

Anàlisi del Metabolisme Energètic de l'Economia Catalana (AMEEC)

**Bloc 8: Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle derivades
del consum d'energia**

Vicent Alcántara (UAB), Emilio Padilla (UAB) i Jordi Roca (UB),

Maig de 2007

Estudi encarregat pel Consell Assessor per al Desenvolupament Sostenible (CADS). Generalitat de Catalunya.

Equip de recerca: Jesús Ramos Martín (coordinador) i Sílvia Cañellas Boltà

Institut d'Estudis Catalans (IEC)

Anàlisi del Metabolisme Energètic de l'Economia Catalana (AMEEC)
Bloc 8: Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle derivades del consum d'energia

Maig 2007

Continguts

Resum executiu	1
1. Introducció	5
2. Evolució de les emissions de CO ₂ a Catalunya i els seus principals factors explicatius	9
3. La importància dels diferents processos emissors a Catalunya i comparació amb el conjunt de l'Estat.....	19
4. Evolució de les emissions de CO ₂ vinculades al consum d'energia per a usos energètics	21
5. Una perspectiva general de les emissions totals de CO ₂ vinculades al consum d'energia	25
5.1. Les fonts d'emissió i el seu comportament	25
5.2. Els canvis operats als sectors econòmics.....	26
6. Efectes explicatius de l'evolució de les emissions de CO ₂ vinculades a l'ús d'energia: Metodologia, aplicació i resultats	29
6.1. Metodologia.....	29
6.2. Aplicació i resultats	31
6.3. Els efectes explicatius des de la perspectiva dels sectors econòmics ...	33
7. Conclusions	37
Referències	41
Llistat dels principals acrònims utilitzats	43
Glossari	43
Índex de termes.....	45
Annex I: Descomposició de la variació d'emissions en efectes	47
Annex II: Consum final d'energia sectorial (ktep).....	49

Índex de Figures

Figura 1: Evolució de les emissions de CO ₂ a Catalunya i distància respecte al compromís espanyol respecte a les emissions de gasos causants de l'efecte hivernacle	9
Figura 2: Evolució de les emissions i dels diferents factors en números índex	12
Figura 3: Intensitat d'emissions del PIB i els seus factors explicatius	14
Figura 4: Relació entre la intensitat energètica del PIB i el PIB per càpita	16
Figura 5: Relació entre l'ús d'energia primària per càpita i el PIB per càpita....	17
Figura 6: Relació entre les emissions de CO ₂ per càpita i el PIB per càpita.....	17

Índex de Taules

Taula 1: Descomposició de les emissions de CO ₂ a Catalunya entre 1990 i 2004.....	11
Taula 2: Emissions de CO ₂ per grups de processos, 2004.	19
Taula 3: Factors d'emissió, CO ₂ /tep	22
Taula 4: Emissions de CO ₂ (kt) mitjanes al període 1990 – 92	23

Taula 5: Emissions de CO ₂ (kt) mitjanes al període 2003– 05	23
Taula 6: Estimació de les emissions de CO ₂ per fonts d'energia primària.....	25
Taula 7: Estimació de les emissions sectorials de CO ₂	26
Taula 8: Contribució dels principals tipus d'energia fòssil.....	31
Taula 9: Efectes explicatius de la contribució sectorial a la variació de les emissions.....	33
Taula 10: Contribució a l'increment de les necessitats d'energia primària i les emissions de CO ₂ per efectes explicatius (%).....	35

Resum executiu

En aquest bloc s'examina l'evolució de les emissions de CO₂, el més important del gasos amb efecte d'hivernacle, per al període 1990 a 2005.

Al llarg del treball hem analitzat tant des d'una perspectiva agregada, com posteriorment amb tot el detall possible, l'evolució experimentada per aquestes emissions, tenint en compte les limitacions d'informació¹. Per a fer-ho s'han emprat conceptes i precisions metodològiques àmpliament utilitzades a la literatura científica sobre el tema.

De l'estudi realitzat a la primera part del treball en resulta palès que l'important creixement de les emissions a Catalunya durant el període considerat, d'un 60,1%, molt superior a la mitjana espanyola (50,5%), s'explica com a principal factor per l'augment en el PIB per càpita, amb un creixement del 33,35%². El creixement demogràfic també hauria contribuït de forma important a l'increment en les emissions totals, amb un augment del 10,5% de la població; sobretot a partir de 1999, ja que a la dècada dels noranta la població va restar estable amb poques variacions.

No obstant, les diferències en població i en disponibilitat de béns i serveis per càpita no basten per explicar l'evolució que s'ha produït a les emissions totals. De fet, l'evolució en l'activitat econòmica no és suficient per explicar la important variació en les emissions per càpita al llarg del període, com mostra el major augment de les emissions per càpita, del 44,89%, respecte al 33,35% d'augment del PIB per càpita. Per això hem analitzat altres variables explicatives que interactuen amb les variables econòmiques més habituals i que són sobre les que s'ha d'actuar dissenyant polítiques ambientals i econòmiques que facin compatible el benestar de la societat i el respecte al medi ambient. Indicadors com la intensitat energètica, l'índex de carbonització (vegeu glossari sobre terminologia al final del treball), i/o canvis en l'estructura productiva i la tecnologia dels processos productius juguen un paper important en quant a les possibilitats de reducció de les emissions.

En el sentit apuntat al final del paràgraf anterior, hem detectat que en el cas de Catalunya, les dades mostren una major importància de l'evolució de la intensitat energètica per explicar el canvi que s'ha donat en la intensitat d'emissions del PIB (tones de CO₂ per milió d'euros de PIB). De fet, gairebé tot l'augment de la intensitat d'emissions del PIB (8,66%) s'explicaria per l'augment de la intensitat energètica (8,36%), mentre que l'índex de carbonització gairebé

¹ Quan parlem de limitació d'informació ens referim a aquella informació no disponible, o que hauria d'estar disponible per a desenvolupar anàlisis amb un nivell major de desagregació. Afortunadament hem pogut disposar d'uns curosos balanços energètics elaborats per l'Institut Català de l'Energia (ICAEN), i amb el consell i suggeriments de Joan Esteve i Albert Casanovas que, en tot moment, han estat disposats a atendre sol·licitament les nostres necessitats de cara a l'estudi.

² A la primera part del present bloc s'utilitzen les dades de l'inventari d'emissions a l'atmosfera Corine-Air, que inclou totes les emissions de CO₂ generades pels diferents processos, mentre que a la segona part es treballa amb les emissions estimades a partir de l'energia primària utilitzada (sense incloure la destinada a usos no energètics).

és el mateix a l'inici i al final del període. No obstant, aquest resultat, comparant l'inici i el final del període, amaga la importància que ha tingut l'índex de carbonització en l'evolució de les emissions. De fet, la major variabilitat que s'ha donat en aquest índex explica, en gran part, les variacions experimentades al llarg del període per la intensitat d'emissions del PIB. Aquest darrer aspecte queda molt clar a la segona part de l'anàlisi on es posa de manifest que la descarbonització ha tingut un impacte del - 6,6% en l'evolució de les emissions provocades pel consum d'energia. No obstant això, el lector ha de prendre aquesta informació amb cura. Per a evitar efectes de conjuntura, a la segona part d'aquest treball s'han obtingut mitjanes dels anys 1990-92 i 2003-2005 i la informació està basada en l'energia consumida per a usos energètics dels sectors econòmics. Si agafem el període any a any trobarem que l'evolució de l'índex de carbonització ha estat la principal responsable de la reducció d'emissions per unitat de PIB que es va produir entre 1995 i 1998. I també ha estat el fort increment entre 2002 i 2004 d'aquest índex, el que ha produït l'augment que s'observa al final del període en la intensitat de carboni del PIB.

La substitució de les fonts energètiques utilitzades també és un factor important a l'hora d'explicar els processos de descarbonització i el seu paper en la millora de l'eficiència energètica global, contribuint a disminuir els consums d'energia primària utilitzada i les emissions de CO₂. No obstant això, s'ha de tenir en compte que el transport per carretera fa un ús intensiu de l'energia, fet que dificulta que baixi la intensitat energètica, i es nodreix amb el consum de combustibles fòssils, que dificulta que baixi l'índex de carbonització, contrarestant els canvis produïts en altres sectors on hi ha hagut substitució per combustibles que, com el gas natural, emeten menys CO₂. Com s'assenyala a la segona part d'aquest treball, la contribució més important al creixement de les emissions correspon al sector transport, l'increment del qual és més del doble que el de la indústria. Els consums finals de combustibles del sector transport varen incrementar-se en un 70,8%. La substitució per gas fou mínima, la substitució de derivats de petroli per gas a penes fou de 4 ksteps.

D'altra banda, el sector industrial va incrementar els seus consums energètics finals en un 46,3%, i la seva contribució al creixement total de l'energia final de l'economia fou del 17,3%. Aquest creixement fou superior a la seva contribució a les emissions totals que foren d'un 16,9%. Aquesta diferència està molt ben explicada per la substitució de combustibles. La reducció en un 90% de l'ús de carbó, el baix creixement dels derivats de petroli i el recurs al gas natural amb un menor factor d'emissió de CO₂ per tep (tona equivalent de petroli), com ja hem assenyalat abans, ha fet possible un efecte substitució en aquest sector, que ha estat el més important, ajudant a què les emissions totals no es desapareixin més. No obstant això, l'increment força important dels consums d'energia elèctrica a la indústria, un 46,3%, ha fet que d'altra banda, el sector industrial hagi estat el més important contribuïdor, des del punt de vista de la transformació d'energia final a primària, al creixement de les emissions totals amb un 5,45%.

El sector serveis i domèstic han experimentat evolucions força paral·leles. Les substitucions de fonts energètiques finals han experimentat canvis semblants en quant a fonts i, en alguns aspectes en percentatge. Així, tots dos sectors

han alentit els seus consums de productes petrolífers: en el cas dels serveis els seus consums varen créixer un 4,2% i les llars el van disminuir en un 8,5%. D'altra banda tots dos sectors incrementen molt substancialment els seus consums de gas natural. Des del punt de vista de l'efecte transformació, amb una contribució a l'increment de les emissions del 3,22% en el cas dels serveis (superior al transport) i del 2,61% en el cas de les llars, podem aventurar que és degut al fort increment del consum elèctric, amb un important arrossegament sobre els inputs d'energia fòssil utilitzats a la producció d'electricitat, tot i la importància de la nuclear a Catalunya. Si ens fixem en les dades de l'Annex II, en tot el període el sector serveis va incrementar un 123,4% el consum d'electricitat, i el sector domèstic un 61,3%.

Tot i el que hem comentat sobre el comportament dels sectors productius quant als seus consums energètics i les emissions de CO₂ vinculades a aquests consums, cal dir que, deixant de banda el transport que inequívocament és un dels grans responsables de les emissions del més important dels gasos amb efecte d'hivernacle, els casos de la indústria i els serveis mereixerien una anàlisi molt més acurada, vinculant les emissions també al comportament econòmic dels diferents subsectors. Això permetria observar aspectes importants com el comportament en relació a l'ús més o menys eficient de l'energia, les relacions amb altres sectors i els impactes que es produeixen entre sectors, per tal d'estimar els marges de maniobra de les polítiques ambientals a implementar.

Comparant els increments percentuals deguts als diferents efectes sobre les emissions i l'energia primària necessària, la importància de l'increment de consum final d'energia (efecte activitat) és fonamental. D'altra banda, la substitució de combustibles —en favor bàsicament del gas natural— ha jugat un paper favorable a la disminució de les emissions, però molt petit i insuficient per a compensar els desfavorables resultats donats per l'increment de les necessitats d'energia primària. Convé destacar que tot i la seva petita importància, la substitució de les fonts energètiques emprades pels sectors econòmics ha tingut un impacte molt més significatiu en la reducció d'emissions que en la disminució de les necessitats d'energia primària. Per últim, tot i observar-se una certa descarbonització, l'efecte transformació ha jugat des de la perspectiva del CO₂ un efecte prou negatiu, contribuint a l'increment de les emissions en un 14%, tot i que, des de la perspectiva de l'energia primària, les necessitats per a transformació varen disminuir. La raó principal és el pes decreixent de l'energia nuclear respecte a la producció d'electricitat en centrals tèrmiques de gas natural; aquestes tenen una major eficiència en la conversió de calor a electricitat però emeten CO₂ a diferència de les nuclears que (directament) no emeten aquest gas. Aquest és un bon exemple de les diferents conclusions que de vegades podem treure d'una anàlisi d'efectes en termes d'energia primària o d'emissions de carboni.

A Catalunya, de la mateixa manera que al conjunt de l'Estat espanyol, i al contrari del que ha passat en la majoria de països industrialitzats, no s'ha produït una reducció de la intensitat energètica del PIB. És més, aquesta intensitat ha augmentat al llarg del període analitzat, amb el resultat que la intensitat de carboni del PIB també ha augmentat. A pesar dels guanys

d'eficiència en l'ús d'energia als sectors industrials, el fort augment en l'ús d'energia per part del transport per carretera ha portat a aquest comportament.

En conclusió, en el cas de Catalunya no és possible parlar de desvinculació entre creixement econòmic i emissions de CO₂ en cap dels sentits en que habitualment s'utilitza el terme, ja que tant les emissions totals com la intensitat d'emissions del PIB augmenten al llarg del període considerat. En aquest sentit i, des de la nostra perspectiva, queda clar que cal aplicar polítiques adients i orientades a millorar l'eficiència energètica, així com a reduir les emissions per unitat d'energia si volem evitar que el creixement econòmic continuï comportant majors emissions (tant absolutes, com per unitat de PIB).

1. Introducció

En aquest Bloc de l'estudi AMEEC s'examina l'evolució de les emissions de CO₂ per al període 1990 a 2005. Fins ara l'estudi ha tractat sobre l'energia sense considerar els impactes que provoca el seu ús. En aquest bloc, ens centrarem en una de les pressions ambientals més importants lligades al consum d'energia, les emissions de CO₂, el més important dels gasos amb efecte d'hivernacle.

L'augment de les concentracions de CO₂ a l'atmosfera causat per l'activitat humana és el principal factor responsable de la intensificació de l'efecte hivernacle i del canvi climàtic resultant³. El principal factor explicatiu de l'augment a les concentracions de gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera és l'ús massiu de combustibles fòssils que va acompanyar —i acompanya— els processos d'industrialització i a l'expansió del transport per carretera. Tot i que el problema del canvi climàtic s'ha convertit actualment en un dels problemes ambientals que genera més preocupació a nivell global, no sembla que les mesures adoptades per a fer-hi front hagin estat ni molt menys gaire efectives en mitigar les emissions que el causen i en reduir les concentracions atmosfèriques dels gasos amb efecte d'hivernacle.

Fins ara el resultat més visible d'aquesta preocupació va ser el compromís de control d'emissions establert al Protocol de Kyoto l'any 1997 que, tot i la moderació de les seves propostes (veure glossari), no ha estat ratificat encara pels Estats Units, el país que emet més gasos amb efecte d'hivernacle. Per a la Unió Europea el compromís implicava una reducció d'emissions del 8%. En el cas espanyol, aquest compromís es va traduir en limitar el creixement de les emissions en el període 2008-2012 en un 15% respecte a les de 1990. No obstant, la Unió Europea es planteja actualment unes reduccions superiors, fins arribar, com a mínim, al 20% de reducció l'any 2020, segons va aprovar al febrer el Consell de Medi Ambient de la Unió Europea. Això, a l'espera que s'acabi de traduir en diferents compromisos per a cada país membre, haurà de significar majors esforços per reduir les emissions en els propers anys.

Al llarg del present Bloc s'analitza l'evolució de les emissions de diòxid de carboni a Catalunya, tant des d'una perspectiva agregada, com amb tot el detall possible que ens permeten les dades disponibles.

Per a la primera part del Bloc, apartats 2 i 3, s'han utilitzat les dades de l'Inventari d'Emissions a l'Atmosfera Corine-Aire, elaborat pel Ministeri de Medi Ambient per al període 1990-2004. Aquestes dades inclouen totes les emissions de CO₂, classificades en diferents processos emissors. Això ens permet disposar d'una perspectiva sobre l'evolució de les emissions totals de CO₂, analitzant els principals factors determinants d'aquesta evolució, seguint metodologies àmpliament utilitzades en l'anàlisi energètica (com la

³ En el cas de l'Estat espanyol, les emissions de CO₂ representen el 81% del total de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle generades per l'activitat humana, expressades en CO₂ equivalent.

descomposició en factors de Kaya) que ens permet tenir una primera visió global sobre les forces motrius que han determinat el comportament experimentat per les emissions. Unes emissions que, com veurem, han superat de molt els límits de creixement, citats anteriorment, que hi havia establerts per a l'Estat espanyol.

Aquesta base de dades ens permetrà també analitzar la importància dels diferents processos emissors a Catalunya. Les dades permeten analitzar les diferències que hi ha amb el conjunt de l'Estat en la importància dels diferents processos.

Per a la segona part del Bloc, apartats 4 a 6, la base de dades utilitzada és la mateixa que s'ha fet servir als Blocs 2 i 3, en parlar d'energia primària. És a dir, els balanços energètics de Catalunya, facilitats pel període 1990-2005 per l'Institut Català de l'Energia (ICAEN). Un cop més hem d'agrair a l'ICAEN, i especialment a Joan Esteve i Albert Casanoves, haver-nos facilitat la base de dades i haver resolt els nostres dubtes sobre aquesta informació⁴. Els comentaris sobre els balanços energètics de Catalunya que fem a la introducció del Bloc 3 també són pertinents per a l'anàlisi que es fa aquí.

En aquesta segona part només es tindran en compte les emissions vinculades al consum d'energia per a usos energètics. D'altra banda, només es consideren les emissions de CO₂ relacionades amb el carbó, el petroli, els saldos importadors de derivats de petroli i del gas natural, atesa l'escassa importància de la resta d'elements.

Les emissions de CO₂ s'expliquen, principalment, per l'ús d'energia fòssil. No obstant, no totes les fonts d'energia primària tenen els mateixos factors d'emissió (carboni per unitat d'energia) ni tampoc és igual l'eficiència en el seu ús i transformació. El treball que es desenvolupa en aquests apartats constitueix una recerca paral·lela a la realitzada al Bloc 3, i es basa, com aquell bloc, en la metodologia desenvolupada a Alcántara i Roca (1995), consistent en l'estimació de l'energia primària "arrossegada" pels consums finals d'energia i les emissions que impliquen aquesta energia primària. Per obtenir les estimacions de les emissions amb les dades dels balanços, a partir de l'aplicació de l'esmentada metodologia, hem utilitzat els factors d'emissió publicats per l'IPCC (1996).

L'obtenció de les estimacions d'emissions a partir de l'ús d'energia per usos energètics ha de permetre analitzar els canvis operats que expliquen l'evolució de les emissions. Aquesta evolució es presenta en una perspectiva general i també descomponent en factors explicatius l'evolució d'aquestes emissions; tal i com es va fer al Bloc 3 per l'energia.

Després d'aquesta introducció, l'estructura del bloc és la següent. L'apartat 2 descriu l'evolució de les emissions totals de CO₂ a Catalunya durant el període 1990-2004 i els seus principals factors explicatius. L'apartat 3 analitza la

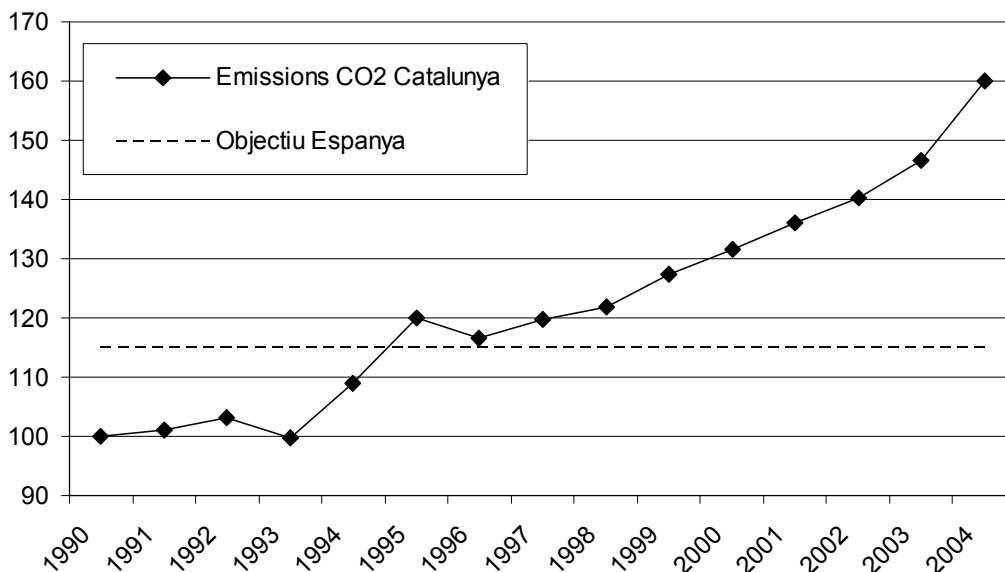
⁴ Com ja assenyalàvem al Bloc 3 les dades de 2004 i 2005 sobre energia primària que hem utilitzats als càlculs són avanços que poden experimentar variacions, el que podria fer variar els càlculs d'aquests apartats.

importància dels diferents processos emissors catalans i els compara amb el conjunt espanyol. L'apartat 4 estima les emissions a partir de l'energia primària "arrossegada" pels consums finals d'energia per a usos energètics i analitza l'evolució d'aquestes emissions de CO₂. L'apartat 5 analitza els canvis operats que expliquen aquesta evolució des d'una perspectiva general. L'apartat 6 analitza els factors explicatius de l'evolució de les emissions de CO₂ provinents del consum d'energia per a usos energètics. Finalment, l'apartat 7 recull unes breus conclusions.

2. Evolució de les emissions de CO₂ a Catalunya i els seus principals factors explicatius

En aquest apartat analitzem l'evolució de les emissions de CO₂ a Catalunya⁵, estudiant les principals forces motrius que les produeixen. A la Figura 1, es pot observar quina ha estat l'evolució de les emissions entre 1990 i 2004 i el seu distanciament respecte als compromisos internacionals sobre canvi climàtic de control d'emissions de gasos causants de l'efecte hivernacle.

Figura 1: Evolució de les emissions de CO₂ a Catalunya i distància respecte el compromís espanyol d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (100=nivell de 1990)



Font: Elaboració pròpia a partir de les dades del Ministeri de Medi Ambient.

Al llarg del període analitzat, les emissions van augmentar considerablement. No obstant, es poden distingir diverses etapes en el comportament d'aquestes emissions. Durant els primers anys de la dècada dels noranta, les emissions van restar estables, sent al 1993 fins i tot inferiors a les de 1990. Entre 1993 i 1995, en canvi, es va produir un important increment d'emissions, de més d'un 20%, que va portar a què Catalunya, l'any 1995, ja superés el creixement límit del 15% del nivell de 1990, marcat posteriorment pel compromís espanyol en el marc del Protocol de Kyoto (dins del conjunt de la Unió Europea l'Estat espanyol no pot superar el 15% d'augment per al promig de les emissions de 2008-2012 respecte les de 1990 per al total de gasos amb efecte d'hivernacle contemplats pel protocol de Kyoto⁶). Després d'una lleugera reducció entre 1995 i 1996, s'inicià una etapa d'augment continu en el nivell d'emissions, increment que es dispara el darrer any de la mostra. Sent l'Estat espanyol un dels països que més s'ha distanciat del compromís establert dins de la Unió

⁵ Considerem únicament les emissions de CO₂; per tant, les dades no inclouen les emissions de metà ni òxid nitrós ni altres gasos amb efecte d'hivernacle en CO₂ equivalent.

⁶ Els sis gasos contemplats pel Protocol són: CO₂, CH₄, N₂O, PFCs, HFCs i SF₆.

Europea, és molt destacable el fet que a Catalunya l'evolució de les emissions hagi estat encara més desfavorable.

Com a resultat, les emissions de CO₂ a Catalunya, lluny d'estabilitzar-se, han experimentat un important creixement respecte el nivell de 1990, any de referència per al Protocol de Kyoto, augmentant en un 60,11% des de llavors.

Un dels factors darrera l'evolució de les emissions al llarg d'un període a qualsevol economia és l'evolució de l'activitat econòmica que s'hagi produït. No obstant, el creixement econòmic pot produir-se per la major prosperitat econòmica dels seus habitants (majors nivells de consum), o simplement degut a un augment de la població. D'altra banda, les diferents tecnologies utilitzades en la producció poden fer que es contami més o menys en funció de la necessitat d'energia, o en funció del tipus d'energia que s'utilitzi. Per tant, existeixen múltiples factors que influeixen en el nivell d'emissions de CO₂, com el desenvolupament econòmic, el creixement demogràfic, el canvi tecnològic, les dotacions de recursos, les estructures institucionals, els models de transport, els estils de vida i el comerç internacional.

Una eina analítica utilitzada freqüentment per explorar quines són les principals forces motrius causants de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle és la identitat de Kaya (1989) (vegeu p.e., Yamaji et al., 1991). Segons aquesta identitat, les emissions d'un país es descomponen en el producte de quatre factors bàsics (que, alhora, es veuen influenciats per altres factors):

- L'índex de carbonització o intensitat de carboni de l'energia (definida com el CO₂ emès per unitat d'energia primària, $\frac{CO_{2t}}{E_t}$),
- la intensitat energètica (definida com l'energia primària per unitat de PIB, $\frac{E_t}{PIB_t}$),
- la renda econòmica (definida com el PIB per càpita, $\frac{PIB_t}{P_t}$), i
- la població (P_t)⁷.

$$CO_{2t} = \frac{CO_{2t}}{E_t} \cdot \frac{E_t}{PIB_t} \cdot \frac{PIB_t}{P_t} \cdot P_t$$

El primer component reflecteix la combinació de combustibles o fonts energètiques d'una economia, el segon està associat a l'eficiència energètica en la provisió de diferents béns i serveis, però també a d'altres factors, tenint especial rellevància el model de transport i l'estructura sectorial de l'economia, mentre que el tercer és una mesura de renda econòmica.

⁷ Aquesta identitat és una aplicació d'un enfocament més general per a discutir les forces determinants dels impactes ambientals, la identitat anomenada IPAT, que relaciona els impactes (I) amb la població (P) multiplicada per la aflluència o prosperitat econòmica (A) i la tecnologia (T).

El producte dels dos primers factors ens mostra la intensitat d'emissions del PIB ($\frac{CO_{2t}}{PIB_t}$) i si passéssim la població a l'esquerra de l'equació, tindríem la descomposició de les emissions per càpita ($\frac{CO_{2t}}{P_t}$).

L'enfocament dels factors de Kaya permet descompondre les emissions de CO₂ en les principals forces determinants d'aquestes emissions. No obstant, un dels seus inconvenients és que aquests principals factors determinants poden no ser independents entre sí (p.e., en assolir un major benestar econòmic podrien desenvolupar-se tecnologies més eficients gràcies a un major nivell de capital, fet que podria portar a menors intensitats energètiques).

La Taula 1 mostra l'evolució entre 1990 i 2004 dels diferents factors citats anteriorment.

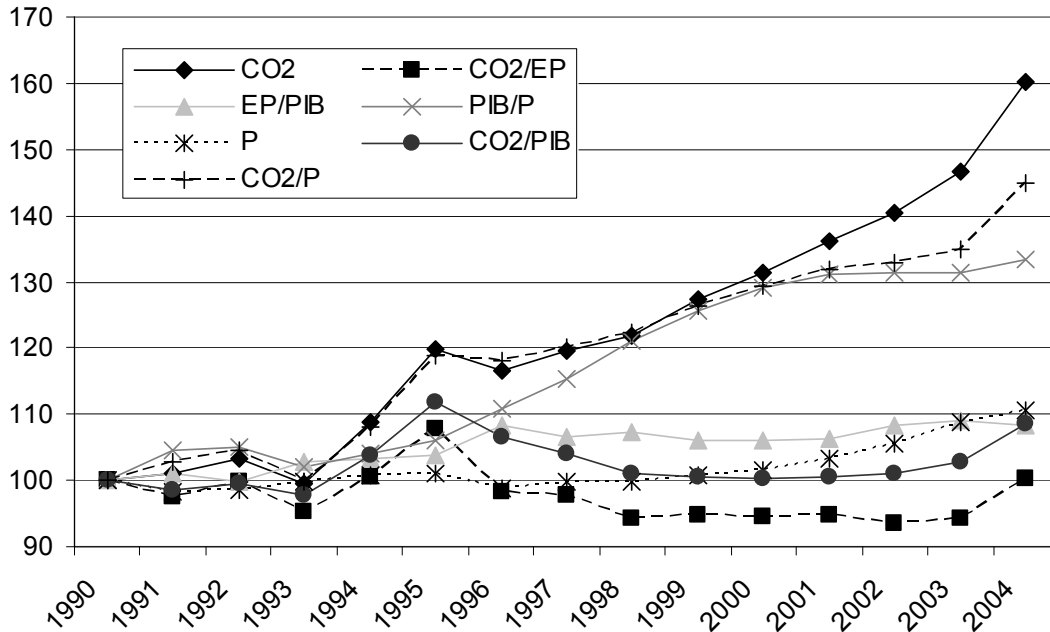
Taula 1: Descomposició de les emissions de CO₂ a Catalunya entre 1990 i 2004

Any	Emissions CO ₂	Factors de Kaya			Població P	Intensitat emissions del PIB CO ₂ /PIB	Emissions per capita CO ₂ /P
		Índex carbonització CO ₂ /E	Intensitat Energètica E/PIB	PIB per càpita PIB/P			
1990	29380,5	1,759	173,21	15,64	6165,6	304,69	4,77
1991	29711,4	1,714	175,04	16,34	6059,5	300,10	4,90
1992	30326,5	1,756	172,68	16,45	6082,0	303,20	4,99
1993	29266,5	1,674	177,95	15,95	6158,7	297,92	4,75
1994	31974,7	1,770	178,70	16,28	6208,6	316,36	5,15
1995	35230,3	1,895	179,91	16,60	6226,9	340,92	5,66
1996	34274,2	1,728	187,69	17,35	6090,0	324,40	5,63
1997	35143,2	1,718	184,62	18,03	6144,6	317,14	5,72
1998	35813,9	1,657	185,76	18,92	6147,6	307,88	5,83
1999	37414,5	1,668	183,74	19,66	6207,5	306,51	6,03
2000	38622,0	1,662	183,80	20,19	6262,0	305,42	6,17
2001	40008,2	1,665	184,19	20,51	6361,4	306,65	6,29
2002	41225,2	1,643	187,53	20,56	6506,4	308,20	6,34
2003	43101,7	1,656	188,98	20,54	6704,1	312,99	6,43
2004	47042,1	1,764	187,69	20,85	6813,3	331,07	6,90
% variació	60,11	0,27	8,36	33,35	10,50	8,66	44,89

Font: Elaboració pròpia a partir de les dades d'emissions del MMA, dades de població d'IDESCAT, dades PIB de l'INE, i els balanços d'energia facilitats per l'ICAEN.

Nota a les taules: Emissions en Ktn de CO₂; Població en milers d'habitants; Emissions per càpita en tones per habitant; Índex de carbonització en tones de CO₂ per tones d'energia primària en equivalent de petroli; Intensitat energètica en tones d'energia primària en equivalent de petroli per milió d'euros constants de 1995; Intensitat de carboni del PIB en tones de CO₂ per milió d'euros constants de 1995. En aquesta taula i les següents, el PIB per càpita s'expressa en milers d'euros constants de 1995.

Figura 2: Evolució de les emissions i dels diferents factors en números índex (100=nivell 1990)



Font: Elaboració pròpia a partir de MMA, IDESCAT, INE i els balanços d'energia facilitats per l'ICAEN.

Nota: EP indica energia primària; P indica població.

A la Taula 1 i la Figura 2 es pot observar com el principal factor que ha influït en el notable increment d'emissions ha estat l'augment en el PIB per càpita, amb un creixement del 33,35%. El creixement demogràfic també hauria contribuït de forma important a l'increment en les emissions totals, amb un augment del 10,5% en aquest factor; sobretot a partir de 1999, ja que a la dècada dels noranta la població va restar estable amb poques variacions.

No obstant, les diferències en població i en disponibilitat de béns i serveis no basten per explicar l'evolució de les emissions totals. De fet, el creixement econòmic no és suficient per explicar la important variació en les emissions per càpita al llarg del període, com mostra el major augment de les emissions per càpita, del 44,89%, respecte al 33,35% d'augment del PIB per càpita. És necessari analitzar les diferències en l'índex de carbonització i la intensitat energètica, que fan que la intensitat d'emissions del PIB sigui més gran al final del període de 15 anys analitzat. En concret, aquesta intensitat ha augmentat un 8,66% al llarg del període.

Diversos autors han discutit sobre la major importància de la intensitat energètica o l'índex de carbonització per explicar les diferents emissions i la seva evolució (vegeu Roca i Alcántara, 2002)⁸. No obstant, el debat sobre si un factor és més o menys important que l'altre en explicar l'evolució de la intensitat

⁸ Mielnik i Goldemberg (1999) qüestionen la major importància que, segons ells, s'ha donat a la intensitat energètica i destaquen el fet que la intensitat energètica segueix un patró històric més definit, mentre que l'índex de carbonització tindria un comportament amb major variabilitat i, per tant, explicaria millor les diferències al llarg del temps entre països. Ang (1999), en canvi, en resposta al comentari anterior, insisteix en la major importància de la intensitat energètica.

d'emissions del PIB, no és un debat massa rellevant, ja que no es pot generalitzar per al comportament de tots els països i l'evolució dels diferents factors dependrà del cas analitzat. Hi ha raons —i evidència empírica— que mostren que ambdós factors poden ser molt variables.

La intensitat energètica del PIB és un valor agregat que depèn de diversos factors, com l'estructura de la demanda de béns i serveis, l'eficiència energètica en la provisió dels diferents productes i els models de transport. La intensitat energètica pot variar molt al llarg del temps i ser molt diferent entre països amb similar nivell de renda per càpita, com es veu al Bloc 10.

Respecte a l'índex de carbonització, aquest depèn directament de la combinació de fonts energètiques que s'utilitzin. En el cas dels combustibles fòssils, el factor d'emissió del carbó és molt més gran que el del gas natural, mentre que en el cas de l'energia solar o eòlica els factors d'emissió són nuls (també en el cas de les nuclears, tot i que aquesta comportaria altres costos i riscos ambientals que fan que, en la nostra opinió, sigui una alternativa pitjor als combustibles fòssils)⁹. Per tant, els canvis en l'índex de carbonització mostren canvis en la combinació de fonts que s'utilitzen per obtenir energia.

Per tant, es pot afirmar que hi ha molts més factors que poden influir en la intensitat energètica que en l'índex de carbonització. Però això no implica que la intensitat energètica tingui necessàriament més importància. De fet, no és possible imaginar-se un sistema socioeconòmic on no s'utilitzi energia, però sí que podem imaginar-nos una situació on s'hagi produït la transició completa de combustibles fòssils a fonts d'energia renovables, com podria ser l'illa de El Hierro. De fet, aquest canvi és inevitable en el llarg termini, donada la condició de recursos no renovables dels combustibles fòssils i, com abans es faci la transició, majors seran els impactes ambientals negatius que s'evitarien.

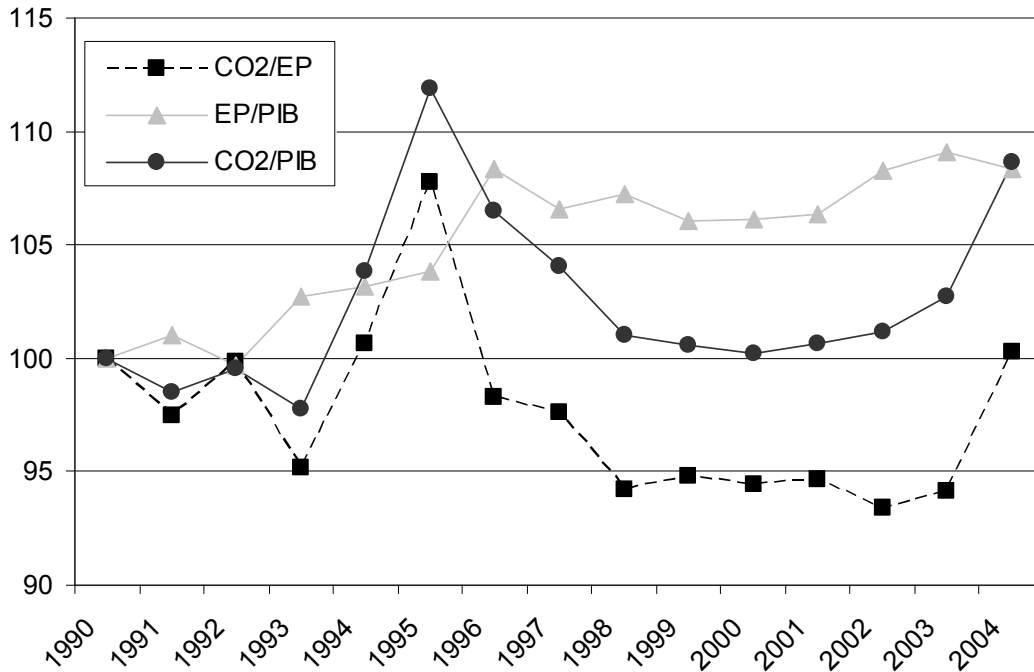
En el cas de Catalunya, i sense que sigui generalitzable per al debat citat, les dades mostren una major importància de l'evolució de la intensitat energètica per explicar el canvi en la intensitat d'emissions del PIB (emissions per unitat de PIB). De fet, gairebé tot l'augment de la intensitat d'emissions del PIB (8,66%) s'explicaria per l'augment de la intensitat energètica (8,36%), mentre que l'índex de carbonització gairebé és el mateix a l'inici i al final del període.

No obstant, aquest resultat, comparant únicament l'inici i el final del període, pot amagar la importància de l'índex de carbonització en l'evolució de les emissions. La figura 3 mostra clarament que és la major variabilitat que hi ha hagut en l'índex de carbonització la que explica, en gran part, les variacions experimentades al llarg el període per la intensitat d'emissions del PIB; tot i que al final del període coincideixi el canvi percentual produït en la intensitat d'emissions amb el de la intensitat energètica del PIB. L'evolució de l'índex de carbonització (és a dir, el canvi en el mix de fonts energètiques utilitzades) ha estat la principal causa de la reducció d'emissions per unitat de PIB que es va produir entre 1995 i 1998. De la mateixa manera, el fort increment d'aquest

⁹ De fet, les emissions també poden ser bastant importants si s'analitza el cicle de vida complet del combustible, incloent l'energia per a les plantes enriquidores o per a gestionar els residus, a més de l'emprada en la construcció de les centrals o en les mines d'urani.

índex entre 2002 i 2004, és la causa de l'augment que s'observa al final del període en la intensitat de carboni del PIB.

Figura 3: Intensitat d'emissions del PIB i els seus factors explicatius (100=nivell 1990)



Font: Elaboració pròpia a partir de MMA, INE i els balanços d'energia facilitats per l'ICAEN

Nota: EP indica energia primària

En bona part, el fet que no es redueixi la intensitat de carboni del PIB, i que fins i tot hagi augmentat, respon a la importància que ha tingut l'augment del transport per carretera al llarg del període, fet que ha compensat els guanys en eficiència que s'han produït a la indústria. El transport per carretera d'una banda fa un ús intensiu de l'energia, de manera que si augmenta dificulta que baixi la intensitat energètica, i de l'altra es nodreix amb el consum de combustibles fòssils, fet que dificulta que baixi l'índex de carbonització, contrarestant els canvis produïts en altres sectors on hi ha hagut substitució per combustibles que, com el gas natural, emeten menys CO₂. A més a més, mentre augmenta l'ús d'energia, el percentatge en l'oferta energètica que representen les centrals nuclears va disminuint (i previsiblement disminuirà molt més quan aquestes es comencin a tancar durant les properes dècades). Aquest fet, si no es substitueix la generació d'electricitat d'origen nuclear per energies netes, pressiona a l'alça l'índex de carbonització.

Els esforços per millorar l'eficiència energètica han d'ajudar a reduir les emissions de cara al futur, si bé aquesta també respon en bona part a l'evolució en l'estructura productiva; és a dir, de si la producció dels béns i serveis que veuen augmentada la seva demanda requereix més o menys energia que la producció dels que veuen reduïda la seva demanda en termes relatius. Ja hem comentat que els canvis en la intensitat energètica poden ser causats per molts més factors que els canvis en l'índex de carbonització, que bàsicament respon

a la combinació de fonts d'energia utilitzades. No obstant, a Catalunya també queda molt camí encara per recórrer en la substitució de combustibles fòssils per fonts d'energia alternatives. Els mercats d'emissions, imposant progressivament més limitacions als nivells d'emissions, o els impostos energètics, que han estat proposats en el passat en nombroses ocasions a la Unió Europea (vegeu Padilla i Roca, 2003) i que tractem al Bloc 9, podrien facilitar el canvi de combustibles, així com també reduir l'ús d'energia degut al seu major preu relatiu, tenint major o menor impacte en funció de les facilitats que es posen pel desenvolupament d'energies netes o de sistemes de transport públic que substitueixin al transport per carretera.

Alguns autors, com Sun (1999) analitzen la hipòtesi de la corba de Kuznets ambiental per a les emissions de CO₂. Aquesta hipòtesi, sorgida als primers noranta en diversos estudis, suggereix l'existència d'una relació en forma d'U invertida entre pressió ambiental i renda per càpita. En un primer estadi del desenvolupament econòmic el problema ambiental augmentaria conforme augmenta la renda per càpita, però s'arribaria a un punt a partir del qual la problemàtica disminueix amb el creixement econòmic¹⁰. No obstant, la hipòtesi, a més de tenir una base teòrica feble, tampoc s'ha vist gaire recolzada per l'evidència empírica (vegeu Roca et al., 2001; Roca i Padilla, 2003).

Sun defineix la hipòtesi com l'evolució de la intensitat d'emissions (el quocient entre emissions i PIB) seguint una funció en forma d'U invertida respecte al PIB per càpita. Segons Sun, la hipòtesi es compliria efectivament en alguns casos (ell analitza el cas de Xina), tot i que, sensatament, indica que el resultat no es podria generalitzar per altres països i que les conclusions no es podrien estendre a d'altres indicadors ambientals. Sun assumeix que l'índex de carbonització no canvia o que les seves variacions són suficientment petites, de manera que la forma funcional de l'evolució de les intensitats d'energia i d'emissions serien idèntiques. D'altra banda, Mielnik i Goldemberg (1999) assenyalen que la desvinculació entre consum d'energia i creixement econòmic, mesurada a través del comportament de la intensitat energètica, s'hauria de complementar —segons ells— amb l'anàlisi més rellevant de l'índex de carbonització.

Tant Sun com Mielnik i Goldemberg defineixen implícitament la desvinculació entre pressió ambiental i creixement econòmic com la reducció en la intensitat d'emissions quan augmenta l'ingrés. Es podria adoptar aquesta definició, però la qüestió rellevant des del punt de vista ambiental no és l'evolució en la intensitat d'emissions, sinó la tendència en el nivell absolut d'emissions.

En el cas d'alguns països, com a la Xina, s'ha reduït la intensitat d'emissions del PIB, fet que, de vegades, s'ha posat com a mostra de la desvinculació entre creixement econòmic i emissions de CO₂. No obstant, s'ha de tenir en compte que el que causa impacte en l'ecosistema no és la intensitat d'emissions del PIB, sinó la quantitat total de CO₂ que s'emet i que, per tant, fa variar les concentracions atmosfèriques i l'efecte hivernacle (a més dels altres efectes ambientals associats a la crema de combustibles). Seguint la terminologia de

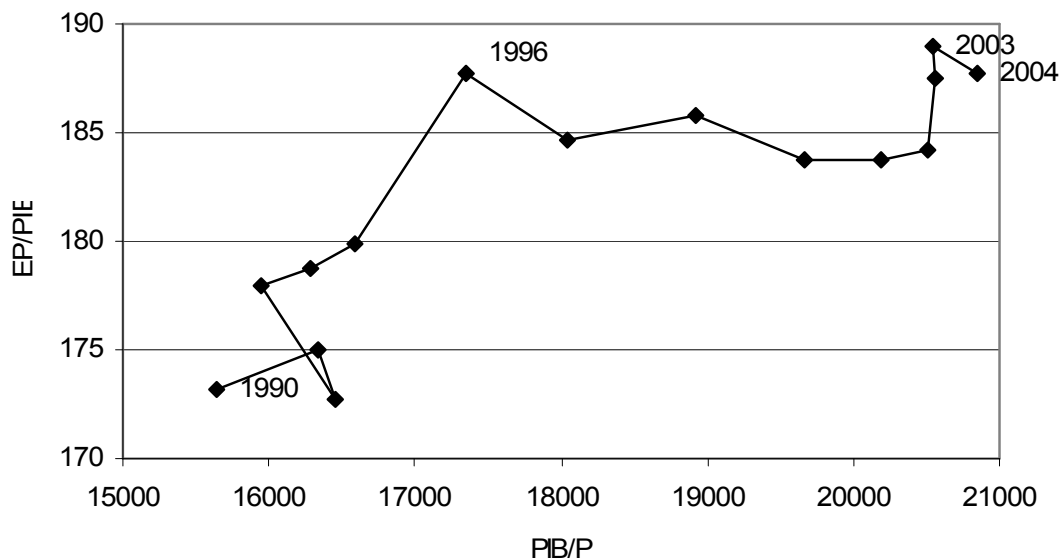
¹⁰ Aquesta hipòtesi s'ha donat a conèixer amb aquest nom per la seva similitud amb la relació trobada per Kuznets (1955) entre nivell de desigualtat i renda per càpita.

Bruyn i Opschoor (1997) el que és important pels ecosistemes no és la desvinculació relativa (“desvinculació feble”) entre emissions i creixement econòmic, sinó la desvinculació absoluta (“desvinculació forta”). És a dir, que l’augment del PIB no provoqui augments del flux d’emissions a l’atmosfera.

A Catalunya, de la mateixa manera que al conjunt espanyol, i al contrari del que ha passat en la majoria de països industrialitzats de l’OCDE, no s’ha produït una reducció en la intensitat energètica del PIB. És més, com ja hem vist, aquesta intensitat ha augmentat al llarg del període, amb el resultat que la intensitat de carboni del PIB també ha augmentat. A pesar dels guanys d’eficiència en l’ús d’energia als sectors industrials, el fort augment en l’ús d’energia per part del transport per carretera ha portat a aquest comportament.

En conclusió, en el cas de Catalunya no és possible parlar de desvinculació entre creixement econòmic i emissions de CO₂ en cap dels sentits esmentats, ja que tant les emissions totals com la intensitat d’emissions del PIB augmenten al llarg del període considerat. Aquest fet queda evidenciat en les Figures 4 a 6. Per tant, queda clar que cal aplicar les polítiques adequades orientades a millorar l’eficiència energètica i a reduir les emissions per unitat d’energia si volem evitar que el creixement econòmic continuï comportant majors emissions (tant absolutes, com per unitat de PIB).

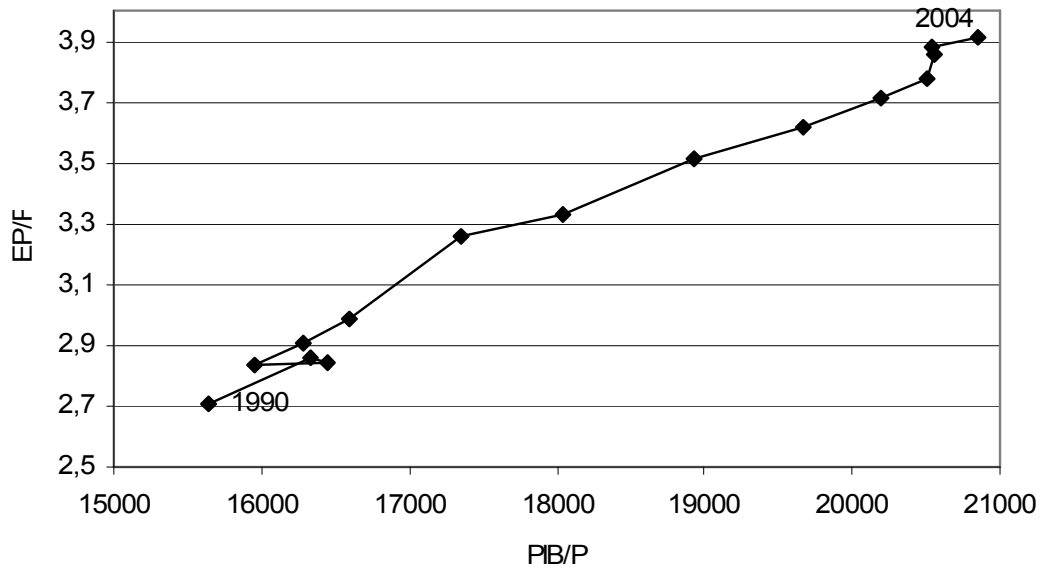
Figura 4: Relació entre la intensitat energètica del PIB (tep/10⁶ €) i el PIB per capita (€/hab)



Font: Elaboració pròpia a partir de IDESCAT, INE i els balanços d’energia facilitats per l’ICAEN

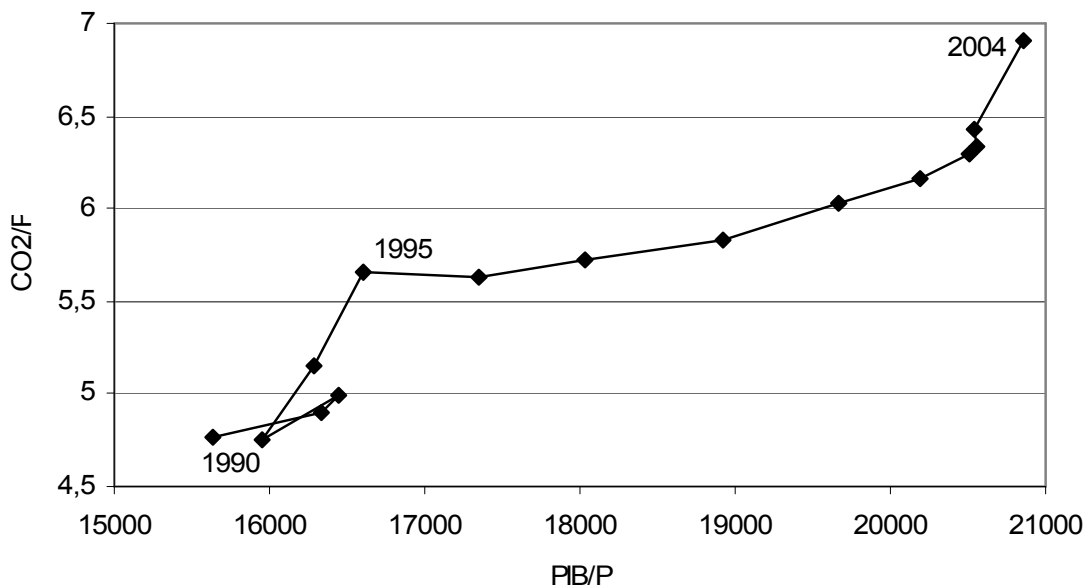
Nota: EP indica energia primària, P indica població

Figura 5: Relació entre l'ús d'energia primària per càpita (tep/hab) i el PIB per càpita (€/hab)



Font: Elaboració pròpia a partir de IDESCAT, INE i els balanços d'energia facilitats per l'ICAEN

Figura 6: Relació entre les emissions de CO₂ per càpita (tones/hab) i el PIB per càpita (€/hab)



Font: Elaboració pròpia a partir de MMA, IDESCAT, INE i els balanços d'energia facilitats per l'ICAEN.

3. La importància dels diferents processos emissors a Catalunya i comparació amb el conjunt de l'Estat

A la següent taula podem observar la composició per processos emissors de les emissions de CO₂ a Catalunya i les emissions totals espanyoles.

Taula 2: Emissions de CO₂ per grups de processos, 2004.

	Catalunya			Estat		
	CO ₂ (kt)	CO ₂ p cap. (tn)	%	CO ₂ (kt)	CO ₂ p.cap. (tn)	%
1 COMBUSTIÓ EN LA PROD. I TRANSF. D'ENERGIA	7587,6	1,11	16,13	114482,4	2,68	32,29
Centrals termoelectriques d'us públic	4495,6	0,66	9,56	99088,6	2,32	27,95
Plantes de refinament de petroli	2956,2	0,43	6,28	13397,9	0,31	3,78
Plantes de transformació de combustibles sòlids	0	0	0	1057,8	0,02	0,30
Mineria del carbó; extracció de petroli/gas; compr.	135,8	0,02	0,29	938,1	0,02	0,26
2 PLANTES DE COMBUSTIÓ NO INDUSTRIAL	4824,2	0,71	10,26	30222,5	0,71	8,52
Plantes de combustió comercial i institucional	1984,0	0,29	4,22	9027,9	0,21	2,55
Plantes de combustió residencial	2699,5	0,40	5,74	19438,9	0,46	5,48
Plantes de combustió a la agricultura, silvicultura i acuicultura	140,7	0,02	0,30	1755,7	0,04	0,50
3 PLANTES DE COMBUSTIÓ INDUSTRIAL	13823,7	2,03	29,39	68725,3	1,61	19,38
4 PROCESSOS INDUSTRIALS SENSE COMBUSTIÓ	4602,5	0,68	9,78	27782,3	0,65	7,84
Processos a la indústria de refinament de petroli	0,0	0,00	0,00	1969,9	0,05	0,56
Proc. a la indústria del ferro i l'acer i a les coqu.	89,7	0,01	0,19	1951,9	0,05	0,55
Processos a la indústria de metalls no ferris	0	0	0	1570,5	0,04	0,44
Processos a la indústria química inorgànica	0	0	0	666,0	0,02	0,19
Processos ind. de la fusta, p. de paper, alim., beg. i altres	4512,8	0,66	9,59	21624,0	0,51	6,10
Ciment (descarbonatació)	3926,6	0,58	8,35	16630,9	0,39	4,69
Vidre (descarbonatació)	0,1	0,00	0,00	1,2	0,00	0,00
Cal (descarbonatació)	187,8	0,03	0,40	1632,2	0,04	0,46
Altres (incloent la fabricació de productes d'amiant)	6,4	0,00	0,01	460,2	0,01	0,13
Ús de pedra calcària i dolomita	312,3	0,05	0,66	2206,8	0,05	0,62
Producció i ús de carbonat sòdic	79,5	0,01	0,17	692,7	0,02	0,20
5 EXTRACCIÓ I DISTRIBUCIÓ DE COMBUSTIBLES FÒSSILS I ENERGIA GEO.	0,3	0,00	0,00	0,5	0,00	0,00
6 ÚS DE DISOLVENTS I ALTRES PRODUCTES	228,6	0,03	0,49	1246,8	0,03	0,35
7 TRANSPORT PER CARRETERA	13153,5	1,93	27,96	90368,6	2,12	25,49
Turismes	6740,1	0,99	14,33	47048,5	1,10	13,27
Vehicles lleugers < 3,5 t	1865,3	0,27	3,97	12033,5	0,28	3,39
Vehicles pesats > 3,5 t i autobusos	4448,8	0,65	9,46	30857,3	0,72	8,70
Motocicletes i ciclomotors < 50 cm ³	12,4	0,00	0,03	82,3	0,00	0,02
Motos > 50 cm ³	86,9	0,01	0,18	347,0	0,01	0,10
8 ALTRES MODES DE TRANSPORT I MAQ. MÒBIL	2201,9	0,32	4,68	20520,4	0,48	5,79
9 TRACTAMENT I ELIMINACIÓ DE RESIDUS	619,8	0,09	1,32	1213,5	0,03	0,34
TOTAL	47042,1	6,90	100	354562,3	8,31	100

Font: Ministeri de Medi Ambient.

Podem destacar algunes de les diferències que hi ha entre Catalunya i el conjunt de comunitats autònomes respecte a les emissions classificades per processos emissors, tal i com els classifica l'inventari Corine-aire (vegeu Glossari).

Tenint en compte els percentatges que representen els diferents processos respecte al total d'emissions en cada cas, el més rellevant és el diferent pes que tenen els processos de combustió en la producció i transformació d'energia. A Catalunya aquests processos representen un percentatge del 16,13% respecte al total d'emissions, molt per sota del percentatge del conjunt de l'Estat, on pràcticament expliquen una tercera part de les emissions totals. En termes d'emissions per càpita, aquests processos generen 1,57 tones més per càpita al conjunt d'Espanya del que generen a Catalunya, sent les emissions per càpita per aquest concepte a Catalunya només un 42% del que representen al conjunt de l'Estat. La diferència s'explica pel pes de les centrals termoelèctriques (on les emissions per càpita espanyoles tripliquen a les de catalanes). La major dependència de l'energia nuclear en el cas de Catalunya, i l'existència de centrals tèrmiques de carbó molt contaminants a algunes comunitats autònomes, com és el cas de Galícia o Astúries, expliquen aquesta gran diferència. En canvi, a Catalunya les emissions per refinament de petroli tenen un pes relatiu bastant superior al del conjunt espanyol.

Respecte a les plantes de combustió no industrial, les diferències no són gaire importants, tot i que es pot destacar un major pes en el cas de Catalunya de les plantes de combustió comercial i institucional, és a dir, al sector comerç i als edificis de l'administració pública.

On sí ens trobem una diferència important de les emissions, en termes relatius i absoluts, és en les emissions de les plantes de combustió industrial. Aquests processos impliquen unes emissions per càpita de 2,03 tones per càpita front a 1,61 a la mitjana espanyola. És a dir, a Catalunya s'emeten 0,42 tones més per càpita causades pels processos de combustió industrial. Això és així a conseqüència del major pes que el sector industrial té a Catalunya, que fa que la participació total en les emissions sigui d'un 29,39% front a un 19,39% al conjunt espanyol.

Els processos industrials sense combustió també tenen un major pes i unes majors emissions per càpita a Catalunya. En concret, les emissions per càpita atribuïbles a les cimenteres són un 50% superiors a Catalunya; sent 0,2 tn per càpita superiors a les del conjunt de l'Estat espanyol.

Finalment, en el cas del transport per carretera, si bé a Catalunya representen un percentatge una mica més gran, no s'aprecien diferències rellevants en les emissions per càpita. Més aviat, les emissions per càpita són lleugerament inferiors. Llavors, el major pes d'aquestes emissions respecte al total seria resultat de les menors emissions totals per càpita al cas català que, com hem dit, es deuen sobretot al menor pes absolut dels processos de producció i transformació d'energia.

4. Evolució de les emissions de CO₂ vinculades al consum d'energia per a usos energètics

Les emissions de CO₂ s'expliquen, principalment, per l'ús d'energia fòssil. Tanmateix, no totes les fonts d'energia primària d'aquest tipus tenen els mateixos factors d'emissió (contingut de carboni per unitat física utilitzada), com tampoc l'eficiència en el seu ús i transformació és la mateixa. D'altra banda, és evident que les emissions totals generades per una societat dependran en última instància del volum d'energia consumit per a usos finals. Naturalment, l'estructura de producció i consum de la societat, així com la major o menor cura en la seva utilització, són factors força rellevants a l'hora d'explicar la quantitat d'energia final consumida. No obstant això, aquests darrers aspectes no seran tinguts en compte en l'anàlisi que portarem a terme en aquestes planes. El treball desenvolupat en aquest apartat segueix una línia d'investigació paral·lela a la realitzada al Bloc 3, considerant com a data base la mitjana del període 1990–92 i, com a data final, la mitjana del període 2003–2005, a fi i efecte d'evitar aspectes conjunturals que podrien desvirtuar els resultats. I es basa, com el Bloc 3, en la metodologia desenvolupada en Alcántara i Roca (1995).

Encara que l'anàlisi desenvolupada en els apartats anteriors d'aquest bloc està basada en la informació que proporciona l'inventari Corine-aire, per tal de fer comparacions amb la resta de l'Estat espanyol, en aquest solament tindrem en compte les emissions vinculades al consum d'energia per a usos energètics. D'altra banda, només es consideraran les emissions de CO₂ relacionades amb el carbó, petroli, derivats de petroli utilitzats com a font primària i el gas natural. Altres elements, com ara el biogàs, biodièsel, i determinats residus, no han estat tinguts en compte donada la seva poca importància relativa. Les nostres estimacions són força semblants a les obtingudes al Pla de l'Energia de Catalunya i per tant, aquestes omissions no afectaran als resultats obtinguts.

Per al nostre treball hem partit dels balanços energètics de Catalunya i tot el que s'ha dit sobre aquesta font a l'apartat 1 del Bloc 3 és vàlid aquí. Pel que fa als factors d'emissió hem fet servir els proposats per l'IPCC (1996). En el cas del petroli cru i el gas natural hem aplicat els factors d'emissió de carboni recomanats per aquesta institució: 20,0 t C/TJ en el cas del cru i 15,3 t C/TJ per al gas natural. Per al carbó i al saldo dels derivats de petroli, que tal com s'explica al bloc 3, és la suma dels mateixos que es fan servir com a energia primària, hem utilitzat un factor d'emissió de carboni que és la mitjana ponderada d'aquells emprats a Catalunya. A partir d'aquí la conversió a factors d'emissió de CO₂ és immediata.

Els factors d'emissió estimats són els de la taula següent (Taula 3):

Taula 3: Factors d'emissió CO₂/tep (en tones de CO₂ per tep)

	1990-92	2003-05
Carbó	4,01	3,99
Petroli cru	3,04	3,04
Saldo derivats de petroli	4,42	3,12
Gas natural	2,34	2,34

Font: Elaboració pròpia a partir de IPCC (1996), vegeu text

En primer lloc, determinarem les emissions corresponents a tots dos períodes, tant per sectors com per fonts energètiques primàries. Seguint la nomenclatura utilitzada en el Bloc 3, anomenarem **E** a una matriu ($j \times s$), on j és el nombre de fonts primàries considerades (16, tal com veiem a l'esmentat Bloc 3) i s el nombre de sectors econòmics considerats a la nostra anàlisi (5 en el nostre cas: primari, indústria, serveis, transport i domèstic). Així doncs, la nostra matriu **E** és de dimensió 16×5 .

El nostre punt de partida és l'expressió matricial del Bloc 3:

$$E_t = T_t P_t \hat{C}_t \quad (1)$$

La matriu **T** és un operador lineal que transforma l'energia final utilitzada en l'energia primària necessària per a obtenir-la, d'ordre ($j \times k$), on k és el nombre d'energies finals emprades. La matriu **P** representa els pesos de les energies finals consumides per cada sector al total del seu consum, té doncs una dimensió ($k \times s$). Per últim, \hat{C} és una matriu diagonal que té a la seva diagonal principal els consums energètics totals finals dels s sectors considerats. És doncs d'ordre ($s \times s$). t és el període corresponent.

Definint ara una nova matriu diagonal \hat{F} que té els factors d'emissió corresponents a les n fonts d'energia analíticament considerades (4 en el nostre cas) a la diagonal principal i zeros a la resta, podem determinar la següent matriu **Q**:

$$Q_t = \hat{F}_t E_t = \hat{F}_t T_t P_t \hat{C}_t \quad (2)$$

En la qual, per a un moment determinat, el seu element característic $Q_{ig,t}$ expressa les emissions de CO₂ generades pel sector g degudes a les necessitats d'energia de tipus i . Evidentment, $i \in n$, $g \in s$ i l'ordre de la matriu és ($n \times s$).

La computació de l'expressió (2), tenint en compte els factors d'emissió anteriors i les necessitats d'energia primària sectorial obtinguts al Bloc 3, ens donaria, per als dos períodes de temps considerats, les matrius de les taules 4 i 5:

Taula 4: Emissions de CO₂ (kt) mitjanes en el període 1990 – 92

	Primari	Indústria	Serveis	Transport	Domèstic
Carbó	8,9	1376,7	192,3	23,0	210,6
Petroli	1317,4	4050,1	842,0	11992,2	1492,5
SDP*	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gas	10,2	2875,6	496,6	17,6	996,5

Nota: * Saldo derivats de petroli

Font: Elaboració pròpia a partir d'ICAEN i la metodologia explicada al text

Taula 5: Emissions de CO₂ (kt) mitjanes en el període 2003– 05

	Primari	Indústria	Serveis	Transport	Domèstic
Carbó	8,2	449,1	251,5	19,5	179,4
Petroli	1336,6	3057,2	622,2	13588,8	915,1
SDP*	627,0	1434,1	291,9	6374,4	429,3
Gas	90,3	7744,9	2765,5	231,8	3401,1

Nota: * Saldo derivats de petroli

Font: Elaboració pròpia a partir d'ICAEN i la metodologia explicada al text

Considerarem a continuació els canvis globals operats entre els dos moments. Ho farem en primer lloc des d'una perspectiva global i, en segon lloc analitzarem els efectes que expliquen els canvis que han tingut lloc en els darrers quinze anys.

5. Una perspectiva general de les emissions totals de CO₂ vinculades al consum d'energia

Al llarg del període considerat en aquesta anàlisi les emissions de CO₂ vinculades al consum d'energia per a usos energètics experimentaren un creixement percentual total del 69,2%. Aquest és un increment, com hem vist a l'apartat anterior, força superior al de la resta de l'Estat. Ens interessa en primer lloc veure els grans canvis operats per a explicar aquest creixement tan important de les emissions. Ho farem, en primer lloc, des d'una perspectiva global, tant des del punt de vista de les fonts d'energia emissores aquí considerades com des d'un punt de vista sectorial.

5.1. Les fonts d'emissió i el seu comportament

Si a les Taules 4 i 5 sumem les files obtenim les emissions corresponents a cada font d'energia, que es mostren a la Taula 6. El lector ha de tenir en compte, a l'hora de comparar aquesta informació amb els resultats del Bloc 3, que es tracta de les emissions de CO₂ excloent-hi l'energia primària que es destina a usos no energètics. Per tant, aquí farem una valoració respecte de les necessitats d'energia primària (les quatre fonts més importants des de la perspectiva del CO₂: carbó, petroli cru, derivats de petroli importats i gas natural) vinculades als usos finals d'energia dels sectors econòmics per a usos energètics.

Taula 6: Estimació de les emissions de CO₂ per fonts d'energia primària

	1990-92	2003-05	Variació	
	Milers de tones (kt)		%	
Carbó	1811,5	907,7	-903,9	-49,9
Petroli	19694,3	19519,9	-174,4	-0,9
SDP	0	9156,6	9156,6	---
Gas	4396,6	14233,5	9836,9	223,7
Total	25902,4	43817,7	17915,3	69,2
	Distribució sectorial %		Contribució a la variació total %	
Carbó	7,0	2,1	-3,5	
Petroli	76,0	44,5	-0,7	
SDP	0	20,9	35,4	
Gas	17,0	32,5	38,0	
Total	100,0	100,0	69,2	

Font: Elaboració pròpia a partir de les dades de l'ICAEN, segons la metodologia explicada al text

Com veiem, aquestes emissions han passat de 25.902,4 kt. a 43.817,7 kt. i això es deu a l'increment experimentat pel gas natural i els derivats de petroli. No ha de sorprendre la contribució negativa del carbó, ja que ha perdut importància com a font d'energia primària. En el cas del petroli cru l'explicació està en què s'ha "substituit" en gran part per importacions de derivats de petroli ja refinats, Seria injust atorgar una culpabilitat sense matisacions al gas natural, que ha augmentat de forma molt considerable, ja que el factor d'emissió per tona

equivalent de petroli (tep) és molt menor que en els altres combustibles fòssils, com veiem al quadre de factors d'emissió anterior (Taula 3). No obstant, aquestes qüestions es posaran de manifest a l'anàlisi posterior.

La Taula 6 mostra clarament els canvis que s'han produït en la substitució de combustibles només comparant l'estructura de les emissions. La participació de les emissions del gas natural pràcticament s'ha multiplicat per dos, passant a representar el 32,5% del total. D'altra banda, el 20,9% de participació del saldo de derivats de petroli (SDP d'ara en davant) compensa en certa manera la disminució de la participació del petroli cru. L'únic que sembla mostrar és que aquells derivats utilitzats en la producció d'energia final que eren produïts a l'interior de Catalunya, han estat substituïts per productes importats. Una forma més adient de veure la rellevància d'aquests canvis és calcular la contribució positiva o negativa en termes relatius de cada font energètica. En tenim prou en calcular, com es mostra a la part inferior de l'última columna de la taula, el percentatge que suposa la variació a les seves emissions d'una determinada font sobre les emissions totals del període base (en el nostre cas 1990-92). Queda clar que les variacions en la disminució de les emissions vinculades al carbó i el petroli no han contribuït ni de bon tros a compensar els increments experimentats pel SDP i el gas natural, d'aquí l'important increment de les emissions de CO₂ totals.

Passem ara a analitzar d'una forma també molt general l'evolució de les emissions totals des d'una perspectiva sectorial.

5.2. Els canvis operats en els sectors econòmics

Partirem com en el cas anterior de les Taules 4 i 5. Si ara sumem les columnes d'aquestes taules, el que obtenim són les emissions de CO₂ relacionades amb els cinc sectors econòmics analíticament considerats. La Taula 7 replica per tant la Taula 6 per sectors d'activitat:

Taula 7: Estimació de les emissions sectorials de CO₂				
	1990-92	2003-05	Variació	
	Milers de tones (kt)			%
Primari	1336,6	2062,1	725,5	54,3
Indústria	8302,5	12685,3	4382,8	52,8
Serveis	1530,9	3931,1	2400,2	156,8
Transport	12032,8	20214,4	8181,6	68,0
Domèstic	2699,6	4924,9	2225,3	82,4
Total	25902,4	43817,7	17915,3	69,2
	Distribució sectorial %			Contribució a la variació total %
Primari	5,2	4,7	2,8	
Indústria	32,1	29,0	16,9	
Serveis	5,9	9,0	9,3	
Transport	46,5	46,1	31,6	
Domèstic	10,4	11,2	8,6	
Total	100,0	100,0	69,2	

Font: Elaboració pròpia a partir de les dades d'ICAEN, segons la metodologia explicada al text

Si ens fixem en la part superior de la taula, on es mostren les taxes de creixement dels diferents sectors sobre la seva situació al període base, el sectors serveis i les llars apareixen com els de major creixement, i estaríem temptats d'atribuir-los una gran responsabilitat en el creixement de les emissions en el període de temps analitzat. Tanmateix, queda clar que el transport és el gran responsable directe de les emissions de CO₂, encara que és cert que els serveis i les llars han incrementat la seva participació a la distribució de les emissions entre sectors. El sector serveis ha passat de representar el 5,9% en 1990-92 al 9% en 2003-05; una variació de 3 punts, pràcticament la disminució de la indústria, mentre que no arriba a l'u per cent el canvi en el pes relatiu de les llars.

El que hem considerat al final de l'anterior paràgraf desmitifica una mica la importància que podríem atribuir als sectors domèstic i dels serveis. Això no podria ésser d'altra manera atès que el consum energètic d'aquests sectors –i també les necessitats d'energia primària- és molt inferior als de la indústria i el transport. No obstant això, cal recordar que la base material sobre la que es manté tant el consum del sector residencial com les activitats de serveis comporten una substancial responsabilitat de part de les emissions de la indústria pels efectes d'arrossegament que comporten (vegeu Alcántara i Padilla, 2006): per exemple, les necessitats energètiques del sector de producció d'automòbils i de la construcció de carreteres s'explica pel transport.

Convé veure ara quins factors participen i quin paper juguen en l'explicació de l'evolució d'aquestes emissions, que s'analitzarà a la secció següent.

6. Efectes explicatius de l'evolució de les emissions de CO₂ vinculades a l'ús d'energia: Metodologia, aplicació i resultats

Al començament d'aquest bloc parlàvem del paper que tenen tant les quantitats d'energia consumides com l'eficiència en el seu ús, i de la rellevància dels factors d'emissió dels diferents tipus d'energia consumida. Aquest últim aspecte atorga una importància cabdal a la substitució de fonts al *mix* energètic.

La descomposició en factors explicatius de l'evolució de les emissions de CO₂, segueix la metodologia ja explicada al Bloc 3 en referir-nos al consum energètic. Les referències bibliogràfiques allí esmentades són ara també pertinents.

6.1. Metodologia

Com hem vist abans, l'expressió (2) que reescrivim com segueix:

$$\mathbf{Q}_t = \hat{\mathbf{F}}_t \mathbf{T}_t \mathbf{P}_t \hat{\mathbf{C}}_t \quad (3)$$

ens diu que les emissions en un moment del temps t , donades per la matriu \mathbf{Q} depenen almenys de quatre factors, a saber: de les emissions per unitat d'energia (factors de emissió) que a l'equació (3) estan representats per la matriu diagonal \mathbf{F} ; un operador lineal que transforma l'energia final en primària \mathbf{T} ; el *mix* de energia final consumida \mathbf{P} ; i les quantitats totals utilitzades i íntimament relacionades amb els nivells d'activitat sectorial. Per a un període de temps $[0, t]$, l'increment experimentat per les emissions vindrà donat per

$$\Delta \mathbf{Q} = \hat{\mathbf{F}}_t \mathbf{T}_t \mathbf{P}_t \hat{\mathbf{C}}_t - \hat{\mathbf{F}}_0 \mathbf{T}_0 \mathbf{P}_0 \hat{\mathbf{C}}_0 \quad (4)$$

Aquest increment es pot descompondre additivament, utilitzant alguna de les moltes tècniques de descomposició existents, de manera que cada sumand mostri la quantitat de la variació atribuïble a les variacions experimentades pels diferents factors explicatius de les emissions. En el nostre cas:

$$\Delta \mathbf{Q} = \Delta \hat{\mathbf{F}}_{efecte} + \Delta \mathbf{T}_{efecte} + \Delta \mathbf{P}_{efecte} + \Delta \hat{\mathbf{C}}_{efecte} \quad (5)$$

Anomenarem al primer sumand a la dreta de l'expressió **Efecte carbonització**¹¹. Aquest mostra el canvis a les emissions per els canvis operats dins d'alguns grups de productes. Per exemple, el factor d'emissió del carbó és una mitjana ponderada que depèn del tipus de carbons utilitzats. El mateix passa amb els derivats de petroli, com podeu veure a la taula de factors d'emissió (Taula 3). El segon, **Efecte transformació**, explica les variacions

¹¹ El terme carbonització es equívoc i ha estat objecte de discussió. Per a una clarificació vegeu Roca i Alcántara (2001) i (2002), així com Ang (1999)

degudes als canvis en l'estructura de la transformació energètica. En realitat aquest efecte mostra un doble aspecte, tant els canvis operats des de la perspectiva dels combustibles utilitzats com el grau d'eficiència assolit en la transformació. Les variacions experimentades a les diferents fonts utilitzades pels sectors productius, la variació del *mix* energètic sectorial, ve donat pel tercer sumand i l'anomenem **Efecte substitució**. Per últim, el darrer sumand a la dreta de l'expressió (5) l'anomenarem **Efecte activitat**, per seguir la terminologia emprada al Bloc 3, encara que aquest terme pot ser equívoc i podria utilitzar-se el de nivell de consum energètic. D'una banda mostra el consum d'energia corresponent a la pròpia expansió de l'economia i, de l'altra, l'eficiència en l'ús de l'energia deguda a les variacions per unitat de producte obtingut (intensitat energètica final), així com per l'estructura de la producció, tal com es posa de manifest a Alcántara i Roca (2003,1996).

A la literatura sobre aquesta temàtica existeix un ampli ventall de mètodes de descomposició en efectes per tal d'estimar els factors que proposem a l'expressió (5)¹². Des d'un punt de vista matricial el millor mètode, a la vegada senzill de calcular i rigorós, és el proposat per Sun (1998) i que ja hem fet servir al Bloc 3, però ampliat a un factor més.

Les expressions serien ara les següents:

Efecte carbonització

$$\begin{aligned} \hat{\Delta F}_{efecte} = & \hat{\Delta F} T_0 P_0 \hat{C}_0 + 1/2(\hat{\Delta F} \Delta T P_0 \hat{C}_0 + \hat{\Delta F} T \Delta P_0 \hat{C}_0 + \hat{\Delta F} T P_0 \Delta \hat{C}_0) + \\ & 1/3(\hat{\Delta F} \Delta T \Delta P_0 \hat{C}_0 + \hat{\Delta F} T \Delta P_0 \Delta \hat{C}_0 + \hat{\Delta F} \Delta T P_0 \Delta \hat{C}_0) + (1/4)(\hat{\Delta F} \Delta T \Delta P_0 \Delta \hat{C}_0) \end{aligned}$$

Efecte transformació

$$\begin{aligned} \hat{\Delta T}_{efecte} = & \hat{F} \Delta T_0 P_0 \hat{C}_0 + 1/2(\hat{\Delta F} \Delta T P_0 \hat{C}_0 + \hat{F} \Delta T \Delta P_0 \hat{C}_0 + \hat{F} \Delta T P_0 \Delta \hat{C}_0) + \\ & 1/3(\hat{\Delta F} \Delta T \Delta P_0 \hat{C}_0 + \hat{F} \Delta T \Delta P_0 \Delta \hat{C}_0 + \hat{\Delta F} \Delta T P_0 \Delta \hat{C}_0) + (1/4)(\hat{\Delta F} \Delta T \Delta P_0 \Delta \hat{C}_0) \end{aligned}$$

Efecte substitució

$$\begin{aligned} \hat{\Delta P}_{efecte} = & \hat{F} T_0 \Delta P_0 \hat{C}_0 + 1/2(\hat{\Delta F} T \Delta P_0 \hat{C}_0 + \hat{F} \Delta T \Delta P_0 \hat{C}_0 + \hat{F} T \Delta P_0 \Delta \hat{C}_0) + \\ & 1/3(\hat{\Delta F} \Delta T \Delta P_0 \hat{C}_0 + \hat{F} \Delta T \Delta P_0 \Delta \hat{C}_0 + \hat{\Delta F} T \Delta P_0 \Delta \hat{C}_0) + (1/4)(\hat{\Delta F} \Delta T \Delta P_0 \Delta \hat{C}_0) \end{aligned}$$

¹² A banda de les rellevants revisions citades al Bloc 3, Ang i Zhang (2000) i Hoekstra (2005), caldria tenir en compte els treballs de Choi i Ang (2003), a partir de l'important recull sobre el tema de Bunn (2000) i Liu i Ang (2003).

Efecte activitat

$$\hat{\Delta C}_{efecte} = \hat{F} T_0 P_0 \Delta \hat{C}_0 + 1/2(\hat{\Delta F} T P_0 \Delta \hat{C}_0 + \hat{F} \Delta T P_0 \Delta \hat{C}_0 + \hat{F} T \Delta P_0 \Delta \hat{C}_0) + 1/3(\hat{\Delta F} \Delta T P_0 \Delta \hat{C}_0 + \hat{F} \Delta T \Delta P_0 \Delta \hat{C}_0 + \hat{\Delta F} T \Delta P_0 \Delta \hat{C}_0) + (1/4)(\hat{\Delta F} \Delta T \Delta P_0 \Delta \hat{C}_0)$$

6.2. Aplicació i resultats

Els resultats del càlcul d'aquests efectes a partir de la informació del Bloc 3, afegint els factors d'emissió estimats, es troben a l'annex I i en forma resumida els presentem a les taules 8 i 9. Comentarem, en primer lloc, els efectes que expliquen l'evolució de les emissions de CO₂ al llarg del període considerat, atenent als canvis operats a les fonts energètiques responsables d'aquestes emissions.

Taula 8: Contribució dels principals tipus d'energia fòssil

Efectes en milers de tones (kt)					
	Carbonització	Transformació	Substitució	Activitat	Total
Carbó	-6,0	-436,3	-1149,2	687,6	-903,9
Petroli	0	-8657,3	-1929,1	10412,1	-174,4
SDP*	-1698,9	9146,2	-450,9	2160,2	9156,6
Gas natural	0	3662,9	2160,2	4013,8	9836,9
Total	-1704,9	3715,4	-1368,9	17273,7	17915,3
Distribució %	-9,5	20,7	-7,6	96,4	100,0

Contribució dels efectes al creixement de les emissions (% de les emissions totals inicials)					
	Carbonització	Transformació	Substitució	Activitat	Total
Carbó	-0,02	-1,68	-4,44	2,65	-3,49
Petroli	0,00	-33,42	-7,45	40,20	-0,67
SDP*	-6,56	35,31	-1,74	8,34	35,35
Gas natural	0,00	14,14	8,34	15,50	37,98
Total	-6,58	14,34	-5,28	66,69	69,16

Nota: * Saldo derivats de petroli utilitzats

Font: Elaboració pròpia a partir de les dades de l'INE i ICAEN, segons la metodologia explicada al text

Dels resultats cal destacar que l'increment de les emissions està pràcticament, explicat per l'increment del consum energètic, que hem anomenat efecte activitat. La contribució a la variació total és del 96,4%.

A fi que el lector faci una interpretació correcta dels resultats, farem una primera anàlisi del cas del petroli. Si ens fixem a la columna total, aquesta font d'energia primària ha tingut un efecte total negatiu i, tanmateix, el valor que veiem a la columna de l'efecte activitat és altíssim i té una contribució en el creixement de les emissions totals del 40,2%. Això vol dir, i d'aquí la importància de la descomposició en factors explicatius, que si no s'haguessin donat altres circumstàncies i tot hagués continuat igual, aquest hagués estat l'impacte de l'ús del petroli cru. No obstant això, la substitució del petroli per altres vectors energètics (efecte substitució) i el seu menor ús en la

transformació d'energia primària a energia final (efecte transformació) han contrarestat l'efecte activitat. De no haver-se donat aquests canvis, la contribució total del petroli hauria estat la més important i amb un impacte molt fort, donada la importància que el petroli tenia al principi del període al sistema energètic català. L'efecte carbonització és nul perquè el factor d'emissió és el mateix i la seva variació nul·la. Per tant, la contribució negativa s'explica, en aquest cas, per la importància dels efectes transformació i substitució.

En el cas del carbó, l'impacte de l'efecte activitat és relativament petit perquè el seu nivell d'ús de partida ja era molt baix, per la qual cosa, encara que tot hagués continuat igual l'increment dels usos energètics sectorials a penes si haguessin tingut impacte. D'altra banda, els canvis operats en el tipus de carbons utilitzats han fet disminuir, encara que de forma molt petita, el factor mitjà d'emissió i, per tant, l'efecte carbonització és negatiu. Per un altre costat, tant la substitució del carbó com a font energètica final sectorial com el menor ús del mateix a la transformació d'energia ha contribuït a que els efectes substitució i transformació, junt a la menor carbonització, hagin estat més que suficients per a compensar l'efecte activitat, donant lloc a una contribució a la variació de les emissions total del -3,5%.

En quant als derivats del petroli, l'efecte més important és l'efecte transformació. Mentre l'efecte substitució és negatiu, és a dir, els sectors productius han reduït els seus consums finals de derivats de petroli (igual que ho han fet en el cas del carbó i el petroli)¹³, els derivats de petroli compensen amb escreix la disminució del petroli al sector energètic de Catalunya. En tant que el petroli ha contribuït des de la perspectiva de la transformació, és a dir, per ser font d'energia primària per a l'obtenció d'energia final, a una disminució potencial de les emissions del 33,42%, els derivats de petroli han contribuït al seu increment en un 35,31%. Això sí, tenint en compte que el factor d'emissió d'aquests productes és una mitjana ponderada dels utilitzats, la disminució d'aquest factor d'emissió ha donat lloc a una disminució del 6,65%.

Pel que fa a les emissions vinculades al consum de gas natural, el seu creixement total com ja vam veure amb anterioritat, són les que experimenten un major creixement. No solament quant al seu efecte activitat, que és realment important, sinó també pel que fa als efectes transformació, amb una contribució al creixement total del 14,14%, i substitució, amb un increment relatiu del 8,34%, que unit al 15,5% de l'efecte activitat dona lloc a un impacte en l'augment total de les emissions respecte al període base del 37,98%.

Després del que hem dit del gas natural, convé fer algunes matisacions per a no caure en confusions. Els increments positius dels efectes transformació i substitució del gas natural es deuen a que aquest combustible s'utilitza per a substituir altres combustibles fòssils tant en el sistema energètic per a la producció d'energia elèctrica, com en l'ús final dels diferents sectors econòmics considerats. Encara que després comentarem aquesta qüestió des d'una perspectiva sectorial, el lector pot veure clarament a l'Annex I, a la part del quadre referit a l'efecte substitució, la importància en les emissions de CO₂ de

¹³ El lector pot verificar aquesta afirmació consultant l'annex I, al final d'aquest bloc, on apareixen de forma completa les matrius dels diferents efectes.

la substitució d'aquest combustible per altres, principalment en el cas de la indústria, els serveis i el sector domèstic. Encara que això no és positiu en sí mateix podem considerar que ha estat un aspecte relativament positiu el canvi d'altres combustibles pel gas natural. Considerem el següent: si a la Taula 8 sumem les emissions “estalviades”, diguem-ne, per la substitució, aquestes ascendeixen a 3.529,1 kt. de CO₂, mentre que l'increment d'emissions del gas natural pel mateix motiu, al prendre el relleu d'aquella substitució, ascendiren a 2.160,3 kt. de CO₂. Això es deu al menor coeficient d'emissió de CO₂ per tep d'aquest gas. L'efecte carbonització, és clar, igual que passava amb el petroli, és nul perquè el factor d'emissió és el mateix en ambdós períodes de temps.

6.3. Els efectes explicatius des de la perspectiva dels sectors econòmics

Podem ara abordar l'anàlisi des del punt de vista dels cinc sectors econòmics aquí considerats. Això ens permetrà adonar-nos del paper jugat pels diferents sectors als canvis que acabem de veure a les distintes fonts energètiques. Completant i, en alguns casos, aclarint encara més els resultats abans comentats.

Elaborarem per això la següent taula (Taula 9), molt semblant a l'anterior però donant ara èmfasi als sectors.

Taula 9: Efectes explicatius de la contribució sectorial a la variació de les emissions

Efectes en milers de tones (kt)					
	Carbonització	Transformació	Substitució	Activitat	Total
Primari	-115,3	96,4	-17,7	762,1	725,5
Indústria	-290,6	1411,4	-706,7	3968,8	4382,8
Serveis	-62,1	834,4	-242,4	1870,4	2400,2
Transport	-1141,2	698,3	-65,0	8689,4	8181,6
Domèstic	-95,7	675,0	-337,1	1983,1	2225,3
Total	-1704,9	3715,4	-1368,9	17273,7	17915,3
Distribució %	-9,5	20,7	-7,6	96,4	100,0
Contribució dels efectes al creixement total de les emissions (%)					
Primari	-0,45	0,37	-0,07	2,94	2,80
Indústria	-1,12	5,45	-2,73	15,32	16,92
Serveis	-0,24	3,22	-0,94	7,22	9,27
Transport	-4,41	2,70	-0,25	33,55	31,59
Domèstic	-0,37	2,61	-1,30	7,66	8,59
Total	-6,58	14,34	-5,28	66,69	69,16

Font: Elaboració pròpia a partir de les dades de l'INE i ICAEN, segons la metodologia explicada al text

Des d'una perspectiva sectorial l'increment de l'efecte activitat sí que juga un paper important. En aquest cas, i tal com s'explica a la metodologia al Bloc 3, el que mostra és l'efecte d'arrossegament que l'ús final de l'energia opera als consums d'energia primària. Si pensem, atenent a la informació recollida en aquell bloc, que l'energia elèctrica d'ús final va créixer de l'ordre d'un 50% i els refinats de petroli entorn al 67% al llarg del període, no és estrany que la

contribució d'aquest efecte activitat equivalgui a un 96,4% del creixement de les emissions totals com ja hem assenyalat anteriorment. Per tal que el lector pugui comprovar els consums de l'energia final sectorial i la seva evolució, hem elaborat l'annex II, sobre el que es refermen alguns dels arguments d'aquest apartat.

Per sectors, la contribució més important al creixement de les emissions corresponen al sector transport, l'increment del qual és més del doble que el de la indústria. Els consums finals de combustibles del sector transport varen incrementar-se en un 70,8%. La substitució per gas fou mínima: la substitució de derivats de petroli per gas a penes fou de 4 ktps, el que explica, en certa manera, la contribució potencial a la disminució de les emissions totals, per efecte substitució, del 0,25%.

El sector industrial va incrementar els seus consums energètics finals en un 46,3%, i la seva contribució al creixement total de l'energia final de l'economia fou del 17,3%. Aquest creixement fou superior a la seva contribució al creixement de les emissions totals, que foren d'un 16,9%. Aquesta diferència ve molt ben explicada per la substitució de combustibles, com es pot comprovar a l'annex II, on queda clara la reducció en un 90% de l'ús de carbó, el baix creixement dels derivats de petroli i el recurs al gas natural amb un factor d'emissió de CO₂ per tep inferior, com ja hem assenyalat abans. Aquests factors combinats han jugat un paper rellevant en què l'efecte substitució d'aquest sector hagi estat el més important. No obstant això, l'increment força elevat dels seus consums d'energia elèctrica un 46,3% han donat lloc a què d'altra banda, el sector industrial hagi estat el més important contribuïdor, des del punt de vista de la transformació, al creixement de les emissions totals amb un 5,45%.

El sector serveis i domèstic han experimentat evolucions força paral·leles (vegeu annex II). Les substitucions de fonts energètiques finals han experimentat canvis semblants en quant a fonts i, en alguns aspectes, en percentatge. Així, tots dos sectors han alentit els seus increments de consum de productes petrolífers: en el cas dels serveis el consums va créixer un 4,2% i a les llars, va disminuir en un 8,5%. D'altra banda tots dos sectors incrementen molt substancialment els seus consums de gas natural. Des del punt de vista de l'efecte transformació, amb una contribució a l'increment de les emissions del 3,22% en el cas dels serveis (superior al transport) i del 2,61 % en el cas de les llars, podem aventurar que es deu a l'elevat increment del consum elèctric, amb un important arrossegament sobre els inputs d'energia fòssil utilitzats a la producció d'electricitat, tot i la importància de la nuclear a Catalunya. Si ens fixem en les dades de l'annex esmentat, en tot el període el sector serveis va incrementar un 123,4% el consum d'electricitat i el sector domèstic, un 61,3%.

Tot i el que hem comentat en relació al comportament dels sectors productius quant als seus consums energètics i les emissions de CO₂ vinculades a aquests consums, cal dir que, deixant de banda el transport que inequívocament és un dels grans responsables de les emissions del més important dels gasos amb efecte d'hivernacle, en el cas de la indústria i els serveis mereixerien una anàlisi molt més acurada, vinculant les emissions

també al comportament econòmic dels diferents subsectors. Això permetria esbrinar aspectes importants com el comportament en l'ús més o menys eficient de l'energia, les relacions amb altres sectors i els impactes que es produeixen entre sectors, per tal d'estimar els marges de maniobra per a les polítiques ambientals a implementar.

Val la pena ara, atesa la importància que hem vist que té l'energia primària necessària per al funcionament de l'economia, comparar d'una forma agregada els efectes explicatius de l'evolució del consum primari d'energia i les emissions de CO₂. A tal efecte hem elaborat la Taula 10.

Taula 10: Contribució a l'increment de les necessitats d'energia primària i les emissions de CO₂ per efectes explicatius (%)

	Carbonització	Transformació	Substitució	Activitat	Total
Energia primària	0	-9,5	-0,5	63,0	53,0
Emissions de CO ₂	-6,6	14,3	-5,3	66,7	69,2

Font: Elaboració pròpia a partir de les dades de l'INE i ICAEN, segons la metodologia explicada al text

La Taula 10 s'ha elaborat simplement calculant l'increment percentual degut als diferents efectes sobre les emissions i l'energia primària necessària al principi del període analitzat. La importància de l'increment de consum final d'energia, que hem anomenat efecte activitat, és fonamental. El paral·lelisme entre aquest efecte i el resultat total és més que evident. D'altra banda, la substitució de combustibles –en favor bàsicament del gas natural– ha jugat un paper favorable a la disminució de les emissions, però molt petit i insuficient per a compensar els desfavorables resultats causats per l'increment de les necessitats d'energia primària. Convé destacar que, tot i la seva poca importància, la substitució de les fonts energètiques emprades pels sectors econòmics ha tingut un impacte molt més significatiu en la reducció d'emissions que en la disminució de les necessitats d'energia primària.

Per últim, tot i que es produeix una certa descarbonització, l'efecte transformació ha jugat des de la perspectiva del CO₂ un efecte prou negatiu, contribuint a l'increment de les emissions en un 14%, tot i que, des de la perspectiva de l'energia primària, les necessitats per a transformació varen disminuir. La raó principal és el pes decreixent de l'energia nuclear respecte a la producció d'electricitat en centrals tèrmiques de gas natural; aquestes tenen una major eficiència en la conversió de calor a electricitat però emeten CO₂, a diferència de les nuclears que (directament) no emeten aquest gas. Aquest és un bon exemple de les diferents conclusions que de vegades podem treure d'una anàlisi d'efectes en termes d'energia primària o d'emissions de carboni.

7. Conclusions

En aquest bloc hem analitzat l'evolució de les emissions de CO₂, el més important dels gasos amb efecte d'hivernacle, per al període 1990 a 2005.

Al llarg del treball hem estudiat, tant des d'una perspectiva agregada, com posteriorment amb tot el detall possible, tenint en compte les limitacions d'informació, l'evolució experimentada per les emissions de diòxid de carboni. Amb aquest objectiu s'han utilitzat conceptes i precisions metodològiques àmpliament utilitzades a la literatura científica sobre el tema.

De l'estudi realitzat a la primera part del treball en resulta palès que l'important creixement de les emissions a Catalunya durant el període considerat, d'un 60,1% (molt superior al de la mitjana espanyola, d'un 50,5 %), s'explica com a principal factor per l'augment del PIB per càpita, amb un creixement del 33,35%. El creixement demogràfic també hauria contribuït de forma important a l'increment en les emissions totals, amb un augment del 10,5% de la població; sobretot a partir de 1999, ja que a la dècada dels noranta la població va restar estable amb poques variacions.

No obstant, les diferències en població i en disponibilitat de béns i serveis per càpita no basten per explicar l'evolució que s'ha donat en les emissions totals. De fet, l'evolució en l'activitat econòmica no és suficient per explicar la important variació en les emissions per càpita al llarg del període, com mostra el major augment de les emissions per càpita, del 44,89%, respecte al 33,35% d'augment del PIB per càpita. Per això hem analitzat altres variables explicatives que interactuen amb les variables econòmiques habituals i que són sobre les que s'ha d'actuar dissenyant polítiques ambientals i econòmiques que facin compatible el benestar de la societat i el respecte al medi ambient. Indicadors com la intensitat energètica, l'índex de carbonització, i/o canvis en l'estructura productiva i la tecnologia dels processos productius juguen un paper important quant a les possibilitats de reduir les emissions de CO₂.

S'ha detectat que en el cas de Catalunya les dades mostren una major importància de l'evolució de la intensitat energètica per explicar el canvi que s'ha produït en la intensitat d'emissions del PIB. De fet, gairebé tot l'augment de la intensitat d'emissions del PIB (8,66%) s'explicaria per l'augment de la intensitat energètica (8,36%), mentre que l'índex de carbonització gairebé és el mateix a l'inici i al final del període. No obstant, aquest resultat amaga la importància que ha tingut l'índex de carbonització en l'evolució de les emissions. La major variabilitat que s'ha donat en aquest índex explica, en gran part, les variacions experimentades al llarg el període per la intensitat d'emissions del PIB¹⁴. Si agafem el període any a any trobarem que l'evolució

¹⁴ Aquest darrer aspecte queda molt clar a la segona part de l'anàlisi on es posa clarament de manifest que la descarbonització ha tingut un impacte del -6,6 % en l'evolució de les emissions provocades pel consum d'energia. No obstant, cal tenir en compte les diferències entre les emissions utilitzades a la primera part i les estimades a la segona part. Per a evitar efectes de conjuntura, a la segona part d'aquest treball s'han agafat mitjanes dels anys 1990-92 i 2003-

de l'índex de carbonització ha estat la principal responsable de la reducció d'emissions per unitat de PIB que es va produir entre 1995 i 1998. I també ha estat el fort increment entre 2002 i 2004 d'aquest índex, el que ha produït l'augment que s'ha produït al final del període en la intensitat de carboni del PIB.

La substitució de les fonts energètiques utilitzades també és un factor important a l'hora de explicar els processos de descarbonització i el seu paper a l'hora de millorar l'eficiència energètica global, contribuint a disminuir els consums d'energia primària utilitzada i les emissions de CO₂. No obstant això, s'ha de tenir en compte que el transport per carretera fa un ús intensiu de l'energia, fet que dificulta que baixi la intensitat energètica, i es nodreix amb el consum de combustibles fòssils, que dificulta que baixi l'índex de carbonització, contrarestant els canvis produïts en altres sectors on hi ha hagut substitució per combustibles que, com el gas natural, emeten menys CO₂. L'anàlisi mostra que la contribució més important al creixement de les emissions correspon al sector transport, l'increment del qual és més del doble que el de la indústria. Els consums finals de combustibles del sector transport varen incrementar-se en un 70,8%. La substitució per gas fou mínima, la substitució de derivats de petroli per gas a penes fou de 4 ktps.

D'altra banda, el sector industrial va incrementar els seus consums energètics finals en un 46,3%, i la seva contribució al creixement total de l'energia final de l'economia fou del 17,3%. Aquest creixement fou superior a la seva contribució a les emissions totals que foren d'un 16,9%. Aquesta diferència s'explica molt bé per la substitució de combustibles. La reducció en un 90% de l'ús de carbó, el baix creixement dels derivats de petroli i el recurs al gas natural amb un menor factor d'emissió de CO₂ per tep, ha fet possible un efecte substitució en aquest sector, que ha estat el més important, ajudant a què les emissions totals no es desapareixin més. No obstant això, l'increment força important dels seus consums d'energia elèctrica, un 46,3%, ha donat lloc a què d'altra banda, el sector industrial hagi estat el més important contribuïdor, des del punt de vista de la transformació d'energia final a primària, al creixement de les emissions totals amb un 5,45%.

El sector serveis i domèstic han experimentat evolucions força paral·leles. Les substitucions de fonts energètiques finals han experimentat canvis semblants en les fonts i, en alguns aspectes en percentatge. Així, tots dos sectors han alentit els seus consums de productes petrolífers: en el cas dels serveis els seus consums varen créixer un 4,2% i les llars el van disminuir en un 8,5%. D'altra banda tots dos sectors incrementen molt substancialment els seus consums de gas natural. Des del punt de vista de l'efecte transformació, amb una contribució a l'increment de les emissions del 3,22% en el cas dels serveis (superior al transport) i del 2,61% en el cas de les llars, podem aventurar que és degut a l'important increment del consum elèctric, amb un important arrossegament sobre els inputs d'energia fòssil utilitzats a la producció d'electricitat. Si ens fixem en les dades de l'annex, en tot el període el sector

2005 i la informació està basada en l'energia consumida per a usos energètics dels sectors econòmics.

serveis va incrementar un 123,4% el consum d'electricitat i el sector domèstic un 61,3%.

Tot i el que hem comentat en relació al comportament dels sectors productius quant als seus consums energètics i les emissions de CO₂ vinculades a aquests consums, cal dir que, deixant de banda el transport que inequívocament és un dels grans responsables de les emissions del més important dels gasos amb efecte d'hivernacle, els casos de la indústria i els serveis mereixerien una anàlisi molt més acurada, vinculant les emissions també al comportament econòmic dels diferents subsectors. Això permetria aprofundir en aspectes importants com el comportament en quant a l'ús més o menys eficient de l'energia, les relacions amb altres sectors i els impactes que es donen entre sectors, per tal d'estimar els marges de maniobra de les polítiques ambientals a implementar.

Comparant els increments percentuals deguts als diferents efectes sobre les emissions i l'energia primària necessària, la importància de l'increment de consum final d'energia (efecte activitat) és fonamental. D'altra banda, la substitució de combustibles —en favor bàsicament del gas natural— ha jugat un paper favorable a la disminució de les emissions, però molt petit i insuficient per a compensar els desfavorables resultats donats per l'increment de les necessitats d'energia primària. Convé destacar que tot i la seva poca importància, la substitució de les fonts energètiques emprades pels sectors econòmics ha tingut un impacte molt més significatiu en la reducció d'emissions que en la disminució de les necessitats d'energia primària. Per últim, tot i que es produeix una certa descarbonització, l'efecte transformació ha jugat des de la perspectiva del CO₂ un efecte prou negatiu, contribuint a l'increment de les emissions en un 14%, tot i que, des de la perspectiva de l'energia primària, les necessitats per a transformació varen disminuir. La raó principal és el pes decreixent de l'energia nuclear respecte a la producció d'electricitat en centrals tèrmiques de gas natural; aquestes tenen una major eficiència en la conversió de calor a electricitat però emeten CO₂ a diferència de les nuclears que (directament) no emeten aquest gas. Aquest és un bon exemple de les diferents conclusions que de vegades podem treure d'una anàlisi d'efectes en termes d'energia primària o d'emissions de carboni.

A Catalunya, de la mateixa manera que al conjunt de l'Estat espanyol, i al contrari del que ha passat en la majoria de països industrialitzats, no s'ha produït una reducció de la intensitat energètica del PIB. És més, aquesta intensitat ha augmentat al llarg del període analitzat, amb el resultat que la intensitat de carboni del PIB també ha augmentat. A pesar dels guanys d'eficiència en l'ús d'energia als sectors industrials, el fort augment en l'ús d'energia per part del transport per carretera ha portat a aquest comportament.

En conclusió, en el cas de Catalunya no és possible parlar de desvinculació entre creixement econòmic i emissions de CO₂ en cap dels sentits en què habitualment s'utilitza el terme, ja que tant les emissions totals com la intensitat d'emissions del PIB augmenten al llarg del període considerat. En aquest sentit i, des de la nostra perspectiva, queda clar que cal aplicar polítiques adients i orientades a millorar l'eficiència energètica, així com a reduir les emissions per

unitat d'energia si volem evitar que el creixement econòmic continuï comportant majors emissions (tant absolutes, com per unitat de PIB).

Referències

Alcántara, V. i Padilla, E. (2006) “An input-output analysis of the "key" sectors in CO₂ emissions from a production perspective: an application to the spanish economy”, Working Paper 06.01., Departament d’Economia Aplicada, UAB.

Alcántara, V. i Roca, J., (2003) “Consumo energético y actividad económica: Sobre el uso de los balances energéticos desde una perspectiva input-output” a Campos Palacín, P. i J. M. Casado Raigón (coord), *Contabilidad Nacional Ambiental Integrada*, Consejo General de Colegios de Economistas de España, Madrid, pp. 163-178.

Alcántara, V. i Roca, J. (1996): “Tendencias en el uso de energía en España (1975-1990). Un análisis a partir de los balances energéticos”. *Economía industrial*, pp. 161-67

Alcántara, V. i Roca, J. (1995). “Energy and CO₂ emissions in Spain. Methodology of analysis and some results for 1980- 1990”. *Energy Economics*, vol. 17 (3) 221-230.

Ang, B.W. (1999).” Is the energy intensity a less useful indicator than the carbon factor in the study of climate change?”, *Energy Policy* 27, 943-946.

Ang, B.W., i Zhang, F.Q., 2000, “A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies”, *Energy*, 25: 1149-1176.

Bruyn, S. M. De i Opschoor, J. B. (1997): “Developments in the throughput-income relationship: theoretical and empirical observations”, *Ecological Economics*, Vol. 20, pp. 255-268.

Bunn, D. (2000): Editorial, *Energy Economics*, 22, pp 1-8.

Choi, K.H. i Ang, B.W. (2003): “Decomposition of aggregate energy intensity changes in two measures: ratio and difference” *Energy Economics* 25, pp. 615-624.

Departament d’Economia i Finances (2005) *Pla de de l’Energia de Catalunya 2006-2015*. Disponible a:

http://www.gencat.cat/economia/doc/doc_68879950_1.pdf

Hoekstra, R., (2005): *Economic Growth, Material Flows and the Environment*. Edward Elgar, Cheltenham.

IPCC (1996) *Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory*.

Kaya, Y. (1989): “Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios”, paper presented to the Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, Intergovernmental Panel on Climate Change, París, França.

Kuznets, S. (1955): “Economic growth and income inequality”, *American Economic Review*, vol. 45, pp. 1-28.

Liu, F.L. i B.W. Ang (2003): “Eight methods for decomposing the aggregate energy-intensity of industry” *Applied Energy* 76 (1-3): 15-23.

Mielnik, O. i Goldemberg, J. (1999): “The evolution of the “carbonization index” in developing countries”, *Energy Policy*, Vol. 27, pp. 307-308.

Ministerio de Medio Ambiente. Inventario de Emisiones a la Atmósfera. CORINE-AIRE.

Padilla, E. i Roca, J. (2003): “Las propuestas para un impuesto europeo sobre el CO₂ y sus potenciales implicaciones distributivas entre países”, *Revista de Economía Crítica*, n. 2, diciembre, pp. 5-24.

Roca, J. i Alcántara, V. (2001): “Energy intensity, CO₂ emissions and the environmental Kuznets curve. The Epanish case” *Energy Policy* 29: 553-556

Roca, J. i Alcántara, V. (2002): “Economic Growth, Energy Use, and CO₂ Emissions” en Blackwood, J.R. (Editor): *Energy Research at the Cutting Edge*. Ed. Nova Science Publishers, Nova York.

Roca, J., Padilla, E., Farré, M. i Galletto, V. (2001) “Economic Growth and Atmospheric Pollution in Spain: Discussing the Environmental Kuznets Curve Hypothesis”, *Ecological Economics*, Vol. 39, n. 1, pp. 85-99.

Roca, J. i Padilla, E. (2003) “Emisiones atmosféricas y crecimiento económico en España: la curva de Kuznets ambiental y el Protocolo de Kyoto”, *Economía Industrial*, n. 351, (número monográfico: Ecología Industrial y Desarrollo Sostenible: Perspectivas nacional, regional y urbana), pp. 73-86.

Sun, J.W., (1999). “The nature of CO₂ emissions Kuznets curve”. *Energy Policy* 27, 691-694.

Sun, J.W., (1998) “Changes in energy consumption and energy intensity: a complete decomposition model”, *Energy Economics*, 20: 85-100.

Yamaji, K., R. Matsushashi, Nagata, Y. I Kaya, Y. (1991): An Integrated Systems for CO₂/Energy/GNP Analysis: Case Studies on Economic Measures for CO₂ Reduction in Japan. Workshop on CO₂ Reduction and Removal: Measures for the Next Century, 19–21 March 1991. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.

Llistat dels principals acrònims utilitzats

ICAEN – Institut Català de l'Energia
 IDESCAT – Institut d'Estadística de Catalunya
 INE – Institut Nacional d'Estadística
 IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Panell Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic)
 MMA – Ministeri de Medi Ambient
 OCDE – Organització per la Cooperació i el Desenvolupament Econòmic
 PIB – Producte Interior Brut
 SDP – Saldo de derivats del petroli
 TEPs – Tones equivalents de petroli

Glossari

Corine-aire

Inventari d'emissions realitzats pels estats membres de l'Unió Europea per a la *Coordination of information on the environment* (CORINE). A l'Estat espanyol el porta a terme el Ministeri de Medi Ambient.

CO₂ equivalent

Concentració de CO₂ que produiria el mateix nivell de forçament radiatiu que una barreja donada de diferent gasos amb efecte d'hivernacle. És una mesura que s'utilitza per a comparar les emissions de diferents gasos amb efecte d'hivernacle en base al seu potencial d'escalfament global.

Efecte carbonització

Recull els canvis a les emissions deguts al canvi operat al factors d'emissió. Per a la resta d'efectes vegeu glossari al Bloc 3.

Factor d'emissió

Emissió per unitat d'energia. En el nostre cas CO₂ per tep.

Índex de carbonització

Índex que expressa la relació entre les emissions i l'energia consumida relativa a eixes emissions, ambdós en unitats físiques.

Intensitat d'emissió

Relació entre el volum d'emissió i el PIB o un altra variable relacionada amb les emissions. Per exemple: la intensitat d'emissió del sector serveis depèn de la relació entre les emissions generades per aquest sector i el valor afegit produït en els serveis.

Intensitat energètica

Relació entre l'energia primària consumida en unitats físiques i el PIB a preus constants

Protocol de Kyoto

El Protocol de Kyoto és un acord internacional adoptat a la tercera conferència de les Parts del Conveni Marc de les Nacions Unides per al Canvi Climàtic, el desembre de 1997. Aquest acord implicava un compromís de reducció d'emissions de gasos d'efecte hivernacle per 2008-2012 del 5,2% respecte el nivell de 1990 als països industrialitzats (països de l'Annex I del Protocol, que inclou a la majoria dels països de l'OCDE i als països d'Europa de l'Est). El Protocol establia diferents compromisos de reducció per als diferents països industrialitzats, sent d'un 6% per al Japó, un 7% per als Estats Units i un 8% per al conjunt de la Unió Europea. Va entrar en vigor el 16 de febrer de 2005, quan es va acomplir el requisit de que al menys 55 països, incloent països de l'Annex I que sumessin el 55% de les emissions totals de 1990 per a aquest grup, haguessin ratificat l'acord. A data de 13 de desembre de 2006, 168 països i la Unió Europea havien ratificat el Protocol; països que representen el 61,6% de les emissions de l'Annex I. No obstant, el principal país emissor, els Estats Units, continua sense ratificar l'acord.

Taules input-output

És una forma de comptabilitzar les relacions entre sectors econòmics i els usos dels béns i serveis destinats a la demanda final dels diferents sectors. Des de fa dècades s'utilitza habitualment com a part dels sistemes de Comptabilitat Nacional per reflectir fluxos monetaris. De forma creixent aquestes taules s'estan ampliant per reflectir fluxos físics i, per tant, com a eina per analitzar les relacions entre economia i medi ambient.

Índex de termes

- canvi climàtic, 5, 9
- combustibles fòssils, 2, 5, 13, 14, 15, 26, 32, 38
- consum final d'energia, 3, 35, 39
- efecte activitat, 3, 31, 32, 33, 35, 39
- efecte carbonització, 32, 33
- efecte substitució, 2, 31, 32, 34, 38
- efecte transformació, 3, 32, 34, 35, 38, 39
- efectes explicatius, 33, 35
- eficiència energètica, 2, 4, 10, 13, 14, 16, 38, 39
- emissions de CO₂, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 15, 16, 17, 19, 21, 22, 25, 26, 27, 29, 31, 32, 34, 35, 37, 38, 39
- energia primària, 1, 2, 3, 6, 7, 10, 11, 12, 14, 16, 17, 21, 22, 25, 27, 31, 32, 33, 35, 38, 39, 43
- factors d'emissió, 6, 13, 21, 22, 26, 29, 31, 43
- factors de Kaya, 6, 11
- índex de carbonització, 1, 2, 10, 12, 13, 14, 15, 37, 38
- input-output, 41, 44
- intensitat d'emissions, 1, 4, 11, 12, 13, 15, 16, 37, 39
- intensitat energètica, 1, 2, 3, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 30, 37, 38, 39

Annex I: Descomposició de la variació d'emissions en efectes

Efecte carbonització						
	Primari	Indústria	Serveis	Transport	Domèstic	Total
Carbó	-0,04	-4,07	-0,97	-0,09	-0,85	-6,01
Petroli	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SDP	-115,29	-286,52	-61,15	-1141,09	-94,89	-1698,93
Gas natural	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	-115,32	-290,59	-62,12	-1141,18	-95,73	-1704,95

Efecte transformació						
	Primari	Indústria	Serveis	Transport	Domèstic	Total
Carbó	-4,58	-202,31	-120,35	-11,30	-97,81	-436,34
Petroli	-564,01	-1634,85	-408,19	-5467,12	-583,18	-8657,35
SDP	619,10	1614,86	344,13	6012,67	555,45	9146,22
Gas natural	45,88	1633,65	1018,82	164,04	800,53	3662,92
Total	96,41	1411,36	834,41	698,29	674,98	3715,45

Efecte substitució						
	Primari	Indústria	Serveis	Transport	Domèstic	Total
Carbó	-0,07	-1110,97	9,01	-4,17	-42,95	-1149,16
Petroli	-26,54	-761,39	-414,45	-44,44	-682,26	-1929,08
SDP	-6,12	-174,71	-100,62	-10,21	-159,22	-450,87
Gas natural	15,04	1340,33	263,61	-6,13	547,36	2160,22
Total	-17,68	-706,74	-242,44	-64,95	-337,08	-1368,89

Efecte activitat						
	Primari	Indústria	Serveis	Transport	Domèstic	Total
Carbó	3,99	389,67	171,53	12,06	110,39	687,65
Petroli	609,66	1403,33	602,89	7108,12	688,07	10412,06
SDP	129,27	280,49	109,53	1513,00	127,94	2160,23
Gas natural	19,17	1895,26	986,40	56,23	1056,74	4013,81
Total	762,08	3968,75	1870,35	8689,41	1983,15	17273,74

Efecte total						
	Primari	Indústria	Serveis	Transport	Domèstic	Total
Carbó	-0,69	-927,68	59,23	-3,50	-31,22	-903,87
Petroli	19,12	-992,91	-219,75	1596,56	-577,37	-174,37
SDP	626,97	1434,12	291,89	6374,37	429,28	9156,64
Gas natural	80,09	4869,24	2268,84	214,14	2404,63	9836,95
Total	725,49	4382,78	2400,20	8181,57	2225,32	17915,35

Font: Elaboració pròpia a partir de les dades de l'INE i ICAEN, segons la metodologia explicada al text

Annex II: Consum final d'energia sectorial (ktep)

2003-05					
	<i>Primari</i>	<i>Indústria</i>	<i>Serveis</i>	<i>Transport</i>	<i>Domèstic</i>
Carbó	0,0	23,7	0,9	0,0	0,5
Gas natural	10,0	2208,2	424,3	4,3	905,2
Biomassa	1,8	44,2	9,1	0,0	41,3
Solar tèrmica	0,0	0,1	0,7	0,0	3,5
Res. no renovables	0,0	43,6	0,0	0,0	0,0
Bioetanol	0,0	0,0	0,0	21,5	0,0
Biodièsel	0,0	0,0	0,0	11,1	0,0
Biogàs	1,9	4,5	0,7	0,0	0,0
Refinats de petroli	571,0	1216,3	200,7	5822,2	345,1
Electricitat	36,2	1653,7	1159,4	66,5	829,0
Total	620,8	5194,4	1795,9	5925,6	2124,6
1990-92					
	<i>Primari</i>	<i>Indústria</i>	<i>Serveis</i>	<i>Transport</i>	<i>Domèstic</i>
Carbó	0,0	241,8	1,4	0,0	6,3
Gas natural	1,4	1053,1	145,2	0,0	351,1
Biomassa	0,0	78,5	0,0	0,0	0,0
Solar tèrmica	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Res. no renovables	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bioetanol	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Biodièsel	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Biogàs	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Refinats de petroli	372,8	1046,0	192,6	3407,9	377,1
Electricitat	23,4	1130,4	519,0	49,7	513,9
Total	397,5	3549,7	858,3	3457,6	1248,5
Variació en termes absoluts (ktep)					
	<i>Primari</i>	<i>Indústria</i>	<i>Serveis</i>	<i>Transport</i>	<i>Domèstic</i>
Carbó	0,0	-218,1	-0,5	0,0	-5,9
Gas natural	8,6	1155,1	279,1	4,3	554,1
Biomassa	1,8	-34,3	9,1	0,0	41,3
Solar tèrmica	0,0	0,1	0,7	0,0	3,5
Res. no renovables	0,0	43,6	0,0	0,0	0,0
Bioetanol	0,0	0,0	0,0	21,5	0,0
Biodièsel	0,0	0,0	0,0	11,1	0,0
Biogàs	1,9	4,5	0,7	0,0	0,0
Refinats de petroli	198,2	170,3	8,1	2414,4	-32,0
Electricitat	12,8	523,3	640,4	16,7	315,1
Total	223,3	1644,6	937,7	2468,0	876,1
Variació sectorial en %					
	<i>Primari</i>	<i>Indústria</i>	<i>Serveis</i>	<i>Transport</i>	<i>Domèstic</i>
Carbó	0,00	-90,21	-33,41	0,00	-92,40
Gas natural	628,75	109,68	192,16	---	157,82
Biomassa	---	-43,65	---	---	---
Solar tèrmica	---	---	---	---	---
Res. no renovables	---	---	---	---	---
Bioetanol	---	---	---	---	---
Biodièsel	---	---	---	---	---
Biogàs	---	---	---	---	---
Refinats de petroli	53,16	16,29	4,21	70,85	-8,49
Electricitat	55,00	46,29	123,38	33,62	61,31

Total	56,18	46,33	109,25	71,38	70,17
Contribució sectorial al creixement total dels consums energètics finals (%)					
Total	2,35	17,29	9,86	25,95	9,21

Font: Elaboració pròpia a partir de les dades de l'INE i ICAEN, segons la metodologia explicada al text