

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

Bloc 1: Metodologia i context internacional

Jesús Ramos Martín, Sílvia Cañellas Boltà i Mario Giampietro

Juny 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 1: Metodologia i context internacional

Juny 2007

Continguts

Resum Executiu	1
Introducció	1
Context internacional	2
Context català	3
Altres experiències al món	4
Metodologia d'anàlisi MSIASM	4
1. Introducció	7
1.1. Objectius	9
1.2. Estructura general d'AMEEC	12
2. Context internacional i català	17
2.1. Estructura i conjuntura energètica mundial	17
2.1.1 Energia Primària a nivell mundial	17
2.1.2. Estructura de l'energia primària a l'Estat Espanyol	20
2.1.3. Previsió de creixement econòmic	21
2.1.4. El cas del Petroli	22
2.2. La situació a Catalunya	26
2.3. Altres experiències al món per a reduir la dependència energètica	27
2.3.1. Estats Units d'Amèrica (EUA)	27
2.3.2. Irlanda	28
2.3.3. Suècia	30
2.3.4. Nova Zelanda	32
2.3.5. Posicionament de l'estudi AMEEC	33
3. Metodologia d'anàlisi	35
3.1. Metabolisme social	35
3.2. MSIASM: Principals agregats i variables	36
3.3. Particularitats del cas català	44
3.4. Exemples d'anàlisis similars	44
3.5. Tipus de dades a què es pot arribar i benchmarking	46
Referències	49
Llistat dels principals acrònims utilitzats	53
Índex de termes	54
Glossari	55
Annex: Teories i conceptes darrera MSIASM	59
A.1. Origen de l'anàlisi energètica de les economies.....	59
A.2. El concepte de metabolisme social	60
A.3. Definicions bàsiques i teoria	64
A.3.1. Irreversibilitat.....	64
A.3.2. Dissipació d'energia com a font de vida: la segona fletxa del temps	65
A.3.3. Característiques dels Sistemes Complexos	66
A.3.4. Eficiència Energètica versus Adaptabilitat	69
A.3.5. Hipercicle	70
A.3.6. La relació entre energia i desenvolupament tecnològic	72

A.3.7. Risc, incertesa, ignorància	73
A.4. Implicacions en termes d'eines conceptuals.....	74
A.4.1. Efecte Mosaic.....	74
A.4.2. Anàlisi de Cicles Impredicatus.....	78
A.4.3. Lligam entre consum i producció.....	81

Referències de l'Annex	83
-------------------------------------	-----------

Nota sobre la metodologia MSIASM	91
---	-----------

Índex de Figures

Figura 1: Cim del petroli per als EUA segons Hubbert	7
Figura 2: Estructura dels blocs dintre de l'estudi	14
Figura 3: Evolució de l'energia primària total per regions (1971-2003) (en mtep)	17
Figura 4: Distribució del consum l'energia primària per regions	18
Figura 5: Evolució del consum energia primària total mundial per fonts energètiques (1971-2003) (en mtep).....	19
Figura 6: Distribució del consum d'energia primària per fonts d'energia (1973 i 2003)	19
Figura 7: Consum d'energia primària a l'Estat espanyol el 2005.....	21
Figura 8: Demanda incremental de petroli per sector (2002-2030)	23
Figura 9: Cim del petroli al món segons ASPO (en milers de milions de barrils de petroli)	24
Figura 10: Producció i descobriment de petroli.....	25
Figura 11: Dendrogrames biofísics (EMR) i monetaris (ELP). Espanya 1996 ..	43
Figura 12: Exemple de l'ús del benchmarking	48

Índex de Taules

Taula 1: Demanda Mundial de petroli (milions de barrils per dia).....	22
Taula 2: Índex de vulnerabilitat del petroli	30
Taula 3: Principals agregats i variables de MSIASM	42

Índex de Figures de l'Annex

Figura A- 1: El flux circular de la renda.....	61
Figura A- 2: Representació de l'hipercicle d'Itàlia el 1999	71
Figura A- 3: Relació entre dissipació d'energia i productivitat a Espanya	73
Figura A- 4: Dendrograma d'energia exosomàtica per Espanya el 1996	75
Figura A- 5: Metabolisme del total com a suma del metabolisme de les parts ..	76
Figura A- 6: Efecte mosaic a través de nivells jeràrquics	77
Figura A- 7: Representació del Cicle Impredicatiu d'energia de l'Estat espanyol l'any 1999	79
Figura A- 8: El lligam entre consum i producció	81

Resum Executiu

Introducció

L'actual situació energètica, caracteritzada principalment per la volatilitat i la pujada dels preus del petroli, està generant preocupació a tot el món degut a la dependència de l'economia mundial envers els combustibles d'origen fòssil. A més a més, sembla que el ritme d'extracció del petroli a nivell mundial està arribant a un màxim (que es coneix com a cim del petroli o *peak oil*), mentre que la demanda segueix augmentant. Així doncs, és de preveure que l'escalada de preus continuarà, fet que provocarà tensions en el sistema econòmic mundial, de manera especial als països més dependents del petroli, com és el cas de Catalunya.

En aquest context, l'estudi AMEEC utilitza una metodologia innovadora, coneguda originalment com a *Multi-Scale Integrated Analysis of Societal Metabolism*¹ (MSIASM) (Giampietro, 2003), per tal de fer una caracterització de l'economia catalana en termes d'energia que ens permeti entendre millor els lligams entre les variables econòmiques i les biofísiques (en aquest cas, el consum d'energia).

D'aquesta anàlisi s'esperen els següents resultats:

- 1) Una caracterització, en termes biofísics, dels diferents sectors de l'economia catalana, que permeti fer una comparació amb d'altres països del nostre entorn (com els de la OCDE) i poder estudiar la peculiaritat de Catalunya.
- 2) Una anàlisi històrica dels canvis d'aquests valors a Catalunya
- 3) Una anàlisi de la resposta dinàmica a pertorbacions, com ara l'impacte del cim del petroli.

El conjunt de l'estudi AMEEC està dividit en 12 blocs, que d'una banda aporten la informació necessària per la metodologia MSIASM (bloc 10), i de l'altra constitueixen una completa caracterització del context energètic català des del punt de vista biofísic.

En aquest document (bloc 1) es fa una introducció a l'estudi, es descriu el context energètic internacional i la situació a Catalunya, i posteriorment es presenta la metodologia d'anàlisi MSIASM. Finalment, s'inclou un annex que conté les bases teòriques de MSIASM i aprofundeix en alguns dels conceptes utilitzats.

Els títols dels blocs són els següents:

¹ Que traduïm per *Anàlisi Integrat Multiescalar del Metabolisme Social*.

- Bloc 1:** Metodologia i context internacional
- Bloc 2:** Energia primària a Catalunya
- Bloc 3:** Consum d'energia final a Catalunya
- Bloc 4:** El sector de transformació energètica i la generació d'electricitat
- Bloc 5:** El cas específic del petroli
- Bloc 6:** Anàlisi de l'evolució de la població total, activa i ocupada a Catalunya
- Bloc 7:** Evolució dels preus de l'energia i prospectiva
- Bloc 8:** Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle derivades del consum d'energia
- Bloc 9:** Exemples d'instruments per a la gestió de la demanda d'energia
- Bloc 10:** Anàlisi Integrada Multi-escala del Metabolisme Energètic de Catalunya
- Bloc 11:** Anàlisi de Fluxos de Materials
- Bloc 12:** Conclusions

Context internacional

L'anàlisi del context energètic internacional mostra una tendència a l'augment de la dependència dels combustibles d'origen fòssil. El consum d'energia primària augmenta de forma continuada a tot el món, segons les dades de l'Agència Internacional de l'Energia (AIE). Tot i així, el nivell de consum i el ritme de creixement és força desigual: els països de l'OCDE són els grans consumidors; hi ha regions on el consum augmenta poc o gens (antiga Unió Soviètica, Amèrica Llatina i Àfrica) i d'altres on augmenta considerablement (sobretot la Xina, i la resta d'Àsia). Gairebé tot l'increment de consum d'energia primària dels darrers 30 anys al món es deu a combustibles fòssils com el carbó, petroli i gas natural. També té un pes important l'energia nuclear, mentre que l'ús de les energies renovables és encara marginal.

Quant a l'horitzó de futur, cal remarcar que l'AIE preveu un creixement d'un 1,6% anual en els consums d'energia primària a totes les regions, però sobretot a l'Àsia. Les fonts d'energia de les quals augmentarà el consum serà sobretot el gas natural, seguit del petroli i del carbó, amb un manteniment o creixement molt suau de l'energia nuclear.

Les previsions de creixement econòmic de l'OCDE (2004) i el Fons Monetari Internacional (2004) dibuixen un escenari clarament expansiu de l'activitat econòmica fins l'any 2010, amb taxes anuals de creixement del 3,7% del PIB mundial. La Xina (amb un 6,4%) i la Índia (5,6%) són els països on aquest creixement serà més important. Aquest és el factor principal que tirarà de la demanda d'energia en el futur immediat, per la qual cosa es poden preveure tensions als mercats si l'oferta no s'ajusta en quantitat, qualitat, i temporalitat a la demanda prevista.

De fet, l'AIE preveu que el consum de petroli el 2030 sigui de més de 121 milions de barrils diaris, quan actualment estem al voltant dels 84 milions. El principal factor determinant de la demanda de petroli és i serà el transport, que

depèn en més d'un 90% del petroli i els seus derivats. Així, l'AIE preveu que gairebé es dobli el nombre total de vehicles al món l'any 2030 respecte el 2002.

Segons els analistes el petroli es troba, probablement, molt a prop del seu "cim de producció", conegut com a "peak oil". Això vol dir que l'extracció total mundial està arribant a un màxim i a partir d'aquí anirà disminuint, tot i que es mantingui durant dècades. Com que la demanda continua augmentant, hi haurà una escassetat relativa que comportarà preus més alts.

Context català

La situació a Catalunya i al conjunt de l'Estat espanyol és encara de major dependència dels combustibles fòssils que en altres països. Les dades indiquen que l'Estat espanyol depèn en un 84% dels combustibles fòssils; en el cas particular del petroli, això suposa un 15% més de dependència que la mitjana mundial. L'ús d'energies renovables és encara molt marginal; per exemple, la generació d'energia eòlica només suposa l'1,2% del total d'energia primària actualment.

Catalunya es troba en una situació semblant. En primer lloc, l'estructura energètica de Catalunya depèn de forma molt important del petroli (48%) i de l'energia nuclear (25%) pel que fa a l'energia primària, i de l'energia nuclear pel que fa a la generació d'electricitat, amb un 55,8% (ICAEN 2005, p. 15).

D'altra banda, s'espera que quan les centrals nuclears a Catalunya acabin la seva vida útil, l'electricitat s'haurà de generar amb altres fonts energètiques. Les previsions apunten cap a un augment de l'ús del gas natural, que es pot trobar amb la mateixa situació d'escassetat relativa que el petroli les properes dècades.

Aquest escenari té implicacions serioses per a Catalunya a curt i mitjà termini:

- i) La competitivitat de l'economia catalana es pot veure compromesa per perturbacions relatives al mercat de combustibles fòssils;
- ii) L'economia catalana haurà d'afrontar l'estrès associat a un canvi estructural en el sector energètic amb l'envelliment i l'acabament de la vida útil de les centrals nuclears;
- iii) L'economia ha d'afrontar una reestructuració més general per a fer front als nous desafiaments que comporten tant la globalització, com l'ampliació de la Unió Europea als estats de l'est d'Europa (competir amb economies que poden disposar d'un cost de la mà d'obra molt més baix);
- iv) La dinàmica demogràfica de la societat catalana està canviant, amb l'envelliment de la població i l'arribada de la població immigrant, fet que tindrà conseqüències en l'augment del consum d'energia.

L'aplicació de MSIASM permetrà veure les relacions que hi ha entre els canvis estructurals als diferents sectors econòmics, els seus consums d'energia, l'evolució de l'eficiència energètica, l'evolució de l'ocupació als diferents

sectors, i la productivitat del treball, per la qual cosa podrem donar resposta a algunes de les implicacions mencionades.

Altres experiències al món

Diversos països han començat a plantejar-se com fer front a la dependència de les seves economies respecte el petroli. Aquí en presentem alguns exemples:

Als Estats Units (EUA), el Departament d'Energia va encarregar a l'analista energètic Robert L. Hirsch dirigir un estudi sobre l'impacte del cim del petroli a l'economia americana. Aquest estudi és *Peaking of World Oil Production: Impacts, Mitigation, & Risk Management* (Hirsch et al., 2005). L'informe argumenta que cada cop que es dobli el preu del petroli es produirà una pèrdua d'un 1% del PIB per a l'economia dels EUA.

A Irlanda, el Consell Assessor i de Política Nacional de Promoció Econòmica, Comerç, Ciència, Tecnologia i Innovació del govern (Forfás) va fer públic el 2006 l'informe, *A Baseline Assessment of Ireland's Oil Dependence – key policy considerations* (Forfás, 2006), que es centra sobretot en el petroli. Irlanda no té petroli i essent una illa depèn del transport marítim i aeri de persones i béns per a la seva connectivitat. L'estudi presenta un índex de vulnerabilitat a l'increment del preu del petroli que situa Irlanda com a cinquena economia potencialment més afectada, i l'espanyola com a sisena.

A Suècia, l'Oficina del Primer Ministre va engegar el desembre de 2005 una de les experiències més interessants en crear la Comissió per la Independència del Petroli, a la qual va encarregar un estudi per acabar amb la dependència del petroli l'any 2020 i reduir tangiblement l'ús de productes petrolífers. Els objectius que planteja el document són:

- Reduir l'ús del petroli en el transport per carretera en un 40-50%;
- Deixar d'utilitzar petroli per escalfar espais residencials i comercials;
- Reduir entre un 25-40% el consum de petroli a la indústria.
- Augmentar l'eficiència energètica un 1,5% anual fins el 2020.

A Nova Zelanda, l'any 2004 el Ministeri de Desenvolupament Econòmic va publicar un document titulat *Sustainable Energy: Creating a Sustainable Energy System for New Zealand* que ha servit de base per una discussió sobre l'estratègia energètica nacional, en la qual han participat experts i societat civil. El 2006 el govern acaba de presentar un nou document de referència (New Zealand Energy Strategy Terms of Reference).

Metodologia d'anàlisi MSIASM

La metodologia que s'utilitza en aquest estudi, l'anàlisi integrada multiescalar de metabolisme social (MSIASM) va néixer amb l'objectiu d'analitzar els processos de desenvolupament econòmic des d'un punt de vista biofísic. En el cas d'AMEEC, ens centrarem en l'anàlisi del metabolisme energètic.

L'enfocament ofereix una comptabilitat de l'energia utilitzada a Catalunya i als diversos components del sistema econòmic. A més a més utilitza aquesta informació per combinar-la amb dades de caràcter econòmic (com ara el PIB sectorial desagregat) i dades demogràfiques i de mercat de treball per a calcular un conjunt de coeficients d'ús de l'energia.

Metabolisme social: Tot procés econòmic implica la transformació d'energia i de materials per a la producció de béns i serveis, anàlogament a un organisme que metabolitza el menjar i el converteix en treball físic. Això té com a repercussió la generació de residus materials i calor dissipat que són disposats a l'ambient. L'activitat econòmica, per tant, es pot descriure en termes biofísics en funció de la quantitat i tipus d'energia i materials que utilitza. Quan s'analitza el cas particular del vector energètic, es parla de **metabolisme energètic**.

MSIASM divideix l'economia en diferents sectors, per als quals analitza el balanç dinàmic d'ús de recursos com són l'energia o la disponibilitat de temps. Això es fa utilitzant variables intensives que mesuren, per exemple, la generació de valor afegit o el consum d'energia per unitat de temps.

En aquesta estudi dividim l'economia catalana en dos grans sectors: el treball remunerat (PW) i les activitats no productives (HH). El sector PW es divideix en 6 subsectors: productiu (PS), serveis i administració (SG), agricultura (AG), transformació de l'energia (ES), transport (TS), i construcció (CS).

Les principals variables que s'utilitzen són les següents:

Acrònim	Nom de la Variable	Descripció
THA	Activitat total humana	Total de temps d'una societat en un any. Es calcula multiplicant la població per 8760 hores.
TET	Flux total d'energia	Total d'energia primària usada per una economia en un any, mesurat en Joules.
GDP	Producte interior brut	Valor afegit generat per una economia en un any, mesurat en euros (o dòlars).
EI	Intensitat energètica	Variable intensiva que indica la quantitat d'energia consumida per unitat de PIB.
EMR_{SA}	Taxa de metabolisme exosomàtic mitjana de la societat	Variable intensiva que ens indica la quantitat d'energia consumida en un any per una societat per cada hora viscuda.
ELP	Productivitat del treball	Variable intensiva que indica la productivitat del treball. Es mesura en euros per hora (€/h).
(ELP/EMR)	Eficiència energètica de la producció	Variable intensiva que mesura l'eficiència econòmica amb què utilitzem l'energia, és a dir, quant valor afegit generem amb una unitat d'energia. Es mesura en euros per Joule (€/J).

Aquest tipus d'anàlisi ajuda a caracteritzar diferents activitats en termes dels seus consums relatius de diversos factors: per exemple, quanta energia es consumeix en una hora de treball en una fàbrica, quant valor afegit es genera, etc. Això permet crear escenaris futurs per tal d'avaluar l'impacte de determinades polítiques o xocs, com ara el preu del petroli a 100\$/barrel.

El més interessant és que MSIASM permet veure clarament quina és la vinculació que hi ha entre els diversos sectors de l'economia (incloent-hi les famílies) i els diferents fluxos rellevants (temps, consum d'energia, generació de valor afegit), fet que mostra ràpidament les possibles limitacions biofísiques que alguns escenaris o mesures poden tenir. Per exemple, en aplicar aquesta metodologia es pot veure fàcilment quines implicacions tindria, en termes de necessitats de mà d'obra i de consum energètic derivat, un creixement del sector turístic o de la construcció. Un altre exemple interessant serà veure com afectaria a l'economia catalana el tancament previst de les centrals nuclears.

MSIASM s'ha aplicat ja per a l'anàlisi de diferents sistemes econòmics. Això fa que es puguin desenvolupar comparatives a través del que es coneix com a *benchmarking*. Es tracta d'utilitzar els coeficients calculats per a fer una comparativa amb d'altres països. Això es fa establint uns valors de referència (benchmark) que permetran veure la posició relativa de Catalunya en un conjunt de països similars per a diferents variables.

1. Introducció

La situació energètica actual a nivell mundial està generant interès i preocupació a tot el món i en sectors molt diversos. Això es deu al fet que l'economia mundial, i també l'espanyola i la catalana, tenen una clara dependència dels combustibles fòssils per al seu funcionament habitual, juntament amb el fet que aquests combustibles, particularment el petroli, els darrers anys han presentat una gran volatilitat dels preus i una tendència marcadament a l'alça, a les quals s'afegeix una creixent inestabilitat en la disponibilitat de combustibles fòssils. Clarament, la forta demanda de petroli de l'actualitat és part de l'explicació, però hi ha qui parla també del "peak oil", o cim del petroli, com a factor fonamental. El cim del petroli fa referència al fet que s'està arribant al màxim de la corba d'extracció mundial de petroli. Això no vol dir un esgotament de tot el petroli de forma immediata, però sí que el món veurà un augment progressiu de l'"escassetat" d'aquest recurs, ja que el volum extret anirà disminuint mentre que la demanda mundial segueix augmentant. Per tant, l'actual tendència a l'alça dels preus del petroli sembla que continuarà. La Figura 1 conté la corba que va elaborar Hubbert el 1956 per als Estats Units.

Figura 1: Cim del petroli per als EUA segons Hubbert

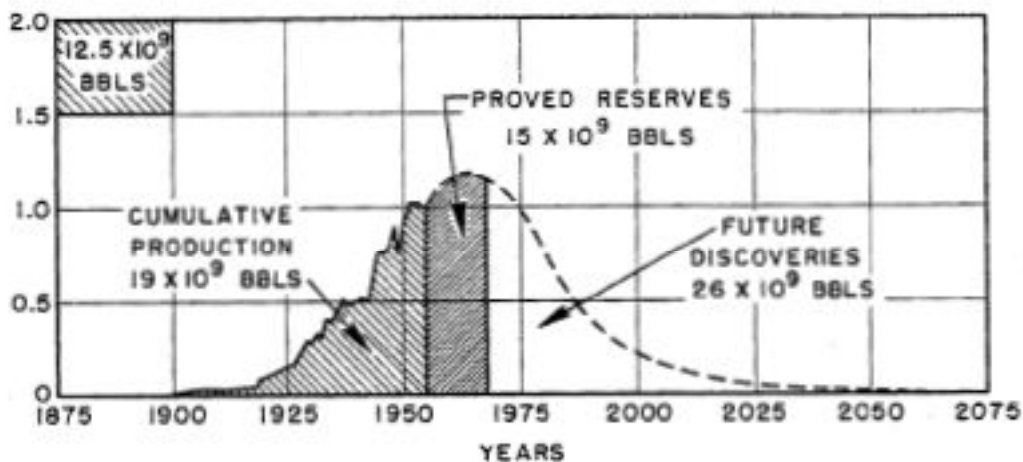


Figure 23 - Ultimate Texas crude-oil production.

Font: Hubbert (1956: 26)

La pujada del preu del petroli provoca tensions en el sistema econòmic a nivell mundial. La situació a la majoria de països és de dependència del petroli tant com a combustible líquid per al transport (difícil de substituir a curt termini), com en la generació d'electricitat, o en l'ús com a matèria primera per a multitud de processos industrials. D'altra banda, el petroli no és l'únic combustible que està augmentant de preu i que serà cada cop més escàs, sinó que el seu substitut principal, el gas natural, presenta la mateixa tendència. Així, la Comissió Europea (2003) preveu que Europa arribi al cim de producció de gas natural el 2010, i Nord-Amèrica el 2020, tot i que segons dades de British Petroleum (BP 2006) amb la taxa de producció actual hi ha reserves per 65 anys.

A aquests problemes de caràcter econòmic s'han d'afegir d'altres de tipus social vinculats també a la importància del petroli en el sistema econòmic, com ara l'empobriment relatiu de la població que l'augment de preus del petroli implica. L'ús massiu del petroli com a combustible comporta també greus problemàtiques ambientals, com són la contaminació en les àrees d'extracció i les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle derivades de la crema de combustibles fòssils.

L'escalada de preus i l'alta dependència provocaran tensions en el sistema econòmic de manera especial als països més dependents del petroli, com és el cas de Catalunya (com veurem a la secció 2.2).

Per tal de fer front a aquesta situació, però, no n'hi ha prou només amb preveure un canvi de fonts energètiques, entre d'altres qüestions perquè molts dels usos actuals del petroli no són fàcils de substituir a curt termini. Per tal de preveure els impactes d'una possible crisi energètica o per tal de plantejar què cal fer per afrontar millor aquests canvis en el context energètic internacional cal comprendre primer quina és la relació entre economia i necessitats energètiques. Aquest és el principal objectiu de l'estudi AMEEC, que se centra en el cas de Catalunya. Alguns països del nostre entorn desenvolupat han portat a terme estudis i altres iniciatives, com veurem a la secció 2.3, però només es fixen en el vector del petroli. Per contra, aquí es planteja fer una anàlisi global de totes les fonts d'energia, que ens permeti veure punts clau, i factors limitadors, de la relació entre el sistema econòmic i l'energia. Això ho farem amb la metodologia coneguda com Multi-Scale Integrated Analysis of Societal Metabolism (MSIASM) (Giampietro, 2003), que es presenta a la secció 3 d'aquest document.

Com veurem², l'enfocament es basa en la teoria de sistemes complexos, l'anàlisi de les xarxes, en la termodinàmica de sistemes oberts i en la teoria econòmica. Es tracta d'una metodologia integradora de diferents perspectives que descriuen la realitat assumint diferents punts de vista.

L'objectiu principal de la metodologia és arribar a una caracterització de l'economia que ens permeti entendre millor els lligams entre les diferents variables econòmiques i biofísiques (en el nostre cas, el consum d'energia). Alhora, l'anàlisi permet mostrar els possibles factors limitadors als quals la societat haurà de fer front. El treball que es porta a terme a AMEEC representa un pont entre l'anàlisi científica i la societat a la que va dirigida, ja que els resultats de l'estudi es poden utilitzar per a discutir de manera oberta diferents aspectes del desenvolupament econòmic on la societat i els polítics hauran de prendre decisions. En el nostre cas, ens centrem en el que es coneix com a metabolisme energètic de les societats. Això vol dir que estudiarem quanta energia utilitza la societat catalana i com la utilitza per tal de desenvolupar les

² A la secció 3 d'aquest bloc es presenten les principals característiques de la metodologia. Per a una discussió més en profunditat podeu consultar també l'Annex I, que presenta els elements teòrics en què es basa MSIASM.

seves activitats, i fins a quin punt estem davant de situacions de dependència d'una única font d'energia (el petroli) amb una difícil solució.

La dependència envers el petroli de les economies industrialitzades no minva, sinó tot el contrari, fent encara més fràgil la posició de l'economia catalana en quant a la provisió de primeres matèries energètiques de l'exterior. Tot això passa en un moment de canvi estructural no només del sector energètic, amb l'aplicació de noves tecnologies i el desfasament d'antigues, sinó que s'està produint també un canvi estructural de tota l'economia degut al canvi en la composició del PIB català, i a causa de la nova estructura de població, que tindrà uns requeriments d'infraestructures i altres serveis intensius en energia que encara no s'han manifestat en la seva totalitat. Aquests canvis implicaran augments en els nivells de consum energètic si no es modifiquen les pautes de consum.

Cal, per tant, una planificació activa referent a quins són els nivells de consum als quals volem arribar, i amb quines fonts energètiques. Això implica conèixer l'impacte relatiu, en termes de consum d'energia i de generació de valor afegit, dels diferents sectors econòmics, per tal de promoure aquells que comparativament generin més valor afegit amb menys consum d'energia, sense que això provoqui distorsions a la resta de l'economia (sense provocar, per exemple, crisis de mà d'obra en alguns sectors). També implica identificar els possibles inconvenients que aquestes mesures es poden trobar, i les implicacions a mig i llarg termini en termes econòmics, tecnològics i de mà d'obra. Aquest darrer factor està fortament condicionat per dinàmiques demogràfiques internes i per les onades d'immigració que s'han produït darrerament. La complexitat inherent a l'anàlisi del procés de desenvolupament econòmic d'un territori requereix l'aplicació d'anàlisis de tipus integrat, on utilitzem tant variables econòmiques per tal de descriure i caracteritzar les societats, com variables biofísiques que ens descriuen l'impacte relatiu de l'activitat econòmica sobre el medi i que ens permeten parlar de la viabilitat en termes biofísics de les opcions econòmiques.

1.1. Objectius

L'objectiu principal de l'estudi AMEEC és *la implementació d'una metodologia que permeti fer una anàlisi del metabolisme energètic de Catalunya, i una avaluació d'escenaris de desenvolupament econòmic en termes de consum energètic, per tal d'ajudar en la planificació de la política econòmica i energètica de futur.*

Això implica la caracterització dels diferents sectors de l'economia (incloent-hi el domèstic) en termes de consum energètic, ús del temps, generació i consum de valor afegit. Aquest objectiu inclou una anàlisi de la dependència de Catalunya vers els fluxos energètics i fluxos de temps (és a dir, mà d'obra) de l'exterior per al manteniment i creixement de l'activitat econòmica, és a dir, per al compliment dels objectius de política econòmica.

La metodologia d'avaluació integrada utilitzada en aquest estudi (MSIASM) es presenta detalladament a la secció 3 d'aquest bloc.

La caracterització de l'economia catalana amb la metodologia MSIASM, que constituirà el Bloc 10 de l'estudi, requereix l'elaboració d'un conjunt de dades de diferents tipus sobre el sistema econòmic, demogràfic i energètic. Aquestes dades es presentaran de manera independent a la resta de blocs de l'estudi). Això inclou l'anàlisi en profunditat dels vectors energètics (com en el cas de l'energia primària al Bloc 2 o del Bloc 5 dedicat al petroli) i dels diferents compartiments o sectors econòmics, com ara l'anàlisi de les dades de consum final d'energia (Bloc 3) i d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (Bloc 8) a Catalunya per sectors d'activitat (veure la secció 1.2, més endavant, on s'explica l'estructura d'AMEEC).

Un cop feta la caracterització de l'economia catalana, s'obtenen uns coeficients tècnics que serveixen per a fer una avaluació de diferents escenaris de futur, obeint a tendències en variables clau (com ara demogràfiques, o d'introducció de les energies renovables), a possibles xocs (com ara preus del petroli, tancament de les centrals nuclears), o responnent a objectius de creixement econòmic o de política energètica, com els inclosos al Pla de l'Energia de Catalunya (ICAEN, 2005). L'avaluació dels escenaris permetrà veure els *trade-off* (els elements que no es poden compatibilitzar entre ells) entre les diferents variables per tal d'assolir els objectius, així com veure les possibles limitacions que Catalunya pot haver d'afrontar en un futur immediat. Aquesta avaluació inclourà una comparació amb escenaris que plantegin seguir amb l'estat actual (*business as usual*).

D'aquesta anàlisi s'esperen els següents resultats:

- 1) Una caracterització dels paràmetres característics dels diferents sectors de l'economia catalana, que permeti una comparació amb d'altres països del nostre entorn (com per exemple els països de la OCDE) i alhora poder estudiar la peculiaritat de Catalunya. Per exemple, s'utilitzaran coeficients d'eficiència econòmica en l'ús de l'energia a diversos sectors (euros per Joule), o productivitats del treball, o intensitats d'ús d'energia per sectors i activitats (Joules per hora).
- 2) Una anàlisi històrica dels canvis d'aquests valors a Catalunya per tal d'estudiar l'efecte de determinants indicadors (colls d'ampolla, canvis estructurals, desfasaments temporals i estancaments tecnològics, etc.);
- 3) Un exemple de com es pot utilitzar aquesta metodologia, per tal d'avaluar hipòtesis de desenvolupament futur i veure les interrelacions entre les variables monetàries, demogràfiques i energètiques.

En un futur, fora del present estudi, es podrien avaluar altres escenaris, i fins i tot usar l'eina desenvolupada per a la pròpia generació de nous escenaris, mantenint alhora la congruència entre els objectius econòmics i les necessitats energètiques.

El resultat final de l'estudi és, per tant, la posada en pràctica d'una metodologia d'anàlisi integrada que combini informació demogràfica, econòmica, i biofísica,

amb l'ànim de servir com a eina de suport a la presa de decisions. Això s'obté gràcies al tipus d'informació generada, que vincula els objectius de creixement econòmic sectorial, amb les necessitats en termes tant d'energia com de mà d'obra. En particular, aquestes necessitats d'energia es veuran complementades amb dades sobre la viabilitat d'obtenir aquestes fonts energètiques, en funció de les productivitats del treball i de l'ús de l'energia dels diferents sectors econòmics, de manera que es podria prioritzar les activitats econòmiques a promoure des de l'administració.

La integració d'informació econòmica i biofísica permet arribar a una major comprensió de la complexitat de les relacions entre economia i energia, i garanteix una major qualitat en la generació d'escenaris de futur i la seva avaluació. El resultat pot ser comparat amb resultats obtinguts en altres països, derivats de diversos estudis de caràcter internacional ja portats a terme per part de l'equip de recerca i per d'altres autors (Falconi, 2001; Gomiero i Giampietro, 2001; Grünbühel i Schandl, 2005; Pastore et al., 2000; Ramos-Martin, 2001; Ramos-Martin, 2005; Ramos-Martin i Giampietro, 2005).

El coneixement d'una sèrie de coeficients tècnics en termes de productivitat del treball (euros per hora de treball), productivitat de l'energia (euros per MJ d'energia), i nivell de capitalització d'una economia (MJ per hora de treball en cada sector, que és la base dels increments de productivitat en el futur ja que reflecteix la tecnologia emprada en l'activitat) pels diversos sectors, així com la inclusió de variables demogràfiques (com la disponibilitat de mà d'obra), permeten la generació i avaluació d'escenaris plausibles de desenvolupament econòmic, i d'aquesta manera fer simulacions amb determinats canvis i xocs, per analitzar quins poden ser els efectes sobre les altres variables i sectors econòmics.

Tot i que la generació d'escenaris de futur no forma part de l'estudi, com ja hem dit la caracterització de l'economia catalana en termes de metabolisme energètic que es durà a terme a AMEEC es podria utilitzar posteriorment per a aquesta tasca. Idealment, el procés de generació d'escenaris i l'anàlisi de la seva congruència s'ha de fer en el marc d'un procés participatiu, on els actors rellevants (com ara els responsables de prendre decisions però també els sectors que en serien més afectats) ajuden l'equip científic a dissenyar les hipòtesis que han de regir els escenaris. També se'ls presenten els resultats dels escenaris perquè contribueixin a la seva interpretació. És per això que la metodologia aquí presentada, que és més aviat d'anàlisi i caracterització, queda complementada per enfocaments de tipus multi-criteri, com ara l'Anàlisi Multi Criterial Social (Munda, 2004), que ja s'han aplicat al nostre territori, com ara als projectes Diafanis, i MCDA-RES³ que estructuraven processos de presa de decisions combinant informació científica amb participació dels actors rellevants.

Com hem dit, AMEEC representa una caracterització del metabolisme energètic de Catalunya. Això permet ordenar la informació que altrament es

³ Veure http://einstein.uab.es/c_ceambientals/Diafanis/default.html i <http://www.exergia.net/mcda/>

presentaria de forma fragmentada i permet analitzar amb claredat i senzillesa els diferents *trade-offs* (és a dir, les situacions incompatibles entre elles) entre les variables considerades. Per exemple, hom pot establir la coherència entre els objectius de política econòmica i de consum d'energia (i per tant, d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle) i anticipar quins canvis estructurals seran necessaris en termes d'activitat productiva, inversions i/o mà d'obra.

A continuació es presenta de forma breu cadascun dels blocs en què es divideix AMEEC, així com l'esquema general de l'estudi. Els següents capítols del bloc tracten, d'una banda, sobre la conjuntura energètica actual a nivell internacional, estatal i català, fent referència principalment a l'ús d'energia primària. La secció 3 presenta de forma detallada la metodologia d'avaluació integrada del metabolisme social que s'utilitza al llarg del treball (MSIASM). Finalment, l'annex aprofundeix en els principis bàsics i aspectes teòrics en què es basa MSIASM.

1.2. Estructura general d'AMEEC

L'estudi AMEEC està dividit en 12 blocs que presentem a continuació:

Bloc 1: Metodologia i context internacional

El primer bloc, corresponent a aquest document, defineix la metodologia que serà utilitzada, així com les interrelacions entre els diferents blocs. També presenta el context internacional en el qual s'emmarca la situació energètica catalana.

Bloc 2: Energia primària a Catalunya

Consisteix en la recopilació i anàlisi de dades sobre les quantitats, orígens i vectors energètics utilitzats per l'economia catalana. La sistematització de la informació es basa en els balanços energètics elaborats per l'ICAEN. Aquest bloc inclou una anàlisi en profunditat d'un vector energètic que està rebent molta atenció per part de la Unió Europea i arreu del món: els biocombustibles, i concretament el biodièsel.

Bloc 3: Consum d'energia final a Catalunya

El bloc conté una recopilació i anàlisi de les dades sobre consum d'energia final a Catalunya en funció dels diferents sectors finals (incloent-hi les famílies), i dels diferents vectors energètics. S'aprofundeix en els canvis que s'han produït en la composició i el consum d'energia final en el període d'estudi (1990-2005).

Bloc 4: El sector de transformació energètica i generació d'electricitat

El principal objectiu d'aquest capítol és mostrar l'estat actual de les infraestructures de transformació de l'energia i generació d'electricitat, així com l'evolució que previsiblement tindran d'acord amb la planificació indicativa i no indicativa de l'administració de l'Estat espanyol i la planificació energètica de la Generalitat de Catalunya. També es tracta el tema de les infraestructures de gas natural.

Bloc 5: El cas específic del petroli

Atès que una de les raons per endegar aquest projecte és preveure les conseqüències econòmiques i socials d'un previsible increment futur dels preus internacionals del petroli, aquest bloc es dedica específicament als diferents usos del petroli a l'economia catalana, fent especial èmfasi en els usos no energètics de la indústria i en l'ús del petroli al transport. S'aprofundeix també en la discussió sobre el cim del petroli.

Bloc 6: Anàlisi de l'evolució de la població total, activa i ocupada a Catalunya, 1990-2005, i perspectives 2006-2015

Aquest bloc fa una anàlisi de la situació demogràfica i de la distribució de població activa actual, i fa una prospectiva del mercat de treball fins al 2015. El bloc aporta dades sobre la distribució de la població activa en determinades branques d'activitat i la possible evolució futura, tenint en compte l'impacte de la immigració sobre l'estructura de població activa a Catalunya, adaptant la informació existent a les necessitats de MSIASM.

Bloc 7: Evolució dels preus de l'energia i prospectiva

Per tal de fer una avaluació de l'impacte dels diferents escenaris sobre el conjunt de l'economia, el bloc 7 analitza l'evolució dels preus dels diferents vectors energètics i les previsions per a un futur immediat segons les institucions internacionals d'energia. Es fa especial èmfasi en l'evolució dels preus del petroli i del gas natural.

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

Després de fer l'anàlisi del sector energètic (bloc 4), el transport (bloc 5) i l'anàlisi del consum final d'energia a Catalunya (bloc 3), es fa un seguiment de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle lligats al consum d'energia al llarg del període d'estudi (1990-2005).

Bloc 9: Exemples d'instruments per a la gestió de la demanda d'energia

En el bloc 9 es fa un recull d'exemples d'instruments i mesures de gestió de la demanda d'energia. S'inclouen diferents tipus de mesures com ara incentius econòmics en la gestió, eines de planificació, l'ús de la fiscalitat, i finalment l'establiment d'unes quotes individuals que lliguen consum d'energia i emissions de CO₂.

Bloc 10: Anàlisi Integrada Multi-escala del Metabolisme Energètic de Catalunya

Amb el treball realitzat en relació al consum final d'energia, el sector energètic, el moviment de la població (activa), i amb les dades de generació de valor afegit per a Catalunya, en el bloc 10 es fa una anàlisi del metabolisme energètic dels diferents sectors de l'economia, que permet l'obtenció d'uns paràmetres d'avaluació de la situació actual i les tendències de futur.

Bloc 11: Anàlisi de Fluxos Materials

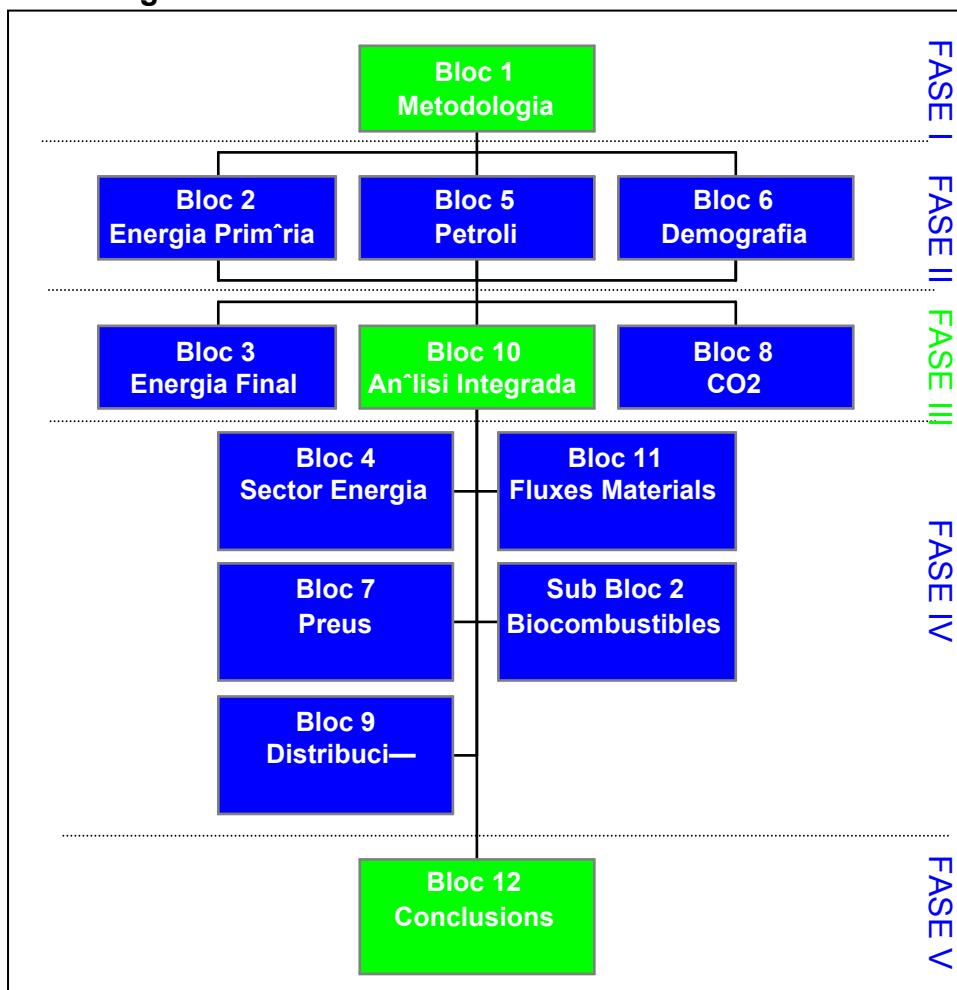
Per tal de completar la diagnosi sobre l'ús de l'energia en els sectors econòmics s'inclou també una anàlisi de l'ús de materials a l'economia catalana.

Bloc 12: Conclusions

El darrer bloc posa en comú les principals conclusions dels diferents blocs de l'estudi, i elabora propostes d'actuació de cara al futur per a fer front a les principals problemàtiques detectades.

La Figura 2 representa la relació entre els diferents blocs de l'estudi AMEEC.

Figura 2: Estructura dels blocs dintre de l'estudi



Com s'observa a l'esquema de la Figura 2, l'estudi es divideix en cinc fases, lligades però diferenciades: una fase inicial dedicada a la metodologia (bloc 1), una fase de recollida i generació de dades (blocs 2, 5 i 6), una fase central d'anàlisi de dades (blocs 3, 8 i 10), una part amb anàlisis complementaris d'aspectes rellevants (blocs 4, 7, 9, 11 i 2b), i una cinquena fase de conclusions (bloc 12) que utilitza tota la informació generada per tal d'oferir recomanacions de caràcter polític.

La primera fase correspon al Bloc 1 de metodologia, on s'explica quin és el plantejament que hi ha darrera l'estudi i en concret les bases de la metodologia MSIASM.

La segona fase consisteix en la recollida i generació de dades necessàries per a l'anàlisi, que comprenen diversos aspectes clau que tenen a veure amb l'activitat econòmica i la generació i ús d'energia a Catalunya. En concret es presentaran les dades referents a energia primària consumida en cada sector econòmic i per fonts energètiques (bloc 2), usos del petroli (bloc 5) i demografia i població activa (bloc 6). Aquest darrer bloc aportarà dades clau per a l'aplicació de MSIASM, com són el número d'hores efectives de treball als diferents sectors. S'ha d'afegir també la tasca de recopilació de dades econòmiques com ara la generació de valor afegit per sectors, i el comerç exterior català (basats en estadístiques oficials de Catalunya i en la comptabilitat regional de l'Estat espanyol), i que seran utilitzades a l'anàlisi integrada del bloc 10.

En concret, el bloc 2 fa servir dades dels balanços energètics de Catalunya (lliurats per ICAEN expressament per a AMEEC, ja que no es publiquen des de 1990) per tal d'analitzar el consum d'energia primària a diferents sectors, i segons diferents fonts energètiques. Aquesta informació es completa amb l'aportació del Bloc 5, que estudia el cas particular del petroli que es destina a usos no energètics (indústria petroquímica) i al transport, dos sectors de particular importància per a Catalunya. El bloc 6 aporta informació sobre l'evolució de la població activa (també per sectors) a Catalunya, tenint en compte l'evolució demogràfica passada, les tendències actuals de migració i com aquestes modificaran l'estructura de la població activa. Aquestes dades, juntament amb les referents a la generació de valor afegit per sectors, són bàsiques per a desenvolupar l'anàlisi MSIASM.

La tercera fase de l'estudi correspon a la part central d'anàlisi del metabolisme energètic de l'economia catalana. El bloc principal és el bloc 10, que aplica la metodologia MSIASM. Aquest està complementat pels blocs 3 i 8. El bloc 10 utilitza les dades dels blocs anteriors i aplica la metodologia MSIASM (descrita al bloc 1), realitza una caracterització de l'economia catalana en el seu conjunt i per sectors econòmics. És a dir, s'obté el que s'anomena una lectura biofísica de l'economia, que ens permetrà saber quanta energia consumeix cada sector per hora d'activitat, incloent el consum de les famílies. Així mateix obtindrem resultats sobre la generació de valor afegit, de manera que tinguem també una lectura econòmica dels diferents sectors de l'economia catalana (quant valor afegit es genera per hora d'activitat a cada sector). Interpretar l'economia amb aquesta doble vessant (econòmica i biofísica) permet no només caracteritzar l'economia catalana sinó comparar el seu comportament amb economies de l'entorn, com ara l'espanyola o la d'altres països europeus.

Aquesta anàlisi es completa amb els blocs 3 (energia final) i 8 (emissions de CO₂). Aquí, amb dades més desagregades de consum d'energia final a Catalunya per diferents sectors econòmics (uns 20) i per fonts energètiques, s'analitzarà la compatibilitat d'aquestes dades de consum d'energia amb les

obtingudes de les taules input-output de l'economia catalana. Un cop s'ha fet l'equiparació de dades econòmiques i energètiques, es pot veure les particularitats de cada sector, per exemple de quina manera en determinats sectors no es poden substituir les fonts energètiques entre elles. A més, aquesta part permet anar endarrere i reconstruir el patró d'energia primària consumida per cada sector a partir de les dades de consum final, fet que servirà per a fer un control sobre les dades del bloc 2. Finalment, el bloc 8 permetrà veure quines són les emissions de CO₂ que podem assignar a cada sector econòmic en funció de l'estructura de consum final, que ens servirà al bloc 12 per a avaluar possibles escenaris.

La quarta fase de l'estudi, que es fa de forma paral·lela a la resta del treball, tracta d'aprofundir en aspectes del context econòmic català i de la situació energètica global i catalana, que són rellevants de cara a fer propostes de polítiques energètiques. S'inclou el bloc 4, que fa una descripció del sector de generació, transformació i distribució de l'energia elèctrica; i el sub-bloc 2 dedicat als efectes de l'acompliment dels objectius del Pla de l'Energia de Catalunya pel que fa als biocombustibles. A més, en el bloc 7 s'analitza l'evolució dels preus internacionals i a Catalunya de les diferents formes d'energia. Aquesta fase també inclou el bloc 9, que presenta un conjunt d'instruments i mesures de gestió energètica i per impulsar l'estalvi i l'eficiència en el consum d'energia, i el canvi a fonts energètiques menys contaminants. Finalment, el bloc 11 també forma part d'aquests blocs complementaris, i es dedica als fluxos de materials de l'economia catalana. Aquesta és la contrapartida als fluxos energètics que s'han analitzat al llarg de l'estudi i permet tenir una visió en conjunt de l'ús de materials que fa l'economia per al seu desenvolupament, el que es coneix com a metabolisme social. Aquest bloc és també important en si mateix ja que presenta unes dades que Eurostat requereix per a cada país, però aquí presentem per una comunitat autònoma, un treball que només el govern Basc ha encarregat fins ara.

Finalment, la cinquena fase engloba l'elaboració de les conclusions de l'estudi, i el resum executiu, que servirà de document de difusió i proposta.

2. Context internacional i català

Aquesta secció presenta l'estructura i la conjuntura energètica mundial actual que ha portat a l'actual interès per la relació entre energia i desenvolupament econòmic. Després de revisar exhaustivament el context internacional es centra en la situació a Catalunya i finalment exposa algunes iniciatives governamentals a diferents països per tal de fer front a la dependència del petroli.

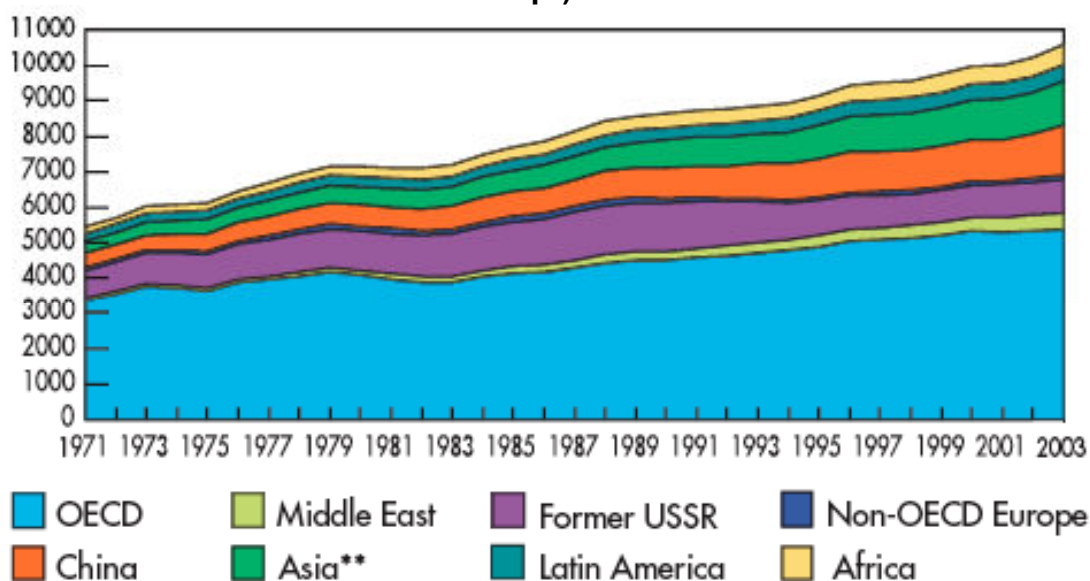
2.1. Estructura i conjuntura energètica mundial

Per tal d'entendre la gravetat de la situació de dependència del petroli de les economies desenvolupades, cal observar quina és l'estructura de la demanda energètica mundial per regions i per fonts energètiques, la seva evolució i la previsió de creixement que fan els organismes internacionals.

2.1.1 Energia Primària a nivell mundial

S'entén per energia primària l'energia continguda en els combustibles que són matèries primeres, com ara el carbó, el petroli, el gas natural, però també l'energia nuclear, i les energies renovables com ara la hidràulica, la solar, l'eòlica i la biomassa. Aquesta energia s'ha de transformar en energia de consum final (per exemple gasolina, querosè, o electricitat) per a poder ser utilitzada.

Figura 3: Evolució de l'energia primària total per regions (1971-2003) (en mtep⁴)

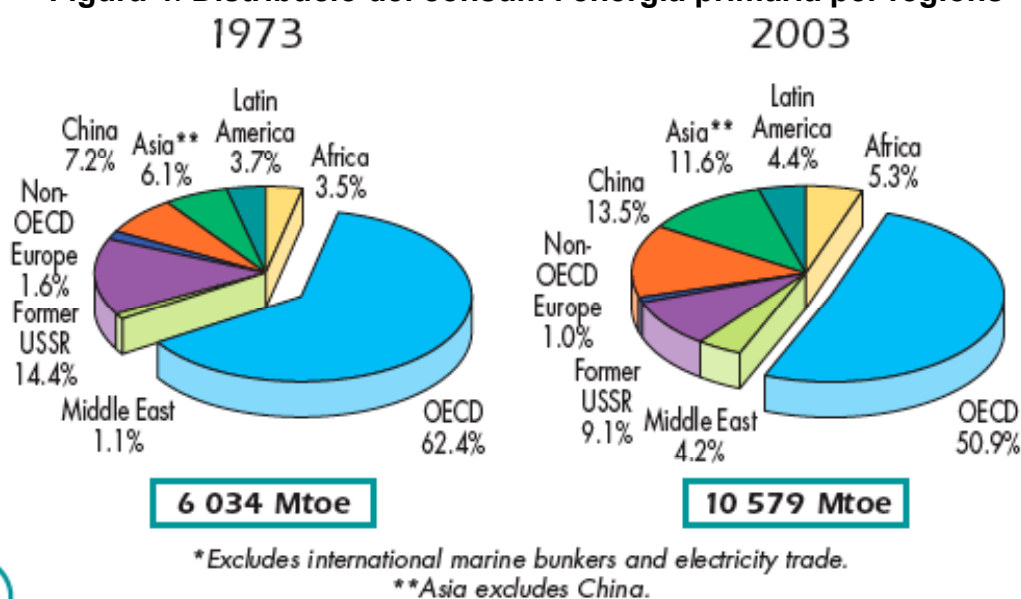


Font: IEA Key World Energy Statistics (2005:8)

⁴ Mtep són milions de tones equivalents de petroli (Mtoe en les sigles en anglès).

De la Figura 3, extreta de la publicació de dades estadístiques d'energia per l'any 2005 de l'Agència Internacional de l'Energia (AIE), es desprèn que el consum d'energia primària al món està distribuïda de forma molt irregular. Els grups de països amb més pes econòmic tenen consums molt més alts. Per exemple, els països de l'OCDE consumeixen actualment la meitat de tota l'energia primària al món. De la gràfica és interessant observar principalment tres qüestions: la forta desigualtat en la distribució del consum, amb la OCDE com a gran consumidora; el creixement continuat al llarg del temps; i el fet que hi ha regions on el consum augmenta poc o gens (ex-URSS, Amèrica Llatina i Àfrica) i d'altres on augmenta considerablement en termes absoluts (OCDE, Xina, i la resta d'Àsia).

Figura 4: Distribució del consum l'energia primària per regions

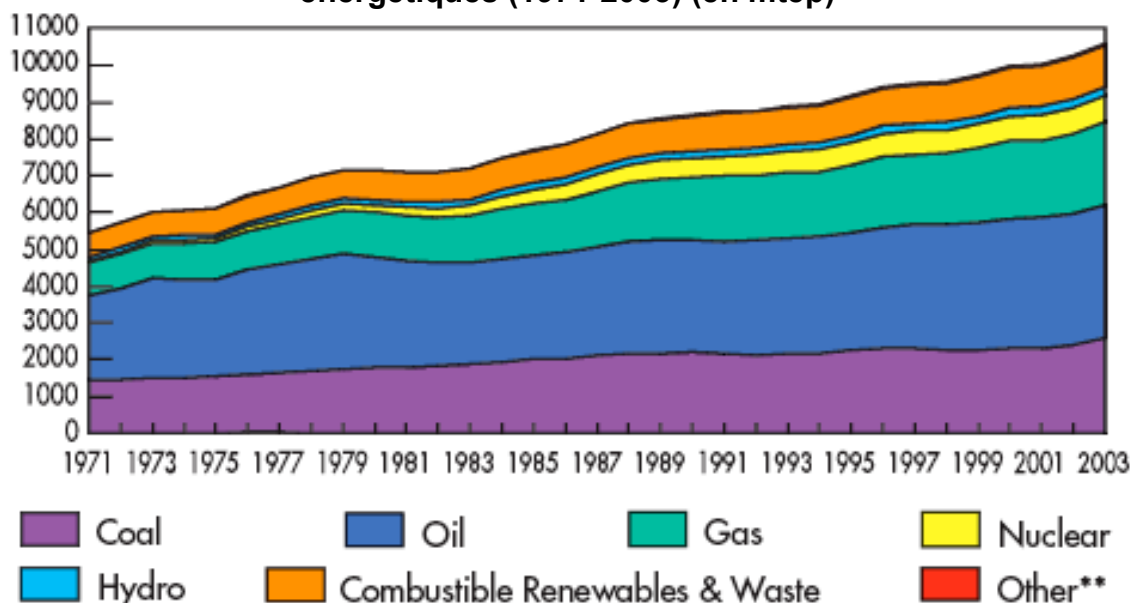


Font: IEA Key World Energy Statistics (2005:8)

Quan analitzem la distribució de l'energia primària per regions en un termini de temps de 30 anys (Figura 4) ens sobta que, tot i el fort desenvolupament a moltes economies del sud entre 1973-2003, el pes relatiu de la OCDE només hagi baixat un 11%, sobretot a causa de l'increment de consum a Àsia i Xina, i molt més lleugerament a Amèrica Llatina i Àfrica. Aquesta dada ens permet veure que el gradient entre els països desenvolupats i els països en vies de desenvolupament és encara enorme. Per tant, podem esperar que els augments de consum al Sud continuïn en el temps a mesura que vagin augmentant els seus nivells de renda per capita dels països.

Si observem com es distribueix aquest consum d'energia primària segons les fonts energètiques (Figura 5 i 6), veiem que gairebé tot l'increment de consum d'energia primària que es dona entre inicis dels anys 1970s i fins el 2003 a tot el món es deu a l'increment en combustibles fòssils com el carbó, petroli i gas natural, o bé a l'energia nuclear, però no pas a l'augment de les energies renovables, que encara són marginals.

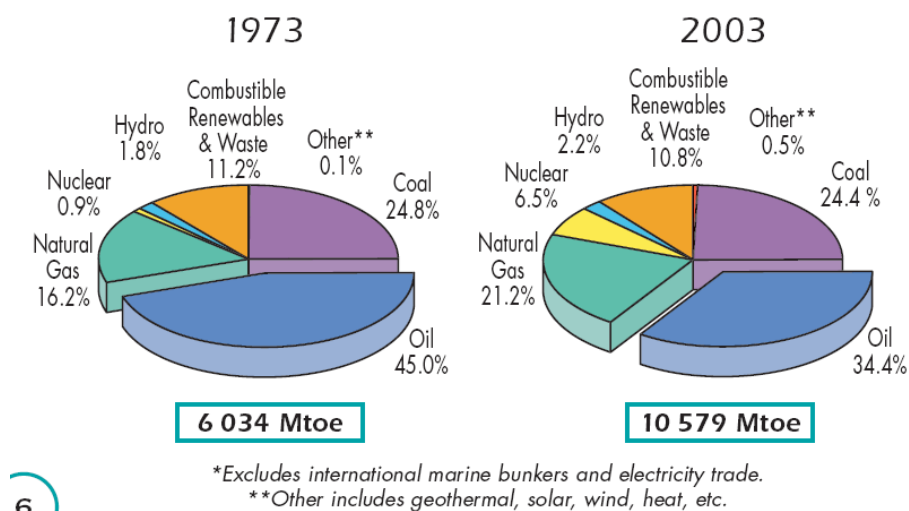
Figura 5: Evolució del consum energia primària total mundial per fonts energètiques (1971-2003) (en mtep)



Font: IEA Key World Energy Statistics (2005:6)

Figura 6: Distribució del consum d'energia primària per fonts d'energia (1973 i 2003)

1973 and 2003 Fuel Shares of TPES*



Font: IEA Key World Energy Statistics (2005: 6)

De fet, quan veiem l'estructura percentual queda palesa la relativa pèrdua d'importància del petroli (tot i que en termes absoluts es va consumir més petroli el 2003 que el 1973), que queda parcialment compensada per la pujada del gas natural. L'energia nuclear és la que puja més percentualment, mentre que les energies renovables (incloent-hi aquí les incineradores i la gran hidràulica) es mantenen en un 13% de l'energia primària.

Aquesta situació, de perpetuació del model energètic fortament dependent dels combustibles fòssils, s'agreuja quan va unida a l'increment d'energia primària a

determinades zones del món, fet que ens fa predir que les pressions als mercats de combustibles fòssils, i en particular de petroli, continuaran les properes dècades. Ara bé, quines són les previsions que fa la pròpia Agència Internacional de l'Energia (AIE) quant a demanda mundial?

L'AIE preveu una tendència al creixement dels consums d'energia primària a totes les regions, amb un creixement anual de l'1,6%. Aquest valor es pot considerar conservador ja que pressuposa un augment de l'eficiència energètica (el PIB s'espera que creixi més, com veurem). Aquest creixement, però, es produirà principalment a les economies d'Àsia i Xina, que passaran a representar més del 30% l'any 2030, quedant l'OCDE en un 42,2% del total mundial.

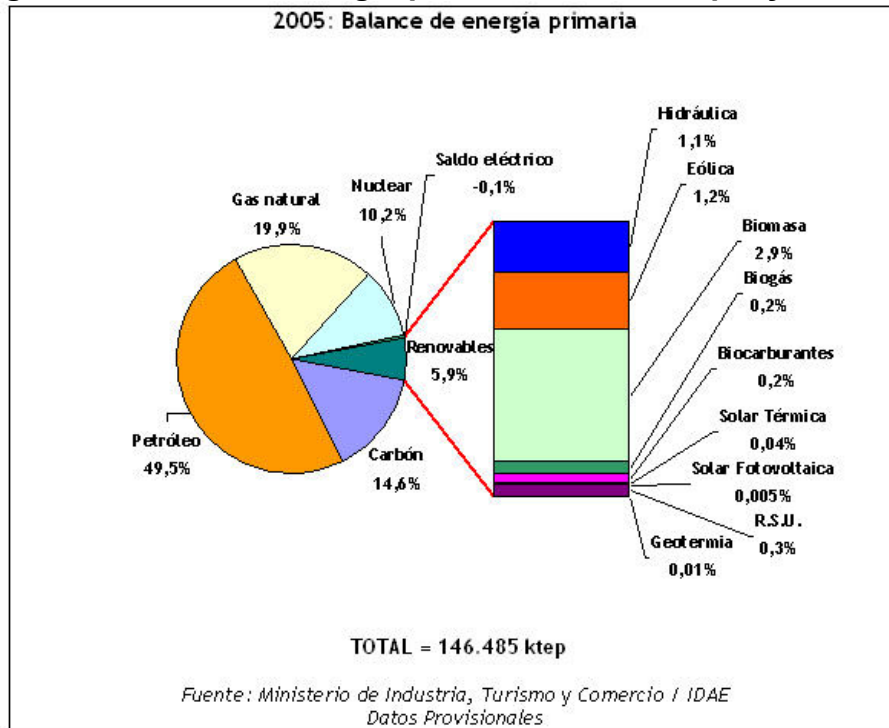
Quant a la situació segons les fonts d'energia, l'AIE preveu un fort augment del consum de gas natural, seguit del petroli i del carbó, amb un manteniment o creixement molt suau de l'energia nuclear. De fet, el gas natural s'espera que pugi fins un 25% del total, el petroli que continuï en un 35%, amb reduccions menors del carbó junt amb la nuclear, mentre que tot l'increment considerable de les renovables en termes absoluts no fa variar la seva aportació al total en termes relatius (13,5%) (Agència Internacional de l'Energia, 2005).

La conclusió que podem treure és que es preveu que la demanda continuï creixent, i que es mantingui l'actual estructura fortament dependent dels combustibles fòssils i del petroli en particular, fet que és encara més greu en el cas de l'Estat espanyol i de Catalunya.

2.1.2. Estructura de l'energia primària a l'Estat Espanyol

La lectura de la situació a l'Estat espanyol (parlarem més concretament de Catalunya a l'apartat 2.2) és encara més alarmant que al conjunt del món. Espanya depèn en un 84% dels combustibles fòssils, i sobretot del petroli, pel qual té una dependència un 15% superior a la mitjana mundial. Tot i ser la segona potència mundial en energia eòlica, aquesta només suposa l'1,2% del total d'energia primària. És a dir, la dependència de l'Estat espanyol respecte els combustibles fòssils, juntament amb la tendència que hem vist a l'augment de la demanda per part de les economies en desenvolupament, situen l'Estat davant d'una situació poc desitjable on haurà de competir en el mercat internacional pels recursos energètics. Podem preveure un fort augment de preus de l'energia final i d'altres béns i serveis com a resposta a l'increment de preus que es preveu que es produirà per l'escassetat relativa als mercats.

Figura 7: Consum d'energia primària a l'Estat espanyol el 2005



Font: Boletín Electrónico del IDAE. Núm. 24. 2006⁵.

2.1.3. Previsió de creixement econòmic

Crucial per a l'evolució de la demanda d'energia en el futur, i per tant per al preu dels diferents vectors, és l'evolució de les economies que fan servir els diferents vectors energètics.

L'Agència Internacional de l'Energia (AIE) presenta una sèrie de previsions de creixement econòmic en la publicació World Energy Outlook (AIE 2004), les quals es basen en prediccions i estudis de diverses organitzacions, incloent l'OCDE (2004) i el Fons Monetari Internacional (FMI, 2004).

En particular, l'escenari que l'AIE dibuixa fins el 2010 és d'una activitat econòmica clarament en expansió, amb taxes anuals de creixement per al món en el seu conjunt del 3,7% del PIB. Això està desglossat en un 2,7% per a l'OCDE i en un 5,1% anual per a les economies en desenvolupament, on destaquen la Xina (amb un 6,4%) i la Índia (amb un 5,6%). És evident, per tant, que el fort creixement d'aquestes economies, i de l'economia mundial en la seva globalitat, és el factor principal que estirà de la demanda d'energia en el futur immediat, de manera que es poden preveure tensions als mercats si la oferta no s'ajusta en quantitat, qualitat, i temporalitat a la demanda prevista.

⁵ <http://www.idae.es/numerosboletines/boletin24/index.htm>

2.1.4. El cas del Petroli

Així, si mirem quina és la situació per al petroli, com a principal font energètica i motor del creixement econòmic, la perspectiva de futur sembla encara més preocupant, com mostra la taula 1.

Taula 1: Demanda mundial de petroli (milions de barrils per dia)

	2002	2010	2020	2030	2002-2030*
OECD North America	22.6	25.5	28.7	31.0	1.1
<i>United States and Canada</i>	20.7	23.2	25.8	27.6	1.0
<i>Mexico</i>	2.0	2.3	2.9	3.4	2.0
OECD Europe	14.5	15.3	16.3	16.6	0.5
OECD Pacific	8.4	8.9	9.4	9.5	0.5
<i>OECD Asia</i>	7.5	7.9	8.3	8.3	0.4
<i>OECD Oceania</i>	0.9	1.0	1.1	1.2	1.2
OECD	45.4	49.7	54.4	57.1	0.8
Transition economies	4.7	5.5	6.5	7.6	1.8
<i>Russia</i>	2.7	3.1	3.6	4.2	1.6
<i>Other transition economies</i>	2.0	2.4	3.0	3.4	2.0
China	5.2	7.9	10.6	13.3	3.4
Indonesia	1.2	1.6	2.1	2.6	2.9
India	2.5	3.4	4.5	5.6	2.9
Other Asia	3.9	5.1	7.0	8.8	3.0
Latin America	4.5	5.4	6.8	8.4	2.3
<i>Brazil</i>	1.8	2.3	2.9	3.6	2.4
<i>Other Latin America</i>	2.7	3.2	3.9	4.8	2.1
Africa	2.4	3.1	4.4	6.1	3.4
Middle East	4.3	5.4	6.8	7.8	2.1
Non-OECD	28.6	37.5	48.8	60.4	2.7
Miscellaneous**	3.0	3.2	3.5	3.8	0.9
World	77.0	90.4	106.7	121.3	1.6
<i>European Union</i>	<i>13.6</i>	<i>14.4</i>	<i>15.3</i>	<i>15.6</i>	<i>0.5</i>

* Average annual growth rate.

** Includes bunkers and stock changes.

Font: World Energy Outlook 2004. Agència Internacional de l'Energia (2004:82)

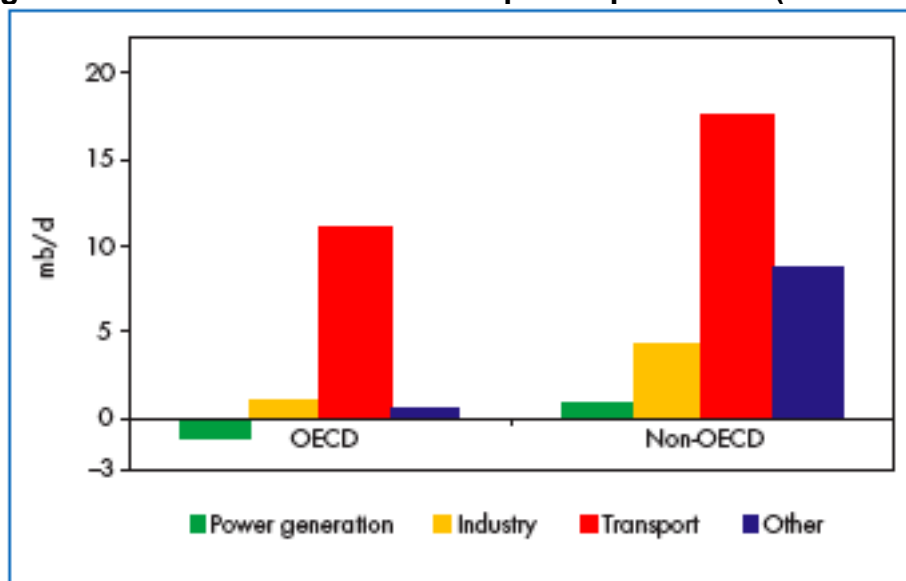
De fet, com veurem a continuació, un factor clau és i serà el sector del transport, que depèn en més d'un 90% del petroli per al seu funcionament. Dos factors que agreugen el problema del petroli en el transport són els següents: (1) en primer lloc, el petroli per al transport es pot considerar gairebé com a

energia final, que no necessita gaires transformacions. Aquesta alta qualitat del petroli fa que la seva substitució per altres combustibles sigui molt difícil d'aconseguir a curt termini. (2) L'existent i la futura flota de vehicles convencionals trigarà unes dècades a desaparèixer, per la qual cosa estem fixant una quantitat considerable de consum de petroli a l'actualitat i en el futur (un cop tenim el vehicle, el fem servir). Aquesta vida útil, que és més reduïda en països desenvolupats, pot arribar als 25 ó 30 anys a països en desenvolupament.

De fet, la pròpia Agència Internacional de l'Energia preveu que el consum de petroli el 2030 sigui de més de 121 milions de barrils per dia, quan en l'actualitat és al voltant dels 84 milions⁶.

Aquest fort augment en el consum de petroli es deu fonamentalment al fet que les economies en desenvolupament continuen tenint els patrons de consum dels països desenvolupats com a objectiu, i això es reflecteix en el què succeeix en el cas del transport. Així, gran part del creixement previst es deu al transport.

Figura 8: Demanda incremental de petroli per sector (2002-2030)⁷



Font: World Energy Outlook 2004. Agència Internacional de l'Energia (2004:85)

Aquest augment del transport tradueix una tendència que s'està veient ja avui dia, cap a una motorització en consonància amb els països occidentals. L'AIE també preveu aquesta evolució, que gairebé doblaria el nombre total de vehicles al món l'any 2030 respecte el 2002.

Aquestes dades d'un augment fort de la demanda mundial de petroli fan que el que es coneix com a cim del petroli sigui encara més preocupant⁸. No es tracta

⁶ Segons el Oil Market Report de la Agència Internacional de l'Energia <http://omrpublic.iea.org/> visitat el 2 d'agost de 2006.

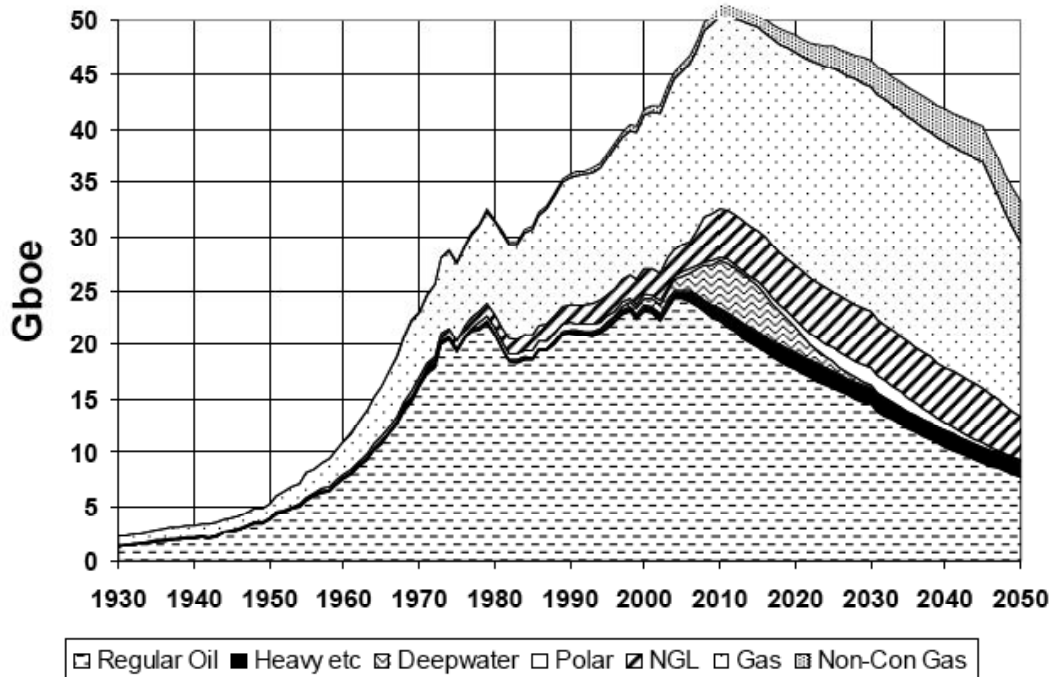
⁷ En mb/d: milions de barrils per dia

⁸ El Bloc 5 tractarà amb detall el tema del cim del petroli

de l'esgotament del petroli, sinó de la impossibilitat física i econòmica d'incrementar-ne any rere any el volum de producció, de la qual els augments recents de preus podrien ser-ne una primera senyal.

El cim del petroli està previst pel que s'anomena la teoria del cim de Hubbert⁹ que postula que tant en un camp petrolífer com al planeta, la producció de petroli segueix una corba en forma de campana (veure Figura 1 i 9). Al principi de la corba la producció augmenta gràcies a la incorporació de més tecnologia i maquinària, però cap al final de la corba (després del cim), la producció cau a causa de l'esgotament del recurs. Per tant, el cim del petroli es refereix al fet singular que fa que la producció global de petroli ha d'arribar a un cim, després del qual l'únic que sabem és que la producció de petroli no pot fer altra cosa que disminuir.

Figura 9: Cim del petroli al món segons ASPO (en milers de milions de barrils de petroli)



Font: ASPO (2006)

El cim de la producció mundial de petroli serà un fet de gran transcendència econòmica i social, ja que significa que a partir d'un cert moment cada any es disposarà d'una quantitat menor del que possiblement sigui una font energètica irrepetible, per la seva combinació d'abundància, flexibilitat, cost històric i rendibilitat energètica.

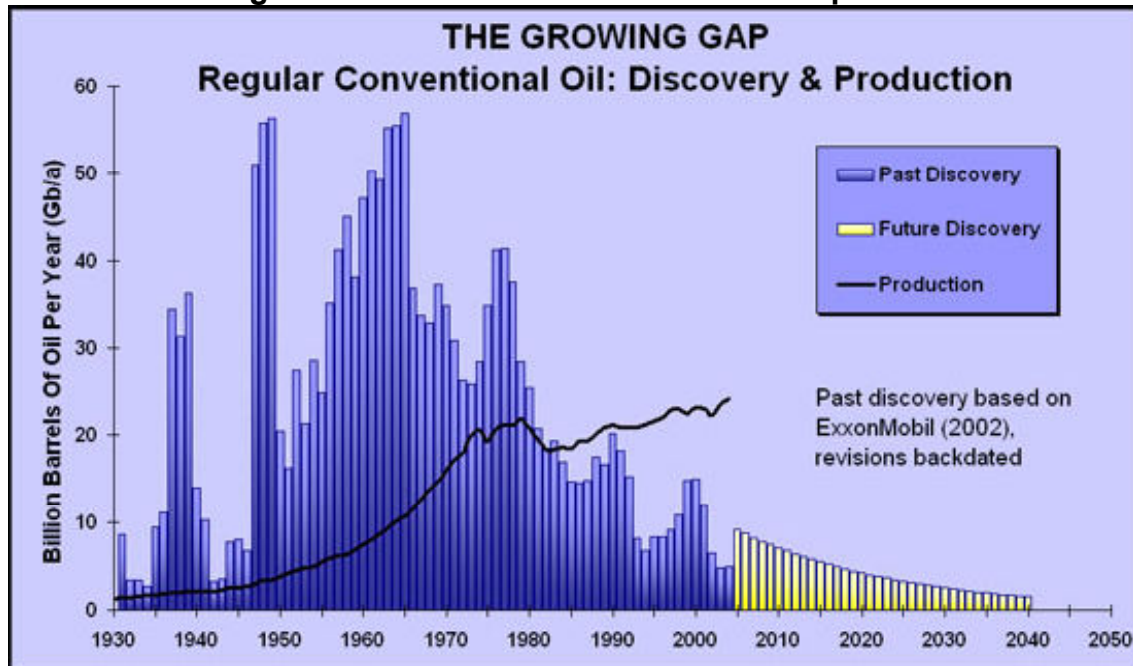
La Figura 10 ens mostra tant la producció de petroli al llarg del temps com els descobriments de noves reserves. Es pot veure clarament que la futura

⁹ Geofísic nord-americà i ex-cap de la Divisió de Recerca en Exploració i Producció de la Shell que el 1949 (Hubbert 1949) ja va anunciar que l'era dels combustibles fòssils seria de curta duració i que el 1956 (Hubbert 1956) va predir el cim de la producció de petroli dels EUA a finals dels anys 1960 o començament dels 1970, tot seguint una corba de campana.

demanda no es cobrirà amb noves reserves descobertes, per la qual cosa s'haurà d'utilitzar les existents, fet que significa que tard o d'hora s'arribarà al cim de producció de petroli.

Els 40 milions de barrils per dia extra que es preveu que necessitarà l'economia mundial el 2030 hauran de venir en la seva major part del Golf Pèrsic, i en particular d'Aràbia Saudita, que és on es troben la major part de les reserves.

Figura 10: Producció i descobriment de petroli



Font: Association for the Study of Peak Oil & Gas, Irlanda¹⁰

Ja ningú qüestiona, doncs, que s'arribarà al cim de la producció de petroli, però sí que es discuteix sobre el moment en què es produirà aquest fet. Tal i com va succeir als EUA, és molt probable que no se sàpiga fins que s'hagi depassat. No obstant, tenint en compte que les dates que s'estimen són prou properes, cal preparar una estratègia de mitigació dels impactes sobre l'economia de l'escassetat relativa de petroli, un repte a nivell econòmic i social, segurament sense precedents en l'època contemporània.

Una de les eines fonamentals per estudiar i planificar polítiques adients a una situació de crisi i canvi com la que aquí s'ha plantejat i poder reaccionar a temps, és el coneixement detallat de l'estructura econòmica de Catalunya i dels impactes que sobre els diferents sectors industrials i grups socials podria tenir un augment molt significatiu dels costos energètics. Només des d'aquest coneixement és possible gestionar correctament els riscos i, arribat el moment, les dificultats.

¹⁰ <http://www.peakoil.ie/peakoil> visitada el 22 d'agost de 2006

Amb l'anàlisi del metabolisme energètic de l'economia catalana no només es podrà avaluar quanta energia consumeixen els diferents sectors del teixit econòmic, sinó també quins són els patrons de consum en els diferents sectors d'interès, i també a les famílies. Combinant aquesta informació amb la generació de valor afegit i d'ocupació ens ha de permetre realitzar una radiografia molt més fidel del teixit econòmic de Catalunya i ha de permetre prendre les mesures per a mitigar la problemàtica energètica quan aquesta es presenti.

2.2. La situació a Catalunya

Davant d'aquesta situació mundial de consum cada cop més gran d'energia, i preus creixents que reflecteixen la competència al mercat, l'escassetat dels recursos i la manca d'inversions en transformació d'energia primària, la situació energètica a Catalunya és preocupant per diverses raons. En primer lloc, l'estructura energètica de Catalunya depèn de forma molt important del petroli (48%) i de l'energia nuclear (25%) (IDESCAT, 2006) pel que fa a l'energia primària, i de l'energia nuclear pel que fa a la generació d'electricitat, amb un 55,8% (ICAEN, 2005: 15). Actualment, el *Pla de l'Energia de Catalunya 2006-2015* està elaborat assumint un preu del petroli per l'any 2015 de 60\$ el barril, valor que per causes diverses ja s'ha superat els darrers mesos (el 25 d'agost de 2006 el barril de cru Brent va tancar a 74,85 \$¹¹ als mercats internacionals).

A més a més, el creixement en el consum de petroli de la Xina i la Índia indica que aquestes tendències continuaran al llarg del temps (ICAEN, 2005: 26). Així, l'Agència Internacional de l'Energia estima que fins el 2030 dues tercers parts de l'increment de la demanda d'energia correspondrà als països en vies de desenvolupament (AIE, 2004).

D'altra banda, s'espera que quan les centrals nuclears a Catalunya acabin la seva vida útil, l'electricitat s'haurà de generar amb altres fonts energètiques. Segons el *Pla de l'Energia*, el tancament de les 3 centrals nuclears implicaria la necessitat de 10 centrals de cicle combinat (ICAEN, 2005: 14). A tot això cal afegir que l'economia catalana, en línia amb la resta de l'Estat espanyol (MITYC, 2004)¹², sembla esdevenir més ineficient en l'ús de l'energia amb el temps, ja que el consum d'energia creix més ràpidament que el PIB (ICAEN, 2005: 11).

Aquest escenari té implicacions serioses per a Catalunya a curt i mitjà termini:

- i) La competitivitat de l'economia catalana es pot veure compromesa a causa de perturbacions relatives al mercat de combustibles fòssils gràcies a l'augment de preus i de la seva volatilitat;

¹¹ <http://www.oilenergy.com/1obrent.htm>; visitada el 25 d'agost de 2006

¹² *La Energía en España 2004*, Secretaría General de Energía, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2004.

- ii) L'economia catalana haurà d'afrontar l'estrès associat a un canvi estructural en el sector energètic amb l'envelliment i l'acabament de la vida útil de les centrals nuclears;
- iii) L'economia ha d'afrontar una reestructuració més general per a fer front als nous desafiaments que comporten tant la globalització, com l'ampliació de la Unió Europea als estats de l'est d'Europa (competir amb economies on el cost de la mà d'obra és molt més baix); i
- iv) La dinàmica demogràfica de la societat catalana està canviant, amb l'envelliment de la població i l'arribada de la població immigrant.

L'aplicació de MSIASM permetrà veure aquestes relacions entre els canvis estructurals als diferents sectors econòmics, el consum d'energia de cadascun d'ells, l'evolució de l'eficiència energètica, l'evolució de l'ocupació als diferents sectors, i de la productivitat del treball, per la qual cosa podrem donar resposta a algunes de les implicacions mencionades.

2.3. Altres experiències al món per a reduir la dependència energètica

El context internacional que s'ha presentat a la secció 2.1. dibuixa un horitzó caracteritzat per una imminent crisi energètica a nivell mundial, que es reflectirà sobretot en els sectors i economies que siguin més dependents del petroli, o en general dels combustibles líquids. Això ha fet que des d'alguns governs s'hagin encarregat estudis per tal d'estudiar possibles solucions i escenaris de futur.

En aquesta secció ens fem ressò d'aquests estudis per a fer front a aquesta situació de crisi energètica. En particular, veurem els casos d'Estats Units, Irlanda, Suècia i Nova Zelanda, iniciatives interessants però que majoritàriament es centren només en el que s'anomena la crisi del petroli. En aquest sentit AMEEC significa una passa més enllà ja que no només tracta el tema del petroli sinó que analitza els diferents vectors energètics necessaris per al metabolisme de Catalunya.

2.3.1. Estats Units d'Amèrica (EUA)

Els Estats Units tenen una gran tradició d'anàlisi de l'economia en termes biofísics des del món acadèmic (veure Odum 1971, 1983, 1996; Hall et al., 1986¹³), fet que no s'ha reflectit, però, a nivell polític. El govern dels EUA no ha plantejat la necessitat d'estudiar mesures d'adaptació a una possible crisi del petroli i en general a una crisi de subministrament d'energia, i manté altres opcions per a garantir aquest subministrament d'energia.

No obstant, el Departament d'Energia va encarregar a l'analista energètic Robert L. Hirsch dirigir un estudi sobre l'impacte del cim del petroli a l'economia americana. Aquest estudi és *Peaking of World Oil Production: Impacts,*

¹³ El seu llibre *Energy and Resource Quality* és un clàssic de com es pot integrar l'anàlisi biofísica per a entendre fenòmens econòmics i socials.

*Mitigation, & Risk Management*¹⁴ (Hirsch et al., 2005), més conegut com *Informe Hirsch*. L'informe ha tingut molt de ressò internacional bàsicament per dos motius. El primer és que es tracta d'un document de l'administració dels EUA que reconeix l'existència del cim del petroli, fet que fins ara s'havia considerat una fal·làcia recurrent dels grups ambientalistes. El segon fet és que tot i estar publicat dintre de la pàgina web del departament sembla no haver tingut cap repercussió a la política energètica dels EUA.

L'informe posa de manifest que l'efecte de les anteriors crisis del petroli de 1973-1974 i 1979 que havien reduït el consum de petroli als EUA s'han superat completament i el país està augmentant el seu consum de manera accelerada, sobretot al transport i a causa de l'increment del parc d'automòbils.

L'informe argumenta que cada cop que es dobli el preu del petroli això implicarà una pèrdua d'un 1% del PIB per a l'economia dels EUA.

Un cop analitzats els impactes als diferents sectors econòmics, i mostrat que en qualsevol cas les mesures d'adaptació requeriran un període de temps considerable, es mencionen una sèrie de mesures que es podrien adoptar per a mitigar els efectes del cim del petroli. Aquestes mesures són: estalvi energètic al transport i introducció de vehicles híbrids, millores a la recuperació de petroli que allarguin la vida útil dels jaciments, explotació del petroli pesat i del "tar sand" o sorres enquitranades, potenciar les tecnologies Gas a Líquid per arribar a gas natural líquid, gasificació del carbó i biomassa, així com un canvi vers l'electricitat, i l'extensió de l'ús de l'hidrogen com a vector energètic.

2.3.2. Irlanda

Seguint l'exemple dels EUA, el govern d'Irlanda va encarregar al Consell Assessor i de Política Nacional de Promoció Econòmica, Comerç, Ciència, Tecnologia i Innovació del govern (Forfás) un estudi sobre l'impacte de l'increment dels preus del petroli sobre l'economia irlandesa. El 3 d'abril de 2006 Forfás va fer públic l'informe, *A Baseline Assessment of Ireland's Oil Dependence – key policy considerations*¹⁵ (Forfás, 2006), que també compta amb la participació de Robert L. Hirsch.

L'informe, com indica el títol, es centra sobretot en el petroli, i és força clar en les seves afirmacions. Irlanda no té petroli i essent una illa depèn del transport marítim i aeri de persones i béns per a la seva connectivitat, fet que farà que sigui un dels països més afectats pel cim del petroli i l'esperat augment de preus que seguirà a la resta de vectors energètics i com a conseqüència als béns i serveis.

Tot i la claredat en l'anàlisi, l'informe és molt conservador en les propostes i ofereix una sèrie de mesures que difícilment podran resoldre el problema i que

¹⁴ Disponible online a http://www.netl.doe.gov/publications/others/pdf/Oil_Peaking_NETL.pdf

¹⁵ Disponible online a http://www.forfas.ie/publications/forfas060404/webopt/forfas060404_irelands_oil_dependence_report.pdf

en tot cas són molt controvertides, com ara l'augment en l'ús de l'energia nuclear i l'augment de la combustió de carbó. En aquest sentit l'informe és massa defensor del *status quo* i poc ambiciós, però suposa un primer pas del govern irlandès per entendre les relacions entre energia i economia. L'informe fa palès que existeix controvèrsia sobre quan arribarà aquesta crisi del petroli o dels combustibles líquids, però mostra la certesa que arribarà i que tindrà importants repercussions econòmiques. No obstant això, es pot observar el mateix error que a d'altres estudis, ja que es parla només d'un increment de preus del petroli, quan el més probable és que l'augment del preu del petroli porti a augments dels preus d'altres vectors d'energia.

La metodologia que utilitza és similar a la del cas suec que veurem a continuació. Un grup d'experts, liderat per Robert L. Hirsch, va mantenir una sèrie de grups de treball amb diferents actors del sector del petroli a Irlanda i a nivell mundial, i amb actors de diferents sectors rellevants d'Irlanda com ara polítics. A més, es va crear un comitè assessor de l'estudi que va incloure determinats representants dels departaments del govern, amb la intenció d'integrar els resultats de l'informe a la generació de polítiques.

Després d'analitzar el cim del petroli a nivell mundial i la situació d'Irlanda (amb un elevat i creixent consum de petroli per càpita, gràcies no només al transport sinó també a la generació d'electricitat), s'analitza l'impacte en termes econòmics, és a dir, en quant a reducció de l'activitat productiva i de l'ocupació, augment de la inflació, i empitjorament de la balança de pagaments, fent referència a informes del Banc Central Europeu (que s'analitzen al Bloc 7).

Amb aquestes dades l'estudi presenta un índex de vulnerabilitat a l'increment del preu del petroli que situa Irlanda com a cinquena economia potencialment més afectada. L'Estat espanyol es troba en la sisena posició (Taula 2).

Finalment, l'informe recomana la creació d'una estratègia nacional per a lluitar contra els impactes del cim del petroli. Com ja s'ha mencionat, les mesures proposades no són, però, gaire ambicioses.

Comentari a la Taula 2: L'índex de vulnerabilitat del petroli (columna 4) és un índex compost de l'impacte que tindrà un increment del 10% en el preu real del petroli sobre el PIB (columna 1), del nivell de dependència externa del petroli que es consumeix al país (columna 2), i del nivell de dependència energètica de l'economia respecte el petroli per al total d'energia consumida (columna 3). Així, per exemple, per al cas de l'Estat espanyol ens diu que un increment del 10% en el preu del petroli provocaria una pèrdua de PIB del 0,6%, que l'economia espanyola importa el 98% del petroli que consumeix, i que el petroli suposa el 54% del total d'energia consumida al país. La combinació d'aquests factors situa l'Estat espanyol en sisena posició quant a vulnerabilitat.

Taula 2: Índex de vulnerabilitat del petroli

	Oil Price Sensitivity (1)	Oil Import Dependence (2)	Oil Energy Dependence (3)	Oil Vulnerability Index (4)
Singapore	-1.3	0.98	0.97	3.25
Israel	-0.8	0.99	0.72	2.51
Hong Kong	-0.7	1	0.68	2.38
Greece	-0.7	0.98	0.62	2.3
Ireland	-0.6	1	0.6	2.2
Spain	-0.6	0.98	0.54	2.12
Germany	-0.6	0.95	0.4	1.95
Italy	-0.5	0.94	0.5	1.94
Sweden	-0.6	1	0.32	1.92
Switzerland	-0.5	0.99	0.42	1.91
Japan	-0.4	0.98	0.5	1.88
Iceland	-0.6	1	0.27	1.87
Finland	-0.5	0.96	0.36	1.82
Austria	-0.5	0.91	0.4	1.81
France	-0.4	0.96	0.37	1.73
New Zealand	-0.6	0.67	0.32	1.59
Netherlands	-0.1	0.91	0.48	1.49
USA	-0.4	0.54	0.39	1.33
China	-0.4	0.3	0.25	0.95

1. Impact on GDP of a 10% increase in real oil prices - % change
2. (Oil Consumption - Indigenous Oil Production)/Oil Consumption
3. Ratio of Petroleum Consumption to Total Primary Energy Consumption
4. Sum of 1-3 (using absolute value of price elasticity)
Sources: Indicators 1,2&3 World Bank 2005
Indicator 4 Amárach Consulting estimates

Font: Forfás 2006: 19

2.3.3. Suècia

L'Oficina del Primer Ministre de Suècia va engegar el desembre de 2005 una de les experiències més interessants en aquest camp, en crear la Comissió per la Independència del Petroli, a la qual va encarregar un estudi per acabar amb la dependència del petroli l'any 2020 i reduir tangiblement l'ús de productes petrolífers. La motivació d'aquesta comissió va ser l'augment dels preus del petroli (que interfereix amb el creixement econòmic i la generació d'ocupació), el rol que el petroli té avui dia en qüestions de pau i seguretat internacional, el canvi climàtic induït per l'ús humà de combustibles fòssils, així com el potencial d'utilització de recursos renovables i nacionals per part de Suècia.

Es va decidir que la comissió fos de caràcter ampli, i per això comptà amb la participació d'experts de la indústria, agricultura, silvicultura, i científics experts

en eficiència energètica. Cal destacar l'elevat grau de compromís polític per part del govern suec en dur a terme aquesta iniciativa, fet que es reflecteix en què la comissió va ser dirigida pel propi Primer Ministre Göran Persson i comptà amb molt de ressò als mitjans de comunicació suecs amb discussions i debats a la televisió.

El resultat de la comissió és el document titulat *Making Sweden an Oil-Free Society* (COI, 2006), que l'Oficina del Primer Ministre va presentar el 26 de juny de 2006¹⁶. El document final va ser consensuat entre els diferents membres de la comissió, per la qual cosa expressa el denominador comú entre les diferents parts consultades. A continuació resumim breument el contingut del document, que proposa mesures concretes que han de guiar l'actuació del govern.

Després d'expressar la visió que la comissió té per al futur de Suècia, el document analitza el cim del petroli així com la dependència de Suècia respecte aquest, per tal d'introduir i avaluar una sèrie de mesures a l'àmbit residencial i comercial, del transport, i de la indústria.

En concret els objectius que planteja el document són:

- Reduir l'ús del petroli en el transport per carretera en un 40-50 % a través de millores de l'eficiència i l'ús de nous combustibles.
- Reduir a zero la utilització de petroli per a calefacció tant d'espais residencials com comercials.
- Reduir entre un 25-40% el consum de petroli a la indústria.
- Un augment de l'eficiència energètica d'un 1,5% anual fins 2020.

Aquests objectius s'han d'assolir en part gràcies a l'ús dels biocombustibles, dels quals es defensa que ajudaran a millorar la competitivitat del país i a reduir la dependència externa en termes d'energia. Això implica una aplicació massiva de recursos per al foment dels biocombustibles, incloent-hi els llenyosos (als quals es preveu dedicar entre 300.000 i 500.000 hectàrees).

Pel que fa a l'electricitat es proposa millorar en un 40% l'eficiència energètica als sectors industrials no intensius en energia, i en un 20% als sectors residencial i comercial. S'aposta per l'eficiència energètica sobretot en la climatització i calefacció. També s'aposta per impulsar la generació d'energia de fonts renovables com ara l'eòlica.

Atès que molts analistes apunten al gas natural com a pont entre el petroli i una altra font d'energia encara per trobar, la comissió hi dedica unes reflexions. S'oposen a l'expansió de xarxes de gas natural, com és la connexió amb Rússia, ja que desplaçaria recursos energètics locals com ara la biomassa, i provocaria una situació de "lock-in", o estancament, en termes d'infraestructures, per la qual cosa es recomana que les indústries que vulguin fer la transició de carbó o petroli al gas natural utilitzin Gas Natural Lliurat (GNL) que permet un major grau de flexibilitat.

¹⁶<http://www.sweden.gov.se/sb/d/6245/a/66649>

Per al transport es proposa augmentar el número de vehicles dièsel ja que són un 25-30% més eficients que els de benzina. A més es proposa el foment del biodièsel i els motors híbrids. Finalment, es pensa potenciar el tren per davant de l'avió, i es defensa la inclusió de l'aviació al comerç d'emissions de CO₂.

La situació de Suècia, però, no es pot extrapolar a d'altres països ja que per extensió, dotació de recursos hídrics i baixa població (i densitat de població) resulta més fàcil implementar aquestes mesures i assolir els objectius proposats.

2.3.4. Nova Zelanda

Nova Zelanda mostra un altre cas on el govern adopta una posició activa en referència al cim del petroli i altres temes energètics. L'any 2004 inicià un procés d'anàlisi de la realitat del consum d'energia al país amb la idea d'arribar a una planificació energètica sostenible. El 2004 el Ministeri de Desenvolupament Econòmic va publicar un document de discussió titulat *Sustainable Energy: Creating a Sustainable Energy System for New Zealand*¹⁷ que ha servit de base per a la discussió que s'ha iniciat el 2006. De fet, aquest document establia ja les línies marc de la política energètica de Nova Zelanda. El juliol de 2006, i com a conseqüència del procés encetat dos anys abans, el govern va publicar les bases per a la futura estratègia energètica de Nova Zelanda (New Zealand Energy Strategy Terms of Reference¹⁸), document que va estar obert per a comentaris durant un mes.

Segons el document de referència, la necessitat d'una planificació indicativa per part del govern es fonamenta bàsicament en l'increment del preu del petroli, en qüestions de seguretat energètica (dependència externa), i en el canvi climàtic, arguments que ja hem vist a la resta d'iniciatives d'altres països. A més, atès que les decisions que es prenguin ara tindran repercussions durant dècades (degut a la vida útil de les infraestructures), s'han de tenir molts aspectes en compte a l'hora de decidir quin serà el sistema energètic del país.

De l'anàlisi efectuada el 2004 es desprèn que la futura estratègia energètica haurà de respondre a preguntes com ara si Nova Zelanda podrà superar la dependència del petroli (o dels combustibles fòssils en general) l'any 2030, però també altres objectius molt ambiciosos com ara la possibilitat que tota l'energia no destinada al transport sigui d'origen renovable, o fins i tot la possibilitat de reduir el consum d'energia primària des d'ara fins l'any 2030.

L'estudi s'ha engegat fa poc però s'espera arribar a una estratègia que ajudi a dissenyar el futur sistema energètic fins l'any 2050 i que estableixi una sèrie de prioritats tant per a l'activitat pública com privada.

¹⁷ Disponible online a http://www.med.govt.nz/templates/MultipageDocumentTOC_10124.aspx

¹⁸ Disponible online a http://www.med.govt.nz/templates/MultipageDocumentTOC_19432.aspx

El procés que està seguint el govern de Nova Zelanda és molt obert i inclou tant la participació d'experts en grups de treball específics, com la participació dels diferents actors socials, amb la idea de generar una visió sobre la Nova Zelanda del futur i de trobar uns escenaris que puguin ser avaluats.

En resum, tot i que no ofereix compromisos quantitius per part del govern com fa Suècia, l'element més important del cas de Nova Zelanda és com s'està duent a terme el procés d'informació i de consulta amb la població per a definir l'estratègia energètica per al futur.

2.3.5. Posicionament de l'estudi AMEEC

Els estudis presentats en aquesta secció, que són impulsats pels diferents governs, fan referència fonamentalment a la dependència de les economies modernes al petroli, i al fenomen conegut com la crisi del petroli (o el cim del petroli). No són, però, estudis que facin una anàlisi del metabolisme energètic de les societats considerant els diferents vectors energètics. En aquest sentit, AMEEC significa un pas més, ja que com hem dit no estudia només l'àmbit del petroli sinó que analitza l'economia i les seves necessitats energètiques en el seu conjunt. A més a més, no es cenneix només a l'anàlisi, sinó que es situa dintre de l'àmbit de la ciència per la governança, en presentar no només una anàlisi de les diferents fonts energètiques primàries, sinó en generar una sèrie de valors de referència per a ser utilitzats en la generació i avaluació d'escenaris de futur econòmic i energètic per a Catalunya.

3. Metodologia d'anàlisi

Tot i l'interès dels estudis presentats a la Secció 2.3 sobre la relació entre energia, desenvolupament econòmic, i sostenibilitat, hom pot veure que manca una visió integradora que posi en comú la realitat econòmica amb les implicacions que aquesta té en termes biofísics. MSIASM, la metodologia que s'utilitza en aquest estudi, és una de les que fa precisament això.

En aquest apartat presentem la metodologia coneguda com *Anàlisi integrada multi-escalar del metabolisme social*, MSIASM. A la secció 3.1 veurem el significat i l'ús que es fa del concepte de metabolisme social, i més concretament de metabolisme energètic d'una societat. Més endavant presentarem els principals indicadors agregats que es fan servir, i les relacions que s'utilitzen a l'anàlisi integrada del bloc 10, les particularitats per al cas de Catalunya, així com diverses aplicacions d'aquesta metodologia a d'altres llocs. Finalment, farem menció del tipus de dades que obtindrem aplicant MSIASM i que ens han de permetre fer la caracterització de Catalunya i avaluar determinats escenaris.

3.1. Metabolisme social

La idea del "metabolisme de la societat humana" no és nova, sinó que neix a mitjans del segle XIX per a caracteritzar aquells processos dintre d'una societat que són necessaris per a continuar la seva existència, fent una analogia al concepte de metabolisme desenvolupat per les ciències naturals en relació als éssers vius.

Metabolisme social: el procés econòmic implica la transformació d'energia i de materials per a la producció de béns i serveis, anàlogament a un organisme que metabolitza el menjar i el converteix en treball físic. Això té com a repercussió la generació de residus materials i calor dissipat que són disposats a l'ambient. L'activitat econòmica, per tant, es pot descriure en termes biofísics en funció de la quantitat i tipus d'energia i materials que utilitza. Quan s'analitza el cas particular del vector energètic, es parla de **metabolisme energètic**.

L'anàlisi del metabolisme energètic i una millor comprensió del funcionament de l'economia en termes biofísics han de permetre dissenyar polítiques de desenvolupament més adequades, que garanteixin el flux d'energia i de materials necessari per al seu funcionament i desenvolupament, juntament amb una disminució del seu impacte ambiental.

La utilitat d'analitzar els fluxos d'energia des del medi ambient a l'economia (extracció de combustibles fòssils, per exemple), la seva transformació i l'anàlisi del seu retorn a la natura - per exemple, en forma de contaminació o emissions de CO₂ - permet dues coses: (1) fer una anàlisi de congruència dels objectius

econòmics amb les possibilitats biofísiques (una anàlisi de restriccions), i (2) lligar elements de desenvolupament econòmic amb l'impacte ambiental associat. A més, darrerament organismes com l'OCDE o Eurostat han reconegut la importància que tenen les dades sobre recursos materials i energètics i han afegit aquesta comptabilitat del consum d'energia i materials a les seves estadístiques (Eurostat, 2001). En fer-ho han reconegut el treball que s'està fent des de fa temps en l'àmbit de l'anàlisi de fluxos materials (WRI, 2000; Schandl et al., 2004). Aquest estudi inclourà, com a complement de l'anàlisi del metabolisme energètic, un capítol dedicat als fluxos materials (bloc 11).

L'enfocament que es proposa no només ofereix una comptabilitat de l'energia utilitzada a Catalunya i als seus diversos components, sinó que aquesta informació es combina amb dades de caràcter econòmic (com ara el PIB sectorial desagregat) i dades demogràfiques i de mercat de treball per fer evidents certs coeficients en l'ús de l'energia (entre d'altres, eficiències i productivitats dels diferents factors de producció). Aquests coeficients s'utilitzen per a fer una comparativa amb altres països que tenen un context similar al català, a través dels *benchmark* (valors de referència), dels quals parlarem més endavant.

Aquest tipus d'anàlisi ajuda a caracteritzar diferents activitats en termes dels consums relatius de diversos factors: per exemple, quanta energia es consumeix en una hora de treball en una fàbrica, quant valor afegit es genera, etc. Això permet crear escenaris futurs per tal d'avaluar l'impacte de determinades polítiques o xocs, com ara el preu del petroli a 100\$/barril.

El més interessant és el lligam entre els diversos sectors de l'economia (incloent-hi les famílies) i els fluxos de recursos (temps, consum d'energia, generació de valor afegit), que fa veure ràpidament les possibles limitacions biofísiques que alguns escenaris o mesures poden tenir. Per exemple, en aplicar aquesta metodologia es pot veure fàcilment quines implicacions tindria, en termes de necessitats de mà d'obra i de consum energètic derivat (i, per tant, de contaminació) un creixement del sector turístic o de la construcció. Un altre exemple interessant és l'anàlisi sobre com afectaria a l'economia catalana el tancament previst de les centrals nuclears.

3.2. MSIASM: Principals agregats i variables

La metodologia que s'utilitza en el bloc central d'aquest estudi i que presentem en aquest capítol porta el nom de *Multi-Scale Integrated Analysis of Social Metabolism* (MSIASM), que podem traduir com a *Anàlisi integrada multiescalar del metabolisme social*. Va néixer amb l'objectiu d'analitzar els processos de desenvolupament econòmic des d'un punt de vista biofísic. La metodologia MSIASM va ser creada per Giampietro i Mayumi (Giampietro and Mayumi 2000a; Giampietro and Mayumi 2000b) i finalment formulada i desenvolupada per Giampietro (Giampietro 2003). L'enfocament ha estat aplicat per a l'estudi del metabolisme social a l'Equador (Falconi 2001), Espanya (Ramos-Martin

2001), Xina (Ramos-Martin 2005), i Vietnam (Ramos-Martin and Giampietro 2005).

Seguint Giampietro (2003) podem dir que els processos socioeconòmics, des d'una perspectiva econòmica, alteren el medi en el que es troben per mitjà de la seva activitat (a través de capital, treball i tecnologia). Això es fa amb la intenció de millorar l'eficàcia amb la qual es produeixen i consumeixen béns i serveis. En altres paraules, els sistemes proven d'estabilitzar i millorar les estructures i funcions de les societats d'acord amb valors generats internament. En termes biofísics, el procés d'autoorganització de la societat humana pot veure's com l'habilitat d'estabilitzar una xarxa de fluxos de matèria i energia, que representen allò que és produït i consumit al procés econòmic.

Giampietro proposa que per a ésser sostenible, aquest procés ha de ser (1) compatible amb les aspiracions dels éssers humans que pertanyen a la societat, (2) compatible amb l'estabilitat tant dels ecosistemes naturals com dels gestionats per la humanitat, (3) compatible amb l'estabilitat de les institucions i processos polítics i socials, (4) factible tecnològicament, i (5) viable econòmicament.

Això implica que quan fem una anàlisi biofísica de les societats humanes (per exemple usant variables com el consum d'energia fòssil, mesurat en Joules) només obtindrem una lectura parcial del procés, però el mateix passa quan fem una anàlisi econòmica. D'aquí ve la necessitat de fer una anàlisi integrada que incorpori els coneixements de diferents disciplines.

El caràcter modular de la metodologia definida per Giampietro i Mayumi permet analitzar múltiples aspectes de la sostenibilitat, sempre tenint en compte quin és el recurs que considerem limitant. En el nostre cas fem una anàlisi energètica, però en una altra ocasió podríem fer una anàlisi de l'aigua, o del sòl disponible, o de la quantitat d'aliments que una societat necessita produir o importar per al seu manteniment. Tot això, amb la idea de contribuir a explicar el metabolisme social del sistema que estiguem analitzant.

Utilitzant els elements teòrics i conceptuals derivats tant de la termodinàmica com de la teoria dels sistemes complexos que es detallen a l'annex teòric, presentem a continuació la racionalitat i les principals relacions entre variables que s'utilitzen a MSIASM. Anomenar-la una anàlisi integrada significa aquí que descrivim de forma paral·lela tant el desenvolupament econòmic com el metabolisme energètic de Catalunya, tot utilitzant variables econòmiques i unitats biofísiques com ara l'assignació de temps humà i el consum d'energia a diferents nivells jeràrquics.

La racionalitat de l'enfocament es basa en tres conceptes¹⁹:

- a) **Superposició de l'anàlisi de diferents escales** (el que es coneix com efecte mosaic), que s'aconsegueix usant la redundància en la

¹⁹ Aquests conceptes es troben escrits amb molt més detall a l'annex teòric.

representació dels components del sistema (com ara els sectors econòmics) i del total del sistema usant fonts de dades diverses, no equivalents, i provinents de diferents disciplines.

- b) **El reconeixement de l'existència de paradoxes tipus gallina-ou per a definir els sistemes**, que reflecteix el fet que en definir la identitat del total (per exemple, Catalunya) estem definint també la identitat de les parts (els sectors econòmics), i viceversa, d'una manera recíproca. És a dir, no se sap quina és la direcció de causalitat. Això s'analitza amb el que s'anomenen cicles impredicats, explicats a l'annex teòric.
- c) **La recerca contínua de narratives útils**, és a dir, de formes d'explicar el fenomen estudiat a través d'explicacions qualitatives, enlloc d'utilitzar models econòmics o equacions, per exemple. Això es basa en la idea que la modelització "dura" tradicional no és possible en un context de complexitat, i per tant ens centrem en indicar tendències possibles per a les diferents variables.

Pel que fa al procediment, en la implementació de MSIASM es porten a terme els següents passos bàsics:

- i). Elecció de les **variables de fons**, que es defineixen com aquelles que descriuen la *mida* del sistema tal i com es percep des de l'interior del propi sistema. Alguns exemples de *variables de fons* són les hores d'activitat humana o les hectàrees de terra. En el nostre cas utilitzarem les hores d'activitat humana per als diferents sectors d'activitat analitzats. A l'annex es troba una descripció de les variables fons i flux.
- ii). Elecció de les **variables de flux**, que es defineixen com el conjunt de variables capaces de descriure la mida del sistema tal i com es percep pel seu entorn (el medi) o com l'impacta, en termes de fluxos intercanviats amb ell. Aquestes **variables de flux** poden ser fluxos específics d'energia exosomàtica a diferents escales (a nivell de país, d'un sector econòmic, una planta concreta), fluxos de valor afegit generats per la unitat d'anàlisi als diferents nivells, o depenent de la problemàtica es podrien considerar altres fluxos, com ara aigua, o nitrogen (si ens interessa l'agricultura en particular). També es podria reduir l'anàlisi a un vector energètic d'especial interès, com ara el petroli. En el nostre cas analitzarem els fluxos d'energia consumida per les diferents activitats en termes del total d'energia primària, així com la generació i/o consum de valor afegit d'aquestes.
- iii). Caracterització de l'**estructura jeràrquica** associada al sistema. És a dir, hem de definir quins són els elements que analitzarem a cada nivell jeràrquic. Per exemple, passem d'analitzar Catalunya (nivell n), a analitzar la producció i consum de valor afegit (que anomenem n-1), i anant encara a més en detall analitzem el comportament dels diferents sectors en un tercer nivell (que anomenem n-2). Això es fa usant conjuntament les variables fons i flux, i la relació entre les dues. D'aquest anàlisi en surt un

conjunt de variables intensives que ens donen una comptabilitat²⁰ biofísica integrada (per exemple fluxos d'energia exosomàtica per unitat d'activitat humana, o fluxos de valor afegit per unitat d'activitat humana). L'avaluació resultant, en termes de MJ per hora, euros per hora, etc. es pot relacionar amb diferents nivells jeràrquics i pot ser usada per a definir tipologies, o comparar-les amb valors de referència teòrics o trobats entre els països del nostre entorn, basant-se en el benchmarking.

Quan representem el sistema d'aquesta manera fem una descripció de l'economia catalana en termes econòmics però també biofísics, i a més, podem arribar a lligar aquestes dues lectures del sistema per mitjà d'equacions de congruència. Aquest mètode ens permet veure restriccions subjacents, i problemes i relacions associades al desenvolupament econòmic que són difícils d'obtenir aplicant només les eines analítiques típiques de l'economia.

La necessitat d'assolir un balanç dinàmic entre l'energia proveïda pel sector de l'energia i la consumida per la resta de l'economia, mantenint uns nivells adequats de generació de valor afegit i d'ocupació de la mà d'obra, implica que tots els elements del sistema en els diferents nivells jeràrquics evolucionen alhora per tal d'ajustar-se contínuament a la quantitat de recursos disponibles. És a dir, es necessiten els uns als altres. D'alguna manera es tracta de la realització en la pràctica del que es coneix com a cicles impredicatsius (i que s'explica en profunditat i amb exemples gràfics a l'annex teòric). És a dir, l'anàlisi de cicles impredicatsius es refereix a la congruència forçada entre dos tipus d'energia que flueixen al procés socioeconòmic: (1) energia fòssil usada per alimentar les eines exosomàtiques (com ara les màquines o els cotxes), que determina, i és determinada per (2) l'activitat humana usada per a controlar l'operació d'aquestes eines exosomàtiques.

Variables utilitzades en l'anàlisi MSIASM

En aquesta anàlisi dividim l'economia catalana en dos grans sectors: el sector de treball remunerat (PW, paid work)²¹ responsable de la generació de valor afegit, o PIB, i el sector de les activitats no productives (HH, households²²), responsable del consum d'aquest valor afegit, que inclou la població dependent, el treball no remunerat i el temps que la població activa no dedica a treball. Tots dos, però, consumeixen energia per al seu manteniment i desenvolupament. A la vegada, el sector de treball remunerat es pot dividir en

²⁰ MSIASM és sobretot un sistema de comptabilitat de l'ús de recursos (accounting system), ja que partim sempre d'una dotació determinada que es divideix en diferents compartiments i activitats.

²¹ Paid Work sector. La nomenclatura del model es troba en llengua anglesa. Per tal de garantir més endavant la comparació amb altres estudis internacionals hem decidit mantenir-la en anglès, i és per això que entre parèntesi s'explica el seu significat (vegeu Giampietro, 2003).

²² A la metodologia MSIASM original (Giampietro 2003) es parla de sector de les llars (households en anglès). Tot i així, tenint en compte que s'inclou tot el temps humà que no es dedica a generació de valor afegit, preferim anomenar-lo "sector de les activitats no productives", ja que inclou el temps dels nens, dels jubilats, desocupats, i el temps no actiu dels ocupats. Mantenim, però, el subíndex HH.

tres subsectors principals: el sector productiu (PS, productive sector)²³, serveis i administració (SG, services and government), i agricultura (AG). En aquest esquema bàsic, podem dir que:

$$PW = PS + SG + AG \quad (1)$$

La intensitat energètica (EI, energy intensity) és l'energia total consumida per unitat de PIB. Es calcula dividint el consum total d'energia, anomenat també transflux total d'energia (TET, total energy throughput) pel PIB (GDP, gross domestic product), i en aquest estudi el mesurarem en MJ/euro en termes constants.

$$EI = TET / GDP \quad (2)$$

La taxa de metabolisme exosomàtic mitjana de la societat (EMR_{AS} , exosomatic metabolic rate average of the society) és el consum d'energia total dividit pel temps disponible total de la societat, és a dir, el temps total dedicat a l'activitat (THA, total human activity). Aquesta última variable no és més que la multiplicació de la població total del territori pel nombre d'hores d'un any, 8760, ja que ens interessa la dotació total de temps de la societat. Aquesta relació, la EMR_{AS} , dóna com a resultat la taxa d'ús d'energia de la societat en mega Joules (MJ) per hora. La interpretació d'aquesta taxa és que es tracta d'una variable que reflexa el ritme al qual la societat dissipa energia per al seu manteniment i desenvolupament per unitat de temps.

$$EMR_{AS} = TET / THA \quad (3)$$

Per analogia, podem obtenir el mateix tipus de taxa per a cadascun dels dos grans sectors en què hem dividit la societat: el sector de les activitats no productives i del treball remunerat. És a dir,

$$EMR_{HH} = ET_{HH} / HA_{HH} \quad (4)$$

On ET_{HH} és el consum d'energia al sector de les activitats no productives²⁴, i HA_{HH} és el temps humà disponible que no es dedica a treball remunerat.

Un augment de EMR_{HH} reflexa un increment al nivell de vida material (veure Pastore et al., 2000), i una major capitalització (ús d'eines i instruments) i consum al sector HH. Usant el mateix procediment que a les relacions (3) i (4), obtenim:

$$EMR_{PW} = ET_{PW} / HA_{PW} \quad (5)$$

²³ En aquesta divisió arbitrària s'anomena sector productiu, PS al conjunt que formen el sector de l'energia, la mineria, i la indústria. Això no vol dir, evidentment, que l'agricultura o els serveis no siguin productius. Es tracta més aviat d'una interpretació en termes d'hipercicle, com veurem, i de mantenir la nomenclatura original.

²⁴ Com direm més endavant l'àmbit del transport mereix un comentari a part, ja que part del consum d'energia de les llars és en transport, tot i que no és molt clar quina part és deguda a oci (i per tant a consum) i quina és mobilitat obligada (i lligada per tant a la producció).

On ET_{PW} és el consum d'energia dels sectors que generen valor afegit, i HA_{PW} és el temps humà que es dedica al treball remunerat. Aquest valor és el resultat de variables demogràfiques, com ara el total i l'estructura de la població, però també socials com són l'edat mínima legal per a treballar, l'edat de jubilació, i la jornada de treball mitjana.

EMR_{PW} pot usar-se com a variable proxy²⁵ per a la inversió en capitalització (maquinària i eines) del sector de treball remunerat (PW). L'annex teòric conté una discussió sobre aquest punt en l'apartat 1.3.6) El mateix passa a la resta de subsectors, on es pot calcular la taxa mitjana del metabolisme del sector productiu (la taxa EMR_{PS}), el sector de serveis i govern (EMR_{SG}), i a l'agricultura (EMR_{AG}).

Una altra taxa que utilitzem és la productivitat econòmica del treball (ELP, economic labour productivity) que es defineix com a PIB (o GDP, en les sigles anglès) dividit pel total d'hores dedicades a treball remunerat (HA_{PW}). Les unitats en què s'expressa ELP és euros per hora. De nou, podem calcular també la productivitat econòmica per a cadascun dels subsectors que considerem (ELP_{AG} , ELP_{PS} , i ELP_{SG}), dividint el GDP sectorial (per exemple GDP_{AG}) per la seva quantitat relativa d'hores de treball (HA_{AG}).

Finalment tenim ELP/EMR - Eficiència energètica de la producció (Economic Energy Efficiency paid- work sector). Variable intensiva que mesura la eficiència econòmica amb què utilitzem l'energia. Quant valor afegit generem amb una unitat d'energia. Es mesura en euros per Joule (€/J).

La Taula 3 resumeix les principals variables utilitzades a MSIASM, per tal de fer més clar el seu significat. Recordem que el subíndex i representa PW, HH, AG, PS, i SG indistintament.

²⁵ Una variable proxy substitueix una variable d'interès que no podem mesurar.

Taula 3: Principals agregats i variables de MSIASM

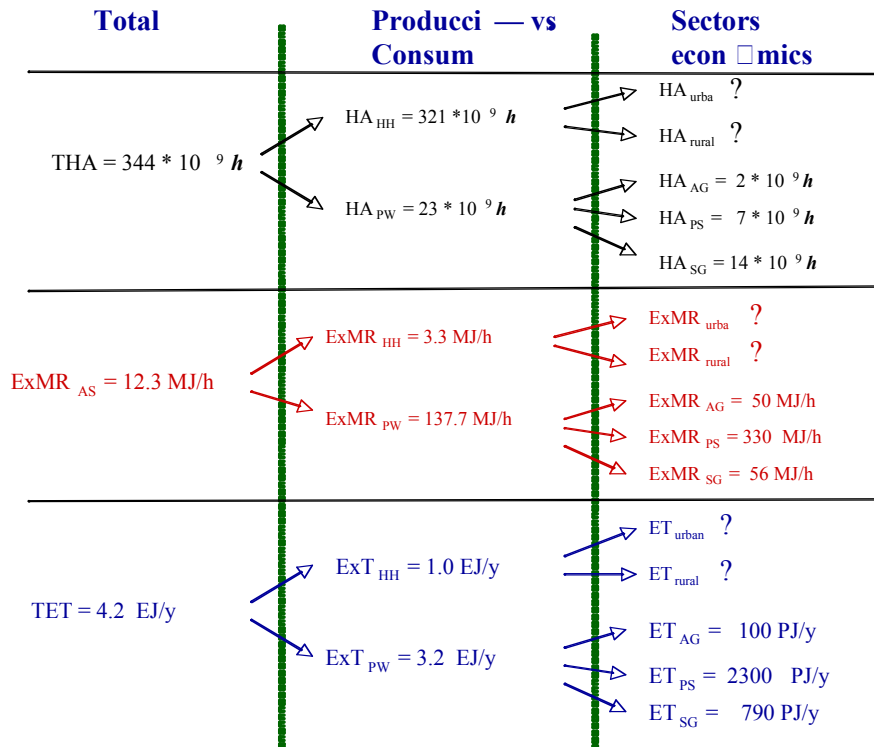
Acrònim	Nom de la Variable	Descripció
Nivell n: Catalunya		
THA	Activitat total humana (Total Human Activity)	Total de temps humà de què disposa una societat en un any per a les diverses activitats. Es calcula multiplicant el total de població per 8760 hores
TET	Flux total d'energia (Total Energy Throughput)	Total d'energia primària usada per una economia en un any, mesurat en Joules
EMR_{SA}	Taxa de metabolisme exosomàtic mitjana de la societat (Exosomatic Metabolic Rate societal average)	Variable intensiva que ens indica la quantitat d'energia consumida en un any per una societat per cada hora viscuda
GDP	Producte interior brut (Gross Domestic Product)	Valor afegit generat per una economia en un any, mesurat en euros (o dòlars)
Nivells n-1 (sectors de producció i consum) i n-2 (sectors econòmics)		
ET_i	Energia consumida al sector <i>i</i> (Energy sector <i>i</i>)	Energia consumida per els activitats del sector <i>i</i> . Es mesura en Joules
HA_i	Activitat humana al sector <i>i</i> (Human Activity sector <i>i</i>)	Temps que la societat dedica a l'activitat del sector <i>i</i> . Es mesura en hores
GDP_i	PIB generat al sector <i>i</i> (GDP Sector <i>i</i>)	Valor afegit generat al sector <i>i</i> . Es mesura en euros
EMR_i	Taxa de metabolisme exosomàtic de l'activitat del sector <i>i</i> (Exosomatic Metabolic Rate sector <i>i</i>)	Variable intensiva que ens indica l'energia consumida per hora de l'activitat del sector <i>i</i> . Es mesura en Joules per hora (J/h)
ELP_i	Productivitat del treball al sector <i>i</i> (Economic Labour Productivity sector <i>i</i>)	Variable intensiva que ens indica la productivitat del treball al sector <i>i</i> . Es mesura en euros per hora (€/h)
(ELP/EMR)_i	Eficiència energètica de la producció al sector <i>i</i> (Economic Energy Efficiency sector <i>i</i>)	Variable intensiva que mesura la eficiència econòmica amb què utilitzem l'energia. Quant valor afegit generem amb una unitat d'energia. Es mesura en euros per Joule (€/J)

El resultat de la desagregació de les diferents variables en els diferents escales (habitualment referides com a nivells jeràrquics) que hem descrit dona lloc a una representació de doble lectura biofísica i monetària de l'economia que estem analitzant com la que trobem a la Figura 11, realitzada per a l'economia espanyola l'any 1996.

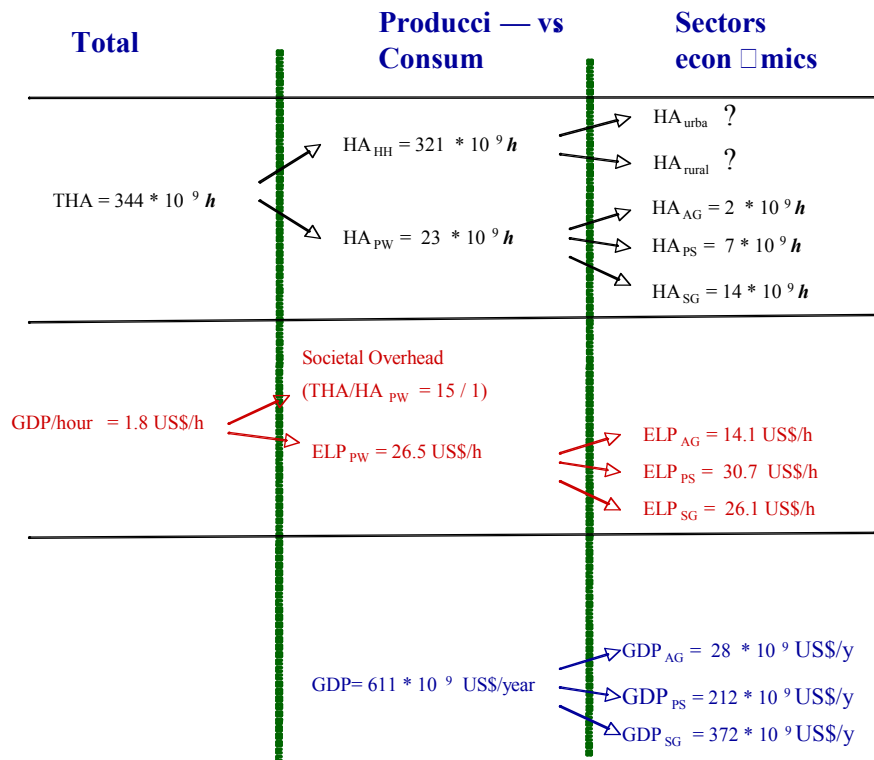
Aquest tipus de representació s'anomena dendrograma, que no és més que un diagrama en forma de branques que representa una jerarquia de categories basada en un grau de similitud o un nombre de característiques comunes i que s'utilitza especialment en taxonomia. El dendrograma superior mostra les dades físiques, és a dir, la taxa de metabolisme energètic de la societat, que relaciona el consum energètic i les hores d'activitat, i ho fa per a cadascun dels nivells d'anàlisi: des del conjunt de Catalunya (nivell n), els grans sectors (n-1) i els diferents subsectors (nivell n-2). El dendrograma inferior mostra la mateixa relació però per a l'indicador de productivitat econòmica del treball (ELP).

Figura 11: Dendrogrames biofísics (EMR) i monetaris (ELP). Espanya 1996

Dendograma de EMR a Espanya el 1996



Dendograma de ELP a Espanya el 1996



Font: Ramos-Martin i Giampietro (2005)

3.3. Particularitats del cas català

L'estructura presentada a la secció anterior es pot modificar d'acord amb els objectius concrets que ens plantejem en cada cas i les característiques del sistema que estem analitzant. Per exemple, en el cas de Catalunya, seria molt important poder separar el comportament de sectors com ara la construcció i el transport, per la seva rellevància en termes de generació de valor afegit. Ara bé, no s'han pogut obtenir dades desagregades per aquests dos sectors, de manera que s'ha hagut d'optar per incloure la construcció al sector industrial (ja que les dades de consum d'energia l'hi inclou) i per repartir el sector transport entre els serveis i el sector domèstic (la part que correspon a mobilitat no obligada). El sector del turisme, tot i ser també molt important, serà analitzat dins del sector serveis donada la manca de dades disponibles sobre consums energètics que li són atribuïbles. També seria important tenir dades separades per al sector de transformació de l'energia. S'ha de trobar, però una correspondència estadística en termes d'activitat al sector de l'energia mesurat en temps i del seu consum d'energia, per la qual cosa s'hauran de fer supòsits ad hoc.

D'aquesta manera, en l'estudi AMEEC el sector PW quedaria format per:

Treball Remunerat (PW)	{	Sector Productiu (PS)
		Serveis i administració (SG)
		Agricultura (AG)

En quant al consum d'energia, com hem dit seria interessant disposar de dades diferenciades per a l'energia, el transport i per a la construcció. Una particularitat interessant és que, si aconseguim distingir aquesta mobilitat forçada, el consum d'energia derivat, i que atribuïm al transport, s'hauria de redistribuir entre la resta de sectors proporcionalment a la seva població activa.

Evidentment aquests ajustaments proposats no són la única manera possible d'establir les categories d'anàlisi, però sí que semblen les més adequades en el context econòmic català. Particularment difícil és el tractament del serveis, ja que gran part d'aquest sector existeix només com a complement d'activitats d'altres sectors. És a dir, hi ha sectors que no existirien sense un sector industrial o de transformació que generés la demanda. Per tant l'atribució d'aquests serveis (en termes de consum d'energia i assignació de temps) al sector serveis en general pot ser sempre enganyosa, sobretot de cara a proposar polítiques de futur. Aquesta, però, no és només una limitació de la metodologia proposada sinó més aviat una característica inherent d'aquest sector que es reflecteix a totes les anàlisis econòmiques.

3.4. Exemples d'anàlisis similars

MSIASM és una metodologia relativament nova. No obstant això ja hi ha diverses aplicacions que s'han dut a terme tant a nivell de països desenvolupades i en desenvolupament, com a nivell local (bàsicament a països

en desenvolupament). D'altra banda, s'ha realitzat també una aplicació de la metodologia MSIASM per a l'anàlisi de la viabilitat dels biocombustibles a gran escala a nivell teòric.

Les primeres aplicacions pràctiques que trobem són les de Falconí (2001), i Ramos-Martin (2001) que analitzen l'evolució de dues economies, la de l'Equador i l'Estat espanyol respectivament, per a fer una anàlisi preliminar del seu metabolisme energètic.

Gomiero i Giampietro (2001) analitzen sistemes agraris de les muntanyes de Vietnam aplicant MSIASM. Una de les principals novetats d'aquest treball és que utilitza, per primer cop, els coeficients resultants de l'anàlisi integrada per a trobar diferents tipologies de famílies que es poden agrupar en vil·les, que conformen diferents tipologies de comunitats, tot permetent una simulació d'escenaris de desenvolupament amb conseqüències al nivell de les famílies. Tot i que això no es farà en el present estudi, seria molt interessant que en el futur poguéssim fer aquesta mateixa anàlisi a Catalunya, anant cap avall en l'estructura jeràrquica fins a analitzar tipologies de famílies.

Ramos-Martin i Giampietro (2005) utilitzen els dos exemples anteriors d'Equador i Espanya per a mostrar les potencialitats de MSIASM per a fer una anàlisi comparada de dues situacions de desenvolupament i per a explicar el fenomen de l'emigració massiva Equador-Espanya. A més, en aquell treball també s'utilitza MSIASM per a fer una avaluació d'escenaris per a Vietnam, en aquest cas per a l'agricultura i la seguretat alimentària (és a dir, amb la terra cultivable com a factor limitant).

Grünbühel i Schandl (2005) utilitzen MSIASM en un context rural i de país pobre com és Laos. En aquell cas, al metabolisme exosomàtic se li ha d'afegir el metabolisme endosomàtic, que per societats de subsistència és molt rellevant. Un aspecte interessant d'aquest treball és que ofereix els resultats a nivell de vil·la i d'estat, tot permetent una de les característiques més importants del MSIASM, l'anàlisi a través de diferents nivells jeràrquics o escales.

Ramos-Martin (2005) analitza el metabolisme energètic de la Xina per a poder explicar tant l'evolució del desenvolupament de la Xina des d'un punt de vista biofísic, com la tendència de desenvolupament més probable per al país, tenint en compte restriccions internes i l'impacte a la demanda mundial de petroli.

Eisenmenger et al. (2006) utilitzen MSIASM, juntament amb els fluxos de materials, per a explicar el rol diferencial que tenen dos grups d'economies al món, les economies del sud-est asiàtic i les economies sud-americanes.

Finalment, Giampietro et al. (2006b, en premsa) analitzen la viabilitat d'una possible introducció a gran escala dels biocombustibles, tot mostrant, amb l'ús de MSIASM, que no podem mirar només la quantitat d'energia que un sistema necessita (la que el nucli de generació d'energia anomenat hipercicle ha de fer disponible a la resta de l'economia), sinó també quina ha de ser la qualitat

d'aquesta. Un resultat exemplificatiu és que si una economia desenvolupada típica volgués usar com a font primària els biocombustibles, amb l'actual *mix* d'energia final això implicaria multiplicar per 4 la quantitat d'energia primària consumida (ja que el rendiment energètic de la producció d'etanol, per exemple, és molt més baix que el de la producció de petroli).

En aquest sentit, AMEEC suposa la primera aplicació de MSIASM directament encarregada per part del govern responsable de la realitat territorial analitzada, en aquest cas Catalunya, i que no només presenta els resultats de l'anàlisi integrada sinó també tot el procés de generació de les dades.

3.5. Tipus de dades a què es pot arribar i benchmarking

Del que hem vist amb anterioritat podem veure que MSIASM s'utilitza no tant com a eina predictiva, sinó més aviat per a caracteritzar el comportament dels diferents components d'una economia en termes de generació de valor afegit i de consum d'energia. Aquesta caracterització, gràcies als coeficients que s'utilitzen (les variables intensives descrites a la taula 3), permet veure quin són els impactes sectorials de canvis als patrons de consum energètic en termes de generació de valor afegit i d'ocupació, o veure com els canvis estructurals que pateix l'economia es reflecteixen en consums diferents d'energia.

És en aquest sentit que ens ajuda a generar i avaluar futurs escenaris econòmics i energètics, ja que en l'anàlisi dels resultats veurem quins seran els impactes de mesures concretes sobre la resta de variables. L'avaluació dels escenaris es farà comparant els valors de les variables intensives amb els valors de referència (*benchmark values*) que trobem a economies del nostre context dins dels països desenvolupats.

El coneixement d'una sèrie de coeficients tècnics en termes de productivitat del treball (euros per hora de treball), productivitat de l'energia (euros per MJ d'energia), i nivell de capitalització d'una economia (MJ per hora de treball en cada sector, que és la base dels increments de productivitat en el futur ja que reflecteix la tecnologia emprada en l'activitat) pels diversos sectors, així com la inclusió de variables demogràfiques (com la disponibilitat de mà d'obra), permeten la generació i avaluació d'escenaris plausibles de desenvolupament econòmic, i permet fer simulacions amb determinats canvis i xocs, per analitzar quins poden ser els efectes sobre les altres variables i sectors econòmics.

Com que l'estudi no es limita a fer una caracterització de Catalunya en termes energètics, sinó a facilitar la generació i avaluació d'escenaris, aquests *benchmarks* són essencials. Poder disposar de coeficients energètics (MJ per hora de treball) i/o econòmics (euros per hora de treball) a diferents escales jeràrquiques del nostre sistema permet contrastar els escenaris avaluats en termes de viabilitat a través de les escales. És a dir, permet comprovar si el que sembla una solució ideal a una escala determinada (una millora d'eficiència a una indústria particular) manté la seva viabilitat o no al considerar un nivell jeràrquic superior (com el sector econòmic determinat), o quines

implicacions pot tenir en termes de necessitats de transferència de mà d'obra d'un sector a un altre.

L'ús dels *benchmark* permet generar una anàlisi hologràfica dels escenaris seleccionats (combinant i comparant a diferents escales fluxos monetaris, de material i energia contra la disponibilitat de temps humà i la generació de valor afegit). Els benchmark que s'obtenen es poden associar a tipologies d'elements (tipus de famílies, tipus d'indústries, tipus de sectors econòmics, tipus d'economies, o d'ecosistemes). Això permetrà: (a) comparar el comportament d'elements individuals com ara sectors econòmics, amb trajectòries esperades de transició, i (b) verificar la compatibilitat de les característiques dels elements individuals en relació a les característiques de la resta del sistema (avaluar si el creixement d'un determinat sector és compatible amb la resta de l'economia, per exemple).

Aquest tipus de comparació que fem a través de MSIASM amb el benchmarking, ens permet fer comparacions dintre de la mateixa tipologia (per exemple com es comporta un determinat sector a Catalunya en quant a eficiència energètica respecte la mitjana europea), o també fer comparacions entre diferents tipologies (per exemple quins són els sectors que, a Catalunya, generen més valor afegit per unitat d'energia utilitzada) que ens permeten donar prioritat a l'acció.

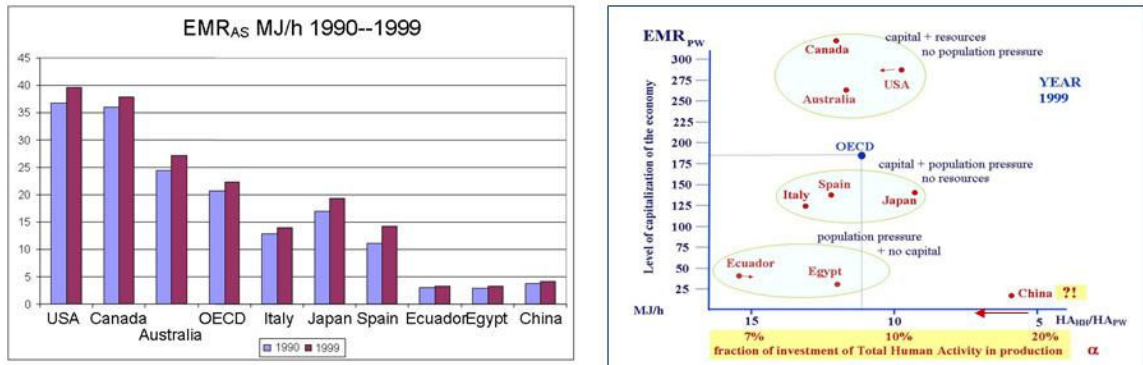
Per exemple, les variables intensives que trobem ens diran quina és la productivitat del treball (en euros per hora) dels diferents sectors econòmics, així com el seu consum d'energia (en Joules per hora). Llavors, davant d'un canvi de política, o un escenari que es vulgui avaluar, a on vulguem introduir un canvi estructural (com ara augmentar el pes del turisme al PIB) podrem obtenir automàticament quines seran les necessitats de mà d'obra així com d'energia per a poder assolir-lo. Les possibilitats són molt diverses, i aquest és només un exemple, però el que és important és que tenim les relacions entre les diferents variables i en els diferents nivells d'anàlisi, per la qual cosa en proposar un canvi d'escenari podem veure les conseqüències.

El mateix passa si el que volem és posicionar Catalunya en relació als països del seu entorn. Podem utilitzar aquests coeficients per a veure els sectors on Catalunya ha d'augmentar l'eficiència en comparació amb l'entorn, i els sectors on hi ha avantatges comparatius que es podrien explotar millor.

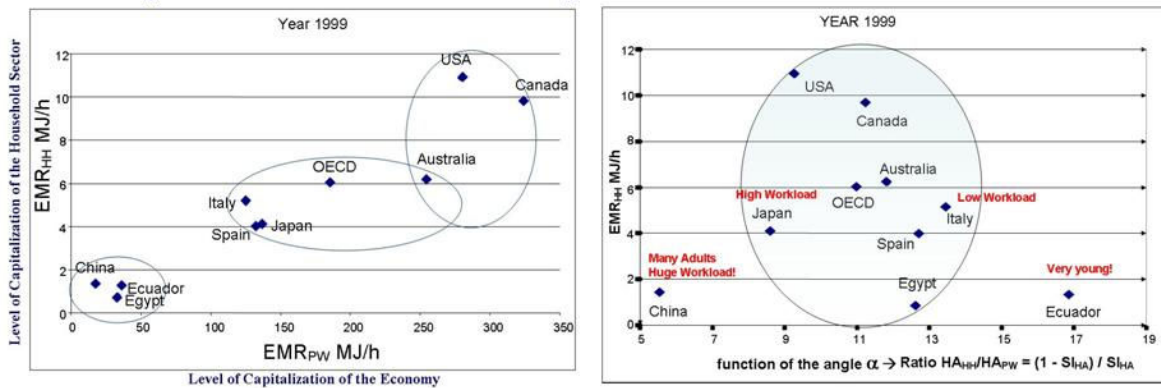
A la Figura 12 tenim una recent aplicació de Giampietro et al. (2006b, en premsa), que permet fer una caracterització dels nivells de capitalització de les economies considerades i dels seus nivells de benestar material utilitzant variables intensives que ens mesuren la quantitat d'energia consumida per a una activitat concreta. En aquesta figura es veu com l'Estat espanyol es troba per sota de la mitjana dels països de l'OCDE en termes de consum d'energia per hora de treball, el que ens indica que té un nivell de capitalització més baix (que eventualment provoca taxes menors de productivitat del treball)²⁶.

²⁶ Per a una discussió teòrica d'aquesta hipòtesi, vegeu l'annex I.

Figura 12: Exemple de l'ús del benchmarking



Looking for benchmarks characterizing the metabolism of different societies



Font: Giampietro et al., (2006b en premsa).

L'annex que es presenta a continuació aprofundeix en les bases teòriques que sustenten la metodologia MSIASM. A més a més es detalla el significat i les implicacions dels conceptes propis de la metodologia, per tal de permetre una millor comprensió de les potencialitats d'aquesta eina d'anàlisi.

Referències

Agència Internacional de l'Energia (2004): *World Energy Outlook 2004*. International Energy Agency. Paris.

Agència Internacional de l'Energia (2005): *Key World Energy Statistics 2005*. International Energy Agency. Paris.

Association for the Study of Peak Oil & Gas "ASPO" (2006): Newsletter No. 71, November 2006. Disponible a <http://www.peakoil.net>

Comissió Europea (2003): *World Energy, Technology and Climate Policy Outlook. WETO 2030*. European Commission. Directorate-General for Research.

Commission on Oil Independence (COI) (2006): *Making Sweden an OIL-FREE Society*. Sweden's Prime Minister's Office. June 2006. Available at <http://www.sweden.gov.se/sb/d/574/a/67096>

Eisenmenger, N., Schandl, H., and Ramos-Martin, J. (2006): "Transition in a changed context: patterns of development in a globalized world". In M. Fischer-Kowalski and H. Haberl (Editors): *Global Change and Socio-Ecological Transitions. Comparing historical and current patterns of societal metabolism and land use*. Edward Elgar.

Eurostat (2001). *Economy-wide material flow accounts and derived indicators. A methodological guide* Office for Official Publications of the European Union, Luxembourg.

Falconi-Benitez, F. (2001): Integrated assessment of the recent economic history of Ecuador, *Population and Environment*, 22 (3): 257-280.

Fons Monetary Internacional (IMF) (2004), *World Economic Outlook: Advancing Structural Reforms*, April, International Monetary Fund, Washington

Forfás (2006): *A Baseline Assessment of Ireland's Oil Dependence – key policy considerations*. Dublin. Disponible online a: http://www.forfas.ie/publications/forfas060404/webopt/forfas060404_irelands_oil_dependence_report.pdf

Generalitat de Catalunya (2005): *Pla de l'energia de Catalunya 2006-2016*. Pla Estratègic. Octubre 2006.

Giampietro M. (2003): *Multi-Scale Integrated Analysis of Agro-ecosystems*. CRC Press, Boca Raton, 472 pp.

Giampietro, M. and Mayumi, K., (2000a): Multiple-scale integrated assessment of societal metabolism: Introducing the approach, *Population and Environment*, 22 (2): 109-153.

Giampietro, M. and Mayumi, K., (2000b): Multiple-scale integrated assessment of societal metabolism: Integrating biophysical and economic representations across scales, *Population and Environment*, 22 (2): 155-210.

Giampietro, M., Mayumi, K., Ramos-Martin, J. (2006b): How serious is the addiction to oil of developed society? A multi-scale integrated analysis based on the concept of societal and ecosystem metabolism (Part 2), *International Journal of Interdisciplinary Research*, in press.

Gomiero, T. and Giampietro, M., (2001): Multiple-scale integrated analysis of farming systems: The Thuong Lo Commune (Vietnamese Uplands) case study, *Population and Environment*, 22 (3): 315-352.

Grunbuhel, C.M., and Schandl, H. (2005): Using land-time budgets to analyse farming systems and poverty alleviation policies in the Lao PDR, *International Journal of Global Environmental Issues*, Vo. 5, Nos. 3/4: 142-180.

Hall, C.A.S.; Cleveland, C.J.; and Kaufman, R. (1986): *Energy and Resource Quality*. New York: John Wiley & Sons.

Hirsch, R.L., Bezdek, R.H, Wendling, R.M. (2005): *Peaking of World Oil Production: Impacts, Mitigation and Risk Management*. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory. Available online at http://www.netl.doe.gov/publications/others/pdf/Oil_Peaking_NETL.pdf

Hubbert, M.K. (1949): "Energy from fossil fuels", *Science* Vol. 109, Num. 2823: 103-109. Disponible a <http://www.hubbertypeak.com/hubberty/science1949/>

Hubbert, M.K. (1956): "Nuclear Energy and the Fossil Fuels", Presented before the Spring Meeting of the Southern District Division of Production, American Petroleum Institute, San Antonio, Texas, March 8, 1956. Publication No. 95. Houston: Shell Development Company, Exploration and Production Research Division, 1956. <http://www.hubbertypeak.com/hubberty/1956/1956.pdf>

IDAE - Instituto para la Diversificación y el Ahorro Energético (2006): *Boletín Electrónico*. Número 24. IDAE. Madrid.

IDESCAT (2006): Anuari Estadístic de Catalunya 2006. Generalitat de Catalunya. Institut d'Estadística de Catalunya. Barcelona.

MITYC (2004): *La Energía en España 2004*, Secretaría General de Energía, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

Munda, G. (2004): Social Multi-Criteria Evaluation: Methodological foundations and operational consequences, *European Journal of Operational Research*. Vol. 158: 662-677.

Odum, H.T. (1971) *Environment, Power, and Society*. John Wiley & Sons, New York.

Odum, H.T. (1983): *Systems Ecology*. New York: John Wiley.

Odum, H.T. (1996) *Environmental Accounting: EMergy and Decision Making*. John Wiley, New York.

OCDE (2004), *OCDE Economic Outlook 75*, June 2004, Organisation for the Economic Co-operation and Development, Paris

Pastore, G., Giampietro, M. and Mayumi, K., (2000): Societal metabolism and multiple-scale integrated assessment: Empirical validation and examples of application, *Population and Environment*, 22 (2), 211-254.

Pearce, D., and Turner, K. (1990): *Economics of Natural Resources and the Environment*. Harvester Wheatsheaf, Great Britain.

Ramos-Martin, J. (2001): Historical analysis of energy intensity of Spain: From a "conventional view" to an "integrated assessment", *Population and Environment* 22 (3): 281-313.

Ramos-Martin, J. (2005): *Complex systems and exosomatic energy metabolism of human societies*. PhD Thesis, Autonomous University of Barcelona.

Ramos-Martin, J., and Giampietro, M. (2005): Multi-scale integrated analysis of societal metabolism: learning from trajectories of development and building robust scenarios, *International Journal of Global Environmental Issues*, Vo. 5, Nos. 3/4: 225-263.

Schandl, H., Grünbühel, C., Haberl, H., Weisz, H. (2004): *Handbook of Physical Accounting. Measuring bio-physical dimensions of socio-economic activities*. Working Paper number 73, IFF-Social Ecology, Wien. http://www.iff.ac.at/socec/pubs/pubs_downloads/socec15008.pdf

World resources Institute, WRI (2000): *Weight of Nations: Material Outflows From Industrial Economies*, Washington DC.

Llistat dels principals acrònims utilitzats

AIE – Agència Internacional de l'Energia
 AMEEC – Anàlisi del metabolisme energètic de l'economia catalana
 BP – British Petroleum
 CADS – Consell Assessor pel Desenvolupament Sostenible (Generalitat de Catalunya)
 CE – Comissió Europea
 COI – Commission on Oil Independence (Suècia)
 EUA - Estats Units d'Amèrica
 FMI – Fons Monetari Internacional
 GNL – Gas Natural Liquefiet
 ICAEN – Institut Català de l'Energia (Generalitat de Catalunya)
 IDAE – Institut per la Diversificació i l'Estalvi de l'Energia. Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç.
 IDESCAT – Institut d'Estadística de Catalunya
 IER – Escenari Intensiu en Eficiència i Energies Renovables (del Pla de l'Energia de Catalunya)
 Mb/d – milions de barrils (de petroli) diaris
 MSIASM – Multi-scale integrated analysis of societal metabolism (anàlisi integrat multiescalar del metabolisme social)
 OCDE – Organització per la Cooperació i el Desenvolupament Econòmic
 PIB – Producte Interior Brut
 TPES – Total Primary Energy Supply (Equivalent al consum total d'energia primària)
 UE- Unió Europea

Índex de termes

- anàlisi integrada..... 4, 10, 35, 37, 45, 46, 63, 67, 72
- benchmark 6, 36, 39, 46, 47
- biocombustibles 12, 31, 45
- biofísic/a.. 1, 5, 9, 10, 11, 27, 35, 37, 39, 42, 43, 58, 60, 61, 62, 88
- biomassa..... 12, 17, 28, 31, 59
- carbó 2, 17, 18, 20, 28, 31, 79
- Catalunya 1, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 17, 20, 25, 26, 27, 33, 35, 36, 37, 38, 42, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 52, 63, 84, 86
- centrals nuclears..... 3, 6, 10, 26, 27, 36
- cim del petroli..... 1, 4, 7, 23, 24, 28, 33
- consum energètic 6, 9, 36, 42, 46, 69
- creixement econòmic.. 2, 10, 11, 21, 22, 30, 71
- economia catalana.. 1, 3, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 26, 27, 36, 39, 70
- ecosistemes 37, 47, 62, 66, 69
- eficiència econòmica 5, 10, 41, 42
- Eficiència energètica..... 5, 41, 42
- electricitat..... 3, 7, 12, 17, 26, 28, 29, 31, 62, 63
- energia nuclear 2, 3, 17, 18, 19, 26, 28
- energia primària.. 2, 3, 5, 10, 12, 17, 18, 19, 20, 26, 32, 38, 42, 46, 62, 69
- energia solar 65, 71
- energies renovables 2, 3, 10, 17, 18, 19
- eòlica..... 3, 17, 20, 31, 54
- Estat espanyol 3, 12, 20, 21, 26, 45, 47
- Estats Units 4, 7, 27, 52
- estructura jeràrquica..... 38, 45, 66, 67, 73
- gas natural.... 2, 3, 7, 13, 17, 18, 19, 20, 28, 31, 79
- gasos amb efecte d'hivernacle..... 8, 10, 13
- Hirsch 4, 27, 28, 29, 50, 85
- Hubbert..... 7, 24, 50, 54, 86
- Índia..... 2
- intensitat energètica 40, 75
- metabolisme energètic* 4, 5, 8, 9, 11, 13, 26, 33, 35, 36, 37, 42, 45, 61, 63, 68, 73
- Metabolisme social*..... 5, 35
- mix d'energia final* 46
- MSIASM . 1, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 13, 27, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 48, 58, 59, 73, 77, 79, 80
- peak oil 1, 3, 7, *Veure cim del petroli*
- petroli.... 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 13, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 36, 38, 45, 46, 54, 65, 67
- PIB 2, 4, 5, 9, 20, 21, 26, 28, 29, 36, 39, 40, 41, 42, 47
- Pla de l'Energia de Catalunya 10, 26
- població 3, 5, 8, 9, 13, 27, 32, 33, 39, 40, 41, 42, 44, 70, 79
- productivitat econòmica del treball..... 41, 42
- sostenibilitat..... 35, 37, 61, 62, 69
- taxa de metabolisme 40, 42, 74, 77, 79
- Unió Europea 3, 12, 27, 52
- Xina 2, 18, 20, 21, 26, 37, 45

Glossari

Benchmarking

Comparació entre diferents elements utilitzant la seva posició relativa per a un conjunt de variables i considerant determinats valors de referència (anomenats *benchmark* en anglès).

Biomassa

A la indústria de l'energia es refereix al material biològic viu o recentment viu que pot ser usat com a combustible per a la producció industrial o d'altres formes d'energia com ara calor o electricitat. Recentment s'inclouen els biocombustibles (com el biodièsel o el bioetanol), que són fruit de cultius específics per a la producció d'aquests substituïts del gasoil i de la benzina. A vegades s'inclouen els residus biodegradables. Normalment es mesura en quantitat de matèria seca.

Cim del petroli (o peak oil)

El cim del petroli fa referència al fet que s'està arribant al màxim de la corba d'extracció mundial de petroli. Això no vol dir un esgotament de tot el petroli de forma immediata, però sí que el món veurà un augment progressiu de "l'escassetat" d'aquest recurs, ja que el volum extret anirà disminuint mentre que la demanda mundial segueix augmentant. Hubbert, geofísic nord-americà, va ser el primer a parlar de "peak oil", i va predir que el cim de la producció de petroli pels EUA es produiria a finals dels anys 1960 o començament dels 1970 (Hubbert 1956). Més informació: *Associació per a l'estudi del cim del petroli* (www.peakoil.net).

Eficiència energètica de la producció

És una variable intensiva que mesura la eficiència econòmica amb què utilitzem l'energia, és a dir, mesura quant valor afegit generem amb una unitat d'energia. Es calcula per a cada sector, a partir de la relació entre la productivitat econòmica del treball i la taxa de metabolisme exosomàtic (ELP/EMR)_i. Es mesura en euros per joule (€/J).

Energia final

Fa referència a l'energia consumida pels diferents sectors de l'economia. El consum d'energia final és la suma del consum d'energia final del sector primari, la indústria, el transport, el sector residencial, el comerç, etc. Inclou, per tant, l'electricitat, el gas natural de consum, el combustible per al transport, el combustible per a les activitats industrial, etc. Sovint es mesura en tones equivalents de petroli (veure més avall al glossari).

Energia primària

Fa referència a l'energia continguda en els productes energètics de fonts naturals, que es transforma mitjançant un seguit de processos en una forma utilitzable. La producció primària ocorre quan s'exploten les fonts naturals, per exemple mines de carbó, camps de petroli cru, centrals elèctriques hidràuliques, energies renovables com ara eòlica o solar, o la fabricació de

biofuels. El consum d'energia primària és la transformació d'energia d'una forma a una altra, com ara la generació d'electricitat o de calor en centrals elèctriques termals, o la producció del coc en forns de coc.

Flux total d'energia

Una de les variables de MSIASM. Les seves sigles són TET pel seu nom en anglès (Total Energy Throughput). És el total d'energia primària usada per una economia en un any, mesurat en Joules. En la seva versió agregada es correspon amb el que generalment es coneix com Disponibilitat Total d'Energia Primària (o Total Primary Energy Supply, TPES en les sigles en anglès) que és la suma de la producció local, les importacions menys les exportacions i els canvis als estocs d'energia. El TET es pot aplicar també no al conjunt d'una economia sinó només a un sector econòmic. En aquest cas es parla d'energia consumida, amb les sigles ET pel nom en anglès (energy throughput). Es defineix com a Energia consumida per les activitats del sector *i*. Es mesura també en Joules.

Hipercicle

Part d'un sistema format pels processos que són responsables de proveir el sistema amb el recurs limitat que estiguem analitzant. En el nostre cas correspon a un sector econòmic, responsable de proveir de l'energia neta necessària per al seu funcionament. És a dir, agafen energia primària del medi i la converteixen en energia disponible per al sistema, per exemple en la forma de diferents vectors energètics.

Metabolisme social

Es coneix per metabolisme social (per analogia amb el metabolisme dels éssers vius) el procés que es produeix en el si d'una societat en què els sectors econòmics utilitzen materials i energia que es transformen per a la producció de béns i serveis. Això té com a repercussió la generació de residus materials i calor dissipat que són disposats a l'ambient.

Metabolisme energètic

És el mateix concepte de metabolisme social, però restringit a l'anàlisi del cas particular del vector energètic.

Producte Interior Brut (PIB)

En anglès s'anomena Gross Domèstic Product, i per tant les sigles són GDP, tal com s'utilitza a MSIASM. Es defineix com el valor afegit generat per una economia en un any, mesurat en euros (o dòlars). També es pot parlar del PIB d'un sector determinat.

Productivitat econòmica del treball

Variable que es calcula per a cada sector d'activitat. És una variable intensiva que indica la generació de valor afegit per hora de treball per a cada sector, mesurat en euros per hora (€/h). A MSIASM utilitzem les seves sigles en anglès, ELP.

Taxa de metabolisme exosomàtic

És una de les principals variables que s'utilitzen a MSIASM. Les seves sigles són EMR. És una variable intensiva que ens indica la quantitat d'energia consumida en un any per una determinada activitat per hora. Es pot calcular tant per a la societat en el seu conjunt (subíndex SA) com per a cada sector. Es mesura en joules per hora (J/h).

Temps total d'activitat, també dita activitat total humana

Una de les variables de MSIASM. Les seves sigles són THA, pel seu nom en anglès (Total Human Activity). Fa referència al total de temps de què disposa una societat en conjunt per a realitzar les seves diferents activitats en un any. Es mesura en hores, i es calcula multiplicant la població pel nombre d'hores que té un any, que són 8760 hores. Es pot aplicar la mateixa definició a un sector determinat, com el sector del treball remunerat o el consum, o en un dels subsectors en què es divideix l'economia. En aquest cas es coneix com a temps d'activitat per a un sector (ET_i), i es defineix com el temps que la societat dedica a l'activitat d'aquell sector, és a dir, el total d'ocupats en aquell sector multiplicat per les hores de treball.

Tona equivalent de petroli (TEP)

Unitat que representa la quantitat d'energia que es pot obtenir cremant una tona de petroli. Equival aproximadament a 10 milions de quilocalories (és a dir 10^7 Kcal). És a dir, la quantitat de calor que cal donar a 10.000 m^3 d'aigua per augmentar un grau la seva temperatura. S'utilitza per fer comparacions quantitatives entre consums o reserves de diferents combustibles. (Font: Adaptat del Diccionari de l'Energia. ICAEN). Com a múltiples s'utilitza el *ktep* (milers de tones equivalents de petroli) i *mtep* (milions de tones equivalents de petroli). En anglès és toe (tonnes of oil equivalent).

Total Primary Energy Supply (TPES)

Equival a la Disponibilitat Total d'Energia Primària, que en el nostre cas anomenem TET.

Trade-off (intercanvi o compromís)

Deixar d'obtenir una cosa per a poder obtenir una altra. Un balanç de factors, el total dels quals no es pot aconseguir al mateix moment. Si obtens uns en perdràs d'altres. Per exemple, a menys desocupació, més inflació.

Annex: Teories i conceptes darrera MSIASM

Aquest annex presenta amb més profunditat el marc teòric i alguns dels conceptes que hi ha darrera de MSIASM, que per ser massa teòrics no han estat desenvolupats al cos d'aquest bloc. S'ha de tenir en compte, però, que l'Annex no pretén seguir una línia de discurs determinada, per la qual cosa cada secció del mateix es pot considerar autònoma. L'annex comença amb la contribució d'analistes energètics clàssics com ara Lotka i Odum. Més endavant discuteix amb detall què s'entén per metabolisme social. El tercer apartat discuteix sobre les repercussions que la termodinàmica de sistemes lluny de l'equilibri ha tingut sobre l'anàlisi del metabolisme social. En particular és de gran importància el reconeixement de la irreversibilitat, així com la tendència dels sistemes cap a una auto-organització. En concret, es mencionen algunes de les característiques dels sistemes complexos com ara les economies, que s'han de tenir en compte en fer una anàlisi com la de l'estudi AMEEC. Les economies s'estructuren de manera jeràrquica, amb diferents nivells jugant diferents papers; s'organitzen per mitjà de cicles autocatalítics, és a dir, part de la producció és necessària consumir-la com a input productiu i no com a consum final; tenen un comportament no lineal; hi ha sectors responsables de garantir el correcte aprovisionament dels elements clau (com energia) per a la resta de l'economia (el què es coneix com hipercicle). Aquestes característiques i altres mencionades en l'annex tenen unes implicacions en dos conceptes que són utilitzats a MSIASM: l'efecte mosaic i l'anàlisi de cicles impredeciables.

A.1. Origen de l'anàlisi energètica de les economies

El renovat interès per l'anàlisi biofísica de les economies deu molt al treball d'analistes energètics com Podolinsky i Lotka. La contribució principal de Lotka al debat va ser la seva afirmació de que la selecció natural (quan es parla d'organismes vius) tendeix a:

- (i) Un augment dels fluxos energètics a través dels sistemes biològics, i
- (ii) Un augment de l'eficiència dels processos biològics.

Més específicament, les paraules de Lotka (1922: 148) varen ser que “la selecció natural funcionarà de tal manera que s'incrementi la massa total del sistema, i que augmenti la circulació de matèria a través del sistema, així com el flux d'energia sempre que hi hagi presents un residu inutilitzat de matèria i d'energia disponible”. Hi ha dos enfocaments diferents a l'anàlisi de Lotka. Un va ser desenvolupat per Odum, que argumentà a favor d'una llei universal de l'evolució. L'altre veu la contribució de Lotka sense determinisme (O'Connor, 1991; Buenstorf, 2000), però més aviat com una mera descripció de regularitats donades al passat que explicarien l'evolució dels sistemes.

Odum es va referir al principi de Lotka com el principi de la màxima potència (maximum power principle) (Odum i Pinkerton, 1955), i l'agafà com una llei

universal que diu que “qualsevol organisme, o sistema, que inverteixi energia molt ràpidament però de manera ineficient, o molt eficient però no a una taxa molt elevada, serà menys competitiu en la selecció natural que els que funcionen a una eficiència intermèdia, però òptima, de tal manera que la potència desenvolupada sigui màxima a una taxa intermèdia” (Hall et al., 1986: 63). Aquest principi va portar a alguns analistes energètics, com el mateix Odum, a considerar la hipòtesis de que també els sistemes econòmics intenten maximitzar la potència que controlen.

Tot i que en la fonamentació teòrica de MSIASM no es defensa una posició tan determinista, sí que es prenen algunes de les eines desenvolupades per aquests analistes energètics, com ara la distinció introduïda per Lotka (1956) entre fluxos d'energia exosomàtics²⁷ i endosomàtics²⁸. Aquesta distinció va ser més tard proposada com a concepte de treball per Georgescu-Roegen (1975).

De fet, l'energia exosomàtica és un concepte que inclou usos energètics diversos, i segons aquests pot significar diferents coses segons si estem parlant d'un país desenvolupat o en desenvolupament. Així, pels primers vol dir bàsicament “energia comercial o tècnica”, mentre que pels segons a aquesta energia comercial se li ha de sumar altres fonts tradicionals d'energia que poden ser rellevants en termes relatius i segons el seu grau de desenvolupament, com ara energia animal, vent, cascades, foc (Giampietro et al., 2001). En aquest sentit una primera aplicació d'aquests conceptes per entendre l'evolució de les economies ens la dona Giampietro quan diu que “la relació entre energia exosomàtica i endosomàtica indica fins a quin punt la ‘tecnologia humana’ està estimulant l'habilitat dels humans per a controlar la producció i consum de béns i serveis. Aquesta raó és de 5/1 a la majoria de societats de subsistència (relacionat amb la biomassa per al foc i el treball animal), mentre arriba a valors tant alts com 90/1 a països desenvolupats” (Giampietro et al., 2001; veure també Giampietro, 1997). Son aquests analistes energètics els primers a parlar del concepte de metabolisme social.

A.2. El concepte de metabolisme social

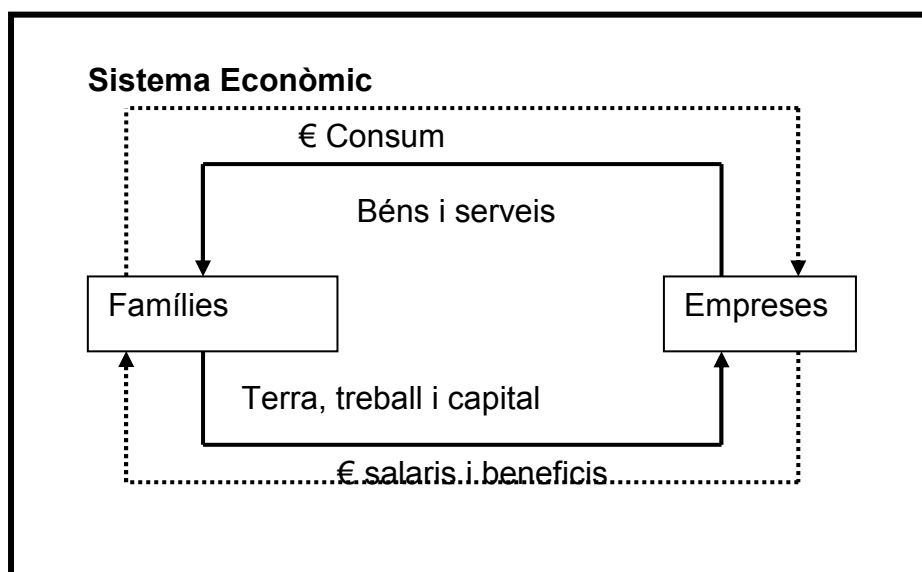
L'estudi de la relació entre l'activitat econòmica i el medi que ens envolta és antiga a la teoria econòmica, tot i que darrerament la teoria econòmica sembla haver-la oblidada (Ramos-Martin, 2004). De fet, la teoria econòmica que encara avui és dominant, no només dins l'àmbit acadèmic, sinó també polític, és la seva vessant neoclàssica, que es centra en l'anàlisi de l'intercanvi de béns i serveis entre els diversos agents econòmics, emfatitzant el paper de les preferències del consumidor i la dotació de recursos, per tal de garantir l'equilibri de l'economia. Això implica considerar el medi ambient només com una restricció més que ens ve donada, o només com a proveïdor de recursos.

²⁷ Ús de fonts d'energia per a conversions energètiques a l'exterior del cos humà, destinades al metabolisme social, però encara operades sota el control humà.

²⁸ Ús de l'energia necessària per al manteniment del metabolisme intern d'un ésser humà, és a dir, conversions energètiques lligades a processos fisiològics humans obtingudes a través de l'energia dels aliments (Giampietro et al., 2001).

Aquesta visió que es pot qualificar de “miop” del procés econòmic és el que porta a una interpretació del mateix equivalent a la que es presenta a la Figura 13 del flux circular de la renda, i que ha portat darrerament a una sobrevaloració de la vessant monetària i financera de les economies, que oblidava la vessant material i per tant, biofísica. Són necessàries situacions de xoc o de crisi, com la que vivim en l’actualitat en el cas del preu de l’energia i de les primeres matèries en general, perquè els economistes tornem la vista cap aquesta vessant biofísica del procés econòmic.

Figura A- 1: El flux circular de la renda



Font: Hall et al. (1986: 39)

En particular, els economistes convencionals interpreten el sistema econòmic com si fos un *sistema aïllat*²⁹ al qual uns factors de producció (terra, capital i treball) i uns béns i serveis són intercanviats entre les empreses i les famílies, en el que es coneix com el flux circular del valor en canvi (o de la renda). En més detall, les empreses paguen a les famílies pels factors de producció (ingrés nacional), mentre que les famílies paguen a les empreses pels béns i serveis finals (producte nacional).

Quan representem el procés econòmic d’aquesta manera estem considerant els recursos naturals, la tecnologia, i les preferències individuals com a donats. És a dir, no estem tenint en compte els fonaments biofísics del procés econòmic, ni per la banda de la necessitat de recursos per a la producció de béns i serveis, ni per la banda de les conseqüències de la producció i el consum d’aquests béns i serveis en la forma de residus. És a dir, tractem el sistema econòmic com si fos una mena de capsa negra (Dyke, 1994). El principal límit d’aquest enfocament és que el flux circular del valor en canvi o

²⁹ Un sistema aïllat és aquell que no intercanvia energia ni materials amb el seu medi; un sistema tancat només intercanvia energia però no materials; i un sistema obert intercanvia tant energia com materials amb el medi.

renda considera els recursos naturals com a il·limitats.

La conseqüència d'aplicar aquest enfocament ha estat l'aparició de l'economia dels recursos naturals (vegeu Pearce i Turner, 1990; Scott, 1985) que ha tractat les amenaces de l'escassetat i de la contaminació utilitzant les metodologies tradicionals de l'economia, i que ha esdevingut el principal enfocament des d'un punt de vista de polítiques públiques. Així els mètodes que s'han desenvolupat són:

- (i) Optimització en el cas de la gestió dels recursos naturals (tant renovables com exhauribles).
- (ii) Assignació de drets de propietat sobre la contaminació (o més generalment sobre les externalitats) per tal d'incorporar-les al sistema de preus, i per tant en el procés de decisió dins del mecanisme de mercat. Aquest és el cas dels mercats de drets d'emissió que han aparegut recentment per al cas del CO₂ a nivell europeu, per exemple.

Aquesta visió, però, no sembla suficient per a entendre les relacions entre energia, sostenibilitat i activitat econòmica. Per això es proposa analitzar les societats humanes en termes de metabolisme, fent una analogia amb el metabolisme dels organismes vius. Aquesta ha estat una de les aportacions més interessants de l'ecologia, de les teories de la complexitat i de l'anàlisi energètica en els darrers temps. La idea bàsica és que en el procés de desenvolupament econòmic, la generació de valor afegit que s'intercanvia al mercat té com a contrapartida biofísica la transformació de fluxos d'energia i de materials en béns i serveis. A mesura que les economies creixen, tendeixen a consumir més materials i energia, tot i que normalment ho fan amb més eficiència.

El procés econòmic implica la transformació d'energia i de materials per a la producció de béns i serveis, anàlogament a un organisme que metabolitza el menjar i el converteix en treball físic. Això té com a repercussió la generació de residus materials i calor dissipat que són disposats a l'ambient. L'activitat econòmica, per tant, es pot descriure en termes biofísics en funció de la quantitat i tipus d'energia i materials que utilitza. Quan s'analitza el cas particular del vector energètic, es parla de **metabolisme energètic**.

L'anàlisi del metabolisme energètic i una millor comprensió del funcionament de l'economia en termes biofísics han de permetre dissenyar polítiques de desenvolupament més adequades, que garanteixin el flux d'energia i de materials necessari per al seu funcionament i desenvolupament, juntament amb una disminució del seu impacte ambiental.

La idea del "metabolisme de la societat humana" és una noció que no és nova, sinó que neix a mitjans del segle XIX per a caracteritzar els processos dintre d'una societat que són necessaris per a continuar la seva existència. Aquí només fem una aplicació d'aquestes idees, incorporant metodologies d'anàlisi

que ja integren aquestes consideracions. La idea de metabolisme social es pot associar amb autors com ara Liebig, Boussingault, Moleschott, Arrhenius, i Podolinski (per a una revisió completa vegeu Martinez-Alier, 1987; Fischer-Kowalski, 1997). És, però, Butler qui fa la conceptualització teòrica del metabolisme social (1871), més endavant desenvolupada per Lotka (1956), que interpreta la societat constituïda per un doble metabolisme: (1) un relacionat amb els òrgans *endosomàtics* (els que estan presents a dintre del cos humà, i què es manifesta amb l'ús d'un tipus particular d'energia a través de l'alimentació³⁰); i (2) un altre relacionat amb els òrgans *exosomàtics* (aquells fabricats pels humans com ara les eines i els aparells mecànics, que es relacionen amb un altre tipus d'energia diferent al menjar, ja siguin combustibles fòssils o electricitat). Aquesta metàfora i la distinció de Lotka van ser després elaborades per Georgescu-Roegen (1975) quan mirà d'integrar l'anàlisi econòmica amb la biofísica en termes de sostenibilitat. De fet, en aquest esforç, Georgescu-Roegen va fins i tot introduir el terme de Bioeconomia per indicar la necessitat d'un enfocament innovador d'anàlisi de la sostenibilitat. Segons aquest autor l'enfocament partiria del reconeixement de la existència de limitacions biofísiques al procés de desenvolupament econòmic (Mayumi, 2001).

El concepte de metabolisme social s'ha aplicat al camp de l'economia ecològica per a donar suport al requeriment d'enfocaments integradors en l'anàlisi de la sostenibilitat (per exemple Martinez-Alier, 1987); al camp de l'ecologia industrial (com fan Ayres i Simonis, 1994); al camp de l'anàlisi de fluxos materials i energètics (per exemple Adriaanse et al. 1997; Fischer-Kowalski, 1998; Matthews et al, 2000); al camp de l'anàlisi del canvi estructural dels processos socio-econòmics (per exemple Duchin, 1998); i al camp de l'ecologia social (com ara Fischer-Kowalski, 1997; Schandl et al., 2002).

En aquest sentit, el concepte de metabolisme és crucial ja que proporciona: (i) tipologies esperades dels diferents components d'un sistema (com ara sectors econòmics); (ii) valors esperats de fluxos d'energia i materials per unitat de terra i de temps que permeten la caracterització d'aquests components.

Quan mirem el metabolisme dels ecosistemes, i el metabolisme de les societats ens adonem que la lògica, els controls, els objectius d'optimització, i els coeficients tècnics que trobem a tots dos tipus de sistemes són clarament diferents. Podem entendre els problemes de sostenibilitat com una desconexió entre tots dos tipus de metabolisme, per la qual cosa les solucions han d'anar dirigides a una major compatibilitat entre tots dos metabolismes.

³⁰ El cos humà extreu energia de baixa qualitat dels aliments, que ha de ser convertida pel metabolisme cel·lular en un compost d'alta qualitat, l'ATP o trifosfat d'adenosina, que les cel·les utilitzen per a capturar, transferir i emmagatzemar energia lliure d'alta qualitat necessària per al treball químic que fa funcionar l'organisme. Veiem com el propi cos humà necessita fer transformacions entre l'energia primària disponible (alimentació) i l'energia final que es podrà utilitzar (ATP), a on són les cel·les les que funcionen com a sistema de transformació energètica.

A.3. Definicions bàsiques i teoria

Un cop establerts els orígens i el que s'entén per metabolisme social, ens fem ressò en aquesta secció d'alguns conceptes que es consideren crucials per a una anàlisi integrada del metabolisme social. Com veurem més endavant, molts dels conceptes introduïts no els acostumem a veure en anàlisis energètiques tradicionals, i és per això que ens hem d'entretenir una mica en explicar-los.

A.3.1. Irreversibilitat

Una de les primeres conseqüències de les lleis de la termodinàmica aplicades a qualsevol tipus de procés és la noció d'irreversibilitat. Si l'energia només es transforma, però perd qualitat en cada conversió que fem, i si sabem que l'economia necessita per al seu manteniment un flux continu d'energia i materials, llavors el procés de desenvolupament econòmic implica sempre un procés de degradació de l'energia disponible. Aquest resultat va portar a Eddington (1928) a parlar de l'anomenada 'fletxa del temps', segons la qual l'augment de l'entropia ens determina la direcció del Temps (en majúscules, en el sentit de Georgescu-Roegen). La implicació ambiental d'això és que qualsevol ús de recursos que suposi anar més enllà dels cicles ecològics donarà lloc a una degradació del medi que serà irreversible, amb les subsegüents conseqüències que això comportarà per al desenvolupament econòmic.

Les idees de la teoria termodinàmica van permetre Georgescu-Roegen³¹ (1971) distingir entre dos tipus diferents de temps: "Temps" (T), i "temps" (t). usant les seves mateixes paraules (1971: 135): " *T* representa el Temps, concebut com un corrent de consciència, o si voleu, com una successió contínua de moments, però *t* representa la mesura d'un interval (*T'*, *T''*) per un *rellotge* mecànic (èmfasi a l'original).

La relació amb el procés econòmic és que aquest és unidireccional com hem vist a l'anterior secció, i és per tant, irreversible (Faber et al., 1996). La història és rellevant per a explicar tots els processos, i hauria de ser tinguda en compte. És per això que en aquest estudi, abans d'aventurar-nos en l'avaluació d'escenaris, fem una anàlisi històrica del metabolisme energètic de Catalunya.

En aquest sentit, les dues conseqüències a tenir en compte són:

- (i) que tot procés econòmic implica la degradació d'energia útil que es perd irreversiblement en forma de calor. S'imposa, per tant, una prioritització dels consums energètics en èpoques d'escassetat, i del tipus de font energètica segons quin sigui el consum final (per exemple, no té gaire sentit utilitzar electricitat per a calefacció).

³¹ Georgescu-Roegen va reconèixer que estava fortament influenciat per la distinció de Schumpeter entre temps "dinàmic" i temps "històric".

- (ii) que el mateix succeeix amb altres tipus d'inversions, com ara les inversions en capital fix (maquinària i mitjans de transport), que un cop fetes no són irreversibles i ens marquen un camí pel futur caracteritzats per uns consums energètics quasi-fixes. És a dir, hem de tenir en compte el potencial d'irreversibilitat que estem generant amb el model energètic que establím a través d'aquestes inversions.

El concepte d'irreversibilitat no és pessimista, com alguns observen, sinó que ens ajuda a planificar i pensar de la mateixa manera com evolucionen els sistemes dissipatius d'energia.

A.3.2. Dissipació d'energia com a font de vida: la segona fletxa del temps

Als apartats anteriors hem vist com la inclusió de la termodinàmica és essencial per entendre el funcionament de les societats. La termodinàmica clàssica, però, no és suficient, i necessitem la termodinàmica dels sistemes lluny de l'equilibri per entendre la dissipació d'energia (i generació d'entropia) no com a quelcom de negatiu, sinó com a font de canvi i vida. És a dir, el canvi d'un sistema, la seva evolució, i per tant la vida, necessiten de la dissipació d'energia.

Termodinàmica lluny de l'equilibri

Els sistemes vius, així com els sistemes socials, són sistemes oberts des d'un punt de vista termodinàmic. Són oberts a l'entrada d'energia i materials des del medi. Per a aquests tipus de sistemes, la Segona Llei de la termodinàmica no és suficient, ja que es poden distingir dos tipus de generació d'entropia.

Seguint a Nicolis i Prigogine (1977) podem distingir entre la generació d'entropia interna al sistema i deguda a processos irreversibles, i la generació d'entropia deguda a intercanvis amb el sistema que l'envolta, el medi ambient. Per la segona llei de la termodinàmica sabem que la generació interna d'entropia és positiva, però la generació per intercanvis amb el medi pot ser positiva o negativa (si estem exportant entropia al medi). Aquest és el cas de les economies, que com a sistemes oberts que són, poden tenir una entropia interna positiva, però un total d'entropia negatiu perquè externalitzen l'entropia al medi que els envolta. Això permetria que la llei de l'entropia fos compatible amb una reducció de l'entropia del sistema (o economia) en qüestió, a expenses del medi ambient, que rebria l'excés d'entropia. És a dir, un augment de l'activitat del sistema es reflectiria en un augment de l'entropia no necessàriament dintre del sistema, però a l'ambient (induint un impacte sobre el medi). Aquest és un resultat que ja havia anticipat Schrödinger (1945) al seu llibre *What is life?*, suggerint que tots els organismes necessiten importar baixa entropia de l'ambient, i exportar alta entropia, o residus, per tal de sobreviure.

La Segona Fletxa del Temps

Aquest resultat, que l'intercanvi de matèria i energia amb el medi pot compensar la generació d'entropia d'un sistema degut a processos interns, està relacionat amb la idea d'ordre i estructura.

Per a una relació històrica d'aquesta aparent contradicció entre la vida, com una expressió de la creixent estructuració dels sistemes, i l'entropia, vegeu Ramos-Martin (2005), on es fa referència a autors com Spencer (1880), Boltzmann (1872), Ostwald (1907), i von Bertalanffy (1949, 1950, 1968) entre d'altres.

Resumint un debat molt interessant per a descriure l'evolució dels sistemes naturals i humans, direm que va ser Prigogine (Prigogine, 1962; Nicolis i Prigogine, 1977; i Prigogine i Stengers, 1984), qui ens fa veure com una situació de no equilibri termodinàmic, a la qual encara es genera entropia per la dissipació d'energia, pot ser una font d'ordre per al sistema.

És a dir, un sistema que no està en equilibri desenvolupa ordre a expenses d'una major entropia per al medi. Prigogine va trobar que aquesta era una característica no només del sistemes naturals, sinó que també sistemes humans com ara ciutats o economies senceres funcionaven d'acord amb aquest principi, segons el qual, davant d'un flux d'energia de l'entorn, el sistema s'organitza i estructura per a poder metabolitzar aquests fluxos. El flux continu d'energia és el que provocaria aquesta organització creixent.

Això és el que es coneix com la Segona Fletxa del Temps³², “la tendència de determinats sistemes d'esdevenir més complexes i més estructurats” (Proops, 1983: 357). Així, els sistemes poden mantenir-se lluny de l'equilibri per un flux continu i suficient d'energia i matèria, que els proporciona inputs amb baixa entropia i impulsa els residus en forma de calor dissipat.

Basats en aquests arguments, Schneider i Kay (1994) explicaren l'origen de la vida com una manera de dissipar el gradient d'energia solar; és a dir, degut a l'imperatiu termodinàmic segons el qual els gradients d'energia s'han de dissipar, la resposta lògica dels sistemes és créixer, desenvolupar-se, i evolucionar. És així com interpretem el ràpid desenvolupament econòmic que hi ha hagut al món després del descobriment del petroli. La presència d'energia disponible incentiva el creixement dels sistemes que en faran ús. Prigogine va anomenar aquests sistemes “estructures dissipatives”, per a distingir-les de les estructures en equilibri.

La repercussió per al nostre estudi és que hem de ser conscients de què el continu desenvolupament de les societats sempre comportarà impactes sobre el medi encara que millorem l'eficiència interna del funcionament de la nostra economia. El que compta, finalment, és el total d'energia que el sistema metabolitza per al seu funcionament i desenvolupament.

A.3.3. Característiques dels Sistemes Complexos

Com hem vist les estructures dissipatives són sistemes oberts (Prigogine i Stengers, 1984), que augmenten la seva complexitat a través d'un increment de la organització, i que tenen l'objectiu de sobreviure i desenvolupar-se. Per

³² Vegeu Schneider i Kay (1994) per a una anàlisi en profunditat de la segona fletxa del temps.

tal d'assolir aquest objectiu, i gràcies al flux de baixa entropia des dels sistemes, apareix ordre als sistemes. Això dóna lloc a estructures jeràrquiques, és a dir, compostes de diferents nivells que interactuen els uns amb els altres. Quan el flux d'energia arriba a un límit, el sistema esdevé inestable. Aquí, les restriccions que afronti el sistema determinaran quin serà la direcció de l'evolució, però en qualsevol cas el sistema generarà noves estructures per tal d'adaptar-se a les noves condicions.

Aquest procés d'autoorganització (tot reaccionant al canvi en les condicions i dissipant l'energia disponible) s'assoleix a través d'un procés anomenat autopoiesis. Aquesta és la capacitat del sistema de renovar-se a si mateix, d'autoreproduir-se, a través de processos autocatalítics, als quals el resultat del procés és recirculat com a input del propi procés (com ara a la reproducció humana).

Estructura jeràrquica

En el seu procés de desenvolupament, els sistemes complexos oberts típics, com ara les societats humanes i els ecosistemes, esdevenen sistemes jeràrquics. “Un sistema és jeràrquic quan opera en múltiples escales espaciotemporals” (Giampietro i Mayumi, 1997: 453). Aquests sistemes es poden dividir en diferents components, cadascun dels quals està dividit en altres components més petits. La lògica de l'estructura jeràrquica té més a veure amb el propi funcionament intern del sistema que no pas amb el contacte amb el medi ambient. És a dir, el sistema, a mesura que esdevé més complex, metabolitza més energia, i per tal de garantir un bon funcionament desenvolupa noves tasques de gestió i coordinació, i es dóna una especialització a les funcions dels diferents components del sistema, tot de manera jeràrquica. L'exemple el tenim amb la *complexificació* de les economies quan es desenvolupen (amb noves activitats i sectors) que requereixen més òrgans de control (administracions públiques, i també quadres de coordinació a les empreses privades). Això és una conseqüència del creixement, i s'ha de tenir en compte ja que a major grau d'estructuració, majors costos de manteniment del sistema (també en termes energètics), el que en anglès s'anomena “overhead” (o despeses generals).

Com a conseqüència, quan analitzem el transflux d'aquests sistemes jeràrquics, hem de mirar dos tipus de processos:

- (i) La circulació de material i energia dintre del sistema (entre els diferents nivells jeràrquics inferiors, és a dir, quant eficient és el sistema o com utilitza l'energia disponible)
- (ii) L'intercanvi d'energia i material del sistema en el seu conjunt amb el medi (quanta energia usa el sistema, el que ens determina el potencial impacte).

Aquesta estructura dual dels components d'un sistema implica que, tot i que podem veure els processos a un determinat nivell com a autònoms, en realitat afecten la resta de l'estructura, i el seu esdevenir. Això implica que no podem intervenir només a un determinat nivell sense esperar que es produeixin canvis

en altres nivells de l'estructura. Els diferents components estan lligats per mitjà de cicles de retroalimentació, i això vol dir que en resposta a un canvi (com ara una nova política energètica) tots els nivells jeràrquics del sistema s'adaptaran, cadascun al seu ritme, fins assolir un nou equilibri.

El resultat, des d'un punt de vista analític, és que hem d'analitzar els sistemes complexos jeràrquics usant descripcions paral·leles no equivalents (Giampietro i Mayumi 2000a; Giampietro 2003); és a dir, incorporant els diferents punts de vista de diverses disciplines, una anàlisi integrada com la que fem aquí.

Autopoiesi i cicles autocatalítics

Autopoiesi (Varela et al., 1974; Maturana i Varela, 1980) es refereix a la característica que tenen els sistemes vius de renovar-se i mantenir la seva estructura, és a dir, a la seva capacitat d'auto-reproducció.

El procés d'autopoiesi, o auto-producció funciona a través de cicles autocatalítics. Un cicle autocatalític representa un procés autocatalític. En aquest tipus de processos, el resultat del mateix procés és necessari per a generar el producte mateix, entrant en el procés com un input més. La reproducció humana és un exemple senzill de procés autocatalític.

Aquesta relació circular porta a un creixement del sistema, si els recursos són disponibles, que es materialitza en més components del sistema i més interacció entre els mateixos.

En el nostre cas, la lectura que podem fer és la següent. Sabem que el sistema té l'objectiu de mantenir-se i que per a tal fi ha de consumir energia, llavors un cicle que té una especial importància és el que permet al sistema proveir-se de l'energia que necessita (l'anomenat hipercicle del que parlarem més avall). El que resulta interessant és que per a fer això el sistema ha d'invertir una quantitat determinada d'energia. És per això que parlem d'un cicle autocatalític, i és per això que el sistema sempre cerca fonts d'energia amb la més alta qualitat possible, ja que rendeixen més energia (que serà disponible per a la resta de l'economia) per unitat d'energia invertida.

Punts atractors: co-evolució i no linealitat

L'estructura jeràrquica, així com el funcionament a través de cicles retroalimentadors entre els diferents nivells jeràrquics, dóna lloc a comportaments no lineals dels sistemes. Això és degut a que les retroalimentacions positives impliquen mecanismes d'auto-reforç.

Aquest comportament no es dóna només per xocs externs com la teoria econòmica ens diria (per exemple, un xoc en el preu del petroli) sinó que és degut també a causes internes del sistema i es reflecteix en l'aparició del que s'anomena punts atractors. Un atractor representa una regió a la qual el comportament d'un sistema és coherent i organitzat (Kay et al., 1999), un dels meta-equilibris disponibles per al sistema.

El fet que un sistema particular s'estabilitzi al voltant d'un atractor limita les trajectòries futures disponibles, tancant algunes portes i obrint-ne de noves, en un exemple de què la història compta. Per exemple, l'adopció d'una o altra tecnologia a vegades depèn de factors interns al sistema (polítics, socials, o de poder) i no respon necessàriament a què una tecnologia sigui més o menys eficient, com és el cas de la generalització del motor de combustió.

La implicació per al nostre cas és que les extrapolacions no són vàlides, a menys que el sistema estigui dintre d'un atractor. Però en situacions de canvi (tecnològic, per exemple) accelerat la no linealitat implica un elevat grau d'incertesa, per la qual cosa qualsevol exercici per predir el futur s'ha de mirar amb molta cautela. El màxim que podem oferir és una comparació del comportament de diferents opcions sense pretendre trobar valors futurs de les variables.

A.3.4. Eficiència Energètica versus Adaptabilitat

Normalment, quan analitzem els sistemes econòmics, també des d'un punt de vista energètic, es posa molt èmfasi en l'eficiència. Tots els processos han d'evolucionar constantment cap a una major eficiència en l'ús dels recursos. Això comporta que, a vegades, deixem de banda algunes activitats menys eficients, per considerar-les malgastadores de recursos. El problema és que no sempre són així, al menys a llarg termini.

Si mirem amb atenció el metabolisme energètic dels sistemes complexos autoorganitzats podem identificar dues característiques contradictòries. La primera és l'augment de la dissipació d'energia amb l'increment de l'organització. La segona és un efecte eficiència, segons el qual la dissipació decreix amb el major grau d'organització³³ (Proops, 1979). Aquestes dues característiques estan relacionades amb dues funcions a l'evolució dels sistemes. L'eficiència estaria relacionada amb el manteniment de l'estabilitat dels processos a curt termini traient avantatge dels gradients favorables, és a dir, de les restriccions del present.

Per altra banda, la tendència cap a una major dissipació d'energia estaria relacionada amb la capacitat d'adaptabilitat del sistema. És a dir, l'augment del consum d'energia permetria mantenir la compatibilitat o integritat del sistema en un context de canvi en les restriccions o condicions (Giampietro i Mayumi, 1997). Aquesta idea d'adaptabilitat està íntimament lligada amb la idea de manteniment de la diversitat.

Hi ha, però una competició entre el manteniment de la diversitat i la millora de l'eficiència. Aquesta última requereix una amplificació dels processos més eficients, i l'eliminació de les activitats menys productives. La primera, però, requereix el consum d'energia per al manteniment d'una certa diversitat que

³³ Autors com Buenstorf (2000) argumenten que el mateix succeeix amb els processos tècnics, que tendeixen a ser més eficients energèticament quan executen operacions constants.

ens permeti fer front a canvis en les condicions que afronta el sistema. Es així com podem interpretar el retorn de tecnologies “velles” com ara la pila de combustible, que existia abans que el motor de combustió.

La implicació d'això és molt important ja que, com diuen Clark et al. (1995: 30): “l'evolució ens ensenya una selecció de poblacions amb capacitat d'aprendre, més que poblacions amb comportament òptim”. Es per això que el manteniment de la diversitat, a través del major consum d'energia, pot veure's com una estratègia de sostenibilitat del sistema.

En termes pràctics implica que no sempre hem de mirar d'afavorir els processos més eficients, sinó que hem de considerar que assignacions d'energia a activitats no directament productives, com ara l'educació, la sanitat, la cultura i la ciència han de ser contemplades dintre d'aquesta estratègia de sostenibilitat a llarg termini.

A.3.5. Hiperccicle

La manera de representar l'auto-producció o autopoiesi com un cicle autocatalític ajuda a explicar la natura dels sistemes complexos jeràrquics, especialment quan la complementem amb la idea de l'hipercicle (Ulanowicz, 1986). Quan descriu els ecosistemes, Ulanowicz distingeix entre dos parts principals, l'hipercicle i una part purament dissipativa. L'hipercicle estaria format per aquells processos que són responsables de proveir el sistema amb l'energia neta necessària per al seu funcionament. És a dir, agafen energia primària del medi i la converteixen en energia disponible per al sistema, per exemple en la forma de diferents vectors energètics. Al món natural estem parlant de la fotosíntesi, però a les economies fem referència al sector de la mineria i al de l'energia.

Parlem d'energia neta perquè hem de ser conscients que el procés de fer disponible una quantitat d'energia al sistema és intensiu en energia en si mateix. D'aquesta manera l'hipercicle es pot veure com un cicle autocatalític del que parlàvem abans. Per a generar o fer disponible més energia necessitem consumir energia.

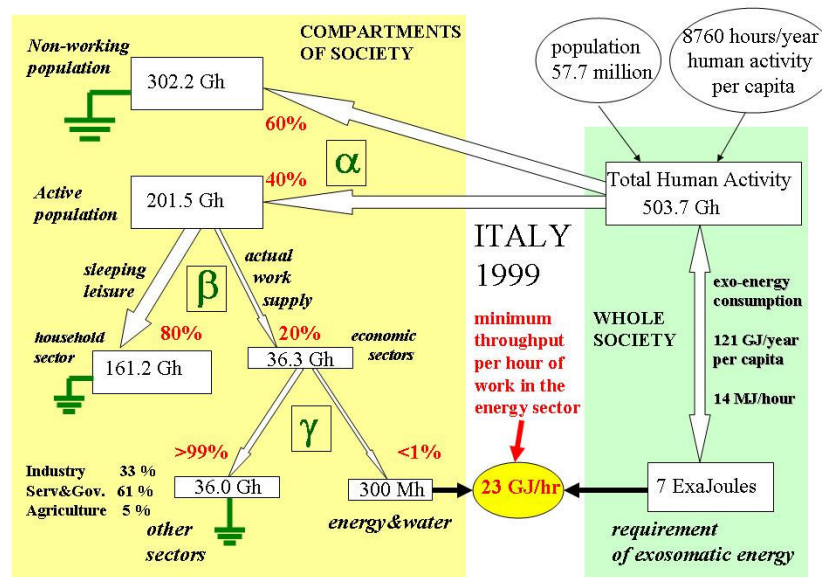
La part dissipativa del sistema estabilitzaria el sistema alhora degradant la resta d'energia neta disponible d'una manera coordinada o controlada, i construiria i mantindria les estructures a nivells inferiors del sistema.

És a dir, les activitats dintre de l'hipercicle prenen l'energia primària del medi, n'usen una part i donen al sistema la resta d'energia que pot usar per les seves activitats. Això en el cas de les economies modernes seria el Consum Final d'Energia. Els sistemes deriven una part d'aquesta energia final a garantir el funcionament del sistema, i la resta la dediquen al creixement del sistema. La retroalimentació positiva que això implica porta cap a una complexitat major del sistema amb el temps, és a dir, una major organització per a dissipar l'excedent d'energia. Hem de ser conscients, però, que un desenvolupament de noves

estructures implica més consum energètic per al manteniment de les mateixes en el futur.

Per tal de ser estables, els sistemes dissipatius han de tenir una part que genera l'excedent net d'energia (els compartiments de producció), i una part que sigui purament dissipativa (el compartiment de consum). Sense la part productiva que fa possible l'input d'energia, el metabolisme no es podria mantenir. Per tant, quant major és l'hipercicle, major ha de ser la part dissipativa.

Figura A- 2: Representació de l'hipercicle d'Itàlia el 1999



Font: Giampietro et al (2006a).

A la figura 14 tenim una representació de l'hipercicle de l'economia Italiana el 1999. A la part dreta (en verd) tenim el total d'hores disponible per la societat (o la població), així com el requeriment d'energia per al seu funcionament, 7 ExaJoules. A la part de l'esquerra tenim la distribució del total de temps disponible entre població activa i no activa, entre temps de treball i altres activitats (dormir, estudiar), i la fracció de temps de treball entre els diferents sectors econòmics. D'aquesta manera arribem a que només un 1% del temps de treball es destina al sector de l'energia que és el responsable de fer disponible a la resta d'activitats l'energia neta que han d'utilitzar per les seves activitats. Això implica que el rendiment per hora de treball al sector energètic hagi de ser molt alt, de 23 GJ per hora. Aquest hipercicle o rendiment tan gran és el que permet que Itàlia tingui un sector purament dissipatiu (o consumidor) tan gran a la seva vegada, ja que només un 8% del total del temps a Itàlia es dedica a produir béns i serveis.

El mateix tipus d'anàlisi es farà per a l'economia catalana per a veure la potència de l'hipercicle i com això determina quin és el consum d'energia del sistema.

A.3.6. La relació entre energia i desenvolupament tecnològic

Alguns autors relacionen el canvi tecnològic i les millores en la productivitat a un increment del consum d'energia exosomàtica de les societats. Així, a mesura que les societats es desenvolupen, usarien part de l'energia neta disponible gràcies a l'hipercicle en desenvolupar noves tècniques. Aquest resultat no ha de ser considerat negatiu *per se*. De totes maneres es paga un preu per aquest grau d'avenç tecnològic. Com diu Georgescu-Roegen (1971) la societat ha passat de dependre de l'energia solar a l'energia fòssil, que ha esdevingut el factor limitant donada la seva escassetat.

Per exemple, Cleveland et al. (1984) en analitzar l'economia dels EUA van dir que des d'inicis del segle XX una gran part de l'increment de la productivitat del treball era deguda a l'habilitat creixent del treball humà per a fer treball físic gràcies als combustibles fòssils, tant directament com indirectament en la forma de maquinària i tecnologia. De fet, Hall et al. (1986: 43, 44) diuen que en el cas dels EUA "la quantitat d'energia usada per treballador-hora era responsable del 99% de la variació de la productivitat del treball a la indústria entre 1909 i 1980".

La seqüència lògica és la següent. La productivitat del treball augmenta perquè els treballadors usen avenços tecnològics que els permeten consumir més energia de forma directa (com a combustibles) o indirecta (en la forma de capital). Per obtenir aquests avenços, però, la societat ha de consumir més combustibles d'alta qualitat. Això ens fa pensar que les tecnologies futures i les seves productivitats depenen de la disponibilitat de combustibles d'alta qualitat³⁴. Per tant, el control sobre les fonts d'energia és d'especial rellevància per al creixement econòmic. Això és el que portà Odum (1971) al seu Maximum Power Principle. Per Odum, "les societats amb accés a combustibles d'alta qualitat tenen un avantatge econòmic sobre aquelles amb accés a combustibles de més baixa qualitat" (Cleveland, 1987: 58), perquè podien usar més energia en noves tècniques a incorporar a la tecnologia. En qualsevol cas, com Giampietro i Pimentel (1991) diuen, tant acceptant els postulats d'Odum com mirant les tendències històriques, sembla que existeix una relació entre l'augment en el consum d'energia per l'activitat humana i el desenvolupament tecnològic.

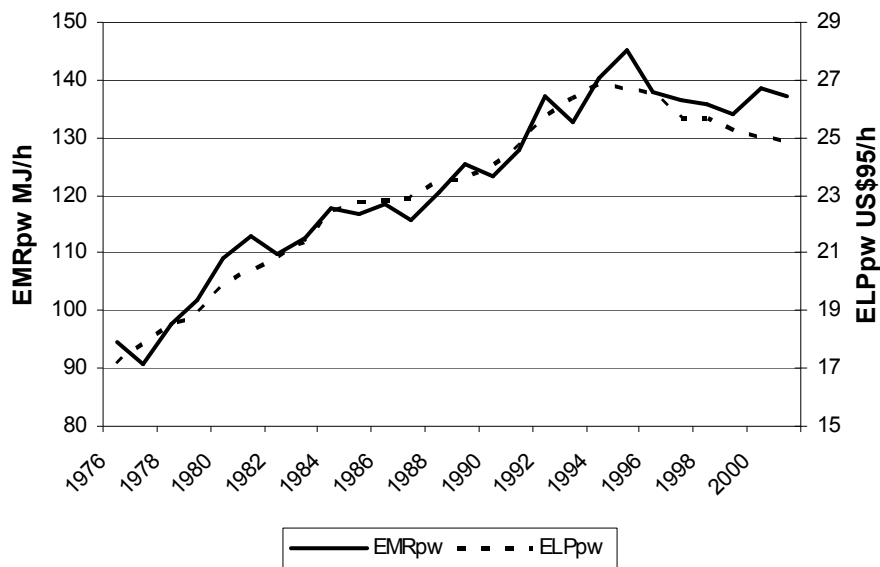
Giampietro i Pastore (1999) veuen el procés de desenvolupament tecnològic com una acceleració del transflux d'energia als sectors productius de l'economia (agricultura, energia i mines, manufactures). Això s'ha traslladat a un decreixement del temps humà usat per a fer funcionar aquestes activitats i un paral·lel increment en la dissipació d'energia exosomàtica per aquests sectors (maquinària alimentada per energia fòssil). Com hem dit, això explicaria perquè són els països més desenvolupats els majors consumidors d'energia.

³⁴ Ostwald (1909) va ser el primer en avançar aquestes idees. Després, Cottrell (1955) va observar que "en general, les societats adopten una nova tecnologia energètica solament si és capaç de proporcionar un excedent d'energia major, i per tant un potencial major de produir béns i serveis" (citada a Cleveland, 1987: 56).

El fet que el canvi tecnològic estigui relacionat a la dissipació d'energia, i que les noves tecnologies impliquin una major dissipació que les velles, implica que “en construir grans quantitats de béns de capital fix i en generar el corresponent coneixement tecnològic, es crea irreversibilitat, que solament pot reduir-se o canviar-se en el llarg termini” (Faber i Proops, 1998: 79).

A la Figura 15 veiem un exemple de la relació que existeix entre increments en la productivitat del treball en dòlars per hora (eix de la dreta) i la dissipació d'energia per aquests mateixos treballadors en MJ per hora (eix de l'esquerra), que nosaltres anomenem Taxa de Metabolisme Exosomàtic (EMR en les sigles en anglès).

Figura A- 3: Relació entre dissipació d'energia i productivitat a Espanya



Font: Ramos-Martin 2005: 144.

Aquest resultat, també trobat per Falconí (2001) per al cas de l'Equador, dona suport a una de les hipòtesis que usem en anàlisi integrada que estableix la correlació entre sectors productius que usen més energia (directa o en forma de màquines) i la seva capacitat per a produir valor afegit, el que ja va ser establert per als EUA per Cleveland et al. (1984) i per Hall et al. (1986).

Si el desenvolupament tecnològic va lligat al consum d'energia, estratègies de desenvolupament futures poden implicar augments del consum d'energia. Analitzar aquesta situació serà una de les activitats que es conduiran al Bloc 10, ja que ajuda a entendre la paradoxa de l'ou i la gallina en què ens trobem quan analitzem energia i economia.

A.3.7. Risc, incertesa, ignorància

Molts estudis de predicció reconeixen l'existència de risc, i fins i tot incertesa a la generació dels seus resultants per mitjà de models. Això fa que les

conclusions s'hagin de matisar bastant. No obstant són pocs els estudis que reconeixen que moltes vegades estem sota situacions d'ignorància. Aquest ha estat el cas, per exemple, del mal de les vaques boges amb el desconeixement que tenia la comunitat científica de l'existència del prió que generava la malaltia.

Faber i Proops (1998), distingeixen entre:

- (i) **Risc** és una situació a la qual és possible assignar una distribució de probabilitats a un determinat conjunt de resultats possibles (com ara el risc de perdre quan es juga a la ruleta);
- (ii) **Incertesa** és una situació a la qual coneixem els possibles resultats d'un procés o una decisió, però no coneixem les seves probabilitats.
- (iii) **Ignorància** és la situació a la qual ni tan sols coneixem els possibles resultats d'un procés.

Aquests autors argumenten que degut a les característiques dels sistemes complexos que hem explicat abans (estructura jeràrquica, autoorganització, comportament no linear..) la condició humana es troba en una situació d'ignorància, no d'incertesa.

Les conseqüències des d'un punt de vista analític i de generació de polítiques és que necessitem una nova epistemologia dels sistemes complexos, i una de les propostes en aquesta línia és l'anomenada Ciència Post-Normal (Funtowicz i Ravetz, 1991), que implica que el coneixement científic sobre els sistemes complexos s'ha de complementar amb processos participatius que incloguin informació d'altres actors rellevants, com fa l'anàlisi multi-criteria social (Munda, 2004).

A.4. Implicacions en termes d'eines conceptuais

Tenir en compte tots els elements que hem mencionat abans, a l'hora de fer una caracterització del metabolisme energètic de les societats, implica un tipus de modelització diferent de la que estem habituats, i implica introduir una sèrie d'eines conceptuais que ens ajudin a entendre millor la metodologia MSIASM, que ha estat presentada a la Secció 3.2. En concret, en aquest apartat es descriurà amb detall el que es coneix com efecte mosaic, els cicles impredeciables i la relació entre consum i producció.

A.4.1. Efecte Mosaic

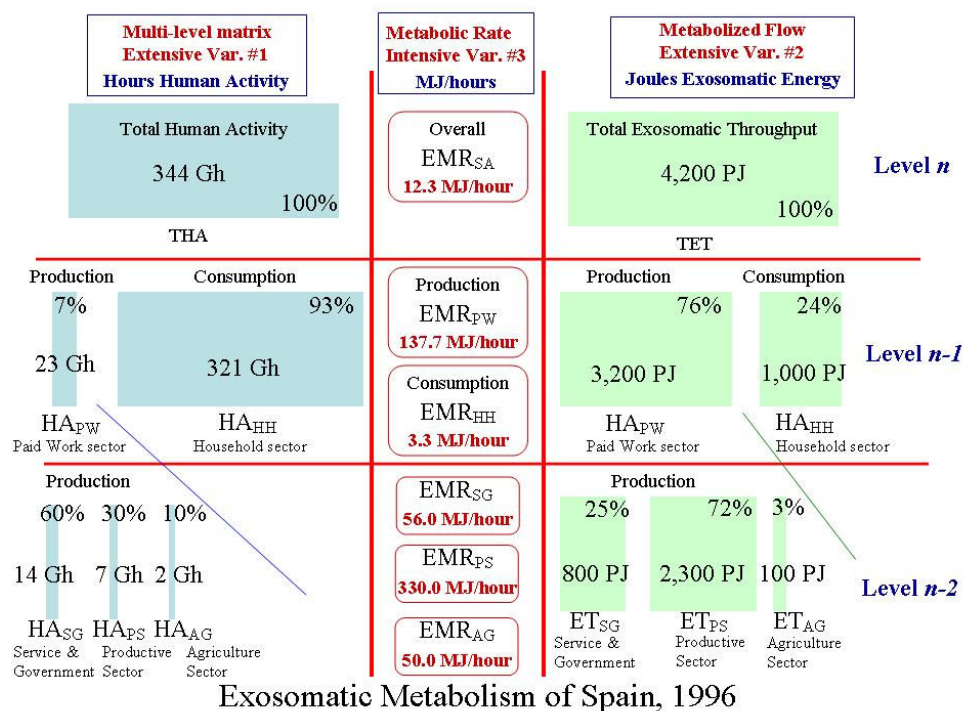
Una de les principals característiques de MSIASM és que permet el que s'anomena efecte mosaic, o la utilització de la redundància no només per a completar informació que no està disponible, sinó per a fer un control de la congruència de la modelització.

En efecte, l'efecte mosaic a través de les diferents escales (o nivells jeràrquics) s'obté usant la redundància en la representació de les parts i el total d'un

sistema usant una gran diversitat de referents externs no equivalents (diferents fonts de dades) a través de diferents dominis descriptius (Giampietro i Mayumi, 2000a).

Aquesta és una anàlisi peculiar per als sistemes metabòlics. De fet, els sistemes metabòlics són capaços d'expressar un comportament previsible – tot definint què es metabolitza i a quin ritme – de forma paral·lela a diferents nivells jeràrquics. Per exemple, el metabolisme d'una llar és el resultat del metabolisme dels seus elements individuals jeràrquicament inferiors. Tot estudiant el metabolisme dels diferents elements part de la jerarquia, podem obtenir aquest efecte mosaic.

Figura A- 4: Dendrograma d'energia exosomàtica per Espanya el 1996



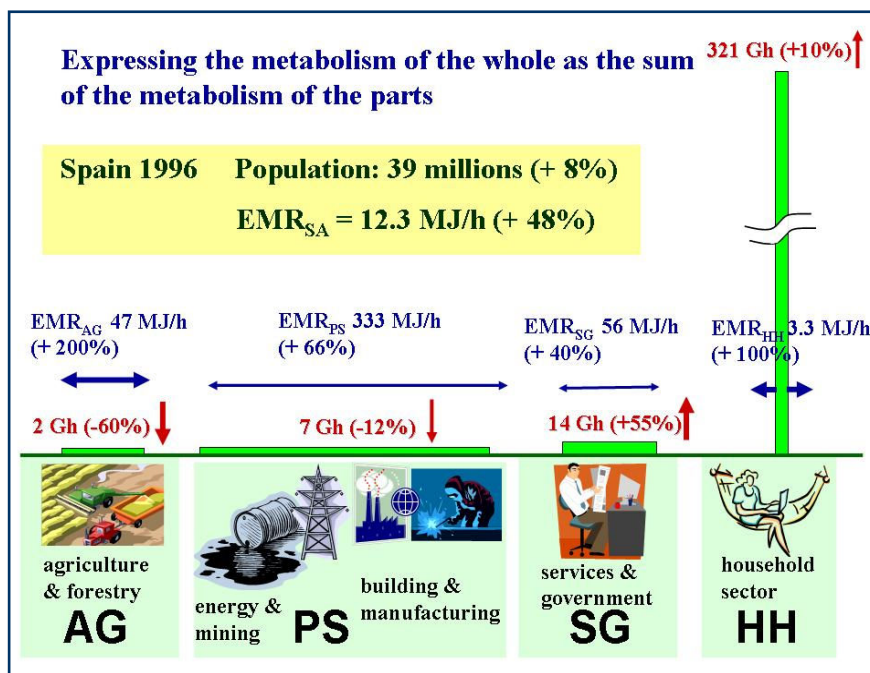
Font: Adaptat de Ramos-Martin i Giampietro (2005)

Per exemple, la Figura 16 ens presenta el dendrograma d'assignació de l'activitat humana i el consum d'energia a Espanya l'any 1996. A la part superior esquerra tenim el total de temps disponible per a la societat, i a la part superior dreta el total d'energia que va consumir aquell any. Al centre hi trobem la variable intensiva que anomenem taxa de metabolisme exosomàtic que ens diu els MJ per hora que es consumeixen a la societat en un any. Aquests totals es poden desagregar segons s'utilitzin els dos factors (temps i energia) als diferents sectors, i així podem calcular taxes metabòliques per a cada subdivisió. Per exemple la primera subdivisió és entre temps que dediquem a treball remunerat (subíndex PW, producció) i la resta del temps (subíndex HH, consum). La següent divisió té en compte que el temps en treball remunerat es dedica a diferents sectors econòmics com ara agricultura (AG), serveis i administració (SG), i manufactures, mineria i energia (PS). D'aquesta manera

estem caracteritzant el comportament de cada sector tot mesurant quant gran és (amb l'activitat humana), com és d'eficient (amb la taxa de metabolisme exosomàtic), i com afecta el medi (amb el total d'energia que consumeix). Aquest mateix exercici es pot fer tenint en compte el valor afegit generat per cada sector en comptes de l'energia usada i tindríem una lectura econòmica del sistema, on en comptes de tenir taxes de metabolisme exosomàtic tindríem productivitats del treball en dòlars per hora treballada.

El que és més interessant, però, no és la interpretació d'aquest dendrograma, sinó entendre el potencial de l'efecte mosaic. La mateixa representació de la figura 16 la podríem fer amb la figura 17 que ens indica el metabolisme exosomàtic de l'Estat espanyol el 1996 com a resultat d'un perfil de distribució de l'activitat humana expressat en hores d'activitat humana sobre un conjunt de sectors econòmics caracteritzats per diferents taxes de metabolisme exosomàtic (EMR).

Figura A- 5: Metabolisme del total com a suma del metabolisme de les parts

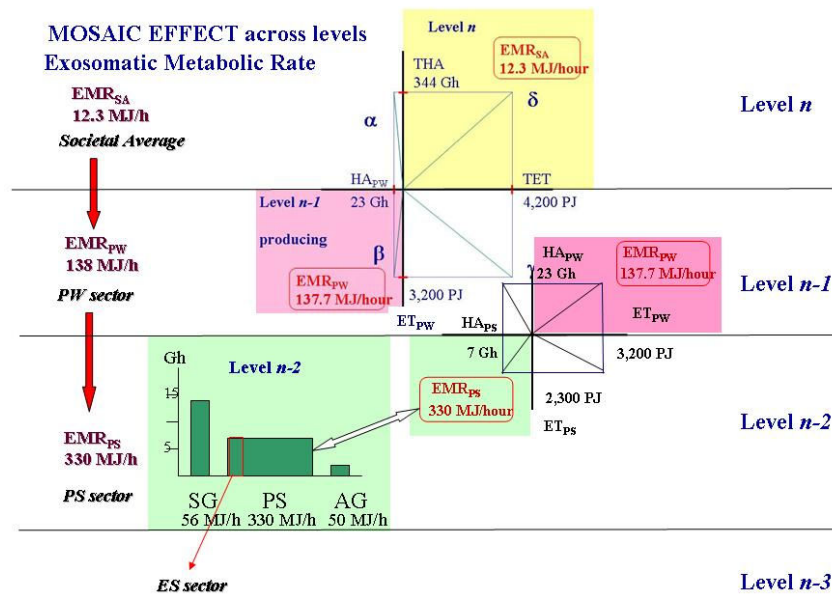


Font: Giampietro et al. (2006b, en premsa)

Usant aquest enfocament és possible visualitzar que quan expliquem el canvi total al consum d'energia d'una economia determinada, els canvis en els coeficients tècnics dels diferents sectors (EMR_i, que determinen la intensitat energètica dels sectors) són només una part de la història. El canvi a nivell global depèn també de si canvia o no el perfil de distribució de l'activitat humana sobre els diferents compartiments (sectors econòmics en el nostre cas). Aquest matis no sol estar present a la majoria d'anàlisis energètiques que es fan de les economies. La importància d'usar l'activitat humana com a variable d'anàlisi és que ens permet jugar amb el canvi estructural que es doni a l'economia i ens serveix per a lligar els diferents nivells jeràrquics del sistema,

com es veu a la Figura 18. Aquesta figura ens presenta al *nivell n* (de la societat) el total disponible de temps humà (344 Gh) i el consum d'energia (4200 PJ), al *nivell n-1* (el de les activitats productores o generadores de valor afegit), tenim que només 23 Gh de les 344Gh disponibles s'utilitzen per a generar valor afegit, i que s'utilitzen 3200 PJ d'energia. Al *nivell n-2* (de subsectors econòmics) veiem quina és la distribució tant de temps com de consum d'energia entre els diferents sectors. En aquest cas energia, mines i manufactures (PS) usa 7Gh de temps humà i 2300 PJ d'energia.

Figura A- 6: Efecte mosaic a través de nivells jeràrquics



Font: Giampietro et al. (2006b, en premsa)

Les diferents representacions que hem presentat són igualment vàlides, però el que resulta interessant d'aquesta última és que ens permet veure el lligam entre els diferents nivells jeràrquics, i podem comprendre fàcilment que qualsevol canvi a un nivell determinat implicarà canvis a la resta de nivells i per les diferents variables (ús del temps, energia i taxes metabòliques). Sabem que cada nivell és la suma dels perfils dels components a un nivell més baix, i això ens permet crear equacions de congruència que exploten la capacitat de redundància de l'efecte mosaic.

El problema, però, és que existeixen nombroses combinacions de valors de les variables extensives (canvis a la mida del sistema) i de les variables intensives (canvis a les taxes de metabolisme exosomàtic) – definits al *nivell n-1* – que poden generar el mateix conjunt de característiques al *nivell n*. Per exemple, si el sector de les manufactures disminueix el nombre de treballadors reduirà el seu consum d'energia, però això pot ser compensat per un augment de treballadors al sector dels serveis i un augment de la taxa metabòlica dels serveis, que a nivell de l'economia podrien no implicar cap canvi de consum

d'energia. És per això que hem d'analitzar l'economia a diferents nivells jeràrquics.

Una última aplicació de l'efecte mosaic és quan estem generant i analitzant escenaris de futur. En aquests casos no és necessari conèixer totes les dades. Si el valor d'una variable a un nivell inferior no el coneixem (per exemple una EMR particular) aquesta informació es pot obtenir del nostre coneixement de la situació al nivell superior i creuant informació relacionada amb una altra lectura del sistema (per exemple l'econòmica que mencionàvem abans amb les productivitats del treball).

A.4.2. Anàlisi de Cicles Impredicatus

L'Anàlisi de Cicles Impredicatus s'obté quan acceptem l'existència de paradoxes del tipus ou-gallina en l'anàlisi de sistemes adaptatius autoorganitzats. Es requereix aquesta anàlisi quan no està clara la direcció en la causalitat perquè la identitat del sistema defineix la identitat de les parts, i viceversa (Ramos-Martin i Giampietro, 2005).

L'objectiu d'aquesta anàlisi és controlar la congruència entre: (a) el valor esperat d'un flux particular (com energia) a un nivell determinat (com ara la societat); i (b) la disponibilitat real per hora de treball d'aquell flux donat (que és ofert pel sector encarregat de fer-lo disponible). El que fa, llavors, és un control dinàmic de la factibilitat del total disponible del flux, tot tenint en compte les particulars característiques "esperades" dels dos nivells jeràrquics analitzats (Giampietro 2003, Giampietro i Mayumi, 2000b).

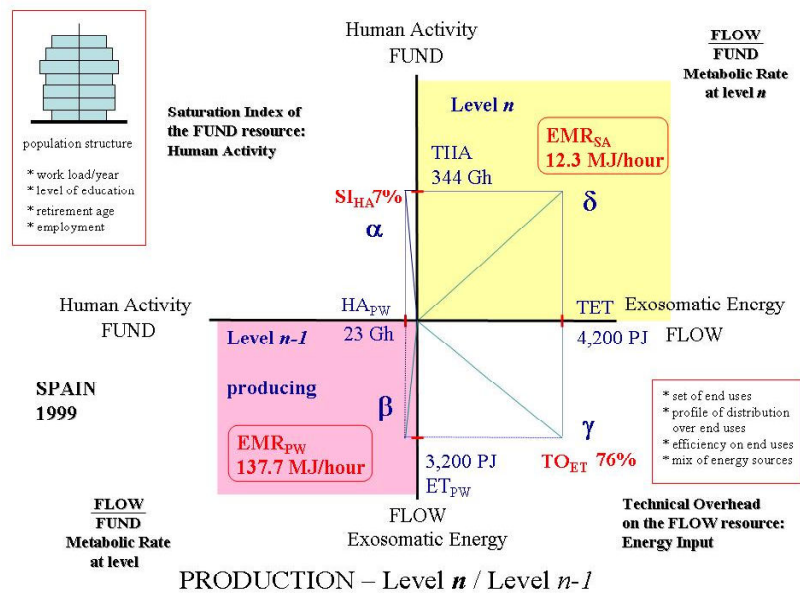
Aquestes característiques esperades es determinen segons el patró específic de consum de la societat (per la mida mesurada en hores i per la taxa de metabolisme exosomàtic del compartiment encarregat del consum), i per les característiques de l'oferta d'energia que és disponible gràcies al sector de transformació de l'energia, que està determinat, a la seva vegada, per la qualitat de les fonts energètiques, i pels coeficients tècnics. Aquests ens diuen, com al cas Italià presentat abans, la quantitat d'energia generada per hora de treball. Estem parlant, per tant, de compatibilitzar la demanda que hi ha al *nivell n*, amb la oferta d'energia que hi ha a un nivell inferior, com pot ser el *n-3*.

Si mirem la figura 19 veurem aquesta relació. Abans, però, interpretem la representació que s'ofereix amb els gràfics de 4 angles. La Figura 19 és un exemple del que, a MSIASM, s'anomena figura de 4 angles, i que es basa en una representació de:

(1) Activitat Humana, que té les característiques d'un **element fons**, ja que requereix una inversió interna d'activitat humana per a la seva reproducció i manteniment. Això dóna lloc a unes restriccions biofísiques i socials que determinen la quantitat de treball humà. Aquest element fons es mesura en hores per any. El Total disponible d'Activitat Humana (THA) representa, a l'escala temporal d'un any, la dotació d'hores per les que els dos compartiments complementaris de producció i consum competeixen;

(2) Energia Exosomàtica, que té les característiques d'un **element flux**. La taxa de consum d'energia exosomàtica a cada sector es pot assumir que reflecteix el nivell d'activitat econòmica, a un nivell donat de tecnologia. Aquest flux el mesurem en Joules per any. El Transflux Total d'Energia (TET) representa, a l'escala d'un any, el total d'energia dissipada per un sistema socioeconòmic per donar suport a les activitats de producció i consum de béns i serveis.

Figura A- 7: Representació del Cicle Impredicatiu d'energia de l'Estat espanyol l'any 1999



Font: Giampietro et al. (2006b, en premsa)

Georgescu-Roegen (1974) va proposar el model fons-flux per representar, en sentit biofísic, el procés socioeconòmic de producció de béns i serveis. Allà va distingir entre *coordenades flux* i *coordenades fons* (per a una anàlisi detallada del model vegeu Mayumi, 2001):

Coordenades Flux són elements que entren al procés de producció però no en surten, o elements que surten sense haver entrat al procés (com ara nous productes). Les variables flux inclouen matèria i energia *in situ*, matèria i energia controlada (per mitjà d'eines o maquinària, per exemple), i matèria i energia dissipada.

Coordenades Fons són agents que entren i surten del procés, transformant els inputs en outputs (capital, gent, i terra). Aquestes variables poden ser utilitzades a una determinada taxa i han de ser renovades periòdicament. Això implica que el seu ús porta lligada una despesa general (o *overhead*) per al seu manteniment, el que en comptabilitat seria l'amortització que fa front a la depreciació.

El que s'obté és una representació del sistema que estem analitzant a dos nivells jeràrquics i mostrant tres tipus de variables. El quadrant de dalt a la dreta ens determina la mida del sistema, mesurada amb una variable fons (en aquest cas la disponibilitat total de temps, 344 Gh), amb una variable flux (el total d'energia consumida a l'economia en un any en Joules, 4200 PJ), i la fracció entre les dues que ens dóna la taxa de metabolisme exosomàtic de la societat, en aquest cas 12,3 MJ per hora (angle δ).

El quadrant de baix a l'esquerra ens representa, amb les mateixes variables, el comportament d'un nivell inferior del sistema, en aquest cas la part productiva de l'economia, la que genera el valor afegit. Com podem veure tant la quantitat de temps (23 Gh) com d'energia (3200 PJ) són inferiors al total de la societat, però la taxa metabòlica definida per l'angle β és superior, 137,7 MJ per hora. La diferència es deu a la part del sistema que només consumeix. Això queda reflectit pels quadrants superior esquerra per al cas del temps destinat a consum (angle α) i pel quadrant inferior dreta per al cas de l'energia consumida en activitats no productives (angle γ). Aquestes reduccions, o *overheads*, són determinades per causes demogràfiques (com ara l'estructura de la població), o socials (com ara la càrrega de treball legal, l'edat de jubilació, o el nivell mitjà de benestar material).

Com veiem, aquest tipus de representació ens permet lligar dos nivells jeràrquics. És per això que, si seguim l'efecte mosaic i mirem la relació entre cada nivell amb el seu immediatament inferior, arribem a una figura com la 18 a on tenim representats des del *nivell n*, fins al *nivell n-3*.

En aquesta figura podem observar el que hem comentat de l'anàlisi de cicles impredicatus, és a dir la congruència entre la demanda d'un flux d'un recurs a un nivell donat, i la disponibilitat del mateix recurs a nivells inferiors. De fet, sabem que la demanda de 4200 PJ d'energia de l'Estat espanyol el 1996 va ser proporcionada per una petita fracció del sector PS, pel sector de transformació energètica (ES), que com a component del sector PS estaria al *nivell n-3*.

Una observació que hem de fer sobre el caràcter robust d'aquesta anàlisi és que quan representem les variables amb dendrogrames, o amb les figures de 4 angles, són aquests angles els que ens donen els coeficients que lliguen, en equacions de congruència, el comportament dels diferents nivells jeràrquics. És per això que diem que un canvi a una variable a un nivell determinat, implicarà canvis a la resta de variables a la resta de nivells jeràrquics, i MSIASM pot veure com seran aquests reajustaments.

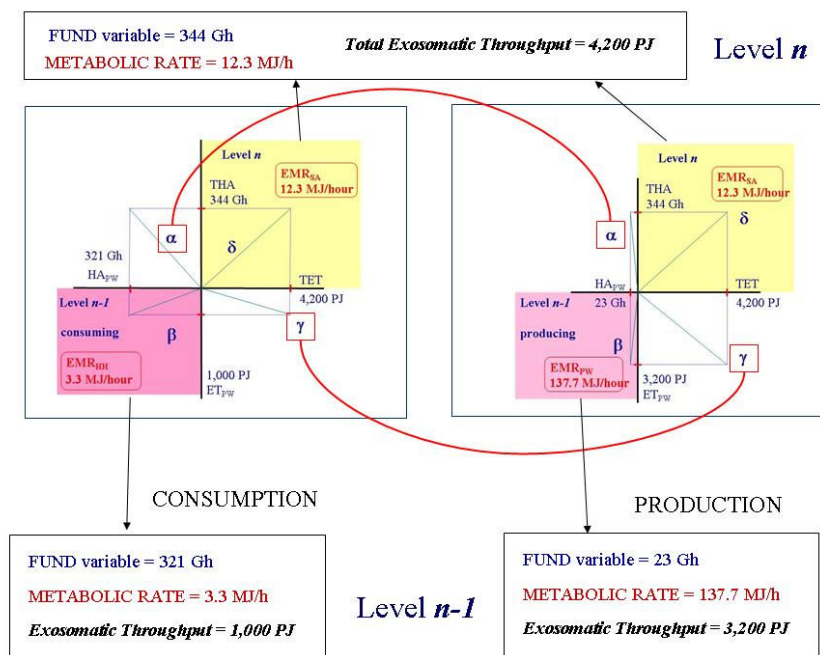
Després de mostrar com funcionen tant l'efecte mosaic com els cicles impredicatus queda clar que quan tractem el procés d'autoorganització dels sistemes adaptatius, com les economies, és impossible determinar la direcció de causalitat del cicle. És a dir, les característiques dels nivells inferiors (com el sector de transformació d'energia) poden forçar canvis sobre nivells jeràrquics superiors. Per exemple, un canvi del carbó al gas natural farà que el sector de l'energia sigui més eficient, és a dir, que utilitzi menys energia internament i

que alliberi més energia per a la resta de sectors, fet que pot fer augmentar el consum al sector domèstic, per exemple. Però també es pot donar que un canvi a un nivell superior (a l'estructura de la població, per exemple) tingui efectes sobre nivells inferiors. Podria donar-se que un envelliment de la població fes que hi hagués menys fracció de la població en disposició de treballar, llavors per tal de mantenir el nivell de consum, això podria implicar que o bé els sectors productius esdevenien més eficients (més producció amb menys energia) o bé es traslladava activitat de sectors menys eficients (com l'agricultura) cap a sectors més eficients (com la indústria). Com veiem, tot i que no puguem dir res sobre la direcció de la causalitat, sí que podem dir coses sobre les interrelacions entre els diferents sectors econòmics, els diferents nivells jeràrquics, i les diferents variables que utilitzem per a descriure el sistema, com temps humà, energia consumida o valor afegit generat.

A.4.3. Lligam entre consum i producció

La conseqüència dels dos apartats anteriors és que MSIASM ens permet veure d'una manera molt senzilla el lligam existent entre les activitats productives d'una economia i les activitats de consum, i el seu comportament en termes de consum d'energia.

Figura A- 8: El lligam entre consum i producció



Font: Giampietro et al. (2006b, en premsa)

A la Figura 20 tenim un altre cop representat el cicle impredicatiu de la producció (a la part dreta), però tenim també el cicle impredicatiu del consum (a la part esquerra).

Si mirem amb atenció els dos grups de relacions es veu un lligam directe entre els valors que poden prendre els dos conjunts de variables intensives i extensives que defineixen el metabolisme dels dos sectors encarregats de la producció i el consum al *nivell n-1*. A la part de dalt tenim les tres variables: (i) variable fons activitat humana (THA); (ii) variable flux total energia consumida (TET); i (iii) la variable intensiva determinada per la seva raó (EMR), totes tres referides al conjunt de la societat, o *nivell n*. A la part de baix tenim dos grups amb les mateixes variables (HA_i , ET_i , i EMR_i) que s'usen per a caracteritzar el metabolisme dels sectors de producció i consum al *nivell n-1*.

El lligam es genera pel fet que els dos angles – α i γ – són el complement l'un de l'altre. És a dir, per a calcular la reducció de les dues variables extensives (fons i flux) quan ens movem del *nivell n* al *nivell n-1* podem usar en un cas la tangent i en l'altre la cotangent dels dos angles. Els dos compartiments de producció i consum al *nivell n-1* competeixen per la mateixa dotació de les variables fons i flux del *nivell n*. L'existència d'aquest lligam directe apunta a una característica principal de l'evolució del metabolisme de les societats humanes.

Aquesta característica peculiar va ser analitzada per Zipf (1941) quan descriví les nacions com a “formes bio-socials d'organització”. Zipf va donar un principi bàsic de desenvolupament socioeconòmic: si una determinada economia vol produir més, ha d'invertir més en consumir. Aquí el concepte inversió es refereix a la quantitat requerida de recursos fons (activitat humana, capital tècnic i terra) que s'han d'assignar a produir o consumir més. Aquesta racionalitat implica que el desenvolupament socioeconòmic s'ha de basar en l'habilitat d'assolir un balanç dinàmic entre l'assignació de recursos fons entre els dos compartiments associats amb la producció i el consum.

Referències de l'Annex

Adriaanse, A. et al. (1997): *Resource Flows: The Material Basis of Industrial Economies* (a joint publication of the World Resources Institute (WRI); the Wuppertal Institute; the Netherlands Ministry of Housing, Spatial Planning, and Environment; and the National Institute for Environmental Studies, Washington, DC).

Ayres, R.U. (1998) "Eco-thermodynamics: economics and the second law", *Ecological Economics*, 26: 189-209.

Ayres, R.U. and Simonis, U., (eds.) (1994): *Industrial Metabolism: Restructuring for Sustainable Development*. Tokyo: United Nations University Press.

Bertalanffy, L. von (1949): *Das Biologische Weltbild*, Neudruck der 1. Auflage Bern 1949.

Bertalanffy, L. von (1950): "An Outline of General System Theory", *Brit J. for the Philosophy of Science*, vol. 1, pp. 134-165.

Bertalanffy, L. von (1968) *General Systems Theory: Foundations, Development, Applications*. George Braziller, New York.

Boltzmann, L. (1872): "Further Studies on Thermal Equilibrium between Gas Molecules" *Wien Ber.*, 66, p. 275.

Buenstorf, G. (2000) "Self-organization and sustainability: energetics of evolution and implications for ecological economics", *Ecological Economics*, 33: 119-134.

Butler S. (1871) *Erewhon* <http://www.hoboes.com/html/FireBlade/Butler/Erewhon/>

Clark, N., Pérez-Trejo, F., and Allen, P. (1995) *Evolutionary Dynamics and Sustainable Development: A Systems Approach*. Edward Elgar, Aldershot.

Cleveland, C.J., and Ruth, M. (1997) "When, where, and by how much do biophysical limits constraint the economic process: A survey of Nicholas Georgescu-Roegen's contribution to ecological economics", *Ecological Economics*, 22: 203-224.

Cleveland, C.J., Costanza, R., Hall, C.A.S., and Kaufmann, R. (1984) "Energy and the U.S. economy: a biophysical perspective", *Science*, 225: 890-897.

Cottrell, W.F., (1955) *Energy and Society: The Relation between Energy, Social Change, and Economic Development*, McGraw-Hill, New York.

Daly, H.E. (1991) *Steady State Economics: Second Edition with New Essays*. Island Press, Washington DC.

Daly, H.E. (1996) "Consumption: value added, physical transformation and welfare", in Costanza, R., Segura, O., and Martinez-Alier, J. (eds.): *Getting Down to Earth*. Island Press, Washington DC.

Duchin F. (1998): *Structural Economics: Measuring Change in Technology, Lifestyles, and the Environment*. Washington DC:Covelo CA: The United Nations University, Island Press.

Duchin, F. (1996) "Ecological economics: the second stage", in Costanza, R., Segura, O., and Martinez-Alier, J. (eds.): *Getting Down to Earth*. Island Press, Washington DC.

Duchin, F., and Lange, G. (1994) *The Future of the Environment: Ecological Economics and Technological Change*. Oxford University Press, New York.

Duchin, F., and Szyld, D. (1985) "A dynamic input-output model with assured positive output", *Metroeconomica* 37: 269-282.

Dyke, C. (1994): From entropy to economy: a thorny path, in Burley, P., and Foster, J. (eds.): *Economics and Thermodynamics. New Perspectives on Economic Analysis*. Kluwer, Boston.

Eddington, A.S. (1928) *The Nature of the Physical World*. Cambridge University Press, Cambridge.

Faber, M. (1985) "A biophysical approach to the economy entropy, environment and resources", in van Gool, W., and Bruggink, J. (eds.): *Energy and Time in Economic and Physical Sciences*. North-Holland, Amsterdam.

Faber, M., and Proops, J.L.R. (1998) *Evolution, Time, Production and the Environment*. Springer, Berlin.

Faber, M., Manstetten, R., and Proops, J.L.R. (1996) *Ecological Economics: Concepts and Methods*. Edward Elgar, Cheltenham.

Fischer-Kowalski, M (1997): Society's metabolism: on the childhood and adolescence of a rising conceptual star, in Redclift, M., and Woodgate, G. (eds.): *The International Handbook of Environmental Sociology*. Edward Elgar, Cheltenham.

Fischer-Kowalski, M. (1998): Metabolism: The Intellectual History of Material Flow Analysis Part I, 1860-1970, *Journal of Industrial Ecology* 2(1): 61-78.

Funtowicz, S.O. (2001): Science, Governance, Complexity and Knowledge Assessment. In *Encyclopedia of Life Support Systems*, Vol. 2: 1257-1271, EOLSS Pubs. UNESCO.

Funtowicz, S.O. i Ravetz, J.R. (1990): *Uncertainty and Quality in Science for Policy*. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands.

Funtowicz, S.O. i Ravetz, J.R. (1991): A New Scientific Methodology for Global Environmental Issues, in Robert Costanza (Ed.) *Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability*. Columbia University Press, New York.

Funtowicz, S.O. i Ravetz, J.R. (1993): Science for the post-normal age, *Futures* 25:7, 739-755.

Georgescu-Roegen, N. (1971) *The Entropy Law and the Economic Process*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

Georgescu-Roegen, N., (1975): Energy and economic myths, *South. Econ. J.*, 41, 347-381.

Giampietro M. (2003): *Multi-Scale Integrated Analysis of Agro-ecosystems*. CRC Press, Boca Raton, 472 pp.

Giampietro, M. (1997): The link between resources, technology and standard of living: A theoretical model. In: L. Freese (Ed.), *Advances in Human Ecology*, Vol. 6: 73-128. JAI Press, Greenwich (CT).

Giampietro, M. and Mayumi, K., (2000a): Multiple-scale integrated assessment of societal metabolism: Introducing the approach, *Population and Environment*, 22 (2): 109-153.

Giampietro, M. and Mayumi, K., (2000b): Multiple-scale integrated assessment of societal metabolism: Integrating biophysical and economic representations across scales, *Population and Environment*, 22 (2): 155-210.

Giampietro, M., and Mayumi, K. (1997) A dynamic model of socioeconomic systems based on hierarchy theory and its application to sustainability, *Structural Change and Economic Dynamics*, 8: 453-469.

Giampietro, M., and Pastore, G. (1999) "Biophysical roots of 'enjoyment of life' according to Georgescu-Roegen's bioeconomic paradigm", in Mayumi, K., and Gowdy, J.M. (eds.): *Bioeconomics and Sustainability*. Edward Elgar, Cheltenham.

Giampietro, M., and Pimentel, D. (1991) "Energy efficiency: assessing the interaction between humans and their environment", *Ecological Economics*, 4: 117-144.

Giampietro, M., Mayumi, K., and Bukkens S.G.F. (2001), Multiple-scale integrated assessment of societal metabolism: an analytical tool to study development and sustainability, *Environ. Dev. Sustain.*, 3, 275-307.

Giampietro, M., Mayumi, K., Ramos-Martin, J. (2006a): “Can biofuels replace fossil energy fuels? A Multi-scale Integrated analysis based on the concept of societal and ecosystem metabolism: part 1”, *International Journal of Transdisciplinary Research*, Vol.1 (1): 51-87.

Giampietro, M., Mayumi, K., Ramos-Martin, J. (2006b): How serious is the addiction to oil of developed society? A multi-scale integrated analysis based on the concept of societal and ecosystem metabolism (Part 2), *International Journal of Interdisciplinary Research*, in press.

Gomiero, T. and Giampietro, M., (2001): Multiple-scale integrated analysis of farming systems: The Thuong Lo Commune (Vietnamese Uplands) case study, *Population and Environment*, 22 (3): 315-352.

Gowdy, J.M. (1994) *Coevolutionary Economics: The Economy, Society, and the Environment*. Kluwer Academic Publishers, Amsterdam.

Grunbuhel, C.M., and Schandl, H. (2005): Using land-time budgets to analyse farming systems and poverty alleviation policies in the Lao PDR, *International Journal of Global Environmental Issues*, Vo. 5, Nos. 3/4: 142-180.

Holling, C.S., (1995): Biodiversity in the functioning of ecosystems: an ecological synthesis, in Perring, C., Maler, K.G., Folke, C., Holling, C.S., and Jansson, B.O., (Eds.): *Biodiversity Loss: Economic and Ecological Issues*, Cambridge University Press, Cambridge, U.K., pp. 44-83.

Kay, J.J., and Regier, H. (2000) “Uncertainty, complexity, and ecological integrity: insights from an ecosystem approach”, in Crabbé, P., Holland, A., Ryszkowski, L., and Westra, L. (eds.), *Implementing Ecological Integrity: Restoring Regional and Global Environmental and Human Health*, Kluwer, NATO Science Series.

Kay, J.J., Regier, A.H., Boyle, M., and Francis, G. (1999) “An ecosystem approach for sustainability: addressing the challenge for complexity”, *Futures* 31: 721-742.

Lotka, A.J. (1922) “Contribution to the energetics of evolution”. *Proc. Nat. Acad. Sci.* 8: 147-154.

Lotka, A.J. (1956): *Elements of Mathematical Biology*. Dover Publications, New York.

Margalef, R., (1968), *Perspectives in Ecological Theory*, University of Chicago Press, Chicago.

Martinez-Alier, J. (1987): *Ecological Economics: Economics, Environment and Society*. Basil Blackwell, Oxford, 286 pp.

Matthews, E. et al. 2000: *The Weight of Nations: Material Outflows from Industrial Economies* (a joint publication of the World Resources Institute (WRI); the Wuppertal Institute; the National Institute for Environmental Studies; the Institute for Interdisciplinary Studies of Austrian Universities; and the Centre of Environmental Science, Leiden University, Washington, DC).

Maturana, H.R., and Varela, F. (1980) *Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living*, D. Reidel, Boston.

Mayumi, K. (2001): *The Origins of Ecological Economics: The Bioeconomics of Georgescu-Roegen*, Routledge, London.

Munda, G. (2004): Social Multi-Criteria Evaluation: Methodological foundations and operational consequences, *European Journal of Operational Research*. Vol. 158: 662-677.

Nicolis, G., and Prigogine, I. (1977) *Self-Organization in Nonequilibrium Systems*. John Wiley & Sons, New York.

Norgaard, R.B. (1994) *Development Betrayed*. Routledge, London.

O'Connor, M. (1991) "Entropy, structure, and organisational change", *Ecological Economics*, 3: 95-122.

Odum, E. P. 1953. *Fundamentals of ecology. First edition*. Saunders, Philadelphia, PA, USA.

Odum, E.P. (1989) *Ecology and Our Endangered Life-Support Systems*. Sinuauer associates, Sunderland, Massachusetts.

Odum, H.T. (1971) *Environment, Power, and Society*. John Wiley & Sons, New York.

Odum, H.T. (1983): *Systems Ecology*. New York: John Wiley.

Odum, H.T. (1996) *Environmental Accounting: EMergy and Decision Making*. John Wiley, New York.

Odum, H.T., and Pinkerton, R.C. (1955) "Time's speed regulator: the optimum efficiency for maximum power output in the physical and biological systems", *American Scientist* 43: 331-343.

Ostwald, W. (1907): "The modern theory of energetics", *Monist*, 17, 481-515.
 Pastore, G., Giampietro, M. and Mayumi, K., (2000): Societal metabolism and multiple-scale integrated assessment: Empirical validation and examples of application, *Population and Environment*, 22 (2), 211-254.

Pearce, D., and Turner, K. (1990): *Economics of Natural Resources and the Environment*. Harvester Wheatsheaf, Great Britain.

Prigogine, I. (1962) *Introduction to Non-Equilibrium Thermodynamics*. Wiley, New York.

Prigogine, I. and Stengers, I. (1984), *Order out of Chaos*, Bantam Books, New York.

Proops, J.L.R. (1979) *Energy, Entropy and Economic Structure*. PhD Thesis, Keele University.

Proops, J.L.R. (1983) "Organisation and dissipation in economic systems", *Journal of Social Biological Structures*, 6: 353-366.

Proops, J.L.R., Faber, M., and Wagenhals, G. (1993) *Reducing CO2 Emissions. A Comparative Input-Output Study for Germany and the UK*. Springer-Verlag, Berlin.

Ramos-Martin, J. (2001): Historical analysis of energy intensity of Spain: From a "conventional view" to an "integrated assessment", *Population and Environment* 22 (3): 281-313.

Ramos-Martin, J. (2004): La perspectiva biofísica de la relació home-natura: Economia Ecològica, in J. Valdivielso (comp.), *Les dimensions socials de la crisi ecològica*, Ed. UIB, Palma de Mallorca.

Ramos-Martin, J. (2005): *Complex systems and exosomatic energy metabolism of human societies*. PhD Thesis, Autonomous University of Barcelona.

Ramos-Martin, J., and Giampietro, M. (2005): Multi-scale integrated analysis of societal metabolism: learning from trajectories of development and building robust scenarios, *International Journal of Global Environmental Issues*, Vo. 5, Nos. 3/4: 225-263.

Ruth, M. (1993) *Integrating Economics, Ecology and Thermodynamics*. Kluwer, Dordrecht.

Schandl, H., Grünbühel, C., Haberl, H., Weisz, H. (2004): *Handbook of Physical Accounting. Measuring bio-physical dimensions of socio-economic activities*. Working Paper number 73, IFF-Social Ecology, Wien. http://www.iff.ac.at/socec/publs/publs_downloads/socec15008.pdf

Schandl, H., Grünbühel, C.M., Haberl, H. and Weisz, H. (2002): *A handbook on methodologies to describe the physical dimension of socio-economic activities with respect to environmental change – Accounting for Society's Metabolism and Appropriation of Net Primary Production*. Mimeo. IFF – Dept. Social Ecology. Vienna.

Schneider, E.D., and Kay, J.K. (1994) "Life as a manifestation of the second law of thermodynamics", *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 19, No 6-8: 25-48.

Schrödinger, E. (1945) *What Is Life?* Cambridge University Press, Cambridge.
Scott, A. (1985): *Progress in Natural Resource Economics*. Clarendon Press, Oxford.

Spencer, H. (1880) *First Principles*. Appleton, New York.

Ulanowicz, R. E. 1997 *Ecology, the Ascendent Perspective*, New York: Columbia University Press.

Ulanowicz, R.E. (1986) *Growth and Development: Ecosystem Phenomenology*. Springer, New York.

Ulanowicz, R.E., (1995), Ecosystem integrity: a causal necessity, in Westra, L. and Lemons, J., (Eds.): *Perspectives on Ecological Integrity*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 77-87.

Varela, F., Maturana, H.R., and Uribe, R. (1974) "Autopoiesis: the organization of living systems, its characterization, and a model", *Biosystems* 5: 187-196.

Zipf, G.K. (1941): *National Unity and Disunity: The Nation as a Bio-Social Organism*. The Principia Press, Bloomington, IN.

Nota sobre la metodologia MSIASM

A la metodologia MSIASM l'economia es divideix en dos grans compartiments, que a la vegada es divideixen en subsectors. El següent gràfic mostra quina és la divisió per subsectors de l'economia catalana que s'utilitzarà.

Nivell n	ECONOMIA CATALANA			
Nivell n-1	SECTOR DE TREBALL REMUNERAT (PW) Part de l'economia que genera valor afegit. Es divideix en subsectors:			SECTOR D'ACTIVITATS NO PRODUCTIVES (HH) Part de l'economia dedicada al consum
Nivell n-2	AG	PS	SG	Tipologies de famílies
	Agricultura, ramaderia i sector forestal	Indústria, mineria, energia i construcció	Serveis i administració	(educació, llar, oci, viatges)

A MSIASM s'utilitzen principalment **tres variables**, que es poden aplicar tant al conjunt de l'economia com a cada subsector³⁵:

Acrònim	Nom de la variable	Descripció	Com es calcula?
TET	Flux total d'energia	Total d'energia primària usada per una economia en un any [J].	Fonts estadístiques
THA	Activitat total humana	Total de temps humà de què disposa una societat en un any per a les diverses activitats [h].	Multiplicant el total de població per 8760 hores
GDP	Producte interior brut	Valor afegit generat per una economia en un any. En [€] (ó \$).	Fonts estadístiques

I es calculen els següents **indicadors**:

Indicador	Definició	Fórmula	Què mesura?
El_i	Intensitat energètica [MJ/€]	= TET/GDP	Indica l'energia consumida per unitat de PIB.
EMR_i	Taxa de metabolisme exosomàtic [MJ/h].	= ET _i / HA _i	Indica l'energia consumida per hora de l'activitat del sector i.
ELP_i	Productivitat del treball [€/h]	= GDP _i / HA _i	Indica la generació de valor afegit per hora d'activitat.
ELP/EMR_i	Eficiència energètica de la producció [€/GJ]	= GDP _i / ET _i	Mesura l'eficiència econòmica amb què utilitzem l'energia.

³⁵ Quan s'aplica per a un sector o subsector *i*, s'anomenen, respectivament: ET_i, HA_i i GDP_i.