

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

## **Bloc 3: Consum final d'energia**

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

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 3: Consum d'energia final

Maig 2007

## Continguts

---

Resum Executiu .....	1
1. Introducció: objectiu i base de dades.....	3
2. Evolució dels consums finals d'energia (1990-2005).....	7
3. Dels consums finals d'energia als requeriments d'energia primària: plantejament metodològic i limitacions .....	11
4. Aplicació de la metodologia a l'anàlisi dels consums finals i requeriments d'energia primària a Catalunya 2005.....	15
5. Els canvis en les matrius de transformació de Catalunya entre 1990-92 i 2003-05 .....	21
6. Els factors explicatius dels canvis en els requeriments d'energia primària associats al consum final: metodologia .....	25
7. Els factors explicatius dels canvis en els requeriments energia primària associats al consum final: Catalunya 1990-92/2003-05.....	27
8. Conclusions .....	31
Referències .....	33
Llistat dels principals acrònims utilitzats .....	35
Glossari .....	35
Índex de termes.....	36
Annex I: Les taules input-output aplicades a l'anàlisi energètic: possibilitats i dificultats a Catalunya.....	37
Annex II: El tractament dels saldos importadors d'electricitat i de derivats de petroli.....	39
Annex III: Taules detallades sobre descomposició en diferents efectes dels canvis en els requeriments d'energia a Catalunya entre 1990-92 i 2003-05 ....	41

## Índex de Figures

Figura 1: Evolució dels consums finals d'energia total i per sectors. Catalunya, 1990-2005, base 1990=100.....	7
Figura 2: Evolució dels consums finals d'energia total i per sectors i del PIB "real". Catalunya, 1990-2005, base 1990=100 .....	9

## Índex de Taules

Taula 1: Consums finals d'energia per sectors. Valors absoluts, pes relatiu i variació. Catalunya, 1990-2005.....	8
Taula 2: Consums finals d'energia segons tipus d'energia. Valors absoluts i proporció respecte el total. Catalunya, 1990-2005 .....	9
Taula 3: Entrades i sortides d'energia a Catalunya, 2005 (en ktep) .....	16
Taula 4: Matriu de relacions energètiques directes .....	17

Taula 5: Matriu de necessitats d'energia primària lligades als diferents tipus de consums finals d'energia, Catalunya, 2005 .....	18
Taula 6: Requeriments totals d'energia primària de les diferents activitats, Catalunya, 2005 .....	19
Taula 7: Matriu de necessitats d'energia primària lligades als diferents tipus de consums finals d'energia, Catalunya, 1990-1992.....	21
Taula 8: Matriu de necessitats d'energia primària lligades als diferents tipus de consums finals d'energia, Catalunya, 2003-2005 .....	22
Taula 9: Efectes per sectors. Canvis en valors absoluts (kteps). Mitjana de 2003-05 respecte a mitjana de 1990-92. Catalunya .....	27
Taula 10: Efectes per fonts energètiques. Canvis en valors absoluts (kteps). Mitjana de 2003-05 respecte a mitjana de 1990-92. Catalunya. ....	28
Taula 11: Matriu de necessitats d'energia primària lligades als diferents tipus de consums finals d'energia amb la hipòtesi de producció interna del saldo importador d'electricitat i de derivats de petroli Catalunya, 2005 .....	40
Taula 12: Efecte total (Ktep).....	41
Taula 13: Efecte transformació (Ktep) .....	41
Taula 14: Efecte substitució (Ktep).....	42
Taula 15: Efecte activitat (Ktep).....	42

## Resum Executiu

---

Aquest bloc analitza l'evolució dels consums finals d'energia a Catalunya durant el període 1990-2005.

En conjunt els consums finals d'energia creixen per sobre del creixement del PIB en termes reals. La disponibilitat actual de dades permet una desagregació en cinc activitats: sector primari; sector industrial; sector serveis; transport; i domèstic. Els augments relatius més importants es donen en el sector serveis, domèstic i en el transport. És aquesta darrera activitat (que inclou el transport privat i comercial) la que experimenta un major augment en termes absoluts fins arribar a representar un consum final d'energia superior fins i tot al del sector industrial.

Un cop vista aquesta descripció bàsica de les tendències en els consums finals d'energia presentem una metodologia d'anàlisi que permet -a partir dels balanços energètics- “traduir” els consums finals d'energia a requeriments d'energia primària. Tot i les limitacions de la metodologia i de les dades disponibles considerem que aquesta metodologia representa una interessant aproximació a la quantitat d'energia primària (i la seva composició) que *arrossega* un determinat nivell de consum d'energia final dels diferents sectors o activitats.

Per veure com aquesta perspectiva dóna una òptica diferent podem observar, per exemple, que el transport, tot i la seva gran importància, encara “arrossega” menys energia primària que el sector industrial (segons les estimacions a partir de les dades de 2005). Si oblidem aquesta perspectiva d'energia primària podem treure conclusions errònies com ara que una creixent electrificació del consum d'energia comporta menys necessitats energètiques quan, en tenir en compte tot el procés de transformació i distribució energètica, podria ser el contrari.

L'anàlisi l'apliquem per comparar els anys 2003-05 amb els anys 1990-92. En el conjunt del període analitzat, l'energia primària necessària per disposar de les diferents formes d'energia final experimenta canvis significatius. El canvi més rellevant és la disminució en l'energia primària que estimem que s'ha utilitzat de mitjana per obtenir una unitat d'electricitat -de 2,96 els anys 1990-92 a 2,59 els anys 2003-05- i encara més important és el canvi en la composició mitjana per fonts d'energia primària que s'utilitzen per obtenir una unitat d'electricitat. Mentre que per cada unitat d'electricitat a començaments dels 1990s es gastaven 2,41 unitats de calor nuclear, en els anys finals -degut al menor pes relatiu de l'energia nuclear en el *mix* elèctric- se'n gastaven 1,56; en canvi, les necessitats de gas natural van augmentar clarament: de 0,12 unitats a 0,65 unitats, reflectint el creixent pes de les centrals tèrmiques d'aquest combustible.

Per aprofundir en les raons dels importants canvis en les necessitats totals d'energia primària de Catalunya entre 1990-92 i 2003-05 hem utilitzat una

tècnica de descomposició factorial. En concret, la nostra anàlisi explica els canvis totals (“efecte total”) en les necessitats d’energia primària –i en els seus components- a partir de la descomposició en tres efectes o factors que són: el canvi en el nivell de consum final dels diferents sectors (“efecte activitat”), els canvis entre diferents tipus d’energies finals (“efecte substitució”) i els canvis en les necessitats d’energia primària per a disposar de les energies finals (“efecte transformació”).

L’efecte activitat –degut a l’augment dels consums finals- és el més important de tots tres, i amb diferència i per totes les activitats. L’efecte activitat provoca un augment dels requeriments de totes les fonts energètics però particularment del petroli degut al paper del transport i també a la creixent demanda de derivats de petroli per a “usos no energètics”.

L’efecte transformació fa que disminueixin les necessitats d’energia primària, i és més fort en aquells sectors de demanda que més depenen de l’electricitat.

L’efecte substitució, que té molta rellevància per explicar les variacions en els requeriments d’algunes fonts d’energia primària no té, en canvi, gaire rellevància per explicar els canvis en el total d’energia primària del període analitzat.

Els requeriments d’energia primària que més creixen són els de gas natural degut a que tant l’efecte transformació (major proporció de producció elèctrica en tèrmiques de gas) com l’efecte substitució (creixent pes relatiu del gas natural en el consum final d’indústries, serveis i residencial) són importants i se sumen a l’efecte activitat. En canvi, l’ús d’energia nuclear augmenta poc en termes absoluts degut a que l’efecte transformació (pèrdua de pes relatiu de l’electricitat d’origen nuclear) actua en direcció contrària a l’efecte activitat. L’única font d’energia primària que disminueix en termes absoluts és el carbó i això és degut a que l’efecte transformació (menor ús en el sector energètic) i substitució (menor ús en el consum final) més que contraresten l’efecte activitat. En darrer lloc, cal assenyalar que en els anys 2003-05 hi ha una important dependència de la importació de derivats del petroli ja refinats mentre que en el conjunt del període 1990-92 el saldo global d’aquests derivats va ser en unitats energètiques exportador.

Dues són les possibilitats d’ampliació futura d’aquesta anàlisi sempre que la informació disponible ho permeti. Una és aplicar la mateixa anàlisi amb una major desagregació sectorial que com a mínim consideri separatament els sectors industrials més consumidors d’energia. L’altra és partir de les taules input-output econòmiques per –afegint la informació dels usos d’energia- millorar la nostra estimació (en realitat ara és una infravaloració) de les necessitats d’energia per disposar d’energia.

## 1. Introducció: objectiu i base de dades

---

Aquest Bloc de l'estudi AMEEC presenta una metodologia d'anàlisi de les dades de consums finals d'energia que és complementària a la resta de l'anàlisi de l'estudi. Aquesta metodologia permet veure fàcilment la quantitat d'energia primària que *arrossega* un determinat nivell de consum d'energia final per als diferents sectors o activitats.

Per tant, la perspectiva d'aquest bloc no és només la de descriure les tendències en els consums finals d'energia a Catalunya durant el període 1990-2005, sinó la de veure les seves implicacions en requeriments d'energia primària. Per desenvolupar aquesta tasca necessitem una base de dades que permeti establir aquestes relacions.

La base de dades utilitzada és la mateixa que hem fet servir al Bloc 2 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). Agraïm a l'ICAEN, i especialment a Joan Esteve i Albert Casanovas, no només haver-nos facilitat aquesta base de dades sinó la seva predisposició constant a aclarir tots els nostres dubtes sobre aquesta informació. Les dades de 2004 i 2005 són avanços que poden experimentar variacions significatives quan es considerin definitives.

Les fonts d'energia primària considerades en aquests balanços són les següents. En primer lloc, els tres combustibles fòssils: carbó, petroli i gas natural<sup>1</sup>. D'altra banda, tenim també com a fonts primàries diferents formes d'obtenir electricitat com són l'energia nuclear, la hidroelectricitat, l'eòlica i la solar fotovoltaica. Tal com fa la metodologia actual de l'Agència Internacional de l'Energia, l'energia nuclear es comptabilitza per la calor generada a les centrals nuclears, mentre que en els altres casos es comptabilitza com a energia primària només el valor energètic de l'electricitat efectivament generada<sup>2</sup>. En tercer lloc, tenim la captació de calor a partir de l'energia solar ("solar tèrmica"). En quart lloc, es comptabilitzen també com a fonts primàries diversos aprofitaments energètics –de vegades en forma d'electricitat i de vegades en forma de calor- principalment de fluxos residuals que l'ICAEN classifica com a: "biomassa" (forestal i agrícola), "biogàs" (aprofitat dels abocadors i també de llots de depuradora, purins i residus de la indústria agroalimentària), "residus renovables" (les plantes d'incineració de Residus Sòlids Urbans) i "residus no renovables" (hidrogen i altres gasos residuals de procés, bàsicament del sector químic, i d'altres residus industrials). En darrer lloc, tenim els biocarburants classificats en bioetanol i biodièsel que inclouen tant l'aprofitament de residus -com ara olis vegetals utilitzats- com els anomenats "cultius energètics". Respecte a aquests darrers, caldria fer un parell de precisions. La primera, terminològica, és que la producció d'aliments

---

<sup>1</sup> Respecte al carbó, a les dades dels balanços es distingeix entre lignit i altres tipus de carbó. Nosaltres els hem considerat de forma agregada.

<sup>2</sup> Això és important tenir-ho en compte a l'hora de valorar les xifres: una unitat d'energia primària d'energia nuclear correspon a una quantitat d'electricitat molt més petita – aproximadament la tercera part- que una unitat d'hidroelectricitat.

també es pot qualificar, òbviament, com a cultiu energètic<sup>3</sup>; però atès que aquest treball estudia només l'energia "exosomàtica" (és a dir, la controlada pels humans però consumida fora del nostre cos), els únics "cultius energètics" rellevants per a nosaltres són aquells que no estan destinats a alimentar la població humana (és a dir, a proveir energia "endosomàtica"). La segona qüestió a destacar és que per a obtenir aquests cultius es produeix una forta despesa energètica que no està inclosa en el balanços energètics ja que forma part d'altres sectors –com ara l'agrari- per la qual cosa la pròpia classificació com a font primària –que mantenim- pot portar a confusió perquè dóna la impressió que s'afegeix sense més a l'oferta energètica<sup>4</sup>.

Hi ha alguns petits problemes en la continuïtat de la sèrie temporal de dades, però afecten a fonts energètiques amb molt poc pes relatiu i gairebé no alteren els resultats globals. Els principals són que hi ha un salt en la informació sobre ús de biomassa que sembla molt incompleta fins l'any 1997 i que pels anys anteriors a 1996 no hi ha informació sobre "residus no renovables".

L'energia disponible també es veu augmentada quan s'importen energies ja transformades, com ara electricitat o productes del petroli ja refinats, fet del qual també informen els balanços energètics. En un apartat posterior ens referirem al tractament d'aquestes importacions.

Els balanços d'energia posen de manifest les interrelacions entre els sectors energètics i també mostren el consum final d'energia per part de diferents sectors o activitats. Les fonts de consum final considerades són les mateixes que abans traïent el petroli cru, nuclear, hidràulica, fotovoltaica i afegint electricitat i els derivats del petroli. Lamentablement, la informació sectorial del consum final és força agregada de forma que considera només cinc sectors: "Primari", "Industrial" (que inclou la construcció), "Serveis", "Transport" i "Domèstic". De moment no tenim doncs informació desagregada en diferents sectors industrials (que seria força important per situar les responsabilitats relatives de diferents activitats i que, a més, podria permetre una anàlisi input-output més completa); aquesta informació possiblement estarà disponible a finals del 2007. Tampoc tenim estimacions –i això és molt difícil de resoldre- sobre com el consum energètic en transport es distribueix entre el "sector transport" com a sector econòmic i el transport privat particular, de forma que sempre tractem al "transport" com un tot<sup>5</sup>. Aquesta és una diferència metodològica respecte el treball del Bloc 10, on s'atribueix part de l'energia consumida al transport al sector domèstic. En tot cas, la complementarietat de les dues anàlisis fa que aquesta diferència aportí més informació que no pas en

<sup>3</sup> I de fet, el cost d'oportunitat dels cultius per "alimentar" cotxes pot ser de vegades efectivament deixar de cultivar aliments per les persones.

<sup>4</sup> Si féssim tots els càlculs, l'energia gastada per obtenir l'energia en forma de biocombustible seria molt gran (fins i tot podria resultar, en alguns casos extrems, que l'activitat –potser viable gràcies a subvencions- fos absurda energèticament, en consumir més energia de la que s'obté). Vegeu l'apartat 6 del Bloc 2 d'aquest estudi.

<sup>5</sup> També cal dir que, quan parlem d'energia del transport, ens referim a una part –la més important, però no l'única- del cicle total del transport. En sentit més ampli, podríem incloure – en una perspectiva de cicle de vida- la despesa energètica de fer cotxes, construir i mantenir carreteres, ... Vegeu Antonio Estevan, "Modelos de transporte y emisiones de CO<sub>2</sub> en España", *Revista de Economía Crítica*, n. 4, 2005.



tregui. Com ja s'ha mencionat, una millor disponibilitat de dades ajudaria a resoldre aquesta situació. A més dels cinc usos anteriors de l'energia final, cal afegir també la demanda dels "usos no energètics" (especialment derivats del petroli utilitzats com a matèria primera de la indústria petroquímica) i del "saldo exportador energètic" que en el primer cas no és pròpiament una demanda energètica i en el segon cas pot considerar-se "responsabilitat" dels territoris importadors.

Després d'aquesta introducció, l'estructura del bloc és la següent. L'apartat 2 descriu breument l'evolució dels consums finals d'energia a Catalunya entre 1990 i 2005. L'apartat 3 presenta la metodologia que hem utilitzat per estimar l'energia primària "arrossegada" pels consums finals d'energia. L'apartat 4 il·lustra aquesta metodologia amb les dades reals de Catalunya de l'any 2005. L'apartat 5 descriu els canvis en les necessitats d'energia primària lligades a les diferents formes de consum final d'energia al llarg del període analitzat. L'apartat 6 presenta la metodologia utilitzada per analitzar la contribució de diferents factors als canvis en el total d'energia primària –i en la seva composició. L'apartat 7 aplica aquesta metodologia a Catalunya pel període considerat. Finalment, l'apartat 8 treu unes breus conclusions.



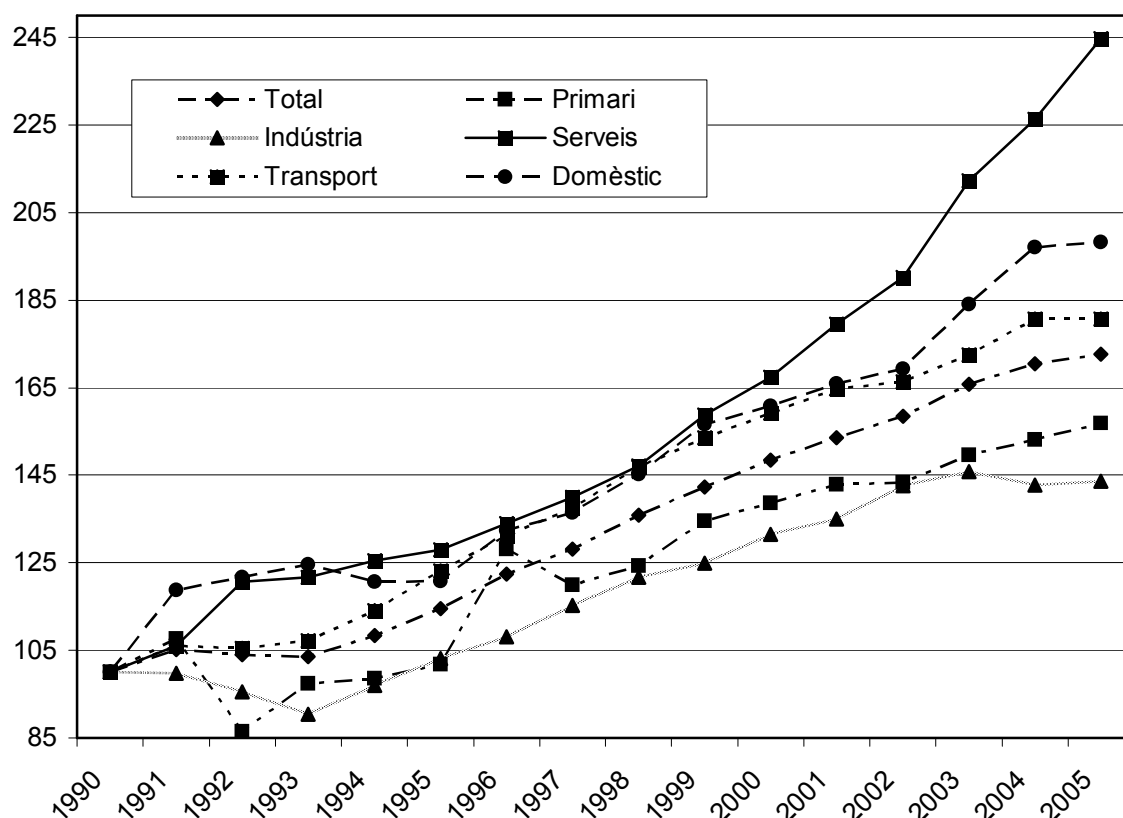
## 2. Evolució dels consums finals d'energia (1990-2005)

Com ja hem apuntat, l'objectiu d'aquest bloc és analitzar quanta energia primària es requereix per proveir els diferents consums finals d'energia d'empreses, ciutadans i administracions públiques. Començarem, però, donant una perspectiva general sobre l'evolució d'aquests consums finals.

Al Bloc 2 ja es presenten dades en aquest sentit, però la diferència és que aquí no considerarem l'ús del propi sector de l'energia, ja que aquest té, des del nostre punt de vista, un paper merament de proveïdor i transformador de les energies primàries en energies disponibles pel seu ús. A diferència del que succeïa al Bloc 2, que s'ocupava del consum total d'energia primària del país, les que ens interessen en aquest bloc són les energies disponibles pel seu ús.

A la Figura 1 podem veure com evoluciona el total del consum final d'energia i els cinc components en què podem dividir-lo, segons les dades disponibles, expressat en números índex (base 1990=100).

**Figura 1: Evolució dels consums finals d'energia total i per sectors. Catalunya, 1990-2005, base 1990=100**



**Font:** Elaboració pròpia a partir dels balanços d'energia facilitats per l'ICAEN

En aquesta figura podem veure dos comportaments molt diferenciats. Per una banda, els sectors primari i industrial pels quals hi ha una certa disminució en el consum energètic els primers anys noranta tot i que, en conjunt, l'augment de

consum d'energia és molt important; d'altra banda, els serveis, el transport i el consum residencial amb un augment del consum d'energia durant pràcticament tots els anys i relativament molt més important pel conjunt del període de setze anys analitzat.

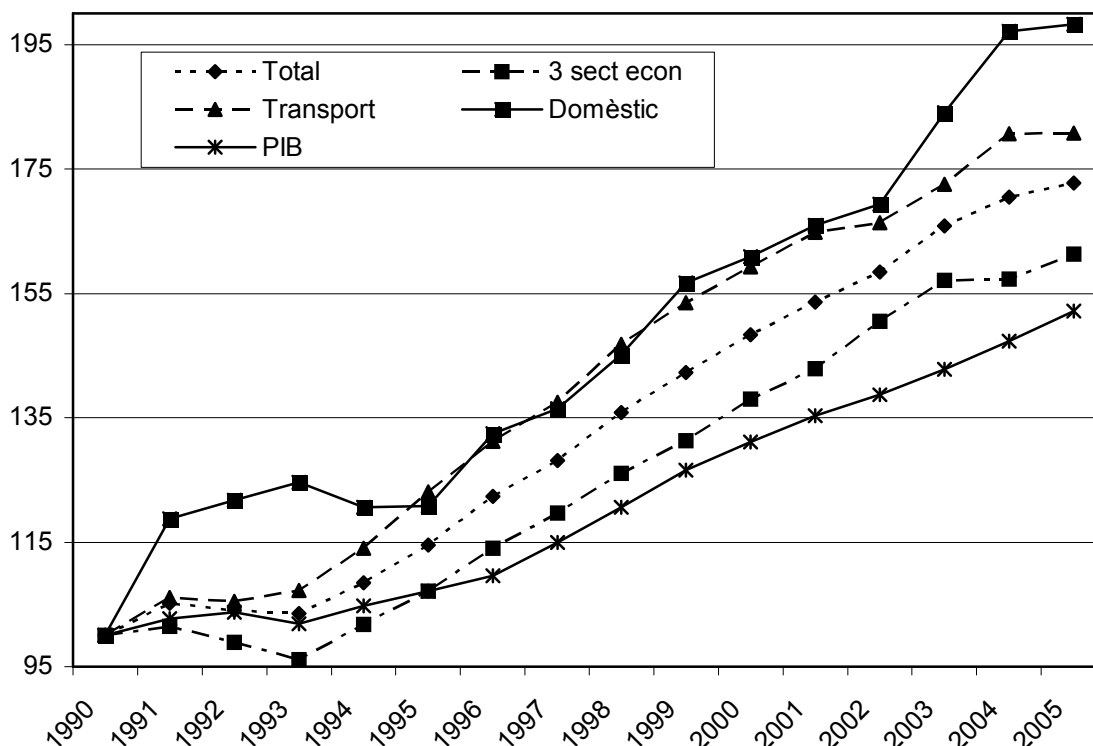
A la Taula 1 veiem el pes relatiu sobre el consum final dels cinc sectors considerats. Podem veure com, des del punt de vista del consum final d'energia, el transport s'ha convertit en l'activitat més important per sobre de la indústria. Alhora, el transport ha estat l'activitat que, en termes absoluts, ha experimentat un major augment en el consum d'energia.

**Taula 1: Consums finals d'energia per sectors. Valors absoluts, pes relatiu i variació. Catalunya, 1990-2005**

	1990		2005		Augment en termes Absoluts	% augment sobre augment total
	ktep	% sobre el total	ktep	% sobre el total		
<b>Primari</b>	405,3	4,4	635,6	4,0	230,3	3,4
<b>Indústria</b>	3605,9	39,1	5178,2	32,5	1572,3	23,4
<b>Serveis</b>	788,4	8,5	1930,0	12,1	1141,6	17,0
<b>Transport</b>	3329,1	36,1	6018,4	37,7	2689,3	40,1
<b>Domèstic</b>	1099,9	11,9	2180,7	13,7	1080,8	16,1
<b>Total</b>	<b>9228,6</b>	<b>100</b>	<b>15943,0</b>	<b>100</b>	<b>6714,4</b>	<b>100</b>

**Font:** Elaboració pròpia a partir dels balanços d'energia facilitats per l'ICAEN

A la Figura 2 apareix la comparació de l'evolució del PIB català a preus constants amb la dels diferents consums finals d'energia, ara distingint només entre el total dels tres grans sectors econòmics (primari, indústria i serveis exclòs el transport), el transport (privat i comercial) i el domèstic. Podem veure que, com a tendència, tots els consums d'energia van superar en creixement al PIB català, un fet que reflecteix la creixent intensitat energètica de l'economia catalana.

**Figura 2: Evolució dels consums finals d'energia total i per sectors i del PIB "real". Catalunya, 1990-2005, base 1990=100**

**Font:** Elaboració pròpia a partir dels balanços d'energia facilitats per l'ICAEN.  
Pel PIB: sèrie homogènia a preus constants.

Pel que fa a les formes d'energia final utilitzades, la Taula 2 resumeix els canvis més significatius.

**Taula 2: Consums finals d'energia segons tipus d'energia. Valors absoluts i proporció respecte el total. Catalunya, 1990-2005**

	1990		2005	
	ktep	% del total	ktep	% del total
Carbó	355,6	3,9	24,2	0,2
P. Petrolífers	5195,4	56,3	8219,0	51,6
Gas	1437,0	15,6	3632,0	22,8
Residus no renovables	0	0	44,4	0,3
Electricitat	2165,3	23,5	3873,5	24,3
Renovables	75,3	0,8	150,0	0,9
<b>TOTAL</b>	<b>9228,6</b>	<b>100</b>	<b>15943,0</b>	<b>100</b>

**Font:** Elaboració pròpia a partir dels balanços d'energia facilitats per l'ICAEN.

Podem veure com el consum final de carbó –ja molt petit el 1990- pràcticament desapareix, mentre que totes les altres formes d'energia creixen en valor absolut. En pes relatiu creix sobretot l'ús del gas; l'electricitat també augmenta el seu pes però de forma molt més moderada. Aquestes tendències ja han estat analitzades al Bloc 2, on també es fa atenció especialment a l'evolució de l'ús d'energies renovables distingint entre les diverses fonts agrupades en aquest epígraf. Ens remetem també al Bloc 2 per veure l'evolució del consum

final segons diferents formes d'energia sector a sector, informació que aquí no recollim per evitar repeticions.

### **3. Dels consums finals d'energia als requeriments d'energia primària: plantejament metodològic i limitacions**

---

Tant la prospectiva sobre usos futurs d'energia com la política energètica – alhora d'establir prioritats- han de considerar no només quins són els consums finals d'energia sinó tenir en compte el conjunt de requeriments d'energia primària –la seva magnitud i la seva composició- que possibiliten aquest consum final d'energia. És aquest requeriment d'energia primària el que determina la quantitat total de recursos que hem d'extreure de la natura (internament o en altres llocs) i les pressions ambientals generades.

D'altra banda, tant per la prospectiva com per orientar les decisions polítiques, és fonamental saber quines són les responsabilitats relatives en l'ús energètic total dels diferents tipus d'activitats. Per exemple, és important saber quin és i com evoluciona el requeriment d'energia del transport, del consum residencial o d'un determinat sector econòmic. L'aproximació habitual d'aquesta anàlisi consisteix en desagregar les dades sobre consum (o demanda) final d'energia tal com hem fet a l'apartat anterior. Aquesta perspectiva dóna una informació important però és insuficient i pot portar alguns cops a conclusions errònies. Per posar un exemple, si una família utilitza una cuina elèctrica i ens limitem a mesurar aquest consum d'energia en forma d'electricitat, ens oblidem que per obtenir aquesta electricitat s'ha hagut de disposar d'una quantitat d'energia primària que és molt superior a l'energia finalment obtinguda. Si ens fixem només en el consum final podríem concloure que un creixent ús d'electricitat per part de les llars o les indústries per obtenir les mateixes prestacions o els mateixos productes augmenta l'“eficiència energètica”, quan en realitat és possible que les necessitats totals d'energia augmentin si tenim en compte tota l'energia primària dissipada. Expressat en altres termes, és important saber quina és l'energia (primària) requerida per disposar de l'energia utilitzada per les indústries, els agricultors, les llars, els serveis privats i públics, etc.

L'objectiu principal d'aquest bloc és utilitzar una metodologia que és molt simplificadora però que permet donar una bona aproximació a partir de les dades disponibles a Catalunya sobre l'evolució del total i la composició de l'energia primària necessària per satisfer les necessitats dels diferents sectors econòmics.

La idea bàsica de la metodologia és partir de les relacions energètiques (en termes físics) input-output que ens proporcionen els balanços energètics de Catalunya per estimar els requeriments directes i indirectes d'energia primària per proporcionar una unitat de les diferents formes d'energia final<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> Per l'explicació metodològica i l'aplicació al conjunt espanyol, vegeu: Alcántara, V. i Roca, J., "Energy and CO<sub>2</sub> emissions in Spain. Methodology of analysis and some results for 1980-90", *Energy Economics*, vol.17, n.3, juliol 1995; Alcántara, V. i Roca, J., "Consumo energético y actividad económica: Sobre el uso de los balances energéticos desde una perspectiva input-output" a P. Campos Palacín i J. M. Casado Raigón (coord), *Contabilidad Nacional Ambiental Integrada*, 2003, Consejo General de Colegios de Economistas de España, Madrid, pp. 163-178.

Per exemple, per cada kg d'equivalent petroli en forma d'electricitat en realitat necessitem una energia molt més gran, ja que cal produir més electricitat perquè una part es perd en les xarxes de distribució, es consumeix en les centrals elèctriques, s'utilitza per bombejar aigua que es farà servir per obtenir electricitat, etc.; a més, i encara molt més important, la producció d'aquesta electricitat en gran part es fa en centrals tèrmiques (nuclears o alimentades amb combustibles fòssils) en les quals la major part d'energia primària es dispersa en forma de calor en el procés de transformació. De la mateixa manera, el procés de transformació de petroli cru en els seus derivats utilitza energia, de forma que l'ús d'un kg d'equivalent petroli en forma de productes derivats de petroli comporta disposar de més d'un quilogram de petroli cru.

A l'apartat següent il·lustrarem la metodologia a partir de les dades reals de l'any 2005.

El primer pas consisteix en trobar els coeficients d'energia (primària i secundària) directes per unitat de consum final que s'utilitzen en processos de transformació, consums interns o en pèrdues de distribució. Aquests serien els components de la matriu  $A$  de coeficients energètics, on  $A$  es una matriu quadrada d'ordre  $n$  ( $n \times n$ ), essent  $n$  el nombre total de tipus d'energia (primària i secundària) considerats.

Com és habitual en la perspectiva input-output, si volem calcular les necessitats totals –directes i indirectes- per disposar d'una unitat d'energia en les seves diverses formes -per exemple, en forma d'electricitat- haurem de calcular la matriu inversa:  $(I - A)^{-1}$  on  $I$  representa la matriu unitària d'ordre  $n$ .

Com que la matriu obtinguda contindrà fonts d'energia primàries i secundàries, per evitar dobles comptabilitats ens limitarem a considerar les fileres corresponents a fonts primàries d'energia i les columnes corresponents a energies secundàries. Cal aclarir, però, que algunes energies apareixeran amb el mateix nom com a fonts energètiques primàries i secundàries, com és el cas del carbó o el gas natural, mentre que altres només apareixeran com a primàries (per exemple, nuclear) o secundàries (per exemple, electricitat).

Abans de passar a l'exemple numèric assenyalarem algunes limitacions. La primera és que una anàlisi més completa requeriria tenir en compte que part dels usos que aquí es consideren com a "finals" són en realitat utilitzats per proveir al "sector energètic", com és el cas de l'energia utilitzada per produir els inputs industrials que s'utilitzen per part de les centrals tèrmiques o en el transport de carburants. Aquesta limitació només podria superar-se fent ús de taules input-output del conjunt de l'economia (que per l'economia catalana recent només estan disponibles per l'any 2001 i, a més, requeriria disposar d'una desagregació de les dades sectorials d'ús d'energia superior a la que tenim)<sup>7</sup>. Com a conseqüència, estem infravalorant l'"energia requerida per disposar d'energia", però pensem que aquesta infravaloració és poc important en la majoria de casos. Hi ha, però, una excepció ja apuntada anteriorment per una font energètica avui per avui de molt poca importància quantitativa però

<sup>7</sup> Vegeu l'Annex 1, sobre les possibilitats de l'anàlisi input-output amb taules "mixtes" i les dificultats actuals per aplicar-lo a Catalunya.



que pot adquirir un pes creixent: es tracta dels anomenats “cultius energètics”. El motiu és que el sector agrari no s’incorpora dins dels balanços energètics en considerar-se un sector no energètic, però consumeix una quantitat d’energia considerable per a la producció de la collita que es considera “energia primària”.

Una segona limitació prové de l’àmbit territorial. Com que partim dels balanços energètics de Catalunya, només disposem d’informació sobre l’energia importada, transformada i utilitzada en aquest àmbit. Així, no considerem, per exemple, les despeses energètiques per extreure i transportar el petroli o el carbó que importem<sup>8</sup>. Aquesta és una raó addicional per la qual els nostres càlculs infravaloren l’energia necessària per disposar d’energia. De fet, tampoc s’està tenint en compte els consums energètics produïts fora de Catalunya per a tots els béns (energètics o no) que s’importen, de manera que si el “cost energètic” dels béns importats és superior al “cost energètic” dels exportats estarem infravalorant l’impacte associat. Tot i la rellevància d’aquesta qüestió en la valoració dels impactes ambientals atribuïbles a la societat catalana, queda fora de l’abast d’aquest estudi.

En darrer lloc, la nostra perspectiva és força agregada de forma que, per exemple, considera implícitament que qualsevol usuari d’electricitat arrossega les mateixes necessitats d’energia primària per cada kWh utilitzat i això no és així. Per exemple, les instal·lacions industrials que autoprodueixen electricitat o les cases aïllades amb cèl·lules fotovoltaïques no són responsables de les pèrdues de distribució i aquestes també són diferents segons la tensió a que es distribueix l’electricitat. Amb la informació disponible de l’ICAEN en el futur podrien tenir-se en compte aquestes diferències per arribar a resultats més afinats.

---

<sup>8</sup> Que es podrien estimar si sabéssim la procedència de les importacions, els consums energètics de l’extracció en els llocs d’origen, els consums de transformació i els de transport. La importació (neta) d’electricitat i de derivats de petroli de Catalunya també la valorarem com si fos una font d’energia primària pel seu contingut energètic, tot i que a l’Annex 2 presentarem resultats sobre una valoració basada en quant suposaria obtenir-los internament.



## 4. Aplicació de la metodologia a l'anàlisi dels consums finals i requeriments d'energia primària a Catalunya 2005

---

La matriu de la Taula 3 resumeix la informació que hem obtingut a partir dels balanços energètics de l'any 2005. Les “entrades” es consideren en sentit molt ampli incloent els “consums en transformació” en sentit estricte, els “consums propis del sector energètic” i les “pèrdues de transport i distribució”. Tant el “consum total d'energia” com les “necessitats d'energia” sumen fonts primàries i secundàries de forma que per saber quanta energia primària s'utilitza hem d'evitar aquesta doble comptabilitat.

La consideració dels saldos importadors de derivats de petroli i d'electricitat com a fonts d'energia primària requereix fer un comentari específic, ja que en realitat deriven de transformar el cru i de generar electricitat per diversos mitjans. L'economia catalana importa i exporta productes refinats del petroli i electricitat. Considerem que una unitat importada es compensa amb una unitat exportada, de forma que ens centrem només en quin és el saldo net<sup>9</sup>. Quan el saldo és importador no podem deixar de considerar, òbviament, que aquesta entrada d'energia suposa una major disponibilitat d'energia primària. Això pot fer-se de dues formes. La primera opció, que és la que aquí hem utilitzat (com fa l'ICAEN en els seus balanços), és tractar aquestes importacions com una font d'energia primària valorada pel seu contingut energètic, de forma que tindriem dues noves fonts d'energia primària: el saldo net d'electricitat importada i el saldo net de derivats del petroli importats. La segona opció consistiria en estimar quanta energia primària és necessària per obtenir aquestes energies (vegeu Annex 2). Quan el saldo és exportador no apareix el problema assenyalat i en aquest cas considerem –com és lògic– que aquesta energia exportada no forma part dels requeriments d'energia primària de Catalunya<sup>10</sup>.

A la Taula 4 reproduïm la matriu de relacions directes  $E$  on els coeficients s'han calculat dividint les entrades per la disponibilitat total de cadascuna de les formes d'energia, és a dir, la suma de la requerida com a input dels processos d'extracció, distribució i transformació energètica més la destinada al consum final (o a usos no energètics o exportació neta).

---

<sup>9</sup> Tot i això, mentre l'electricitat es pot considerar un producte homogeni (i encara en aquest cas el que importa és disposar d'electricitat en un moment determinat del temps i en aquest sentit un kWh generat en un moment no és el mateix que un kWh generat en un altre moment), els derivats de petroli són productes molt heterogenis i això explica els forts saldos importadors i exportadors que es donen.

<sup>10</sup> De fet, en coherència amb la nostra metodologia, en càlculs posteriors considerem que tota l'energia primària necessària utilitzada a Catalunya per disposar de l'energia (neta) exportada forma part dels requeriments d'energia primària de fora de Catalunya. En qualsevol cas, la diferència pel període analitzat és quantitativament gairebé insignificant.

Taula 3: Entrades i sortides d'energia a Catalunya, 2005 (en ktep)

	Carbó	Petroli	Saldo ref. Petroli	Gas natural	Biomassa	Solar tèrmica	Solar fotovoltaica	Eòlica	Nuclear	Hidràulica	Saldo elec. import.	Residus renovables	Residus no renovables	Bioetanol	Biodièsel	Biogàs	Ref. Petroli	Electricitat	Consums intermedis	Consum final	Usos no energètics	Saldo energètic exportador	CONSUM TOTAL D'ENERGIA
Carbó	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	237,2	237,2	24,2	0	0	261,3
Petroli	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9194,9	9194,9	0	0	0	9194,9
Saldo ref. Petroli	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3950,9	3950,9	0	0	0	3950,9
Gas natural	0	0	0	45,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	69,7	3004,5	3120,1	3632	11	0	6763,1
Biomassa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,3	95,2	0	0	95,5
Solar tèrmica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6,2	0	0	6,2
Solar fotovoltaica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0,4	0	0	0	0,4
Eòlica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20,8	20,8	0	0	0	20,8
Nuclear	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5231	5231	0	0	0	5231
Hidràulica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	323,5	323,5	0	0	0	323,5
Saldo elec. import	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	599,6	599,6	0	0	0	599,6
R. Renovables	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	117,2	117,2	0	0	0	117,2
R. No renovables	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12,6	12,6	44,4	0	0	57
Bioetanol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	21,6	0	0	21,6
Biodièsel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	0	32,4	50,4
Biogàs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	29,1	29,1	8,9	0	0	38
Ref. Petroli	1,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1367,7	207,8	1576,6	8219	3338,6	0	13134,2
Electricitat	0,5	0,5	0	6,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50,5	598,8	657,1	3873,5	0	0	4530,6
Consums intermedis	1,6	0,5	0	52,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14633,7	10382,6	25071	15943	3349,6	32,4	44.396,1
<b>USOS TOTALS ENERGIA (PRIMÀRIA I SECUNDÀRIA)</b>																							
Producció	74,5	163,0	0	2,0	95,5	6,2	0,4	20,8	5231,0	323,5	0	117,2	57,0	0	50,4	38,0	9183,3	3931,1					19.293,9
Saldo importador d'energia	186,8	9031,8	3950,9	6761,1	0	0	0	0	0	0	599,6	0	0	21,6	0	0	3950,9	599,6					25.102,2
Necessitats d'energia	261,3	9194,9	3950,9	6763,1	95,5	6,2	0,4	20,8	5231,0	323,5	599,6	117,2	57,0	21,6	50,4	38,0	13134,2	4530,6					44.396,1

(\*) Total primària és la suma dels consums totals d'energia excloent les fonts secundàries (refinats de petroli i electricitat) per evitar una doble comptabilitat; al mateix resultat s'arriba sumant les necessitats d'energia, de nou excloent les fonts secundàries). Del total s'exclou també el saldo energètic exportador de biodièsel, que no forma part de l'energia primària utilitzada a Catalunya.

Taula 4: Matriu de relacions energètiques directes

	Carbó	Petrolí	Saldo refinats de petrolí	Gas natural	Biomassa	Solar tèrmica	Solar fotov.	Eòlica	Nuclear	Hidràulica	Saldo import d'electricitat	Residus renovables	Residus no renovables	Bioetanol	Biodièsel	Biogàs	Ref. Petrolí	Electricitat
Carbó	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,052
Petrolí	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,7	0
Saldo refinats del petrolí	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,301	0
Gas natural	0	0	0	0,007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005	0,663
Biomassa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
Solar tèrmica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Solar fotov.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
Eòlica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,005
Nuclear	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,155
Hidràulica	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,071
Saldo import. d'electricitat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,132
Residus renovables	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,026
Residus no renovables	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,003
Bioetanol	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biodièsel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Biogàs	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,006
Refinats de petrolí	0,004	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,104	0,046
Electricitat	0,002	0,000	0	0,001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,004	0,132

Font: Elaboració pròpia a partir dels balanços d'energia facilitats per l'ICAEN. Pel significat d'aquesta matriu vegeu l'explicació metodològica del text.

NOTA: En aquesta taula i les següents els valors 0 i 1 sense decimals s'usen quan el valor és exacte; en els altres casos hem conservat els valors decimals fins i tot quan els tres primers valors són nuls.

La matriu de la Taula 5 és la matriu inversa  $(I - E)^{-1}$  però suprimint les columnes que només corresponen a energies primàries i les fileres que només corresponen a energies finals. És la matriu que efectivament utilitzem per “traduir” els consums finals a energies primàries. Té tantes fileres com energies primàries considerades i tantes columnes com energies secundàries considerades (recordem que moltes formes d’energia apareixen amb el mateix nom com a primàries i secundàries).

**Taula 5: Matriu de necessitats d’energia primària lligades als diferents tipus de consums finals d’energia, Catalunya, 2005**

	Carbó	Gas natural	Biomassa	Solar tèrmica	Residus no renovables	Bioetanol	Biodièsel	Biogàs	Ref. Petroli	Electricitat
Carbó	1,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,060
Petroli	0,003	0,000	0	0	0	0	0	0	0,782	0,042
Saldo ref. Petroli	0,001	0,000	0	0	0	0	0	0	0,336	0,018
Gas natural	0,001	1,008	0	0	0	0	0	0	0,009	0,771
Biomassa	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Solar tèrmica	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Solar fotovoltaica	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,000
Eòlica	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,005
Nuclear	0,002	0,001	0	0	0	0	0	0	0,006	1,332
Hidràulica	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,082
Saldo elec. Import.	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,001	0,153
Residus renov.	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,030
Residus no renov.	0,000	0,000	0	0	1	0	0	0	0,000	0,003
Bioetanol	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Biodièsel	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Biogàs	0,000	0,000	0	0	0	0	0	1	0,000	0,007
Total primària	<b>1,009</b>	<b>1,009</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1,134</b>	<b>2,503</b>

**Font:** Elaboració pròpia a partir dels balanços d’energia facilitats per l’ICAEN.

**NOTA:** Pel significat d’aquesta matriu vegeu l’explicació metodològica del text.

Els resultats per l’any 2005 mostren que per cada unitat consumida d’electricitat hem de considerar una equivalència d’una mica més de 2,5 unitats d’energia primària. La composició d’aquesta energia primària va ser la següent: més de la meitat en forma de calor nuclear (1,332); el gas natural té també un paper considerable (0,771); una importància molt més petita van tenir el saldo elèctric importador (0,153), la hidroelectricitat (només 0,082)<sup>11</sup> i el carbó i el conjunt “petroli i els seus derivats importats” (0,06 en els dos casos); les altres fonts van tenir un paper marginal. Podem fer el mateix tipus d’anàlisi pels derivats del petroli, pels quals, evidentment, la relació entre energia primària total/consum final és molt més petita i les necessitats es concreten com és lògic de forma pràcticament total en petroli cru i en derivats importats ja transformats. Per diferents formes de consum –com ara biocarburants- per la pròpia metodologia

<sup>11</sup> No oblidem la forma de comptabilització: vegeu nota 2.

no captem les despeses energètiques (vegeu nota 4)- i pel cas del carbó i el gas natural apareixen molt infravalorades, ja que els consums associats a l'extracció es fan principalment en altres països. Aquestes són, però, limitacions ja prou assenyalades anteriorment.

Aplicant aquesta matriu als consums energètics finals dels diferents sectors obtenim una estimació de les necessitats d'energia primària associades a aquests consums que apareixen a la Taula 6, la qual cosa aporta una perspectiva més completa que les simples dades de consum final<sup>12</sup>.

**Taula 6: Requeriments totals d'energia primària de les diferents activitats, Catalunya, 2005**

	<b>Ktep</b>	<b>% sobre el total</b>
<b>Primari</b>	769,8	3,4
<b>Indústria</b>	7912,3	34,5
<b>Serveis</b>	3765,3	16,4
<b>Transport</b>	6914,1	30,2
<b>Domèstic</b>	3540,1	15,5
<b>Total</b>	22901,6	100,0

**Font:** Elaboració pròpia a partir dels balanços d'energia facilitats per l'ICAEN i de la metodologia explicada al text.

Si comparem aquesta taula amb la Taula 1 veiem que, lògicament, totes les dades són superiors en valor absolut, però la diferència és particularment gran en els serveis i el consum domèstic; en canvi, pel transport –que depèn molt menys de l'ús d'electricitat- les diferències són menys rellevants. En conseqüència, la “responsabilitat” del sector transport en la demanda d'energia passa de ser d'un 37,7% del total, quan es mesura en termes de consum final, a un 30,2% si fem les estimacions d'energia primària total, mentre que pels altres sectors (amb l'excepció del sector primari) la “responsabilitat” relativa augmenta quan la mesurem en termes d'energia primària total.

<sup>12</sup> Aquesta taula no considera –com tampoc ho fan les taules anteriors- els usos no energètics que sí considerarem en apartats posteriors.





## 5. Els canvis en les matrius de transformació de Catalunya entre 1990-92 i 2003-05

En aquest apartat ens referirem als canvis en les matrius de transformació d'energia final a requeriments d'energia primària que s'han produït en tot el període considerat. En comptes de considerar l'any 2005 i l'any 1990, hem preferit utilitzar les mitjanes dels tres primers i dels tres darrers anys amb la finalitat que les dades no es vegin molt influïdes per factors molt específics d'un any concret, com poden ser una excepcionalment alta o baixa producció hidroelèctrica o una aturada de la producció nuclear que poden comportar, a més, canvis importants en els saldos d'importació-exportació. Recordem, però, que les dades de 2004 i 2005 són provisionals.

**Taula 7: Matriu de necessitats d'energia primària lligades als diferents tipus de consums finals d'energia, Catalunya, 1990-1992.**

	Carbó	Gas natural	Biomassa	Solar tèrmica	Residus no renovables	Bioetanol	Biodièsel	Biogàs	Ref. Petroli	Electricitat
<b>Carbó</b>	1,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,090
<b>Petroli</b>	0,002	0,006	0	0	0	0	0	0	1,156	0,103
<b>Saldo ref. Petroli</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Gas natural</b>	0,000	1,041	0	0	0	0	0	0	0,000	0,118
<b>Biomassa</b>	0,000	0,000	1	0	0	0	0	0	0,000	0,003
<b>Solar tèrmica</b>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<b>Solar fotovoltaica</b>	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,000
<b>Eòlica</b>	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,000
<b>Nuclear</b>	0,007	0,005	0	0	0	0	0	0	0,010	2,407
<b>Hidràulica</b>	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,001	0,141
<b>Saldo elec. Import</b>	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,071
<b>Residus renov.</b>	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,024
<b>Residus no renov.</b>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
<b>Bioetanol</b>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<b>Biodièsel</b>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<b>Biogàs</b>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<b>Total primària</b>	<b>1,010</b>	<b>1,053</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1,168</b>	<b>2,957</b>

Font: Elaboració pròpia a partir dels balanços d'energia facilitats per l'ICAEN i de la metodologia explicada al text

**Taula 8: Matriu de necessitats d'energia primària lligades als diferents tipus de consums finals d'energia, Catalunya, 2003-2005**

	Carbó	Gas natural	Biomassa	Solar tèrmica	Residus no renovables	Bioetanol	Biodièsel	Biogàs	Ref. Petroli	Electricitat
<b>Carbó</b>	1,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,054
<b>Petroli</b>	0,004	0,000	0	0	0	0	0	0	0,767	0,044
<b>Saldo ref. Petroli</b>	0,002	0,000	0	0	0	0	0	0	0,351	0,020
<b>Gas natural</b>	0,001	1,009	0	0	0	0	0	0	0,009	0,650
<b>Biomassa</b>	0,000	0,000	1	0	0	0	0	0	0,000	0,000
<b>Solar tèrmica</b>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<b>Solar fotovoltaica</b>	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,000
<b>Eòlica</b>	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,005
<b>Nuclear</b>	0,003	0,002	0	0	0	0	0	0	0,007	1,564
<b>Hidràulica</b>	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,115
<b>Saldo elec. Import.</b>	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,101
<b>Residus renov.</b>	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,034
<b>Residus no renov.</b>	0,000	0,000	0	0	1	0	0	0	0,000	0,003
<b>Bioetanol</b>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<b>Biodièsel</b>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<b>Biogàs</b>	0,000	0,000	0	0	0	0	0	1	0,000	0,007
<b>Total primària</b>	<b>1,011</b>	<b>1,011</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1,135</b>	<b>2,595</b>

**Font:** Elaboració pròpia a partir dels balanços d'energia facilitats per l'ICAEN i de la metodologia explicada al text.

Amb la metodologia explicada anteriorment hem arribat a les matrius de transformació de les Taules 7 i 8. El canvi més rellevant és la disminució en l'energia primària que estimem que s'ha utilitzat de mitjana per obtenir una unitat d'electricitat: de 2,96 a 2,59. Darrera d'aquesta disminució hi poden haver fenòmens molt diferents. Així, una millora en l'eficiència en la distribució d'electricitat que hagués disminuït les pèrdues influiria en aquesta direcció. L'altre factor clau té a veure amb quines són les fonts d'energia primària a partir de les quals s'obté l'electricitat. En aquest sentit el canvi més important en la composició mitjana per fonts d'energia primària que s'utilitzen per obtenir una unitat d'electricitat han estat que mentre que per cada unitat d'electricitat a començaments dels 1990s es gastaven 2,41 unitats de calor nuclear, ara – degut al menor pes relatiu de l'energia nuclear en el *mix* elèctric- es gasten 1,56; en canvi, les necessitats de gas natural han augmentat clarament: de 0,12 unitats a 0,65 unitats, reflectint el creixent pes de les centrals tèrmiques d'aquest combustible. Aquest canvi d'energia nuclear a gas redueix les pèrdues de la transformació de calor en electricitat donada la major eficiència de les centrals de gas. Totes les altres variacions en la composició del *mix* elèctric són de menor quantia: el carbó, el total "cru i saldo importador de derivats" i la hidroelectricitat disminueixen, mentre que augmenten el saldo elèctric importador, els recursos renovables (incineradores de residus), el biogàs i l'energia eòlica. Els saldos importadors d'electricitat també augmenten el seu pes i aquest és un altre dels factors (però no l'únic) que contribueix –en aquest cas de forma només aparent degut a que no es consideren les transformacions

externes- a la disminució de l'energia primària necessària per disposar d'energia (vegeu Annex 2). La reducció de l'energia primària necessària per disposar dels derivats de petroli sí que s'explica amb tota probabilitat per l'“estalvi” energètic que comporta la importació de productes ja refinats.



## 6. Els factors explicatius dels canvis en els requeriments d'energia primària associats al consum final: metodologia

Des dels anys 1970s l'anàlisi energètica i ambiental ha utilitzat de forma creixent tècniques de descomposició en diversos factors o efectes per a analitzar els canvis en l'ús d'energia i/o en les emissions contaminants. Ja fa anys Ang i Zhang van identificar més d'un centenar d'estudis en aquest sentit<sup>13</sup>. Quan la metodologia que s'utilitza és la de l'enfocament input-output és usual utilitzar el terme “anàlisi de descomposició estructural” per referir-se a aquest tipus de descomposició (Hoekstra, 2005)<sup>14</sup>. Com ja hem indicat, la nostra perspectiva utilitza parcialment l'anàlisi input-output, ja que parteix de la matriu de relacions energètiques.

La nostra anàlisi explica els canvis totals (“efecte total”) en les necessitats d'energia primària –i en els seus components- a partir de la descomposició en tres efectes o factors que són: el canvi en el nivell de consum final dels diferents sectors (“efecte activitat”), els canvis entre diferents tipus d'energies finals (“efecte substitució”) i els canvis en les necessitats d'energia primària per a disposar de les energies finals (“efecte transformació”).

Els requeriments d'energia primària d'un període poden expressar-se com una matriu  $E$  ( $jxs$ ) on  $j$  és el nombre de fonts primàries considerades (carbó, nuclear,...) i  $s$  el nombre d'activitats considerades (primari, domèstic, transport,...).

$$E = T * P * \hat{C}$$

$T$  representa la matriu de transformació de consums finals d'energia a energies primàries i és d'ordre  $jxk$  ( $k$  és el nombre d'energies finals considerades).  $P$  és una matriu que representa el pesos relatiu de cada forma d'energia final en les diferents activitats i és d'ordre  $jxk$ .  $\hat{C}$  és una matriu diagonal que té per diagonal principal els consums finals de cada activitat i és d'ordre  $sxs$ .

Les variacions dels requeriments d'energia primària entre dos períodes es pot expressar com:

$$\Delta E = E_1 - E_0 = T_1 * P_1 * \hat{C}_1 - T_0 * P_0 * \hat{C}_0 = \Delta T_{\text{efecte}} + \Delta P_{\text{efecte}} + \Delta \hat{C}_{\text{efecte}}$$

Els tres efectes corresponen als que hem denominat “transformació” (derivats dels canvis en  $T$ ), “substitució” (canvis en  $P$ ) i “activitat” (canvis en  $\hat{C}$ ).

Com s'ha discutit en la literatura sobre la descomposició en factors, es podrien adoptar diverses tècniques de descomposició. La més “intuïtiva” és calcular

<sup>13</sup> Ang, B.W., i Zhang, F.Q., 2000, “A survey of index decomposition analysis in energy and environmental studies”, *Energy*, 25: 1149-1176.

<sup>14</sup> Hoekstra, R., 2005. *Economic growth, material flows and the environment*. Edward Elgar, Cheltenham.

cada efecte com els canvis que s'haguessin produït si només hagués canviat el factor considerat mantenint-se els altres invariables en el seu valor inicial. Tanmateix, aquesta alternativa –que s'anomena sovint de tipus “Laspeyres”- no dóna una descomposició exacta, de forma que l'efecte total normalment no coincideix amb la suma dels diferents efectes considerats (en el nostre cas tres) ja que apareixen interaccions entre els efectes. Aquesta és la raó principal per la qual molts estudis apliquen altres tècniques de descomposició per obtenir una descomposició exacta. Aquí adoptem la proposta de Sun (1998) que distribueix els efectes i la interacció entre els diferents efectes aplicant el principi “conjuntament creat, igualment distribuït”<sup>15</sup>. És a dir:

$$\Delta T_{\text{efecte}} = \Delta T * P_0 * \hat{C}_0 + 1/2 (\Delta T * \Delta P * \hat{C}_0) + 1/2 (\Delta T * P_0 * \Delta \hat{C}) + 1/3 ((\Delta T * \Delta P * \Delta \hat{C}))$$

$$\Delta P_{\text{efecte}} = T_0 * \Delta P * \hat{C}_0 + 1/2 (\Delta T * \Delta P * \hat{C}_0) + 1/2 (T_0 * \Delta P * \Delta \hat{C}) + 1/3 ((\Delta T * \Delta P * \Delta \hat{C}))$$

$$\Delta C_{\text{efecte}} = T_0 * P_0 * \Delta \hat{C} + 1/2 (\Delta T * P_0 * \Delta \hat{C}) + 1/2 (T_0 * \Delta P * \Delta \hat{C}) + 1/3 ((\Delta T * \Delta P * \Delta \hat{C}))$$

---

<sup>15</sup> Sun, J.W., 1998, “Changes in energy consumption and energy intensity: a complete decomposition model”, *Energy Economics*, 20: 85-100.

## 7. Els factors explicatius dels canvis en els requeriments energia primària associats al consum final: Catalunya 1990-92/2003-05

Passarem ara a presentar els resultats de l'anàlisi d'efectes aplicada als canvis entre la mitjana dels anys 1990-92 i la mitjana dels anys 2003-05.

Per tenir en compte tots els usos de l'energia primària hem incorporat no només els diferents sectors de consum final d'energia sinó també els "usos no energètics" –particularment derivats del petroli utilitzats per la indústria química– comptant no només el seu valor energètic sinó també l'energia estimada per obtenir-los. No hem considerat, en canvi, les exportacions netes de productes energètics, que de fet no formen part de les necessitats internes d'energia primària i que, en qualsevol cas, representen una part molt petita del total i pràcticament no afecten al resultat<sup>16</sup>.

**Taula 9: Efectes per sectors. Canvis en valors absoluts (kteps). Mitjana de 2003-05 respecte a mitjana de 1990-92. Catalunya.**

	Transformació	Substitució	Activitat	Total
<b>Primari</b>	-26,7	-1,6	278,0	249,7
<b>Indústria</b>	-608,8	-26,0	2.659,9	2.025,0
<b>Serveis</b>	-320,5	75,4	2.007,7	1.762,7
<b>Transport</b>	-175,0	-28,2	2.892,5	2.689,3
<b>Domèstic</b>	-282,4	-91,7	1.541,3	1.167,2
<b>Usos no energètics</b>	-85,4	-0,4	1.570,2	1.484,4
<b>Total</b>	-1.498,9	-72,5	10.949,6	9.378,2

**Font:** Elaboració pròpia a partir dels balanços d'energia facilitats per l'ICAEN i de la metodologia explicada al text.

Entre els dos períodes assenyalats les necessitats d'energia primària de Catalunya van créixer (la mitjana anual dels tres anys considerats) en més de 9 milions de teps. La Taula 9 resumeix els diferents efectes que expliquen aquest augment. En aquesta taula la desagregació dels efectes es fa per activitats (o "sectors"). Pot destacar-se que –segons aquesta perspectiva– el sector que més contribueix a l'augment és el transport, però el sector industrial, de serveis i el domèstic també impulsen considerablement el creixement com també ho fan els usos no energètics. Recordem que l'anàlisi en termes d'energia primària "amplifica" el paper relatiu dels sectors amb més pes de demanda elèctrica: si actualment el consum final del transport ja supera al de tota la indústria no és així en termes de l'energia primària estimada per proveir el consum final que encara és superior en el cas del sector industrial.

<sup>16</sup> Pels anys 1990-92 es tracta de l'exportació de 89,9 kteps de derivats de petroli i pels anys 2002-05 de 10,8 kteps de biodièsel. Els saldos importadors o exportadors sempre els hem considerat a partir del total dels tres anys.

Com era d'esperar l'“efecte activitat” –degut a l'augment dels consums finals– és el més important de tots tres, i amb diferència i per totes les activitats. Dels comentaris d'un apartat anterior ja podíem esperar també que l'“efecte transformació” –és a dir, de reducció de l'energia primària necessària per disposar d'una unitat de les diferents formes d'energia final<sup>17</sup>– tingui en tots els casos un efecte de disminuir les necessitats d'energia primària, que és més fort en aquells sectors de demanda que més depenen de l'electricitat. L'“efecte substitució”, que té molta rellevància –com veurem– per explicar les variacions en els requeriments d'algunes fonts d'energia primària no té, en canvi, gaire rellevància per explicar els canvis en el total d'energia primària del període analitzat.

**Taula 10: Efectes per fonts energètiques. Canvis en valors absoluts (kteps). Mitjana de 2003-05 respecte a mitjana de 1990-92. Catalunya.**

	Transformació	Substitució	Activitat	Total
<b>Carbó</b>	-109,6	-288,8	172,7	-225,6
<b>Petroli</b>	-3.844,7	-637,9	4.733,8	251,2
<b>Saldo ref. Petroli</b>	3.355,1	-128,8	845,5	4.071,8
<b>Gas natural</b>	1.588,6	929,2	1.727,2	4.245,0
<b>Biomassa</b>	-9,5	-18,5	38,9	11,0
<b>Solar tèrmica</b>	0,0	3,5	1,0	4,4
<b>Solar fotovoltaica</b>	0,2	0,0	0,1	0,2
<b>Eòlica</b>	13,9	0,0	3,5	17,5
<b>Nuclear</b>	-2.561,1	0,3	3.033,0	472,3
<b>Hidràulica</b>	-81,0	0,0	195,7	114,8
<b>Saldo elec. Import.</b>	89,2	0,1	131,3	220,5
<b>R. Renov.</b>	29,6	0,0	44,3	73,9
<b>R. No renov.</b>	10,0	36,7	9,4	56,1
<b>Bioetanol</b>	0,0	17,0	4,5	21,5
<b>Biodièsel</b>	0,0	8,8	2,3	11,1
<b>Biogàs</b>	20,4	5,9	6,4	32,6
<b>Total primària</b>	-1.498,9	-72,5	10.949,6	9.378,2

**Font:** Elaboració pròpia a partir dels balanços d'energia facilitats per l'ICAEN i de la metodologia explicada al text

La Taula 10 mostra l'anàlisi de l'efecte total i dels diferents efectes però amb una desagregació no per activitats sinó per fonts energètiques. Podem veure com l'“efecte activitat” sobretot provoca l'augment de necessitats de petroli cru (i dels derivats del petroli importats), un resultat lògic a causa del paper clau de l'augment de l'ús d'energia pel transport per carretera. Els augments de les fonts d'obtenció d'electricitat (sobretot nuclear) i de gas natural a conseqüència d'aquest factor també són remarcables. Pel que fa a l'“efecte substitució”, si bé el seu efecte sobre el total d'energia primària és molt petit, sí que explica una gran part de l'augment de la demanda de gas natural que es deu al creixent pes relatiu del gas natural en el consum final d'indústries, serveis i residencial a costa dels derivats de petroli i a costa també (en el cas industrial) del carbó. En darrer lloc, l'“efecte transformació” implica –com dèiem– una disminució dels requeriments totals d'energia primària, però en termes més desagregats podem

<sup>17</sup> Recordem, però, que una part d'aquesta millora pot ser explicada per un major ús d'electricitat i perquè es passa a un saldo importador de derivats de petroli.



veure com fa augmentar els requeriments de gas natural (ja que aquest combustible fòssil s'utilitza molt més en la producció d'energia elèctrica) a costa sobretot de l'energia nuclear que perd pes relatiu (però no absolut) en la generació d'electricitat; la disminució de les necessitats de petroli cru respon, en canvi, bàsicament al –abans inexistent- saldo importador de derivats del petroli ja refinats que en la nostra metodologia apareix com una forma d'energia primària per a poder disposar de derivats de petroli. També pot veure's com el saldo importador d'electricitat contribueix més a l'oferta elèctrica.

Pot observar-se que en els comentaris anteriors no hem fet cap referència a fonts energètiques “noves” com l'eòlica, el biogàs o els biocarburants. La raó és que els comentaris han estat centrats en les variacions més importants en termes absoluts i avui per avui aquestes fonts, tot i el seu gran increment, són encara marginals dins l'oferta total d'energia.

A l'Annex 3 apareixen les taules desagregades combinant sectors de demanda o activitat i fonts energètiques. Aquestes taules permeten una anàlisi més detallada dels canvis en la matriu  $E$  als quals ens referíem i dels tres efectes explicatius combinant les dues variables: tipus de font energètica i tipus d'activitat.



## 8. Conclusions

---

En aquest bloc hem analitzat l'evolució del consum final d'energia durant el període 1990-2005, i hem vist com els consums finals d'energia creixen per sobre del creixement del PIB en termes reals. Els augments relatius més importants es produeixen en el sector serveis, domèstic i en el transport; és aquesta darrera activitat (que inclou el transport privat i comercial) la que experimenta un major augment en termes absoluts fins arribar a representar un consum final d'energia superior fins i tot al del sector industrial.

Si en comptes de fer l'anàlisi en termes de consum final d'energia ho fem en termes dels requeriments d'energia primària que permeten aquest consum final d'energia podem veure que el transport, tot i la seva gran importància, "arrossega" menys energia primària que el sector industrial.

En el conjunt del període analitzat l'energia primària necessària per disposar de les diferents formes d'energia final experimenta canvis significatius. El canvi més rellevant és la disminució en l'energia primària que estimem que s'ha utilitzat de mitjana per obtenir una unitat d'electricitat -de 2,96 els anys 1990-92 a 2,59 els anys 2003-05- i encara més important és el en la composició mitjana per fonts d'energia primària que s'utilitzen per obtenir una unitat d'electricitat; mentre que per cada unitat d'electricitat a començaments dels 1990s es gastaven 2,41 unitats de calor nuclear, en els anys finals –degut al menor pes relatiu de l'energia nuclear en el *mix* elèctric- es gastaven 1,56; en canvi, les necessitats de gas natural van augmentar clarament: de 0,12 unitats a 0,65 unitats, reflectint el creixent pes de les centrals tèrmiques d'aquest combustible.

Els importants canvis en les necessitats totals d'energia primària de Catalunya entre 1990-92 i 2003-05 han estat analitzats mitjançant una descomposició en tres efectes o factors: efecte activitat (degut als canvis en els nivells de consum final d'energia), efecte substitució (degut als canvis en la composició del consum final d'energia) i efecte transformació (degut als canvis en la matriu de transformació energètica que relaciona consums finals d'energia amb requeriments d'energia primària).

L'efecte activitat –degut a l'augment dels consums finals- és el més important de tots tres, i amb diferència i per totes les activitats. L'efecte activitat provoca un augment dels requeriments de totes les fonts energètics però particularment del petroli degut al paper del transport i també a la creixent demanda de derivats de petroli per "usos no energètics".

L'efecte transformació fa disminuir les necessitats d'energia primària, i aquesta disminució és més forta en aquells sectors de demanda que més depenen de l'electricitat. L'efecte substitució, que té molta rellevància per explicar les variacions en els requeriments d'algunes fonts d'energia primària no té, en canvi, gaire rellevància per explicar els canvis en el total d'energia primària del període analitzat.

Els requeriments d'energia primària que més creixen són els de gas natural degut a que tant l'efecte transformació (major proporció de producció elèctrica en tèrmiques de gas) com l'“efecte substitució” (creixent pes relatiu del gas natural en el consum final d'indústries, serveis i residencial) són importants i se sumen a l'efecte activitat. En canvi, l'ús d'energia nuclear augmenta poc en termes absoluts degut a que l'efecte transformació (pèrdua de pes relatiu de l'electricitat d'origen nuclear) actua en direcció contrària a l'efecte activitat. L'única font d'energia primària que disminueix en termes absoluts és el carbó i això és degut a que l'efecte transformació (menor ús en el sector energètic) i substitució (menor ús en el consum final) més que contraresten l'efecte activitat. En darrer lloc, cal assenyalar com en els anys 2003-05 hi ha una important dependència de la importació de derivats del petroli ja refinats mentre que en el conjunt del període 1990-92 el saldo global d'aquests derivats va ser en unitats energètiques exportador.

## Referències

---

Alcántara, V. i Roca, J., "Energy and CO2 emissions in Spain. Methodology of analysis and some results for 1980-90", *Energy Economics*, vol.17, n.3, juliol 1995

Alcántara, V. i Roca, J., "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*, 2003, Consejo General de Colegios de Economistas de España, Madrid, pp. 163-178.

Alcántara, V., *Comptabilitat satèl·lit del medi ambient* (<http://www.idescat.net/cat/idescat/formaciorecerca/formacio/CS%20Medi%20Ambient.pdf>).

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

Casler, S. i Wilbur, S., "Energy input-output analysis. A simple guide", *Resource and Energy*, vol. 6, 1984.

Estevan, A. "Modelos de transporte y emisiones de CO2 en España", *Revista de Economía Crítica*, n. 4, 2005.

Hoekstra, R., 2005. *Economic growth, material flows and the environment*. Edward Elgar, Cheltenham.

Martínez Alier, J. i Roca Jusmet, J., *Economía ecológica y política ambiental*, Fondo de Cultura Económica, México, segunda edición corregida y aumentada, 2001.

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



## **Llistat dels principals acrònims utilitzats**

---

**ICAEN:** Institut Català de l'Energia

**PIB:** Producte Interior Brut

## **Glossari**

---

### **Consum final d'energia**

En aquest bloc es refereix a l'energia utilitzada pels ciutadans, indústries no energètiques, serveis i administracions públiques. No inclou l'energia dispersada en processos de transformació i distribució energètica.

### **Efecte activitat**

Canvis en les demandes d'energia primària entre dos períodes deguts als canvis en els nivells de consum final d'energia.

### **Efecte substitució**

Canvis en les demandes d'energia primària entre dos períodes deguts als canvis en la composició del consum final d'energia.

### **Efecte transformació**

Canvis en les demandes d'energia primària entre dos períodes deguts als canvis en la matriu de transformació energètica.

### **Efecte total**

Canvis en les demandes d'energia primària entre dos períodes deguts al resultat conjunt dels tres efectes anteriors.

### **Matriu de transformació energètica**

Ens referim a la matriu que ens permet estimar quanta energia primària –i la seva composició– és necessària per disposar de cada unitat de consum final d'energia.

### **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, coma eina per analitzar les relacions entre economia i medi ambient.

## Índex de termes

---

consum final d'energia, 1, 4, 5, 7, 8,  
11, 24, 27, 30  
descomposició, 2, 22, 23, 27, 37  
efecte activitat, 2, 22, 25, 27, 28  
efecte substitució, 2, 22, 25, 27, 28  
efecte transformació, 2, 22, 25, 27,  
28  
energia primària, 1, 2, 3, 5, 7, 11,  
12, 13, 15, 18, 19, 20, 21, 22, 24,  
25, 27, 28, 30, 35, 36  
matriu de transformació, 22, 27, 30  
taules input output, 33



## **Annex I: Les taules input-output aplicades a l'anàlisi energètic: possibilitats i dificultats a Catalunya**

En la nostra opinió, una eina molt potent per dur a terme una anàlisi que relacioni pressions ambientals –tant des del punt de vista de l'ús de recursos com dels fluxos de residus- amb activitats econòmiques és l'ús de taules input-output<sup>18</sup>. Les taules input-output tradicionals es limiten a reflectir les transaccions monetàries entre sectors econòmics i des dels sectors econòmics a la demanda final, però poden aplicar-se a l'anàlisi energètic-ambiental sempre que es complementin aquestes taules amb informació d'entrades o sortides en termes físics (sistemes NAMEA) o que totes o algunes transaccions estiguin expressades en termes físics.

En el cas de l'anàlisi energètica -i també de les emissions de CO<sub>2</sub>- creiem que la millor alternativa és utilitzar matrius "híbrides" o mixtes, és a dir, matrius en les quals les transaccions entre els sectors energètics estiguin expressades en unitats energètiques (com ara kilograms d'equivalent petroli) de forma que tindríem unes matrius expressades en les següents unitats:

	<b>Sectors energètics</b>	<b>Sectors no energètics</b>
<b>Sectors energètics</b>	Unitats d'energia/unitat energia	Unitats d'energia/unitat monetària
<b>Sectors no energètics</b>	Unitats monetària/unitat d'energia	Unitats monetàries/unitat monetària

Tal com fem en l'anàlisi tradicional input-output amb l'anomenada matriu de Leontief podem calcular la inversa de  $(I - A)$  on  $A$  és la matriu de coeficients anterior<sup>19</sup>. Les unitats d'aquesta matriu inversa són les mateixes que les de la matriu inicial.

Aquesta perspectiva és la millor forma de calcular l'energia total –directa i indirecta- necessària per disposar de cada unitat d'energia final o el cost energètic total de cada unitat de demanda final de cada sector econòmic. El problema pràctic és que normalment no disposem d'aquest tipus de taules en unitats mixtes.

Pel cas concret de Catalunya, les úniques taules input-output econòmiques de les darreres dècades disponibles, elaborades per l'Idescat, són les de l'any 2001<sup>20</sup>. Per tant, fins i tot si complementéssim aquestes taules amb informacions energètiques ens trobaríem amb la impossibilitat de fer una anàlisi

<sup>18</sup> Vegeu capítol I de Martínez Alier, J. i Roca Jusmet, J., *Economía ecológica y política ambiental*, Fondo de Cultura Económica, México, segunda edición corregida y aumentada, 2001.

<sup>19</sup> Vegeu, per exemple, Casler, S. i Wilbur, S., "Energy input-output analysis. A simple guide", *Resource and Energy*, vol. 6, 1984.

<sup>20</sup> Per una anàlisi detallada sobre les possibilitats d'ampliar les taules input output de Catalunya per l'anàlisi energètica i ambiental vegeu: Alcántara, V., *Comptabilitat satèl·lit del medi ambient* (<http://www.idescat.net/cat/idescat/formaciorecerca/formacio/CS%20Medi%20Ambient.pdf>).

de tendències i ens hauríem de limitar a una anàlisi estàtica. A més, com hem comentat, no disposem de dades energètiques referents als diferents sectors econòmics més enllà de la desagregació en sector primari, industrial (amb construcció) i serveis (diferents del transport); tampoc no tenim dades separades del transport privat i el transport empresarial.

Tot i aquestes limitacions, pensem que en un futur una línia de recerca prioritària ha de ser l'ús de taules input-output per l'anàlisi energètica.

## **Annex II: El tractament dels saldos importadors d'electricitat i de derivats de petroli**

---

Com hem apuntat al text, ni l'electricitat ni els productes derivats del petroli són fonts primàries d'energia, tot i que els tractem com a tals quan són importats o - més exactament- així tractem la diferència entre les importacions i exportacions d'un període quan aquesta diferència és positiva.

Una altra opció metodològica per tractar aquests saldos importadors d'energies transformades seria estimar l'energia primària necessària per obtenir-los. Això, per la seva banda, es podria enfocar de dues formes. Primer, analitzant l'energia efectivament utilitzada en els llocs on ha estat produïda; segon, considerant l'energia que ens estalviem en no produir-les internament. Aquests dos enfocaments només coincidirien si les tecnologies dels altres llocs fossin iguals que les nostres. L'enfocament més habitual a l'anàlisi input-output és el segon, ja que per aplicar el primer necessitariem conèixer les tecnologies utilitzades als llocs on s'obtenen aquestes energies.

L'argument a favor de fer alguna estimació de les necessitats d'energia primària és que evita que les fluctuacions en els saldos importadors d'energies transformades donin una imatge esbiaixada de l'evolució dels requeriments d'energia primària. Una creixent importació (neta) d'electricitat i de derivats del petroli apareixeria estadísticament com una major "eficiència en l'ús d'energia primària" quan en realitat no reflectiria una millora genuïna sinó un trasllat a altres països de les pèrdues de transformació. L'argument en contra és, però, que el supòsit d'obtenció amb les mateixes tècniques és arbitrari o fins i tot impossible. Per exemple, el cas més clar de possible assignació és de l'electricitat on es pot fer el supòsit que l'electricitat s'hauria obtingut amb el mateix *mix* elèctric català. Podria argumentar-se que això –per exemple, augmentar la producció nuclear- hagués estat impossible i una major producció elèctrica hagués canviat la composició –per exemple, acudint més a centrals de carbó. En el cas dels derivats del petroli la qüestió encara és més complexa perquè agreguem productes molt diferents fins al punt que el saldo és poc representatiu.

Tot i aquestes consideracions la Taula 11 presenta els resultats que obtindríem per l'any 2005 sota la hipòtesi de producció interna –amb la tecnologia catalana- del saldo importador d'electricitat i de derivats de petroli. Amb aquesta metodologia els saldos importadors d'electricitats i derivats del petroli importats desapareixen com a fonts primàries i són substituïts per l'energia primària que suposem necessària per obtenir-les.

D'aquesta forma les necessitats totals d'energia primària associades a l'electricitat i als derivats de petroli augmenten passant de 2,5 a 2,78 i de 1,13 a 1,2 respectivament (resultat de comparar la taula 11 amb la taula 5). Recordem que aquests resultats estan basats en hipòtesis molt discutibles i, en qualsevol cas, mai tenim en compte l'energia associada a l'extracció de carbó, cru i gas natural importats.

**Taula 11: Matriu de necessitats d'energia primària lligades als diferents tipus de consums finals d'energia amb la hipòtesi de producció interna del saldo importador d'electricitat i de derivats de petroli Catalunya, 2005**

	Carbó	Gas natural	Biomassa	Solar tèrmica	Residus no renovables	Bioetanol	Biodièsel	Biogàs	Ref. Petroli	Electricitat
<b>Carbó</b>	1,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,071
<b>Petroli</b>	0,005	0,000	0	0	0	0	0	0	1,177	0,074
<b>Gas natural</b>	0,002	1,008	0	0	0	0	0	0	0,015	0,910
<b>Biomassa</b>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
<b>Solar tèrmica</b>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
<b>Solar fotovolta.</b>	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,000
<b>Eòlica</b>	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,006
<b>Nuclear</b>	0,003	0,002	0	0	0	0	0	0	0,010	1,572
<b>Hidràulica</b>	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,001	0,097
<b>R. Renovables</b>	0,000	0,000	0	0	0	0	0	0	0,000	0,035
<b>R. No renovables</b>	0,000	0,000	0	0	1	0	0	0	0,000	0,004
<b>Bioetanol</b>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
<b>Biodièsel</b>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<b>Biogàs</b>	0,000	0,000	0	0	0	0	0	1	0,000	0,009
<b>Total primària</b>	1,010	1,010	1	1	1	1	1	1	1,204	2,778

**Font:** Elaboració pròpia a partir dels balanços d'energia facilitats per l'ICAEN i de la metodologia explicada al text.

### Annex III: Taules detallades sobre descomposició en diferents efectes dels canvis en els requeriments d'energia a Catalunya entre 1990-92 i 2003-05

A continuació es presenten les dades detallades sobre la contribució de cada tema en els requeriments d'energia a Catalunya en el període estudiat.

**Taula 12: Efecte total (Ktep)**

	Primari	Indústria	Serveis	Transport	Domèstic	Usos no energètics	Suma
<b>Carbó</b>	-0,2	-231,1	15,0	-0,9	-7,6	-0,9	-225,6
<b>Petroli</b>	6,3	-326,7	-72,3	525,2	-189,9	308,6	251,2
<b>Saldo ref. Petroli</b>	201,0	459,7	93,6	2043,3	137,6	1136,6	4071,8
<b>Gas natural</b>	34,3	2083,5	970,8	91,6	1028,9	35,8	4245,0
<b>Biomassa</b>	1,7	-37,8	7,5	-0,2	39,7	0,0	11,0
<b>Solar tèrm.</b>	0,0	0,1	0,7	0,0	3,5	0,0	4,4
<b>Solar fotov.</b>	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2
<b>Eòlica</b>	0,2	7,6	5,3	0,4	3,8	0,1	17,5
<b>Nuclear</b>	0,4	-140,2	563,3	-11,4	57,7	2,5	472,3
<b>Hidràulica</b>	0,9	29,8	59,7	1,4	22,4	0,5	114,8
<b>Saldo elec. Import.</b>	2,1	86,2	79,8	4,6	46,9	0,8	220,5
<b>R. Renov.</b>	0,7	28,9	26,8	1,5	15,7	0,3	73,9
<b>R. No renov.</b>	0,1	49,1	3,8	0,3	2,7	0,0	56,1
<b>Bioetanol</b>	0,0	0,0	0,0	21,5	0,0	0,0	21,5
<b>Biodièsel</b>	0,0	0,0	0,0	11,1	0,0	0,0	11,1
<b>Biogàs</b>	2,1	15,7	8,5	0,6	5,6	0,1	32,6
<b>Total primària</b>	<b>249,7</b>	<b>2025,0</b>	<b>1762,7</b>	<b>2689,3</b>	<b>1167,2</b>	<b>1484,4</b>	<b>9378,2</b>

**Taula 13: Efecte transformació (Ktep)**

	Primari	Indústria	Serveis	Transport	Domèstic	Usos no energètics	Suma
<b>Carbó</b>	-1,1	-50,6	-30,1	-2,8	-24,5	-0,4	-109,6
<b>Petroli</b>	-185,6	-537,8	-134,3	-1798,6	-191,9	-996,5	-3844,7
<b>Saldo ref. Petroli</b>	166,3	430,6	91,8	1620,2	147,3	898,8	3355,1
<b>Gas natural</b>	19,6	699,0	435,9	70,2	342,5	21,3	1588,6
<b>Biomassa</b>	-0,1	-4,4	-2,6	-0,2	-2,1	0,0	-9,5
<b>Solar tèrm.</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Solar fotov.</b>	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
<b>Eòlica</b>	0,1	6,4	3,8	0,4	3,1	0,1	13,9
<b>Nuclear</b>	-26,8	-1183,5	-703,9	-66,0	-572,1	-8,8	-2561,1
<b>Hidràulica</b>	-0,8	-37,5	-22,2	-2,1	-18,1	-0,3	-81,0
<b>Saldo elec. Import.</b>	0,9	41,1	24,6	2,3	19,9	0,3	89,2
<b>R. Renov.</b>	0,3	13,6	8,2	0,8	6,6	0,1	29,6
<b>R. No renov.</b>	0,1	4,6	2,7	0,3	2,2	0,0	10,0
<b>Bioetanol</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Biodièsel</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
<b>Biogàs</b>	0,2	9,4	5,6	0,5	4,6	0,1	20,4
<b>Total primària</b>	<b>-26,7</b>	<b>-608,8</b>	<b>-320,5</b>	<b>-175,0</b>	<b>-282,4</b>	<b>-85,4</b>	<b>-1498,9</b>

**Taula 14: Efecte substitució (Ktep)**

	Primari	Indústria	Serveis	Transport Domèstic	Usos no energètics	Suma	
Carbó	0,0	-277,9	2,3	-1,0	-10,7	-1,3	-288,8
Petroli	-8,7	-250,5	-136,3	-14,6	-224,5	-3,3	-637,9
Saldo ref. Petroli	-1,7	-49,5	-28,7	-2,9	-45,3	-0,7	-128,8
Gas natural	6,4	573,5	112,8	-2,6	234,2	4,9	929,2
Biomassa	1,5	-59,5	6,8	0,0	32,7	0,0	-18,5
Solar tèrm.	0,0	0,1	0,6	0,0	2,8	0,0	3,5
Solar fotov.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Eòlica	0,0	0,0	0,1	0,0	-0,1	0,0	0,0
Nuclear	-0,5	-2,4	104,0	-29,1	-71,7	0,0	0,3
Hidràulica	0,0	-0,2	6,8	-1,9	-4,7	0,0	0,0
Saldo elec. Import.	0,0	-0,1	4,7	-1,3	-3,2	0,0	0,1
R. Renov.	0,0	0,0	1,6	-0,4	-1,1	0,0	0,0
R. No renov.	0,0	36,7	0,1	0,0	-0,1	0,0	36,7
Bioetanol	0,0	0,0	0,0	17,0	0,0	0,0	17,0
Biodièsel	0,0	0,0	0,0	8,8	0,0	0,0	8,8
Biogàs	1,5	3,8	0,7	-0,1	-0,1	0,0	5,9
<b>Total primària</b>	<b>-1,6</b>	<b>-26,0</b>	<b>75,4</b>	<b>-28,2</b>	<b>-91,7</b>	<b>-0,4</b>	<b>-72,5</b>

**Taula 15: Efecte activitat (Ktep)**

	Primari	Indústria	Serveis	Transport Domèstic	Usos no energètics	Suma	
Carbó	1,0	97,4	42,9	3,0	27,6	0,8	172,7
Petroli	200,6	461,7	198,3	2338,5	226,4	1308,4	4733,8
Saldo ref. Petroli	36,4	78,6	30,5	426,0	35,6	238,5	845,5
Gas natural	8,2	811,0	422,1	24,1	452,2	9,7	1727,2
Biomassa	0,3	26,1	3,3	0,1	9,1	0,0	38,9
Solar tèrm.	0,0	0,0	0,2	0,0	0,7	0,0	1,0
Solar fotov.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Eòlica	0,0	1,2	1,4	0,1	0,8	0,0	3,5
Nuclear	27,7	1045,7	1163,1	83,6	701,5	11,4	3033,0
Hidràulica	1,8	67,5	75,1	5,4	45,2	0,7	195,7
Saldo elec. Import.	1,2	45,2	50,5	3,6	30,2	0,5	131,3
R. Renov.	0,4	15,3	17,0	1,2	10,2	0,2	44,3
R. No renov.	0,0	7,8	1,0	0,1	0,6	0,0	9,4
Bioetanol	0,0	0,0	0,0	4,5	0,0	0,0	4,5
Biodièsel	0,0	0,0	0,0	2,3	0,0	0,0	2,3
Biogàs	0,4	2,5	2,2	0,1	1,2	0,0	6,4
<b>Total primària</b>	<b>278,0</b>	<b>2659,9</b>	<b>2007,7</b>	<b>2892,5</b>	<b>1541,3</b>	<b>1570,2</b>	<b>10949,6</b>