Descripció: Inclou tots els residus industrials declarats oficialment.			
Càlculs: S'ha multiplicat la declaració de residus industrials de l'any 2003 per un estimació de la composició de nitrogen de cada tipologia de residus [ACA, 2006]. La composició d'algunes de les tipologies s'ha realitzat mitjançant l'ajut de tècnics de la Junta de Residus.			
HJ1	Aigües residuals indústria	1997: 23.897	2003: 29.393
Descripció: Aigües residuals produïdes pel sector industrial i comercial.			
Càlculs: S'ha quantificat separatament dos subfluxos un corresponent a les aigües residuals industrials que arribaven a les depuradores d'aigües residuals urbanes i l'altre corresponent a les aigües residuals industrials que no entraven a les depuradores, doncs eren abocades directament a llera pública			
HK1	Productes comestibles	1997: 42.146	2003: 42.887
Descripció: Productes comestibles comprats pel sector públic i els consumidors domèstics.			
Càlculs: S'ha multiplicat la xifra d'habitants de Catalunya, tenint en compte els turistes [Departament de Medi Ambient, 2003], pel consum mitjà de proteïnes per habitant i any. Posteriorment s'ha aplicat un factor per transformar les proteïnes a nitrogen.			
HK2	Productes no comestibles no durables	1997: 25.206 – 11.474	2003: 25.648 – 11.676
Descripció: Productes no comestibles comprats pel sector públic i els consumidors domèstics, que resten dins de les llars un període de temps inferior a l'any.			
Càlculs: S'ha multiplicat la xifra d'habitants de Catalunya, tenint en compte els turistes, pel consum mitjà de nitrogen per habitant i any associat als productes no comestibles considerats no durables (menys d'un any de vida a la llar).			
HK3	Productes no comestibles durables	1997: 33.685 – 21.285	2003: 34.278 – 21.660
Descripció: Productes no comestibles comprats pel sector públic i els consumidors domèstics, que resten dins de les llars un període de temps superior a l'any.			
Càlculs: S'ha multiplicat la xifra d'habitants de Catalunya, tenint en compte els turistes, pel consum mitjà de nitrogen per habitant i any associat als productes no comestibles durables (més d'un any de vida a la llar) considerats.			
HL1	Pinsos	1997: 168.255	2003: 202.234
Descripció: Pinsos consumits per la ramaderia de Catalunya.			
Càlculs: A partir de les estadístiques de consum de les diverses tipologies de pinsos [DARP, 2006] i la seva composició amb nitrogen s'ha estimat aquest flux.			
HEXP1	Pinsos	1997: 170.725 – 43.168	2003: 233.614 – 194.664
Descripció: Productes i béns exportats cap a fora dels límits administratius de Catalunya.			
Càlculs: Degut al format de les estadístiques, s'han calculat separatament les exportacions a la resta de l'estat espanyol i les exportacions a l'estranger.			

Balanç del compartiment

Per fer la quantificació dels fluxos Productes i béns importats (ImpH1) i Productes i béns exportats (HExp1) s'ha multiplicat les diferents quantitat físiques de béns i productes importats o exportats pel percentatge de contingut en nitrogen del corresponent bé o producte. Les fonts consultades donen diferents valors en el

contingut de nitrogen per la majoria de productes comercialitzats. Per tant s'ha aplicat un rang de valors de contingut de nitrogen per molts dels béns o productes comercialitzats, fet que dóna com a resultat que el valor dels fluxos ImpH1 i HExp1 sigui un rang de valors.

No ha d'existir dins del compartiment Indústria una acumulació de nitrogen a llarg termini. La variació entre el valor mitjà del rang d'entrades i el valor mitjà del rang de sortides no supera el 2% (1,99%). Tenint en compte la magnitud dels fluxos considerats (Figura 14), aquesta variació del 2% significa un bon ajust entre les d'entrades i sortides del compartiment.



• Figura 14. Diagrama de fluxos del compartiment Indústria.

Avaluació conjunta de resultats

Aquest compartiment té les entrades condicionades principalment per les importacions (ImpH1, figura 14) davant la resta de fluxos del model. Això ens indica que el metabolisme del nitrogen de Catalunya és altament dependent de l'exterior. Aquest metabolisme està vinculat principalment a la producció alimentària.

L'evolució que ha experimentat respecte els resultats obtinguts per l'any 1997 s'observa que el conjunt de les entrades han tingut un increment mitjà del 23%, han passat de les 529241 tN/any a les 650431 tN/any el 2003. Aquest important increment s'explica perquè han augmentat les importacions de productes i béns des de fora de Catalunya (ImpH1, figura 14) un 23%. El flux que ha experimentat un major augment ha estat el de residus industrials reutilitzats i reciclats (IH1, figura 14) que ha augmentat un 74%.

Les sortides també han augmentat considerablement. Han passat de 522712 tN/any a 637739 tN/any, cosa que suposa un augment del 22%. Aquest augment s'explica pel fet que han augmentat els seus dos fluxos principals (HL1 i HExp1, figura 14). S'ha incrementat en un 20% el consum de pinso (HL1) i un 36% els béns exportats fora de Catalunya. Aquests dos ja representen més d'un 65% de les sortides. Per altre part també s'ha de destacar l'important augment dels residus industrials declarats (HI1, figura 14) que s'han incrementat en un 150%.

7.11 GESTIÓ DE RESIDUS (I)

Descripció del compartiment

Comprèn tots els mecanismes i processos relacionats amb la gestió de residus. S'hi inclou la disposició controlada de residus, el compostatge dels diferents tipus de materials orgànics, els residus que van a incineradora, així com la valorització i reciclatge de residus.

Descripció de les entrades

Les entrades principals (Figura 16) provenen de la indústria (flux HI1, Taula 23) i del sector públic i consumidors (fluxos K11 i KI2, Taula 23). Existeixen, també, unes entrades apreciables procedents dels residus d'incineració (DI1), i unes entrades menors en forma de fangs de depuradora (JI1) i de restes vegetals emprades per la producció de compost (BI1).

• Taula 23. Fluxos d'entrada al compartiment Gestió de residus. (en TnN/any)

CI 1	Restes vegetals compostatge	1997: 428	2003: 2.919
Descripció: Aports de restes vegetals als materials que es composten.			
Càlculs: A partir de les quantitats de les tres tipologies de materials que van a compostatge on s'afegeixen restes vegetals (la fracció orgànica dels residus municipals, els fangs de depuradora i els residus industrials), estimades en el flux IA1, s'ha estimat la proporció de restes vegetals afegides.			
DI 1	Residus d'incineració RSU	1997: 8.762 – 8.726	2003: 11.542 – 11.516
Descripció: Tots els residus procedents de la incineració dels residus sòlids urbans (RSU) que van a dipòsit controlat. Inclou doncs les cendres o els residus de tractament gasós.			
Càlculs: A partir de les tones de RSU que van a incineradora [Junta de Residus, 2006] s'han estimat les emissions d'òxids de nitrogen [EEA, 2002]. Suposant que el nitrogen d'aquestes emissions prové en un 70-80% dels RSU [EEA, 2002], s'ha estimat quina part de les emissions provindrien dels RSU. Estimada la quantitat del nitrogen de les emissions que provenia dels RSU, s'ha calculat per balanç la quantitat de nitrogen que queda retingut en els residus d'incineració.			
HI 1	Residus industrials a gestió de residus	1997: 22.359 – 16.111	2003: 92.604 – 3.777
Descripció: Inclou tots els residus industrials declarats oficialment.			
Càlculs: S'ha multiplicat la declaració de residus industrials de l'any 2003 per un estimació de la composició de nitrogen de cada tipologia de residus [ACA, 2006]. La composició d'algunes de les tipologies s'ha realitzat mitjançant l'ajut de tècnics de la Junta de Residus.			
JI 1	Fangs depuradora gestió de residus	1997: 1.959	2003: 2.353
Descripció: Fangs de depuradora d'aigües residuals urbanes que van a compostatge o a abocador.			
Càlculs: A partir de la quantitat de fangs de depuradora, en matèria seca, que van a compostatge i abocador, i el percentatge de nitrogen en els fangs de depuradora (en matèria seca).			
KI 1	Residus sòlids urbans	1997: 37.917	2003: 51.903
Descripció: Residus sòlids urbans (RSU) i matèria orgànica, paper i cartró recollits selectivament, que van a gestió de residus.			
Càlculs: Aquest flux està comprès per un costat pels RSU del rebuig, i per l'altre pel cartró i la matèria orgànica recollits per mitjà de recollida selectiva. Finalment per calcular el nitrogen que porta la matèria orgànica s'ha multiplicat les tones recollides per un percentatge de composició de nitrogen en la matèria orgànica.			
KI 2	Residus béns durables	1997: 14.843 – 5.234	2003: 14.729 – 5.196
Descripció: Béns durables, aquells que resten dins de les llars un període de temps superior a l'any, dels quals els consumidors se'n desprenen.			
Càlculs: S'han multiplicat les entrades de béns durables, pel percentatge de béns durables que serveixen per renovar els béns durables existents.			

Dinàmica del nitrogen dins del compartiment Gestió de Residus

De les diverses tipologies de residus i formes de nitrogen que entren en el procés de compostatge, una part es perd en forma d'emissions i la resta es transforma en formes estables de nitrogen, el compost.

Existeix una acumulació de nitrogen dins del compartiment. L'acumulació de nitrogen està motivada per l'acumulació de residus que es produeix en els dipòsits controlats (abocadors). La major part dels residus sòlids urbans van a dipòsits controlats, de la resta, la majoria va a incineració. Les cendres i residus d'aquesta incineració són posteriorment dipositades en els dipòsits controlats. Els residus industrials que no són valoritzats, són també abocats als dipòsits controlats.

Descripció de les sortides

Les principals sortides són els béns i productes valoritzats per la indústria (flux IH1, Taula 24) i els residus que van a incineració (flux ID1, Taula 24). Existeixen dos fluxos de sortida vinculats al procés de compostatge: el flux de compost que va a sòls agrícoles (IC1) i el flux de pèrdues de nitrogen durant el procés de compostatge (IA1). Finalment hi ha dos fluxos menors vinculats als lixiviats produïts en els abocadors: els lixiviats que s'envien a tractar a plantes depuradores (IJ1) i les pèrdues de lixiviats dels dipòsits controlats (IE1).

- Taula 24. Fluxos de sortida del compartiment Gestió de residus (en TnN/any).

IA1	Pèrdues durant el compostatge	1997: 1.658	2003: 10.345
Descripció: Pèrdues de nitrogen que es produeixen durant el procés de compostatge.			
Càlculs: S'ha estimat unes pèrdues durant el procés de compostatge per cadascuna de les tipologies de materials d'entrada contemplades. Les tres tipologies de materials d'entrada contemplades són: residus urbans que van a compostatge ; fangs de depuradora que van a compostatge ; residus industrials que van a compostatge.			
IB1	Compost i altres productes orgànics sòls agrícoles	1997: 4.201	2003: 33.921
Descripció: Les diverses tipologies de compost i els residus industrials aplicats als sòls agrícoles.			
Càlculs: Per un costat s'han avaluat les entrades a sòls agrícoles per mitjà de tres tipologies de materials compostats: els residus urbans (rebuig compostat i fracció matèria orgànica compostada), els fangs de depuradora compostats i els residus industrials compostats. Primerament s'han avaluat les entrades d'aquestes tipologies de materials al procés de compostatge per posteriorment estimar les pèrdues de nitrogen durant el procés de compostatge (flux IA1); obtenint finalment el nitrogen aplicat en forma de compost per cada tipologia de material. Per altra costat s'han estimat els residus industrials aplicats directament als sòls agrícoles.			
ID1	Residus a incineradora	1997: 9.018	2003: 11.720
Descripció: Residus sòlids urbans que van a planta incineradora			
Càlculs: Als residus sòlids que van a incineradora s'han restat els residus inerts. Seguidament, per tal de calcular el que suposaven aquests residus sòlids (sense residus inerts), en termes de nitrogen, s'han multiplicat les tones per la una composició mitjana de nitrogen estimada.			
IE1	Lixiviats dipòsits controlats a aigües subterrànies	1997: 92 - 10	2003: 97 - 10
Descripció: Lixiviats generats en els dipòsits controlats que arriben aigües subterrànies.			

Càlculs: Els abocadors moderns tenen sistemes efectius per tal d'aïllar-los i evitar així que els lixiviats generats arribin a les aigües subterrànies. Malgrat aquest fet existeixen en funcionament abocadors a Catalunya construïts fa temps que poden tenir pèrdues de lixiviats. S'ha suposat que entra el 10% i el 20% dels lixiviats generats, flux IJ1, poden acabar infiltrant-se a les aigües subterrànies.

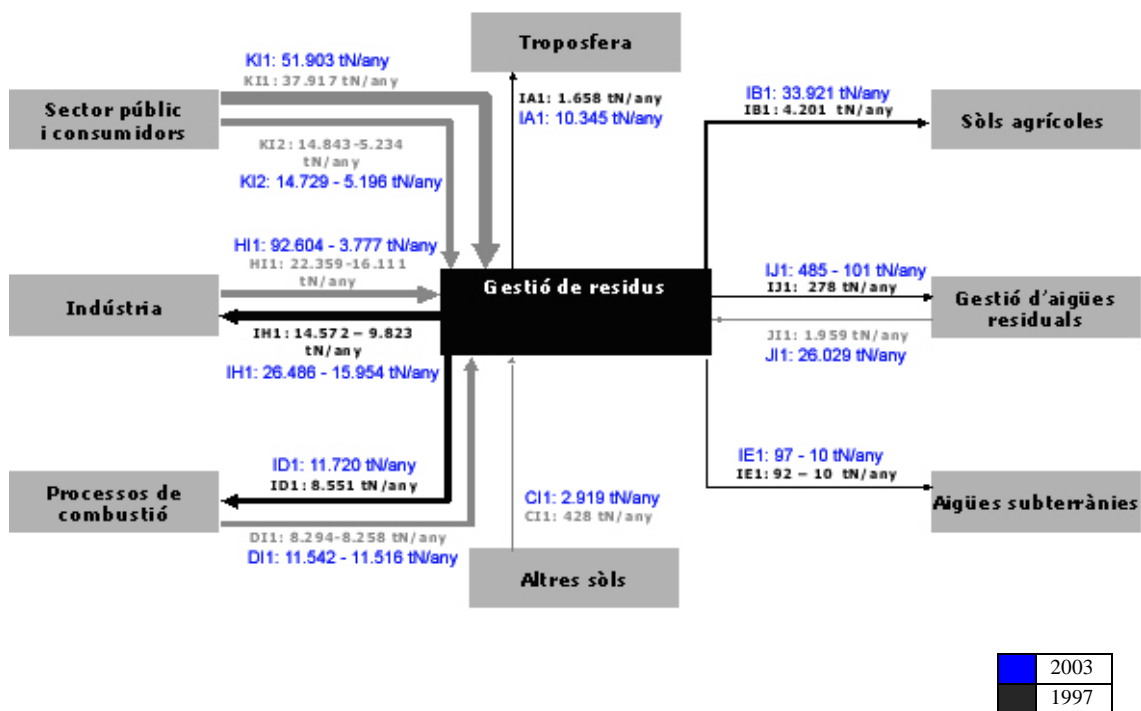
IH1	Residus industrials valoritzats	1997: 14.572 – 9.823	2003: 26.486 – 15.954
Descripció: Residus industrials reciclats o reutilitzats			
Càlculs: S'ha multiplicat les tones de la declaració de residus industrials valoritzats de l'anys 2003 [Junta de Residus, 2006] per un estimació de la composició de nitrogen de cada tipologia de residus			
IJ1	Lixiviats a depuradora	1997: 278	2003: 485 – 101
Descripció: Lixiviats generats en els abocadors que són transportats a estacions depuradores d'aigües residuals pel seu tractament.			
Càlculs: Es considera que en el període d'estudi la majoria de lixiviats generats en els dipòsits controlats de residus (abocadors), no eren tractats per plantes depuradores pròpies i que per tant es transportaven a plantes depuradores pel seu tractament. El flux s'ha calculat a partir de la quantitat de lixiviats generada a Catalunya [Junta de Residus, 2006] i de l'estimació de la concentració de nitrogen present en els lixiviats.			

Balanç del compartiment

S'ha estimat una acumulació de nitrogen dins del compartiment gestió de residus de 22064 tones any de mitjana (Figura 15). Aquesta acumulació s'explica per l'acumulació de residus que existeix en els dipòsits controlats (abocadors).

Durant el període d'estudi, la majoria de lixiviats generats en els dipòsits controlats, eren portats a planta depuradora. La resta eren generalment tractats amb tecnologies altament efectives en els propis dipòsits controlats. L'any 2003 es van tractar 10604 m³ mitjançant una planta mòbil de depuració d'osmosi inversa. Així doncs, s'han considerat no significatius, en termes de nitrogen, la quantitat de lixiviats tractats en els dipòsits controlats que eren abocats al compartiment aigües superficials.

Per tal de poder comparar adequadament els nostres resultats amb els de l'estudi anterior [Bartrolí, 2003], no s'ha contemplat un flux de nitrogen que descriu la gestió de purins per part de les plantes de tractament de les dejeccions ramaderes. Actualment, hi ha 5 plantes de tractament de purins al territori català : dues a Osona, dues a Solsona i una al Segrià. [Col·legi Enginyers Industrials de Catalunya, 2005].



• Figura 15. Diagrama de fluxos del compartiment Gestió de residus.

Avaluació conjunta de resultats

Les principals entrades de nitrogen als dipòsits controlats són els residus sòlids urbans generats pel sector públic i consumidors domèstics, i secundàriament, els residus industrials. L'acumulació de residus de béns i productes en els dipòsits controlats no fomenta l'ús sostenible del nitrogen.

Molt del nitrogen que acaba en els dipòsits controlats prové, inicialment, de nitrogen atmosfèric fixat mitjançant el procés Haber-Bosch, amb el conseqüent consum d'energia. L'insuficient aprofitament mitjançant els processos de reciclatge i reutilització d'aquests béns i productes, porta com a conseqüència la necessitat de continuar consumint energia per la fixació de nou nitrogen atmosfèric. A més a més, els dipòsits controlats poden esdevenir una font de problemes ambientals degut al deteriorament dels materials d'impermeabilització, a una mala clausuració o a moviments naturals dels terrenys, entre d'altres [Bartrolí, 2003].

Existeix un important potencial de reciclatge de nitrogen per mitjà del compostatge de la fracció orgànica dels residus sòlids urbans. Aquest valor ha augmentat molt respecte el valor trobat en l'estudi anterior realitzat per Bartrolí (2003). En el 2003, la major part de matèria orgànica procedent dels residus municipals va a compostatge.

Contràriament, són moltes més les tones de matèria compostada que s'envien a sòls agrícoles. Existeixen problemes administratius i ambientals en la gestió de la creixent quantitat de residus, ja siguin fangs de depuradora, compost a partir de residus sòlids urbans, els fems i els purins, que competeixen per la seva aplicació als sòls agrícoles.

7.12 GESTIÓ D'AIGÜES RESIDUALS (J)

Descripció del compartiment

El compartiment gestió d'aigües residuals inclou tots els sistemes de gestió de les aigües residuals: el sistema de clavegueram, les diverses tipologies de plantes depuradores i les fosses sèptiques.

Descripció de les entrades

Les principals entrades (Figura 16) procedeixen del sector públic i consumidors (fluxos KJ1 i KJ2, Taula 27) i de la indústria (flux HJ1, Taula 25). Existeixen dos altres fluxos d'entrada de nitrogen, el nitrogen procedent del rentat dels sòls urbans (CJ1) i el nitrogen procedent dels lixiviats dels dipòsits controlats que són portats a les depuradores pel seu tractament (IJ1).

- Taula 25. Fluxos d'entrada del compartiment Gestió d'aigües residuals (en TnN/any)

CJ1	Emissions processos de combustió	1997: 1.733	2003: 45.500 – 40.000
Descripció: Emissions d'òxids de nitrogen produïdes pels processos de combustió (tant de fonts mòbils com de fonts estàtiques)			
Càlculs: S'ha seguit la metodologia aplicada per Behrendt <i>et al.</i> (1999). Primerament s'estima la quantitat de nitrogen que entra al sistema de clavegueram per hectàrea de sòl urbà impermeable. Seguidament es multiplica aquest valor pel sòl urbà impermeable de Catalunya.			
HJ1	Aigües residuals indústria	1997: 23.897	2003: 29.393
Descripció: Aigües residuals produïdes pel sector industrial i comercial.			
Càlculs: S'ha quantificat separatament dos subfluxos un corresponent a les aigües residuals industrials que arribaven a les depuradores d'aigües residuals urbanes i l'altre corresponent a les aigües residuals industrials que no entraven a les depuradores, doncs eren abocades directament a llera pública			
IJ1	Lixiviats a depuradora	1997: 278	2003: 485 – 101
Descripció: Lixiviats generats en els abocadors que són transportats a estacions depuradores d'aigües residuals pel seu tractament.			

Càlculs: Es considera que en el període d'estudi la majoria de lixiviats generats en els dipòsits controlats de residus (abocadors), no eren tractats per plantes depuradores pròpies i que per tant es transportaven a plantes depuradores pel seu tractament. El flux s'ha calculat a partir de la quantitat de lixiviats generada a Catalunya [Junta de Residus, 2006] i de l'estimació de la concentració de nitrogen present en els lixiviats.

KJ1	Aigües residual sector públic i consumidors	1997: 31.535	2003: 32.175
------------	---	---------------------	---------------------

Descripció: Aigües residuals produïdes pel sector públic i els consumidors domèstics, que no van a fosses sèptiques.

Càlculs: S'ha aplicat la metodologia proposada per Behrendt et al. (1999). Primerament s'estima la població de Catalunya, considerant l'increment de població que suposa l'entrada de turistes, no connectada a fosses sèptiques. Seguidament es multiplica la població estimada per un factor de producció de nitrogen per persona i dia.

KJ2	Aigües residuals sector públic i consumidors fosses sèptiques	1997: 528	2003: 452
------------	---	------------------	------------------

Descripció: Aigües residuals produïdes pel sector públic i els consumidors domèstics que van a fosses sèptiques

Càlculs: Primerament s'ha estimat la població de Catalunya connectada a fosses sèptiques. Seguidament es multiplica la població estimada per un factor de producció de nitrogen per persona i dia.

Dinàmica del nitrogen dins del compartiment Gestió d'aigües residuals

El metabolisme del nitrogen del compartiment es caracteritza per tenir dues grans fonts d'entrada : la indústria i el sector públic i consumidors. I dos sortides principals : les aigües superficials i el Mar Mediterrani.

Descripció de les sortides

S'han contemplat 15 fluxos diferents de sortida (Taula 26). Les principals sortides (Figura 16) corresponen als abocaments al Mar Mediterrani (fluxos JExp1, JExp2 i JExp3, Taula 26) i als abocaments a les aigües superficials (fluxos JG1, JG2, JG3 i JG4, Taula 26).

Taula 26. Fluxos de sortida del compartiment Gestió d'aigües residuals (en TNN/any)

JA1	Desnitrificació plantes depuradores	1997: 4.480	2003: 1.113
------------	-------------------------------------	--------------------	--------------------

Descripció: Emissions de nitrogen a l'atmosfera fruit del procés de desnitrificació a les plantes depuradores d'aigües residuals urbanes.

Càlculs: Primer s'ha estimat les entrades de nitrogen en les plantes depuradores segons el tipus de tractament. Seguidament s'ha aplicat un factor d'eliminació de nitrogen segons tipologia de tractament. Finalment s'ha restat la part que era eliminada per mitjà dels fangs.

JB1	Fangs depuradora sòls agrícoles	1997: 825	2003: 1.648
------------	---------------------------------	------------------	--------------------

Descripció: Fangs de depuradora d'aigües residuals urbanes que van a sòls agrícoles

Càlculs: A partir de la quantitat de fangs de depuradora, en matèria seca, que van a sòls agrícoles, i el percentatge de nitrogen en els fangs de depuradora (en matèria seca).

JC1	Aigües residuals reutilitzades	1997: 821	2003: 927
Descripció: Aigües residuals reutilitzades generalment per a reg.			
Càlculs: S'ha calculat a partir del volum d'aigua reutilitzada i l'estimació d'una concentració estàndard de nitrogen en les aigües reutilitzades.			
JC2	Fangs depuradora altres sòls	1997: 53	2003: 771
Descripció: Fangs de depuradora d'aigües residuals urbanes que van a altres sòls.			
Càlculs: A partir de la quantitat de fangs de depuradora, en matèria seca, que van a sòls no agrícoles, i el percentatge de nitrogen en els fangs de depuradora (en matèria seca).			
JC3	Nitrogen retintut fosses sèptiques	1997: 132	2003: 113
Descripció: Nitrogen abocat en fosses sèptiques que queda retintut en el sòl			
Càlculs: S'ha aplicat la metodologia proposada per Behrendt et al. (1999). A partir del nombre d'habitants no connectats a xarxa de clavegueram i del factor de producció de nitrogen per persona i dia, es calcula el nitrogen que va a les fosses sèptiques. Posteriorment s'ha estimat quina part queda retinguda al sòl i quina part es transportada a les plantes depuradores pel seu tractament, la resta percola a les aigües subterrànies (flux JE2).			
JE1	Percolació sistema clavegueram	1997: 2.572	2003: 2.829 – 2.813
Descripció: Nitrogen percolat a les aigües subterrànies degut a les pèrdues d'aigües residuals del sistema de clavegueram.			
Càlculs: Al total de nitrogen estimat que entra al sistema de clavegueram se li aplica un percentatge de pèrdues.			
JE2	Percolació fosses sèptiques	1997: 132	2003: 113
Descripció: Nitrogen percolat des de les fosses sèptiques a les aigües subterrànies.			
Càlculs: S'ha aplicat la metodologia proposada per Behrendt et al. (1999). A partir del nombre d'habitants no connectats a xarxa de clavegueram i del factor de producció de nitrogen per persona i dia, es calcula el nitrogen que va a les fosses sèptiques. D'aquest s'estima que una part queda retinguda al sòl, una altre part es transportada a les plantes depuradores pel seu tractament i la resta percola a les aigües subterrànies.			
JG1	Eluents plantes depuradores als rius	1997: 13.132	2003: 527
Descripció: Aigües residuals abocats als rius procedents de les plantes depuradores			
Càlculs: A partir dels càlculs del nitrogen que roman en les aigües residuals després del tractament, es resten les aigües residuals abocades directament al Mar Mediterrani i les aigües residuals reutilitzades (flux JC1).			
JG2	Abocaments sector públic i consumidors a llera pública	1997: 2.890	2003: 1.631
Descripció: Aigües residuals abocades pel sector públic i els consumidors domèstic directament a llera pública sense passar per depuradora.			
Càlculs: S'ha aplicat la metodologia proposada per Behrendt et al. (1999). El flux s'ha estimat a partir del nombre d'habitants connectats a sistema de clavegueram però no a planta depuradora i del factor de producció de nitrogen per persona i dia.			
JG3	Abocaments indústria a llera pública	1997: 3.497	2003: 3.919
Descripció: Aigües residuals del sector industrial i comercial que s'aboquen directament a llera pública sense passar per una depuradora.			
Càlculs: Aigües residuals del sector industrial i comercial que s'aboquen directament a llera pública sense passar per una depuradora.			
JG4	By-pass depuradores durant tempestes	1997: 814	2003: 2.353

Descripció: Aigües residuals by-passades i abocades als rius per les plantes depuradores durant els episodis de tempesta.

Càlculs: Aquest flux comprèn dos subfluxos. Per un costat s'ha considerat que tot el nitrogen que entra en el sistema de clavegueram degut rentat dels sòls urbans (flux CJ1) és by-passat. Per l'altre costat s'ha estimat quina part de la resta d'entrades de nitrogen en les plantes depuradores era by-passada durant els episodis de tempesta. Finalment després de sumar els dos subfluxos s'ha estimat quina part era abocada directament al mar i quina era abocada als rius.

J11	Fangs depuradora gestió de residus	1997: 1.959	2003: 2.353
------------	------------------------------------	--------------------	--------------------

Descripció: Fangs de depuradora d'aigües residuals urbanes que van a compostatge o a abocador.

Càlculs: A partir de la quantitat de fangs de depuradora, en matèria seca, que van a compostatge i abocador, i el percentatge de nitrogen en els fangs de depuradora (en matèria seca).

JExp1	Efluents depuradores al Mar Mediterrani	1997: 18.634	2003: 21.903
--------------	---	---------------------	---------------------

Descripció: Aigües residuals i fangs abocats al Mar Mediterrani procedents de les plantes depuradores.

Càlculs: Per un costat s'ha estimat quina era la quantitat de nitrogen que era abocada al mar procedent dels afluents de les plantes depuradores situades al llarg de la costa catalana. Per l'altre costat s'ha estimat quina quantitat de nitrogen que era abocada al Mar per mitjà del bombejament de fangs de depuradora al mar.

JExp2	Abocaments sector públic i consumidors a Mar Mediterrani.	1997: 7.106	2003: 793
--------------	---	--------------------	------------------

Descripció: Aigües residuals del sector públic i consumidors domèstics que són abocades directament al Mar Mediterrani

Càlculs: S'ha aplicat la metodologia proposada per Behrendt et al. (1999). El flux s'ha calculat a partir d'estimar el nombre d'habitants connectats a sistema de clavegueram però no a planta depuradora que aboquen directament al Mar Mediterrani i del factor de producció de nitrogen per persona i dia.

JExp3	By-pass depuradores durant tempestes al Mar Mediterrani	1997: 924	2003: 645
--------------	---	------------------	------------------

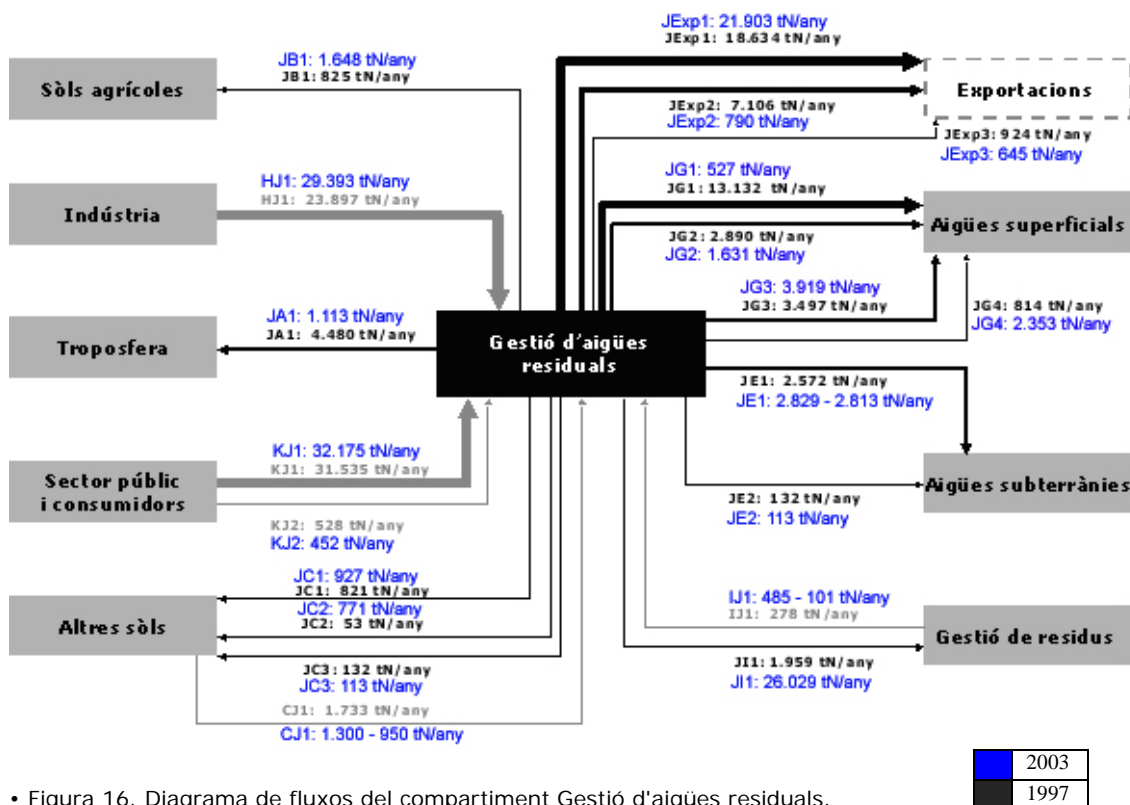
Descripció: Aigües residuals by-passades i abocades al Mar Mediterrani per les plantes depuradores durant els episodis de tempesta.

Càlculs: Aquest flux es comprèn de dos subfluxos : Per un costat s'ha considerat que tot el nitrogen que entra en el sistema de clavegueram degut rentat dels sòls urbans (flux CJ1) és by-passat. Per l'altre costat s'ha estimat quina part de la resta d'entrades de nitrogen en les plantes depuradores era by-passada durant els episodis de tempesta. Finalment després de sumar els dos subfluxos s'ha estimat quina part era abocada directament al mar i quina era abocada als rius.

Balanç del compartiment

A escala temporal anual no existeix acumulació de nitrogen en el compartiment gestió d'aigües residuals (Figura 16). El total d'entrades i sortides calculades és de 57971 tones de nitrogen any.

A partir dels fluxos d'entrada, i mitjançant l'aplicació d'un conjunt de factors (com per exemple el percentatge d'eliminació de nitrogen segons tipologia de planta depuradora o el percentatge de pèrdues del sistema de clavegueram) s'han estimat els diversos fluxos de sortida.



• Figura 16. Diagrama de fluxos del compartiment Gestió d'aigües residuals.

Avaluació conjunta dels resultats

La diferència entre les nostres entrades i sortides, és d'un 2%. Degut a que en aquest compartiment no ha d'haver-hi acumulació s'assumeix que la diferència és deguda a l'error inherent dels càlculs; a més a més, tenint en compte que és un compartiment amb molts fluxos, això fa que pugui maximitzar-se l'error que tinguin cadascun d'ells.

Pel que fa a les entrades, no s'observa una forta variació en la seva evolució. El flux HJ1, aigües residuals produïdes pel sector industrial i comercial, és el que presenta un major increment absolut, ja que el seu valor augmenta en més de 6000 tN/any.

El flux JI1 (fangs depuradora gestió de residus) ha incrementat en un 1229%, passant de 1959 a 26029 TnN/any. Un altre gran increment percentual el trobem en flux JC2 (Fangs depuradora altres sòls) que ha incrementat en un 1355%, passant de 53 a 771 TnN/any. L'explicació en tots dos casos és que hi ha molts més fangs degut a l'augment del nombre de depuradores.

En les sortides del compartiment, poden observar-se fortes variacions en l'evolució dels fluxos. Els fluxos JG1 i JExp2 (aigües residuals abocades als rius procedents de

les plantes depuradores i aigües residuals del sector públic i els consumidors domèstics que són abocades directament al Mar Mediterrani, respectivament). El flux JG1 ha disminuït en un 96%, passant de 13132 TnN/any a 527 TnN/any. El flux JExp2 ha disminuït en un 88% ja que amb l'evolució ha passat de 7106 a 790 TnN/any.

En el període d'estudi anterior tan sols el 8% de les plantes de tractament d'aigües residuals disposaven d'un sistema d'eliminació de nutrients [Bartrolí, 2003]. Com a conseqüència, existia un percentatge d'eliminació de nitrogen de les aigües molt baix. En el nostre període d'estudi, al 2003, aquests percentatges es mantenen aproximadament igual, ja que tot i que s'han construït noves depuradores (com la del Prat de Llobregat), aquestes encara no estaven del tot optimitzades. Aquestes depuradores tenen una eficiència d'eliminació del nitrogen d'aproximadament el 50% i, per tant, és d'esperar que el percentatge d'eliminació sigui molt major avui dia.

Una pràctica que ha millorat sensiblement en aquests darrers cinc anys és la reutilització d'aigües residuals, la qual és una potencial font de recursos d'aigua. El reciclatge d'aigües residuals s'utilitza pel regadiu de sòls agrícoles aportant dos beneficis potencials: la reducció de la demanda d'aigua potable (l'agricultura consumeix un 60% del total d'aigua) i el reciclatge del nitrogen com a nutrient.

7.13 SECTOR PÚBLIC I CONSUMIDORS (K)

Descripció del compartiment

El compartiment descriu en termes de nitrogen la dinàmica de consum de béns i serveis que realitza el sector públic (administració) i els consumidors domèstics. Els fluxos d'entrada al compartiment representen els béns i serveis consumits. Els fluxos de sortida representen els residus generats en forma líquida i sòlida. El compartiment inclou tot el consum d'aliments que realitzen els consumidors domèstics independentment del lloc on es realitza (cases privades, restaurants, hotels, serveis de càtering, etc.).

Descripció de les entrades

Existeixen unes importants entrades (Figura 17) en forma de diferents tipologies de béns i productes procedents del compartiment indústria (fluxos HK1, HK2 i HK3, Taula 27), i unes entrades menors degudes al consum d'aigua (FK1).

- Taula 27. Fluxos d'entrada del compartiment Sector públic i consumidors (enTnN/any)

FK1	Aigua sector públic i consumidors	1997: 1.566	2003: 1.971
Descripció: Aigua consumida pel sector públic i els consumidors domèstics.			
Càlculs: Cal considerar que la concentració de nitrogen de les aigües superficials i subterrànies és diferent. A partir de les dades de consum d'aigua per del sector públic i els consumidors domèstics, s'estima quina proporció d'aquesta prové d'aigües superficials i quina proporció d'aigües subterrànies. Seguidament és multiplica els cabals d'aigües superficials i subterrànies consumides per una concentració mitjana de nitrogen estimada per cadascun de les dues tipologies d'aigües.			
HK1	Productes comestibles	1997: 42.146	2003: 42.887
Descripció: Productes comestibles comprats pel sector públic i els consumidors domèstics.			
Càlculs: S'ha multiplicat la xifra d'habitants de Catalunya, tenint en compte els turistes [Departament de Medi Ambient, 2003], pel consum mitjà de proteïnes per habitant i any. Posteriorment s'ha aplicat un factor per transformar les proteïnes a nitrogen.			
HK2	Productes no comestibles no durables	1997: 25.206 – 11.474	2003: 25.648 – 11.676
Descripció: Productes no comestibles comprats pel sector públic i els consumidors domèstics, que resten dins de les llars un període de temps inferior a l'any.			
Càlculs: S'ha multiplicat la xifra d'habitants de Catalunya, tenint en compte els turistes, pel consum mitjà de nitrogen per habitant i any associat als productes no comestibles considerats no durables (menys d'un any de vida a la llar).			
HK3	Productes no comestibles durables	1997: 33.685 – 21.285	2003: 34.278 – 21.660
Descripció: Productes no comestibles comprats pel sector públic i els consumidors domèstics, que resten dins de les llars un període de temps superior a l'any.			
Càlculs: S'ha multiplicat la xifra d'habitants de Catalunya, tenint en compte els turistes, pel consum mitjà de nitrogen per habitant i any associat als productes no comestibles durables (més d'un any de vida a la llar) considerats.			

Dinàmica del nitrogen dins del compartiment Sector públic i consumidors

Els individus comprem nitrogen en tres formes de béns i productes: com a productes alimentaris, com a béns i productes no durables (aquells que tenen un període de residència en les llars menor a l'any) i com a béns durables. Aquests béns i productes després d'ésser aprofitats esdevenen un residu líquid o sòlid que cal gestionar.

Descripció de les sortides

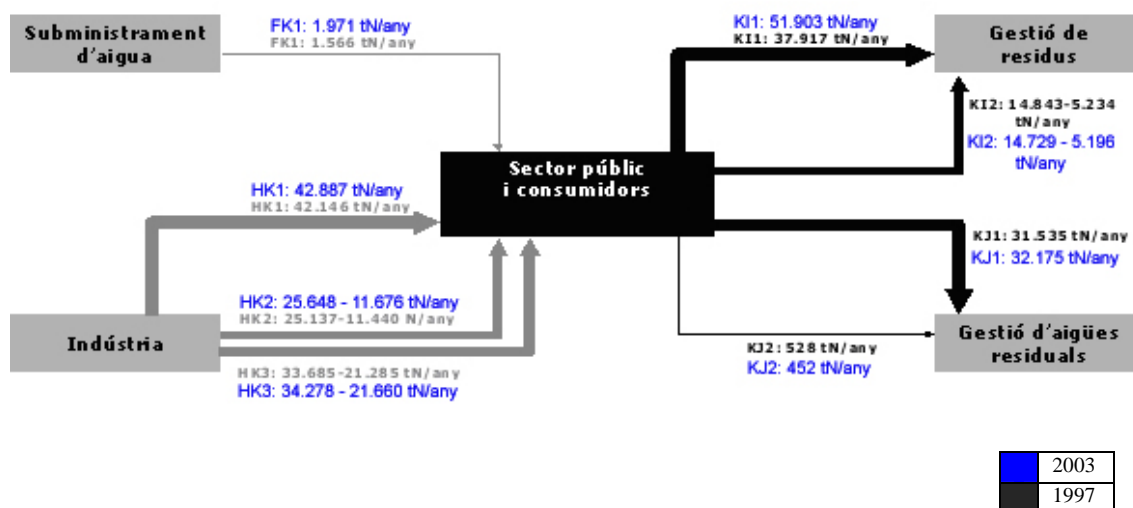
Pel que fa a les sortides (Taula 28), tenim els residus que van al compartiment gestió d'aigües residuals (fluxos KJ1 i KJ2) i els residus que van al compartiment gestió de residus (fluxos KI1 i KI2).

- Taula 28. Fluxos de sortida del compartiment Sector públic i consumidors (en TnN/any).

KI1	Residus sòlids urbans	1997: 37.917	2003: 51.903
Descripció: Residus sòlids urbans (RSU) i matèria orgànica, paper i cartró recollits selectivament, que van a gestió de residus.			
Càlculs: Aquest flux està comprès per un costat pels RSU del rebuig, i per l'altre pel cartró i la matèria orgànica recollits per mitjà de recollida selectiva. Finalment per calcular el nitrogen que porta la matèria orgànica s'ha multiplicat les tones recollides per un percentatge de composició de nitrogen en la matèria orgànica.			
KI2	Residus béns durables	1997: 14.843 – 5.234	2003: 14.729 – 5.196
Descripció: Béns durables, aquells que resten dins de les llars un període de temps superior a l'any, dels quals els consumidors se'n desprenen.			
Càlculs: S'han multiplicat les entrades de béns durables, pel percentatge de béns durables que serveixen per renovar els béns durables existents.			
KJ1	Aigües residual sector públic i consumidors	1997: 31.535	2003: 32.175
Descripció: Aigües residuals produïdes pel sector públic i els consumidors domèstics, que no van a fosses sèptiques.			
Càlculs: S'ha aplicat la metodologia proposada per Behrendt et al. (1999). Primerament s'estima la població de Catalunya, considerant l'increment de població que suposa l'entrada de turistes, no connectada a fosses sèptiques. Seguidament es multiplica la població estimada per un factor de producció de nitrogen per persona i dia.			
KJ2	Aigües residuals sector públic i consumidors fosses sèptiques	1997: 528	2003: 452
Descripció: Aigües residuals produïdes pel sector públic i els consumidors domèstics que van a fosses sèptiques			
Càlculs: Primerament s'ha estimat la població de Catalunya connectada a fosses sèptiques. Seguidament es multiplica la població estimada per un factor de producció de nitrogen per persona i dia.			

Balanç del compartiment

El balanç d'aquest compartiment és un rang de valors que van de 5524 -11533 tN/any. La variació entre el valor mitjà del rang d'entrades i el valor mitjà del rang de sortides és del 3%. Tenint en compte la magnitud dels fluxos considerats, aquesta variació del 3% significa un bon ajust entre les d'entrades i sortides del compartiment. A més a més, s'ha de tenir en compte l'amplitud del rang del balanç. Per tant, no ha d'existir dins d'aquest compartiment una acumulació de nitrogen a llarg termini.



• Figura 17. Diagrama de fluxos del compartiment Sector públic i consumidors.

Avaluació conjunta de resultats

Els resultats obtinguts en aquest compartiment ens mostren un lleuger increment mitjà de les entrades al passar de 89537 tN/any a 91488 tN/any que suposa un increment del 2%. El fluxos més importants són l'entrada de productes comestibles i productes no comestibles (HK1 i HK3, figura 17) amb un 77% de les entrades i aquests s'han incrementat un 2% respectivament des del 1998. El flux que si que ha augmentat de forma considerable és l'aigua consumida pel sector públic i els consumidors (27%), tot i que de totes maneres no té massa pes en el conjunt del compartiment.

El nitrogen ingerit en forma de proteïnes a Catalunya és de 89.5 g/dia hab [Serra, 1996]. Aquesta taxa d'ingestió és molt superior a la que la OMS estableix com a requeriments necessaris pel manteniment d'una persona d'entre 25 i 50 anys d'edat, entre 50 i 63 g/dia [Serra, 1996]. Els éssers adults en general, només aprofiten el nitrogen ingerit per reemplaçar les estructures existents. Tan sols durant l'època de creixement, la infància i l'adolescència, el nitrogen ingerit s'utilitza per a la creació de noves estructures. L'efecte combinat de comprar productes alimentaris que esdevenen residu sense ser ingerits i d'ingerir una quantitat de nitrogen superior als requeriments, dóna com a resultat que els individus generem uns fluxos de nitrogen en forma de residus sòlids i líquids molt superiors als necessaris.

Les sortides del compartiment han experimentat un augment més significatiu que les entrades i han passat de 80019 tN/any a 94493 tN/any, un increment del 18%. Aquesta diferència s'explica, principalment, per l'increment dels residus sòlids urbans i matèria orgànica, paper i cartró recollits selectivament que van a gestió de residus (K11, figura 17) amb un augment del 37%. També s'ha de destacar la disminució del 14% de les aigües residuals que van a fosses sèptiques (KJ2).

7.14 RAMADERIA (L)

Descripció del compartiment

Comprèn totes les activitats i instal·lacions dedicades a la producció de productes d'origen animal com ara la carn, els ous o la llet. No inclou les activitats dedicades al processament i tractament de productes animals com ara els escorxadors o l'elaboració d'embotits, les quals estan incloses dins del compartiment indústria.

Descripció de les entrades

Les entrades al compartiment corresponen principalment als productes alimentaris subministrats als animals ramaders, els pinsos (flux HL1, Taula 29), i els farratges i pastures (flux BL1, Taula 29). També existeixen unes entrades en forma d'importacions d'animals vius (ImpL1).

- Taula 29. Fluxos d'entrada del compartiment Ramaderia (en TnN/any).

BL1	Farratges i pastures	1997: 28.706	2003: 21.000 – 18.000
Descripció: Producció de farratges i pastures no destinades a l'elaboració de pinsos, consumides directament pels animals ramaders			
Càlculs: Primerament s'ha calculat la mitjana de la producció de les diferents tipologies de farratges i pastures durant el període d'estudi [IEC, 2000]. Seguidament per tal d'estimar que suposaven aquestes produccions en termes de nitrogen, s'ha aplicat un factor segons la composició de nitrogen de cadascuna de les tipologies de farratges i pastures. Finalment, s'han restat les produccions de farratges que s'utilitzen com a primeres matèries per pinsos.			
HL1	Pinsos	1997: 168.255	2003: 202.234
Descripció: Pinsos consumits per la ramaderia de Catalunya.			
Càlculs: A partir de les estadístiques de consum de les diverses tipologies de pinsos [DARP, 2006] i la seva composició amb nitrogen s'ha estimat aquest flux.			
ImpL1	Importacions animals vius	1997: 1.472	2003: 1.463
Descripció: Importacions d'animals vius des de l'estranger			
Càlculs: Degut a les dificultats d'estimació del flux d'importacions i exportacions reals i no sols temporals d'animals vius entre Catalunya i la resta de l'Estat (nombrosos animals d'explotacions de fora de Catalunya són portats a matar a escorxadors catalans i determinats animals alimentats a Catalunya són morts en escorxadors de fora de Catalunya), sols s'han estimat les importacions d'animals vius des de l'estranger.			

Dinàmica del nitrogen dins del compartiment Ramaderia

El nitrogen entra al compartiment, bàsicament, com a subministra d'aliments pels animals (pinsos i farratges). Els animals transformen el nitrogen ingerit en productes animals aprofitables per l'home (carn, ous, llet, pell,...) i residus sòlid-líquid (fems i purins). Degut als fems i purins generats pels animals, dins de les explotacions ramaderes és produeixen emissions de compostos nitrogenats (volatilització d'amoniac).

Descripció de les sortides

Pel que fa a les sortides (Taula 30), tenim els purins i fems generats (fluxos LB1 i LB2), les pèrdues per volatilització d'amoniac en les instal·lacions (LA1) i els productes animals produïts que van a la indústria (LH1). També hi ha un flux menor (Figura 18) en forma d'exportacions d'animals vius (LExp1).

- Taula 30. Fluxos de sortida del compartiment Ramaderia (en TnN/any)

LA1	Emissions amoniac emmagatzematge purins i fems	1997: 40.582 – 31.224	2003: 35.188
Descripció: Aquest flux caracteritza les pèrdues d'amoniac que es produeixen des de que els purins i fems són defecats en les granges fins que són aplicats als sòls agrícoles.			
Càlculs: Per calcular les pèrdues de compostos amoniacals durant l'emmagatzematge dels purins i fems en les granges s'ha aplicat la metodologia descrita en ECETOC (1994). Mitjançant l'aplicació de factors de volatilització de compostos amoniacals als purins i fems defecats dins dels estables [ECOTEC, 1994], s'han obtingut les pèrdues de compostos amoniacals durant l'emmagatzematge.			
LB1	Fems defecats sòls agrícoles pastureig	1997: 20.268 – 17.024	2003: 16.818
Descripció: Aquest flux explica l'entrada de nitrogen als sòls agrícoles per mitjà dels fems defecats durant el pastureig			
Càlculs: Per calcular els fems defecats fora de l'estable durant el pastureig s'ha aplicat la metodologia descrita en ECETOC (1994). A partir dels factors d'excreció de nitrogen estimats per classe d'animal i any, s'ha procedit a estimar quina part d'aquests fems eren defecats fora dels estables durant el pastureig.			
LB2	Purins i fems aplicats sòls agrícoles	1997: 96.322 – 78.018	2003: 88.194
Descripció: Aquest flux caracteritza als purins i fems que són aplicats als sòls agrícoles			

Càlculs: Primerament s'ha estimat el nombre de caps de bestiar presents en mitjana els anys 96, 97 i 98 a Catalunya, per mitjà de la utilització del cens agrari i de les places licitades [DARP, 1996; DARP, 1997; DARP, 1998]. A partir del nombre de caps d'animals presents per cada espècie, i aplicant un factor d'excreció de nitrogen per classe d'animal i any, s'ha calculat la producció anual de nitrogen en forma de purins i fems.

Un cop obtinguda la producció anual de nitrogen en forma de purins i fems, s'ha procedit estimat el flux LB2 corresponent als purins i fems aplicats als sòls agrícoles per balanç:

Purins i fems aplicats als sòls agrícoles LB2 = Total de nitrogen produït anualment en forma de purins i fems - (Fems defecats en els sòls agrícoles durant pastureig LB1 + Pèrdues durant l'emmagatzematge de purins i fems LA1)

LH1 Productes d'origen animal **1997:** 51.354 – 44.046 **2003:** 56.482 – 48.132

Descripció: Productes d'origen animal que són produïts pels animals ramaders de Catalunya

Càlculs: Per un costat s'ha estimat la quantitat de nitrogen continguda en els ous, llet, llana i cera produïdes a Catalunya. Per altra banda s'ha estimat el nitrogen que contenen els animals ramaders morts en els escorxadors. La suma d'aquests dos càlculs dóna el valor del flux.

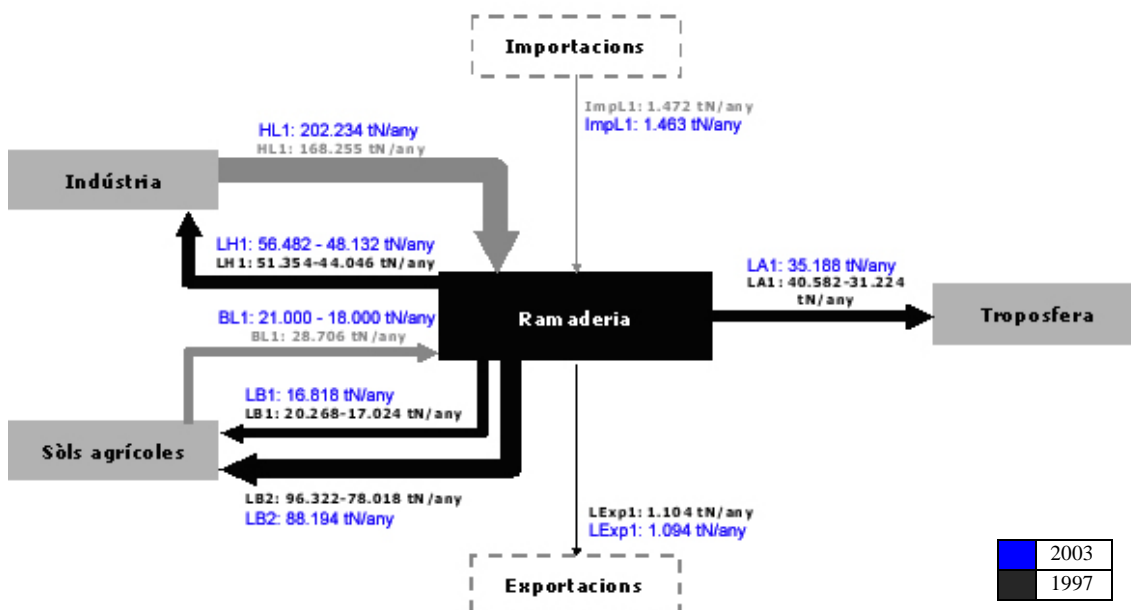
Al comptabilitzar com a productes animals tot el nitrogen que contenen els animals vius que van a escorxadors, fa que totes les pèrdues que es produeixen durant el procés de transformació queden incloses dins el compartiment Indústria.

LExp1 Exportació animals vius **1997:** 1.104 **2003:** 1.094

Descripció: Exportació d'animals vius des de l'estranger

Càlculs: Degut a les dificultats d'estimació del flux d'importacions i exportacions reals i no sols temporals d'animals vius entre Catalunya i la resta de l'Estat (nombrosos animals d'explotacions de fora de Catalunya són portats a matar a escorxadors catalans i determinats animals alimentats a Catalunya són morts en escorxadors de fora de Catalunya), sols s'han estimat les importacions d'animals vius des de l'estranger.

Balanç del compartiment



• Figura 18. Diagrama de fluxos del compartiment Ramaderia.

Avaluació conjunta de resultats

En el present, la ramaderia és el sector més important en termes econòmics del camp català, superant amb escreix l'agricultura (Taula 31). L'any 2003, la ramaderia representava el 58% de la producció final agrària i l'agricultura el 39% [Generalitat de Catalunya, 2001]. El pes de la ramaderia en general i més específicament la ramaderia intensiva d'engreix per a la producció de carn, dins de l'economia de Catalunya, és molt important.

Taula 31. Importància econòmica dels diferents subsectors del camp català corresponent a l'any 2003

Variable	%
Aportació subsector agrícola	39
Aportació subsector ramader	58
Aportació subsector forestal	1
Millores i altres ingressos	2

La ramaderia intensiva d'engreix per a la producció de carn busca obtenir la màxima producció de carn en el menor temps possible. Per tal d'aconseguir aquest propòsit utilitza majoritàriament pinsos i preparats específics (flux HL1, Figura 18), els quals contenen elevades quantitats de nitrogen.

L'eficàcia de transformació del nitrogen ingerit en productes animals és baixa. A Catalunya l'eficàcia de transformació és del 24.2%. Aquest percentatge és semblant el trobat a Noruega [Belken i Bakken, 1997a] i superior al trobat a Holanda [Olsthoorn i Fong, 1998], Alemanya [Isermann i Isermann, 1998] i pel conjunt de l'Europa Occidental [Van der Hoek, 2001]. L'existència d'un baix percentatge d'eficàcia de transformació és intrínsec de la naturalesa dels animals [Van der Hoek, 1998]. La conseqüència d'aquesta baixa eficàcia en la transformació del nitrogen ingerit, és la generació d'una elevada quantitat de residus de nitrogen en forma de purins i fems (fluxos LB1 i LB2, Figura 18).

Si analitzem el valor dels fluxos d'importacions i exportacions d'animals vius en termes quantitius (fluxos ImpL1 i LExp1, Figura 18), observem que aquests fluxos tenen poca importància relativa dins del conjunt del compartiment. Ara bé, en termes qualitius, la importància de les importacions d'animals vius és elevada.

Els resultats obtinguts en el compartiment ens mostren un augment del 12% en les entrades. Aquest increment es deu bàsicament a l'augment del 20% que ha tingut el consum de pinsos (HL1, figura 18) el qual és el flux de major pes dins les entrades (90%). El flux BL1 que correspon a la producció de farratges i pastures no destinades a l'elaboració de pinsos i consumides directament pels animals ramaders ha disminuït un 32% cosa que podria respondre, en part, a l'increment en el consum de pinso tot i que no en la seva totalitat al ser aquest de molt menor ordre.

Les sortides han experimentat un lleuger increment del 2%. Els fluxos més importants són LB2 i LH1, que corresponen a purins i fems aplicats que s'ha mantingut en un valor similar al anterior i productes d'origen animal amb un augment del 10%. Tots aquests augments no poden compensar l'increment que s'ha detectat en les entrades. Conseqüentment, en el balanç del compartiment surt una acumulació mitjana de 29596 tN/any.

La diferència entre les entrades i les sortides és massa elevada per poder-la considerar despreciable. Aquests no són els resultats esperats, ja que al mirar el cens ramader, no s'observa que el nombre de caps augmenti de forma significativa, i per tant no s'espera que hi pugui haver acumulació.

TÍTOL : ANÀLISI GLOBAL DEL SISTEMA



8. ANÀLISI GLOBAL

8.1 INTRODUCCIÓ

Al llarg de tot el document s'ha anat destacant la importància d'aconseguir una visió general del cicle del nitrogen. El mètode adoptat, l'anàlisi de flux de substància, és una bona eina per obtenir aquest punt de vista global i integrador.

En l'apartat anterior s'han analitzat, de manera individual, cada un dels compartiments que formen aquest cicle.

Al diagrama que hi ha a continuació hi ha reflectides les relacions que s'estableixen entre cada un dels diferents components, tot indicant-s'hi, la importància relativa de cada un d'ells.

8.2 DIAGRAMA DEL MODEL DE AFS DEL NITROGEN A CATALUNYA

En les figures 19 i 20 es mostren els diagrames simplificats de la quantificació del model del cicle del nitrogen desenvolupat tant pel 2003 com pel 1997. Les fletxes mostren la direcció de les relacions (fluxos) existents entre els diversos compartiments. Les fletxes que travessen els límits del sistema, representen les entrades (importacions) i sortides (exportacions) de nitrogen dels límits del sistema d'estudi.

Els fluxos estan quantificats en Gg (10^9 g) de nitrogen per any. Els fluxos inferiors a 1 Gg N/any no estan representats en el diagrama. El diagrama únicament indica el nom i el valor dels fluxos majors de 10 Gg N/any. Les fletxes grises indiquen els fluxos entre 1 i 10 Gg N/any, les negres fluxos entre 10 i 30 Gg N/any, les verdes fluxos entre 30 i 50 Gg N/any, les blaves fluxos entre 50 i 100 Gg N/any, les taronja fluxos entre 100 i 200 Gg N/any, i les vermelles fluxos majors de 200 Gg N/any.

Figura 19: Diagrama simplificat de la quantificació del model del cycle del nitrogen desenvolupat pel 2003

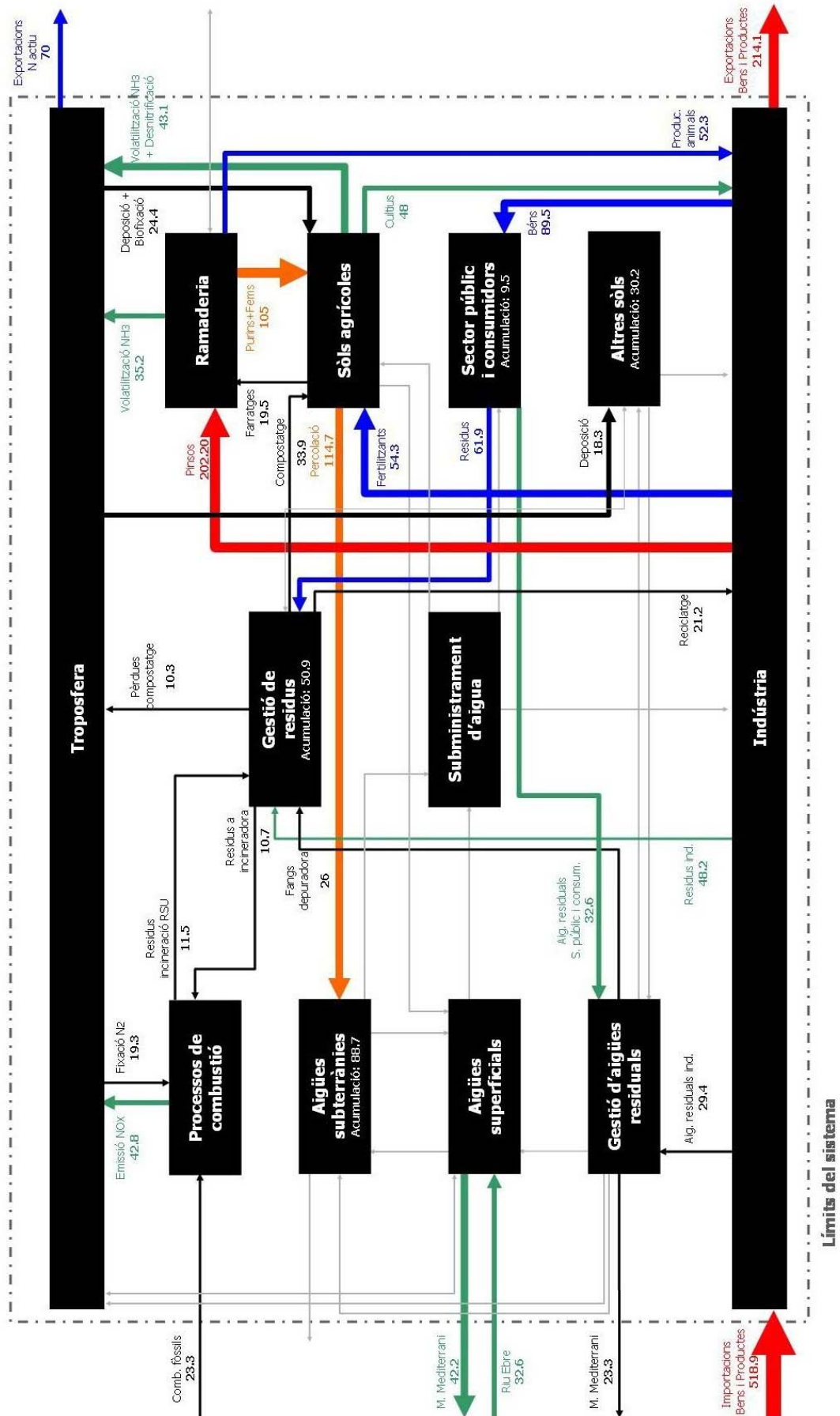
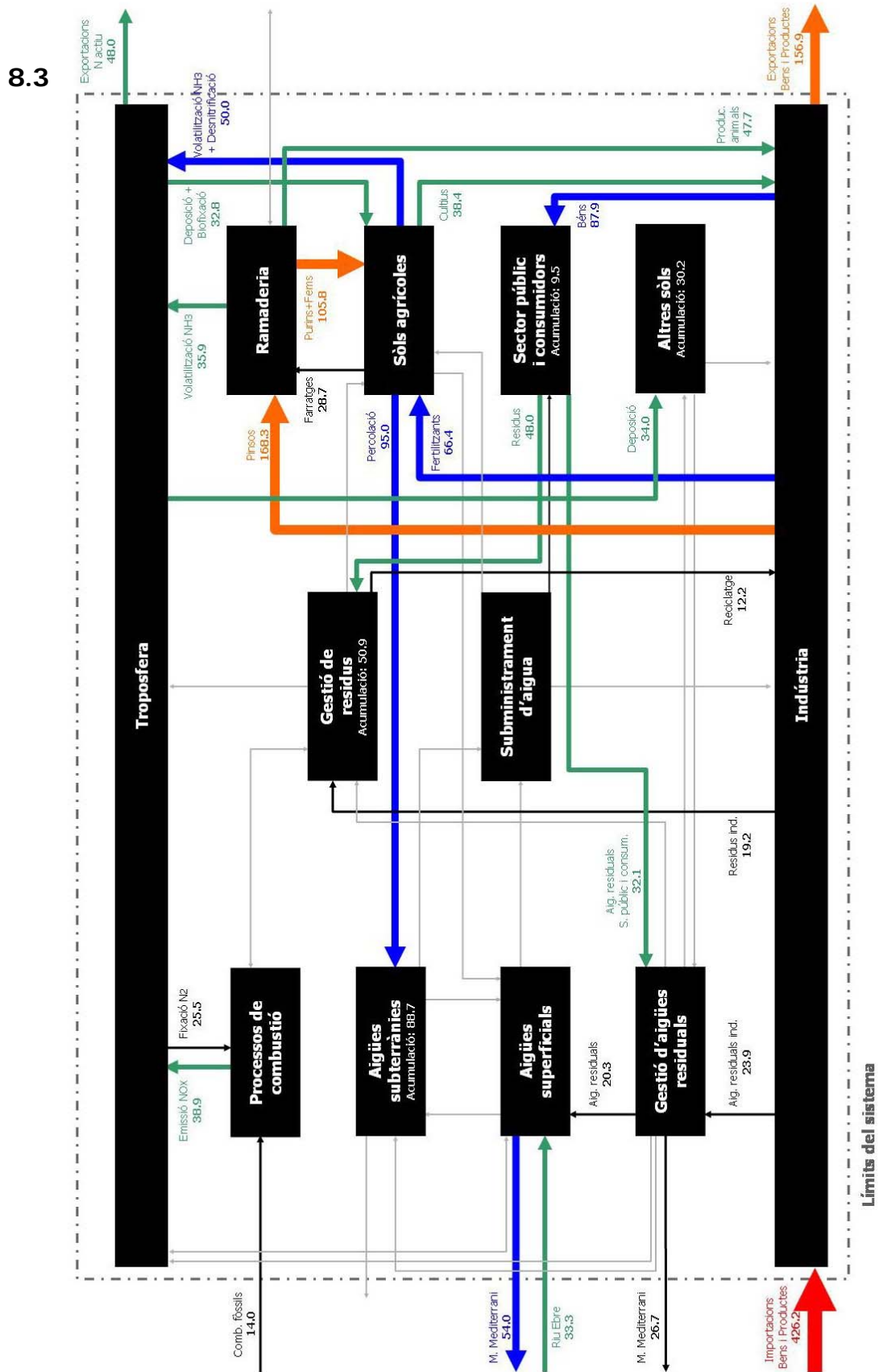


Figura 20: Diagrama simplificat de la quantificació del model del cycle del nitrogen desenvolupat pel 1997



IMPORTÀNCIA RELATIVA DELS COMPARTIMENTS DINS DEL CICLE

Dins del cicle global del nitrogen no tots els compartiments mobilitzen les mateixes quantitats de nitrogen. També cal tenir present, que no hi ha una relació directa entre incidència sobre el medi i quantitat de nitrogen mobilitzat. Per tant, en aquest apartat es pretén analitzar la importància relativa de cada un segons el volum de nitrogen que entra i surt.

Primer de tot, cal comentar que el compartiment més important pel que fa al flux d'entrades i sortides és la indústria. Aquest compartiment mou una gran quantitat de nitrogen, pràcticament el 40% del nitrogen de Catalunya.

La seva entrada principal són les importacions, el qual, alhora, és el flux més important dels 74 analitzats. Les sortides també tenen una gran rellevància, les exportacions (HEXP1), ja que és el segon flux en quantitat de nitrogen.

A continuació, es situen els compartiments de ramaderia i sòls agrícoles, els quals mouen el 13 i 14%, respectivament, del global del nitrogen. Aquests, estan principalment condicionats pels pinsos i fertilitzants pel que fa a les entrades. I en relació a les sortides, cal destacar els purins i fems i la volatilització i desnitrificació del sòl.

La suma d'aquests tres compartiments ja explica gairebé el 70% del nitrogen de Catalunya.

En aquest aspecte, els resultats obtinguts són pràcticament els mateixos que els de l'estudi anterior. Per tant, la importància relativa dels principals compartiments no ha variat en aquests darrers cinc anys.

8.4 ACUMULACIÓ DE NITROGEN EN EL SISTEMA D'ESTUDI

El sistema d'estudi està dividit en 12 compartiments. Aquests els podem dividir en dos grups segons si hi ha nitrogen que s'hi acumula o s'hi reté, o no.

En aquest sentit, només hi ha 4 sectors que tenen acumulació de nitrogen.

El més important son les aigües subterrànies, on s'hi ha detectat una acumulació de més de 100.000 tones de nitrogen. Això suposa un increment d'unes 10.000 tones de nitrogen respecte el 1997.

Els compartiments de troposfera i Gestió de residus tenen, cada un, una acumulació de nitrogen de més de 70.000 tones. En aquest sentit, la troposfera ha tingut una variació remarcable, de més de 30.000 tones de nitrogen. I Gestió de residus ha augmentat en més de 20.000 tones.

Finalment, el compartiment altres sòls ha tingut una reducció molt destacable de l'acumulació, al passar de 30.167 tones de nitrogen a les 12.185 actuals.

La resta de compartiments no tenen acumulació ja que hi ha un equilibri entre les entrades i les sortides.

8.5 IMPORTÀNCIA SOBRE EL MEDI

Bàsicament, són dos els processos que poden ésser la causa d'impactes ambientals en el medi ambient. Per un costat, l'acumulació de nitrogen en determinats compartiments del sistema d'estudi és, o pot ser, la causa d'impactes ambientals dins del territori de Catalunya. Per altra banda, determinades exportacions de nitrogen del sistema d'estudi, són la causa o poden ésser la causa, d'impactes en d'altres regions o a escala mundial.

Partint de l'acumulació de nitrogen en el sistema d'estudi, a continuació s'explica la seva importància en el medi, així com l'afectació que aquest té sobre ell.

- El compartiment aigües subterrànies és el que ha resultat presentar més acumulació de nitrogen. Aquest nitrogen prové, principalment, de les percolacions que es produeixen en els diferents sòls agrícoles. La percolació es produeix perquè hi ha un excés de nitrogen en el sòl, i per tant, com que no pot quedar-hi retingut, una part va a parar a les aigües subterrànies.

Fa temps que s'intenta incidir sobre l'acumulació de nitrogen en les aigües subterrànies. Durant el període de temps transcorregut des del darrer estudi global [Bartrolí, 2003], s'han desenvolupat algunes actuacions per tal de recuperar els aqüífers [ACA, 2006].

Tot i així, es demostra que les intervencions no són suficients. Per tant, cal anar molt en compte amb la contaminació d'aquesta tipologia d'aigua ja que és un recurs necessari molt important, que si està contaminat no pot ésser utilitzat com a font d'aigua potable.

Avui dia, el subministrament per aigües subterrànies suposa el 40% pel total de la població catalana [Mas-Pla, 2005]. Tot i amb això, a Catalunya existeixen, actualment, diversos aqüífers amb nivells de nitrats superiors a 50 mg/l, límit fixat (RD 1138/1990) per la seva utilització com a aigua potable. Degut a la presència de nitrats, Catalunya té un problema social i econòmic en aquest sentit, ja que aquesta prohibició suposa la restricció de l'ús de determinades reserves situades dins de la unitat hidrològica de conques internes de Catalunya on, segons l'administració, existeix una escassetat de recursos per fer front a les demandes previstes.

Per intentar pal·liar aquest problema, a partir del mètode d'estudi utilitzat, es pot veure que, a més a més d'aplicar mesures de sanejament dels aqüífers, també s'ha d'incidir sobre la font més directe d'entrada de nitrogen : els camps agrícoles.

- El compartiment sòls agrícoles té una dinàmica molt important per entendre els diferents impactes sobre el medi. Està estretament relacionat amb els compartiments que poden provocar més problemàtica ambiental.

Les entrades principals dels sòls agrícoles són els fertilitzants nitrogenats provinents de la indústria, i els purins i fens provinents de la ramaderia. Per altra banda, la sortida principal és el nitrogen percolat cap a les aigües subterrànies.

En aquest aspecte, per tal d'incidir en la contaminació de les aigües subterrànies, caldria controlar les entrades provinents d'aquests dos sectors cap als sòls agrícoles, ja que indirectament són aquests els que controlen la dinàmica del nitrogen cap a les aigües subterrànies.

En comparació a les tones de nitrogen mobilitzades pel compartiment sòls agrícoles, aquest afecta amb més magnitud a les aigües subterrànies i no tant, de forma immediata, a les superficials.

El compartiment també contribueix a la volatilització i desnitrificació del nitrogen, amb els conseqüents problemes ambientals que aquest comporta un cop arribat a l'atmosfera.

A més a més, inclou els principals consumidors del subministrament d'aigües. En termes de nitrogen, el subministrament d'aigües és el menys significatiu, tot i la seva importància per la vida.

- El sector ramaderia és important pel medi degut a la gran quantitat de nitrogen que mobilitza : per una part, és destacable el gran volum de pinsos que consumeix, provinents del sector indústria; per altra part, també són molt rellevants les dejeccions ramaderes que, principalment, van a parar als sòls agrícoles.

En els últims anys, l'activitat ramadera catalana s'ha especialitzat en la ramaderia intensiva d'engreix, per la qual és necessari una elevada quantitat de nutrients. L'ús d'aquests pinsos ha permès que els ramaders puguin desvincular-se dels pasturatges i el medi agrícola, per a l'alimentació del bestiar. Aquest fet ha portat a un major increment dels caps de bestiar i de les localitzacions ramaderes. Aquest increment en la concentració del bestiar, i les noves localitzacions, ha fet que es trenqués el vincle que tradicionalment ha existit entre la ramaderia i l'agricultura. En el conreu tradicional, s'utilitzaven les dejeccions ramaderes com a fertilitzants; avui en dia però, l'elevat nombre de dejeccions i l'ús de fertilitzants químics, ha fet que les dejeccions ramaderes siguin un gran residu que cal ser tractat.

Cal esmentar que Catalunya no s'autoabasteix del nitrogen necessari que requereix la ramaderia. És per això, que un gran volum de les importacions de nitrogen, corresponen a materials necessaris per a la fabricació de pinsos i farratges.

Degut a la baixa eficiència, en la transformació de nitrogen, que tenen els animals trobem que un 75% del nitrogen ingerit és excretat en forma de purins i fems [Van der Hoek, 1998].

- En referència al volum d'acumulació, a continuació es situa el compartiment troposfera. Aquest nitrogen prové, sobretot, de la desnitrificació i volatilització dels processos de combustió, de la ramaderia i dels sòls agrícoles. La desnitrificació suposa el retorn de nitrogen actiu fixat a l'atmosfera.

Els principals problemes que pot provocar, de manera regional el nitrogen troposfèric, són la destrucció de l'ozó estratosfèric, l'augment de l'efecte hivernacle i pluja àcida.

A través d'aquest estudi s'ha vist que les deposicions de nitrogen provinents de la troposfera s'han reduït gairebé a la meitat en aquests darrers cinc anys. Per tant, en principi no es preveu que hi hagi problemes de pluja àcida.

En canvi, degut a l'augment d'acumulació pot ser que es produeixin impactes sobre l'ozó estratosfèric i contribuir a l'augment de l'efecte hivernacle.

Degut a la seva estabilitat a la troposfera, el N₂O pot arribar a l'estratosfera convertint-se en la font principal de NO_x estratosfèrics. El N₂O és un subministrador de forma secundària de NO a l'estratosfera.

El NO juga un paper clau com a catalitzador en la destrucció de l'ozó estratosfèric, sobretot si es té en compte que resta intacte al final del procés [Bartrolí, 2003].

Un altre problema que pot ocasionar a nivell global el nitrogen troposfèric són les exportacions cap altres regions, inclòs el Mar Mediterrani. Al Mediterrani de moment no s'hi ha detectat cap problema notable en aquest sentit però caldrien més estudis per assegurar que realment no s'hi produeix un impacte.

- En referència al compartiment Gestió de residus, primer de tot cal esmentar que és un sector que sempre va en augment.

En aquests darrers cinc anys hi ha hagut un gran canvi : al 1997 la major part dels residus eren abocats directament a dipòsits controlats, mentre que al 2003 s'ha potenciat el reciclatge i la reutilització.

A més a més, també hi hagut un gran augment del compostatge, el qual comporta un reciclatge del nitrogen.

Amb tot això, però, continua havent acumulació en aquest compartiment i, encara més, aquesta ha tingut un increment considerable.

Aquest compartiment, però, no té una influència significativa sobre d'altres ja que, en gran part, és una destinació final del nitrogen en el cicle.

En canvi, sí que és important respecte el medi. A llarg termini, el nitrogen que contenen els residus que s'acumulen en els dipòsits són fonts potencials de nitrogen actiu que ha de patir el procés de desnitrificació. Durant el procés de desnitrificació es produeixen emissions d'òxids de nitrogen, gas que intervé en l'efecte hivernacle i la destrucció de la capa d'ozó estratosfèric.

Un altre problema són els lixiviats, els quals tot i ésser controlats, poden portar problemes a llarg plaç, ja que en els dipòsits controlats contínuament se'n van generant.

En la Gestió de residus caldria haver contemplat un flux específic de tractament de purins i fems, ja que actualment existeixen plantes de gestió que cinc anys enrere no estaven construïdes.

- El compartiment altres sòls ha tingut un canvi molt considerable pel que fa a l'acumulació de nitrogen.

La principal entrada de nitrogen són les deposicions atmosfèriques provinents de la troposfera. Com ja s'ha comentat anteriorment, aquestes deposicions han disminuït considerablement respecte l'estudi anterior del 1997. Per tant, tot i que hi ha altres compartiments relacionats (gestió d'aigües residuals, Gestió de residus i indústria), aquests no són rellevants en termes de nitrogen.

Aquesta disminució de nitrogen és molt positiva ja que les zones forestals tenen un màxim d'absorció de nitrogen actiu [Cowling et al., 1998]. Si es sobrepassa o ens aproximem molt a aquest màxim, es poden començar a produir determinats impactes ambientals, com ara canvis en la biodiversitat o l'eutrofització de determinades zones forestals.

Cal seguir controlant l'evolució de la dinàmica del nitrogen en aquestes zones per tal de poder detectar possibles indicis d'aproximació al màxim d'absorció d'entrades de nitrogen.

- La gestió d'aigües és un compartiment rellevant pel medi ja que minimitza l'impacte que el nitrogen pot tenir-hi.

Aquesta gestió ha millorat molt en aquests darrers cinc anys : s'han construït més de 90 depuradores i millorat i incrementat els sistemes de clavegueram.

Actualment, encara la majoria de depuradores no realitzen un tractament eficient del nitrogen que hi arriba. Tot i que moltes disposen d'un tractament biològic, el nitrogen eliminat per aquest procés és de l'ordre del 12% [Bartrolí, 2003]. Només s'arriba a eficiències més elevades si la planta es prepara per poder realitzar un procés biològic aerobi-anaerobi, on s'arriba a una eficiència d'eliminació d'entre el 10 i 70% , aproximadament [Metcalf & Eddy, 2003].

8.6 ASPECTES A CONSIDERAR D'ALTRES COMPARTIMENTS

- El sector indústria té diversos impactes sobre el medi. En aquest model, però, aquests no s'han considerat directament sinó que s'han contemplat a través d'altres compartiments, com per exemple processos de combustió pel que fa a les emissions.

Comprèn tots els productes importats i exportats (els dos fluxos més importants del balanç), en el territori català. D'aquest compartiment cal destacar les importacions i exportacions que realment mouen enormes quantitats de nitrogen. Un nitrogen que és molt difícil d'incidir-hi directament, ja que el trobem en forma de béns i productes, els quals formen part d'una de les activitats econòmiques més importants de Catalunya.

Aquest compartiment inclou el sector comerç i canalitza dues funcions dins el model del nitrogen a Catalunya. Per un costat, transforma i manipula les primeres matèries importades o produïdes en d'altres compartiments per tal de confeccionar béns i productes els quals són o consumits o exportats. Per altre costat, distribueix els productes importats i elaborats per la pròpia indústria de Catalunya cap als compartiments sector públic i consumidors domèstics, sòls agrícoles i ramaderia.

Amb tot això podem veure que el cicle del nitrogen està condicionat per l'exterior de Catalunya. Conseqüentment controlant aquests dos fluxos seria una manera de intervenir en el balanç final.

- El sector públic i consumidors actuen com a consumidors dels béns i serveis produïts i/o distribuïts pel compartiments indústria. El consum de béns i productes està vinculat a un cert nivell de benestar econòmic.. a mesura que una societat augmenta el seu poder adquisitiu, la població tendeix a incrementar el seu consum.

Dins els béns consumits els que tenen més importància en termes de nitrogen són els béns i productes alimentaris [Bartrolí, 2003]. També es consumeix nitrogen en forma d'altres productes i béns com els plàstics dels envasos, la roba, els mobles o els cotxes.

La major part del nitrogen consumit per el sector públic i els consumidors domèstics esdevé, tard o d'hora, un residu que cal gestionar tan en forma de residus sòlids urbans, com en forma d'aigües residuals. És en la forma d'aquests residus en la manera en què els consumidors incideixen més sobre el medi.

- Dels processos de combustió el més rellevant són les emissions d'òxids de nitrogen que s'emeten a la troposfera. És una de les principals d'entrada a aquest compartiment ja que s'hi inclou, bàsicament, el nitrogen provinent de la indústria i dels combustibles fòssils.

Aquests han augmentant considerablement en els darrers anys degut al nivell de vida assolit per la població catalana.

En els processos de combustió, la gran majoria dels quals estan associats a activitats antropogèniques, el nitrogen està en formes estables, com el nitrogen atmosfèric (N_2) o el nitrogen emmagatzemat en els combustibles fòssils. Aquest nitrogen estable es transforma en formes actives de nitrogen com poden ser els òxids de nitrogen.

Aquests òxids de nitrogen, així com les espècies de nitrogen reduïdes (NH_x) poden ser deposicionades, posteriorment, per mitjà de la pluja o en forma de partícules sòlides, ocasionant diversos problemes ambientals ja esmentats [Bartrolí, 2003].

- En el compartiment aigües superficials caldria destacar que la sortida més important és al mar Mediterrani. Segons varis experts, actualment, al Mediterrani no s'hi ha detectat cap problema destacat a causa del nitrogen . Tot i amb això, serien necessaris més estudis per assegurar que realment no s'hi produeix cap alteració.

9. PROPOSTES DE MILLORA

9.1 MESURES SOCIALS

- Augmentar el coneixement públic respecte els problemes ambientals associats al cicle del nitrogen. Particularment, respecte els impactes de la cadena alimentària.
- Reducció del volum de residus per part de les llars catalanes.
- Potenciar la compra ecològica. Compra de productes amb segell de qualitat europea.
- Ús del transport públic per tal d'evitar emissions a l'atmosfera.

9.2 MESURES POLÍTIQUES I ECONÒMIQUES

- L'efecte sobre el cicle del nitrogen passa per una reducció de les importacions en combustibles fòssils. L'any 2003 les importacions en N a Catalunya han estat de 21.389 tones de N (flux ImpD1). Una reducció en aquest tema suposaria una reducció directe de N dins el cicle.
- Potenciar les fonts energètiques alternatives.
- Internalització dels costos ambientals.
- Incentius per l'aplicació de millors tècniques disponibles, anàlisis del cicle de vida, així com la prevenció en origen.
- Sancions més dràstiques davant els incompliments de les normatives. De tal forma que no hi hagi la possibilitat d'incomplir-les de forma involuntària.
- Facilitar la correcta relocalització de totes aquelles activitats agressives per el medi ambient, per tal de facilitar la gestió dels seus residus.

9.3 MESURES CIENTÍFIQUES I TECNOLÒGIQUES

- Ampliació dels coneixements relacionats amb el cicle del nitrogen.
- Proporcionar un major volum de dades i informació referent els aspectes del nitrogen.
- Potenciar la construcció de depuradores capaces de tractar el nitrogen (nitrificació/desnitrificació).
- Millorar les tecnologies de combustió per reduir les emissions d'òxids de nitrogen.
- Millorar les tecnologies agrícoles.

9.4 MESURES CONCRETES PEL SECTOR AGRÍCOLA I RAMADER

Introducció

Molts dels principals problemes que es presenten amb la gestió del nitrogen estan lligats amb el sector agrícola i, sobretot, el ramader. El sistema ramader català està basat en la producció intensiva d'engreix, on el sector porcí és el més important. L'any 2003 a Catalunya es van importar 65.000 tones de carn i altres despulles comestibles, mentre que les exportacions van ser de més de 413.000 tones, més de 6 vegades superior [Idescat, 2006]. La ramaderia catalana està especialitzada en l'engreix d'animals, en exportar la seva carn a altres comunitats, i principalment, a països de la Comunitat Europea.

Aquest model ramader implica haver d'importar la major part dels pinsos pels animals. Una fracció molt important de les importacions fetes a Catalunya són en aquest concepte [Idescat, 2006].

Una de les conseqüències d'aquest model és que es genera una elevada quantitat de residus de nitrogen en forma de purins i fems. Això passa degut a la baixa eficàcia de transformació de nitrogen ingerit, un 24,2% a Catalunya [DARP, 2006].

Els purins porten associades diverses problemàtiques: per una part són la primera causa de contaminació de les aigües subterrànies de Catalunya. Més de la meitat de les mostres d'aigua preses per l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) superen la norma de qualitat de 50 mil·ligrams/litre [ACA, 2006]. Les zones vulnerables afecten més d'un terç dels municipis de Catalunya. Els nitrats també són un dels problemes més important de contaminació difosa d'Europa.

Aquest problema que actualment es presenta a Catalunya ja l'han hagut d'abordar, fa alguns anys, altres països, com és el cas d'Holanda o Alemanya, on s'han vist obligats a reduir significativament el nombre d'animals. Per tal de solucionar la problemàtica social i econòmica que els suposava la gestió i eliminació dels purins, van optar per traslladar les fases d'engreix fora del seu territori. A Catalunya entren un milió i mig de garrins anualment [Unió de Pagesos, 2001].

Hi ha possibles solucions ?

- Per tant, una de les possibles solucions a aquesta problemàtica seria fer el mateix i **traslladar l'engreix** a altres regions fora de Catalunya. Actualment, empreses catalanes estan invertint en grans granges porcines a la zona dels Monegros.

D'aquesta manera, però, s'ha de ésser conscient que es continua sense solucionar el problema, senzillament es trasllada.

- Una **major utilització dels fems i purins per la fertilització** dels cultius és una de les mesures a impulsar. Un dels problemes que planteja aquesta pràctica és que la proporció de nutrients dels fertilitzants orgànics no sempre s'ajusta a les necessitats del cultiu, i per tant, continua sent necessari complementar-ho amb algun altre tipus d'adob.

Un altre problema que presenta la utilització directe dels purins són les dificultats que es deriven de la seva aplicació sobre els cultius. Per altra part, les necessitats dels cicles vegetals fan que l'adobat s'hagi d'aplicar en un determinat moment i, per tant, fa falta un sistema d'emmagatzematge de les dejeccions.

Per altra part, també hi ha una certa reticència a l'aplicació de purins per part d'alguns productors al no tenir les suficients dades i informació d'aquests tipus d'adobs.

Des del punt de vista del ramader, no de l'agricultor, els purins es poden considerar un residu ja que les dejeccions són un subproducte que passa a ser una nosa. També és molest si la producció de fems és superior a les necessitats dels cultius propis i si cal recórrer llargues distàncies és un cost moltes vegades inassolible.

- Un **tractament tecnològic** d'aquestes dejeccions permeten obtenir molts tipus de subproductes per mitjà de múltiples tractaments: separar fases per reduir cost de transport, eliminar nitrogen, recuperar nitrogen i fòsfor en forma mineral, obtenir compost amb ús per horticultura, separar aigua per obtenir un concentrat, produir energia. Dels purins es pot obtenir biogàs (metà), adobs (sulfat o fosfat amònic), matèria orgànica higienitzada, que pot ser útil com a esmena per a la terra i aigua amb un cert contingut de sals, i elements dissolts aprofitables com a producte per a regar (fert-irrigació).

La digestió anaeròbica de residus orgànics redueix les males olors, produeix net d'energia elèctrica o per calefacció, i redueix les emissions de gasos de l'efecte hivernacle.

Amb molts d'aquests tractaments es pot incrementar, de manera considerable, la reutilització de purins, al solucionar molts dels problemes pràctics i econòmics per a la reutilització agrícola. Fomentant l'ús d'aquests tipus d'adob, es pot reduir de forma parcial, les importants consums d'adobs que hi ha a Catalunya anualment (54.324 tones N el 2003, flux HB1). Una reducció d'aquest valor suposaria una reducció directe de N dins el cicle.

- Fomentar la **producció de biogàs** també té influències positives dins el sistema: redueix el potencial contaminant dels residus agrícoles, redueix les males olors, i llavors de males herbes al purí digerit, reducció en l'emissió de gasos que causen l'efecte hivernacle (Kioto). A més d'això, també té altres aspectes positius en altres àmbits: benefici econòmic per la venda i estalvi d'energia elèctrica i de calor, benefici en valor fertilitzant del producte obtingut, proporciona llocs de treball rurals i descentralització de fonts energètiques i fomenta un canvi de visió del sector, considerant-se com una activitat moderna i favorable al medi ambient. Per exemple, a Alemanya, l'any 2005 ja hi havien més de 2.000 plantes de biogàs a granges, i al 2.010 esperen unes 4.000. Molts grangers tenen com principal ingrés la producció d'energia elèctrica gràcies a que són gestors de residus.

9.5 MESURES DE MILLORA PROPOSADES PER L'ADMINISTRACIÓ

Des de l'Administració catalana ja s'han dut a terme diverses iniciatives per afrontar la problemàtica descrita fins el moment.

L'objectiu de totes aquestes iniciatives és, principalment, reduir la contaminació de les aigües subterrànies i de moment, fins el 2003, encara no s'ha vist que la tendència negativa s'inverteixi.

- Des del Departament d'Agricultura Ramaderia i Pesca s'han pres iniciatives per **augmentar el control sobre les dejeccions**, i s'obliga a les explotacions a presentar un Pla de Gestió i a portar un Llibre de Gestió per l'explotació.

- L'any 2004, la Generalitat de Catalunya va aprovar la Llei 3/1998, del 27 de febrer, de la **intervenció integral de l'administració ambiental** (DOGC núm. 4167, 05.07.2004) amb la qual pretén impulsar un nou model de gestió de les fertilitzacions orgàniques i minerals per mitjà de diverses mesures:

- Pla de suport a serveis (públics i privats) de gestió de les dejeccions i altres matèries orgàniques tant a nivell territorial com comarcal.
- Millores en els sistemes d'emmagatzematge.
- Impuls del tractament de dejeccions ramaderes prioritzant les granges de major dimensió, en plantes a la mateixa granja o grup de granges associades, tenint en compte les diferents tecnologies a l'abast.
- Pla de foment de plantes de biogàs amb estudi del potencial de reducció de gasos d'efecte hivernacle.
- Impuls d'un marc econòmic estable i adequat de la cogeneració elèctrica a partir de les dejeccions ramaderes com a instrument complementari als altres sistemes de tractament.
- Revisió de l'actual declaració de zones vulnerables amb criteris de prevenció i amb programes d'actuació adients a polítiques actives de reducció de la contaminació.
- Simplificació de les gestions administratives sota el criteri de corresponsabilitat del ramader, amb els corresponents programes de control i d'inspecció.
- En aquest sentit està previst establir una pròrroga per l'adaptació de les explotacions ramaderes actuals a la llei 3/98 i la modificació del decret 220/2001 de gestió de dejeccions ramaderes, amb el corresponent desplegament normatiu.
- Pla de recerca i desenvolupament, en l'aplicació agrària de les dejeccions ramaderes i altres matèries orgàniques i en noves tecnologies de tractament de purins i dejeccions ramaderes, tant per millorar el seu ús agrícola i energètic com per reduir els gasos d'efecte hivernacle en la lluita contra el canvi climàtic.
- Pla de formació, informació i sensibilització: Al sector agrari: formació i divulgació en bones pràctiques agràries (BPA) en la utilització dels adobs i en les millors tècniques disponibles en la construcció i gestió de les granges,

així com, el tractament de les dejeccions ramaderes. A la resta de la societat: divulgació i sensibilització sobre les especificitats de l'activitat del sector agrari i el seu paper positiu pel país.

- Elaboració i aprovació de Plans sectorials, començant pel Pla d'ordenació del sector porcí a Catalunya, per tal d'ordenar les activitats, tant en les zones declarades vulnerables com a fora d'aquestes, de forma preventiva.

La mateixa tecnologia descrita per les plantes d'aprofitament de purins com a font energètica es pot utilitzar per tractar els residus orgànics dels abocadors. Aquesta iniciativa ja es du a terme a Abocador de Can Mata a Hostalets de Pierola (Anoia) des del 2001. Fomentant aquestes activitats es poden obtenir els mateixos beneficis que els ja explicats anteriorment.

- També s'ha impulsat el **Codi de Bones Pràctiques Agràries** per tal de millorar la gestió integral de les explotacions agrícoles i ramaderes.

Objectiu: Les bones pràctiques agràries sobre el nitrogen pretenen contribuir a disminuir de manera significativa la presència de nitrats a les aigües, problema comú a bona part de l'agricultura del món occidental.

Pràctiques que és basen en corregir l'ús poc eficient dels fertilitzants (materials orgànics, adobs minerals, etc.) nitrogenats i, d'altra banda, l'aplicació fora d'època o en quantitats excessives.

Cal que tot el sector segueixi les bones pràctiques agràries, promogudes pel Departament d'agricultura, Ramaderia i Pesca. Aquestes bones pràctiques agràries en relació al nitrogen tenen la forma de codi, tal i com estableix la Directiva nitrats de la Unió Europea.

Per tal que els agricultors i ramaders adoptin les bones pràctiques agràries és necessària la seva sensibilització i el seu accés a informació i formació adients. Cal també la implicació dels tècnics que assessoren als agricultors i ramaders, que són també un dels grups claus implicats en la solució del problema.

Codi de les bones pràctiques agràries: Bones pràctiques ambientals que s'ofereixen des de el Departament d'agricultura Ramaderia i Pesca

1. *Ajustar els aportats de nitrogen a les necessitats de cultiu:*

- coneixent la composició dels fertilitzants siguin minerals o orgànics,
- calculant l'adobat utilitzant algun mètode (balanç de nitrogen, anàlisi del sòl o la planta)
- aplicant els fertilitzants en la forma i moment que siguin més eficaços,
- anotant les quantitats de fertilitzants aplicats.

2. *Realitzar un maneig adequat dels fems, els purins i les gallinasses dins de l'explotació:*

- reduint-ne el volum,
- reduint el contingut de nutrients, especialment nitrogen i fòsfor de les dejeccions,
- disposant de suficient capacitat d'emmagatzematge.

3. *Adequar la gestió del rec.*

- Adequar el volum de rec per tal d'evitar la perculació.

4. *Evitar la contaminació directa de les aigües:*

- mantenint les distàncies de protecció i no fent aplicacions de fertilitzants prop de cursos d'aigua, pous o fonts,
- no aplicant fertilitzants en condicions desfavorables com, per exemple, sòls gelats i entollats.

- Les bones pràctiques agràries són d'aplicació voluntària pels agricultors, seria aconsellable que aquestes fossin d'obligatori compliment.

- **Gestió de dejeccions ramaderes i fertilitzants nitrogenats** : Canvis d'alimentació i excreció de nitrogen.

Objectiu: Els avenços en nutrició animal permeten un ús més eficient del nitrogen de la proteïna amb què s'alimenta el bestiar.

És per això, i a fi de recollir aquests avenços i afavorir-ne la implementació per part del sector, que dins del procés d'elaboració i validació dels Plans de gestió de dejeccions ramaderes que estableix el Decret 220/2001, AMB LA MODIFICCIÓ DEL DECRET 50/2005 es preveu tenir-ho en compte.

En aquest sentit, i conjuntament amb el Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya (DMAH), es va engegar una sèrie d'accions per tal de veure si es podia adaptar a la realitat del sector ramader català. Finalment, després de diverses consultes amb el sector, i partint del treball d'un grup d'experts en alimentació animal, es va elaborar la taula adjunta, que es considera que reflecteix adequadament, en el moment actual, les possibles reduccions en la quantitat de nitrogen excretat pels porcs segons edat, estat productiu de l'animal i composició de l'aliment que es proporcioni.

Programa d'actuació ASFAC-DARP-DMAH

Nivell 1 Programa	Alimentació	% reducció Nitrogen produït kgN/plaça	% reducció de N per aplicació del Decret 220/2001
3 fases d'alimentació d'engreix: Porcí creixement (20 -40 Kg) Porcí engreix 1 (40 -70 Kg) Porcí engreix (70 -sacrifici)	Formules actuals	5 % reducció (El fixat al Reial Decret 324/2000)	5% reducció(respecte Decret 220/2001)
Nivell 2 Programa 3 fases alimentació engreix + %màx PB	Alimentació (% màx.PB)	% reducció Nitrogen produït kgN/plaça	% reducció de N per aplicació del Decret 220/2001
Garrins (<20kg)	18		
Porcí creixement (20<40 kg)	16.5		
Porcí engreix 1 (40-70 kg)	15	12% reducció (El fixat al Reial Decret 324/2000)	12% reducció (respecte Decret 220/2001)
Porcí engreix (70-sacrifici)	14		
Mares gestació	14		
Mares lactació	16.5		

TÍTOL : CONCLUSIONS

10. CONCLUSIONS

- Primer de tot, sobre el mètode d'anàlisi utilitzat comentar :

- 1- A partir de l'aplicació del mètode de fluxos de nitrogen per Catalunya mitjançant l'aplicació de l'Anàlisi d'una substància (AFS), s'ha arribat a la conclusió que aquest és un mètode adequat per a la quantificació del balanç global del cicle del nitrogen a Catalunya.
- 2- El model posa de manifest la complexa interrelació que hi ha entre els diferents compartiments i ajuda a entendre la dinàmica del cicle del nitrogen.
- 3- En l'estudi en el qual s'ha basat el nostre projecte, no es va contemplar un flux de nitrogen que descriu la gestió de purins per part de les plantes de tractament de les dejeccions ramaderes, ja que aquestes es trobaven en l'etapa inicial o no s'havien construït. Tenint en compte els avenços que hi ha hagut en aquests darrers cinc anys, seria adequat afegir aquest nou flux perquè actualment hi ha més plantes d'aquest tipus en funcionament.

- En referència als factors que incideixen en el cicle del nitrogen cal esmentar :

- 1- El principal compartiment es l'indústria, el qual contempla els dos fluxos principals : les importacions i les exportacions.
- 2- Tot seguit, també cal destacar com a mobilització de nitrogen la ramaderia i els sòls agrícoles, els quals són dos sectors econòmics molt importants de Catalunya.
- 3- No són tant importants dins el cicle el subministrament d'aigües i els sòls no agrícoles.

Aquests resultats segueixen la mateixa tendència que la observada en l'estudi del 1997 [Bartrolí, 2003].

- Pel que fa a les característiques generals de l'evolució del cicle del nitrogen des del 1997 al 2003 s'ha de destacar :

- 1- La quantitat de nitrogen mobilitzat en el cicle ha augmentat més d'un 15%.
- 2- L'acumulació total del nitrogen a Catalunya ha incrementat més d'un 20%.
- 3- En els compartiments on es contempla acumulació, aquesta ha augmentat en tots (aigües subterrànies, troposfera i gestió de residus) excepte en els sòls no agrícoles on ha disminuït considerablement.

- Els principals impactes ambientals identificats són :

- 1- Elevada acumulació de nitrogen a les aigües subterrànies.
En aquests darrers cinc anys, ha incrementat el nombre d'aqüífers contaminats per nitrogen [ACA, 2006].
- 2- El sistema de ramaderia intensiva de Catalunya (basat en l'engreix de bestiar), suposa un increment molt important de nitrogen al sistema. S'ha d'importar una gran quantitat de pinsos (gairebé el 50% de les importacions), per tal d'alimentar tot aquest bestiar, però només s'exporta la carn. Conseqüentment, a causa de la pèrdua d'eficiència en la conversió del pinso en carn, resten a Catalunya un volum molt elevat de purins.
- 3- Increment dels recursos necessaris per tal de tractar aquest increment de residus a tractar.
- 4- L'acumulació d'òxids de nitrogen en la troposfera, pot contribuir en l'escalfament global o la disminució de la capa d'ozó, entre d'altres.
En l'estudi anterior ja existia aquest problema, tot i que no afecta directament a Catalunya pot afectar a una altra zona i, fins i tot, a nivell global.
- 5- L' Augment constant de l'acumulació de nitrogen en el compartiment gestió de residus, pot comportar problemes en un futur.
Aquest problema ja s'havia detectat en l'estudi anterior. L'acumulació en aquest compartiment ha incrementat en els últims cinc anys.

- Finalment, les propostes de millora que cal destacar són :

- 1- Per part de l'administració, caldria que la informació pública fos de més fàcil accés i realitzés un esforç per publicar-la sense tant s anys de demora.
- 2- Realització, per part de l'administració competent, d'estudis periòdics i globals d'elements bàsics com el nitrogen, carboni...
- 3- Replantejament del sistema ramader i agrícola català.

Abreviatures i acrònims



11. ABREVIATURES I ACRÒNIMS

ACA : Agència Catalana de l'Aigua

AFM : Anàlisi fluxos dels materials

AFS : Anàlisi flux de substàncies

AGBAR : Aigües de Barcelona

CHE : Confederación Hidrográfica del Ebro

DARP : Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca

DMAH : Departament de Medi Ambient i Habitatge

EEA : European Environment Agency

EMEP : Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmissions of air pollutants Europe

EUROSTAT : European Statistics

FEDNA : Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal

GENCAT : Generalitat de Catalunya

IDESCAT : Institut d'Estadística de Catalunya

IEC : International Electrotechnical Commission

IGME : Instituto Geológico y Minero de España

INE : Instituto Nacional de Estadística

IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change

MOPU : Ministerio Obras Públicas

OECD : Organization For Economic Co-operation and Development

TÍTOL : BIBLIOGRAFIA

12. BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA BÀSICA

- ACA, 2006. <http://gencat.net/aca>. Febrer - Juny 2006.
- ACA. 2003. Programa de sanejament d'aigües residuals i industrials, 2003.
- ACA. 2005. Programa de sanejament d'aigües residuals urbanes, 2005.
- AGBAR. 2006. <http://www.agbar.es/> . Maig 2006. Aigües de Barcelona.
- Àrea metropolitana de Barcelona, Entitat del Medi ambient. 2006. <http://www.ema-amb.com/> . Març 2006.
- Bartrolí, J. 2003. Avaluació ambiental del cicle del nitrogen a Catalunya : aplicació de l'anàlisi del flux de substàncies. Tesi Doctoral. Universitat de Girona.
- Centro español de plásticos. 2006. <http://www.cep-inform.es/> . Març 2006.
- Confederación hidrográfica del Ebro. 2006. <http://oph.chebro.es/> . Abril 2006.
- DARP, 2006. <http://www.gencat.net/darp/>. Gener – Juny 2006.
- DARP. 2000. Estadístiques agràries i Pesqueres de Catalunya, 2000. Generalitat de Catalunya.
- DARP. 2003. Estadístiques agràries i Pesqueres de Catalunya, 2003. Generalitat de Catalunya.
- DARP. 2006. Informe sobre l'evolució de l'estat del medi ambient a Catalunya, 2005. Generalitat de catalunya.
- Departament Medi Ambient i Habitatge, 2006. <http://www.mediambient.gencat.net/> Gener – Juny 2006.
- Domènech, X. 1991. La Contaminació Atmosfèrica. Ed. Barcanova, S.A. Barcelona. 172 pp.
- Els purins a catalunya. 2005. <http://www.eic.es/noticies/notas/articulos/enguany/maig/purins.htm> . Maig 2006.
- EMEP. 2006. <http://www.emep.int/>. Gener – Juny 2006.
- GENCAT. 2006. <http://www.gencat.cat/> . Gener – Juny 2006.

- Grimm, N.B i Petrone, K.C. 1997. Nitrogen fixation in a desert stream ecosystem. *Biogeochemistry*. **37**, 33-61.
- IDESCAT. 2003. Informe estadístic de Catalunya, 2003. Generalitat de Catalunya.
- IDESCAT. 2006. <http://www.idescat.es/>. Gener – Juny 2006.
- INE. 2006. <http://www.ine.es/>. Gener – Juny 2006.
- Junta de residus. 2006. <http://www.arc-cat.net/> Abril – Juny 2006.
- Mas-Pla, J. 2005. Recursos hídrics, dinàmica hidrològica i canvi climàtic. Universitat autònoma de Barcelona.
- Metcalf & Eddy. 2003. Wastewater Engineering, treatment and reuse. Mc Grau Hill.
- Miniserio obras públicas, 2006. <http://mop.gob.sv/> . Maig 2006.
- Port de Barcelona. 2003. Port de Barcelona memòria anual, 2003.
- Port de Barcelona. 2006. <http://www.apb.es/> . Maig 2006.
- Port de Tarragona. 2003. Memòria anual, 2003.
- Port de Tarragona. 2006. <http://www.porttarragona.es/> . Febrer 2006.
- Unió de Pagesos. 2001. Projecte pel futur del sector porcí a Catalunya. Lleida 2001.

ALTRA BIBLIOGRAFIA

La referència bibliogràfica complerta de la resta de cites anomenades al llarg del document es troben a : Bartrolí, J. 2003. Avaluació ambiental del cicle del nitrogen a Catalunya : aplicació de l'anàlisi del flux de substàncies. Tesi Doctoral. Universitat de Girona.