

Octubre de 2015

Incidència econòmica de la
reducció d'emissions de gasos
amb efecte d'hivernacle
provinents dels sectors difusos
a Catalunya

Aquest estudi és un encàrrec efectuat per l'**Oficina Catalana del Canvi Climàtic**

Autors:

Dr. Jaume Freire González

Dr. Ignasi Puig Ventosa (Coord.)

info@ent.cat

www.ent.cat

Empresa amb la certificació ISO 9001 i ISO 14001



ENT environment & management

És una marca registrada de:

Serveis de Suport a la Gestió, S.L.

CIF: B62795372

C/ Sant Joan, 39, primer pis

08800 Vilanova i la Geltrú

 @ENTmediambient

 ENTmediambient

 ENT Environment & Management

Índex

ÍNDEX DE TAULES	4
ÍNDEX DE GRÀFICS	5
RESUM	7

INTRODUCCIÓ	16
--------------------	-----------

REVISIÓ DE LITERATURA	19
------------------------------	-----------

<i>2.1.ELS DRIVERS DE LES EMISSIONS DE GASOS AMB EFECTE D'HIVERNACLE.....</i>	<i>19</i>
<i>2.2.REDUCCIÓ D'EMISSIONS DE GASOS AMB EFECTE D'HIVERNACLE I COSTOS I BENEFICIS ASSOCIATS</i>	<i>20</i>

DRIVERS DE LES EMISSIONS DE GASOS AMB EFECTE D'HIVERNACLE I CREIXEMENT ECONÒMIC	25
--	-----------

<i>3.1.ANÀLISI DESCRIPTIVA I BIVARIANT DE LES EMISSIONS DELS DIFUSOS I POSSIBLES FACTORS</i>	<i>25</i>
<i>3.2.DESCOMPOSICIÓ DEL FACTORS DE LA IDENTITAT DE KAYA PER A CATALUNYA EN RELACIÓ AMB LES EMISSIONS DIFUSES.....</i>	<i>46</i>
<i>3.3.CORBA DE KUZNETS AMBIENTAL DE LES EMISSIONS DIFUSES A CATALUNYA</i>	<i>54</i>

CONCLUSIONS	63
--------------------	-----------

REFERÈNCIES	65
--------------------	-----------

Índex de Taules

Taula 1. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya per als sectors difusos, en milers de tones de CO2	18
Taula 2. Taula d'equivalències utilitzades per a transformar les emissions de CH4, N2O, SF6 i PFC a unitats de CO2 equivalent	26
Taula 3. Taula d'equivalències utilitzades per a transformar les emissions de HFC a unitats de CO2 equivalent	26
Taula 4. Anàlisi de descomposició dels factors de Kaya de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle per als difusos a Catalunya, 1990-2009	48
Taula 5. Anàlisi de descomposició dels factors de Kaya a diferents països i àrees econòmiques per l'any 2009. Índex 1990=100.....	50
Taula 6. Principals estadístics de l'anàlisi de regressió de la corba de Kuznets ambiental pels difusos a Catalunya. Mínims Quadrats Ordinaris.....	58
Taula 7. Principals estadístics de l'anàlisi de regressió de la corba de Kuznets ambiental pels difusos a Catalunya amb correcció d'autocorrelació. Mínims Quadrats Ordinaris.....	60
Taula 8. Variacions de les emissions difuses segons projeccions per al 2020 segons escenaris de creixement econòmic.....	62

Índex de Gràfics

Gràfic 1. Objectius nacionals de reducció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle per al 2020 a la UE per als difusos, respecte els nivells de 2005.....	17
Gràfic 2. Corba de costos marginals de reducció de les emissions globals, per al 2030 (comparat amb el bussiness as usual).	22
Gràfic 3. Potencial de reducció de gasos amb efecte d'hivernacle. Gigatonnes de CO2 per any, 2030.	23
Gràfic 4. Corba de costos marginals de reducció de les emissions al sector del ciment a Espanya.....	24
Gràfic 5. Corba de costos marginals de reducció de les emissions al sector del acer a Espanya.....	24
Gràfic 6. Corba de costos marginals de reducció de les emissions al sector elèctric a Espanya.....	24
Gràfic 7. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle dels sectors difusos a Catalunya segons classificació sectorial SNAP, 1990-2012	27
Gràfic 8. Evolució de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle dels sectors difusos i el consum d'energia primària a Catalunya, 1990-2009.....	28
Gràfic 9. Evolució de la proporció del consum d'energia primària a Catalunya segons fonts energètiques, 1990-2009.....	29
Gràfic 10. Evolució de les emissions dels sectors difusos i el PIB a preus constants (del 2000) a Catalunya, 1990-2010.....	30
Gràfic 11. Evolució de les emissions dels sectors difusos i la població a Catalunya, 1990-2012.....	31
Gràfic 12. Evolució de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i el consum final d'energia al sector del transport a Catalunya, 1990-2009.....	32
Gràfic 13. Evolució de la proporció de fonts energètiques utilitzades en el sector del transport a Catalunya, 1990-2009	33
Gràfic 14. Evolució de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i el VAB al sector del transport a Catalunya en preus constants del 2000, 1990-2008.....	34
Gràfic 15. Evolució de les emissions del transport i la població a Catalunya, 1990-2012 ..	35
Gràfic 16. Emissions mitjanes per quilòmetre recorregut	36
Gràfic 17. Evolució de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle als difusos industrials i del consum d'energia a tot el sector de la indústria a Catalunya, 1990-2009 ..	37

Gràfic 18. Evolució de la proporció de fonts energètiques utilitzades en el sector del industrial a Catalunya, 1990-2009.....	37
Gràfic 19. Evolució de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i el VAB de la indústria a Catalunya en preus constants del 2000, 1990-2010	38
Gràfic 20. Evolució de les emissions de la indústria difusa i la població a Catalunya, 1990-2012.....	39
Gràfic 21. Evolució de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i el consum d'energia al sector de l'agricultura i la ramaderia a Catalunya, 1990-2009.....	40
Gràfic 22. Evolució de la proporció de fonts energètiques utilitzades en el sector del agrícola i ramader a Catalunya, 1990-2009	41
Gràfic 23. Evolució de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i el VAB de l'agricultura i la ramaderia a Catalunya, 1990-2010	41
Gràfic 24. Evolució de les emissions totals de gasos amb efecte d'hivernacle a l'agricultura, de les emissions de N2O a l'agricultura i de l'ús de fertilitzants nitrogenats a Catalunya, 1990-2012	42
Gràfic 25. Evolució de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a la ramaderia i caps de porcí i boví a Catalunya, 1997-2012	43
Gràfic 26. Evolució del total de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i de les emissions de CH4 en el tractament i eliminació de residus, i percentatge de recollida selectiva a Catalunya, 1997-2012.....	44
Gràfic 27. Decaïment del metà en abocadors al llarg de 100 anys	45
Gràfic 28. Evolució del total de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i de les emissions de CH4 en el tractament i eliminació de residus, i residus abocats a Catalunya, 1997-2012	45
Gràfic 29. Evolució dels diferents factors de Kaya per a les emissions dels difusos a Catalunya, base 1990=100	49
Gràfic 30. Evolució dels diferents factors de Kaya per a les emissions dels difusos a Catalunya per tres grans períodes: 1990-2000, 2000-2009 i 1990-2009.....	50
Gràfic 31. Comparativa de l'evolució dels factors de Kaya de les emissions difuses a Catalunya amb els factors de les emissions totals en altres països i àrees econòmiques, 2009. Índex 1990=100	52
Gràfic 32. Representació d'una corba de Kuznets ambiental amb forma d'U invertida.....	55
Gràfic 33. Relació entre les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle de les emissions difuses i PIB per càpita a Catalunya, 1990-2010	57

Resum

Introducció

La contracció generalitzada de l'activitat econòmica que es produeix en períodes de crisi fa que les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle es vegin també reduïdes. Durant l'última crisi econòmica patida, Catalunya ha vist com les emissions s'han reduït. Això podria portar a un relaxament de les polítiques ambientals i de canvi climàtic, ja que sembla que s'estiguin complint els objectius de mitigació de les emissions. Cal però, entendre quina part d'aquesta reducció és directament atribuïble a una reducció de l'activitat econòmica, quina part és deguda a les polítiques ambientals i quina a altres possibles causes.

Més enllà d'això, és important quantificar les emissions que s'espera que es produeixin sota diferents escenaris de creixement econòmic, particularment pel que fa a les emissions difuses, degut a la molt menor atenció que han rebut en el passat. Cal avaluar l'assoliment d'objectius específics de reducció de les emissions en un escenari d'estabilitat o creixement econòmic, que és el que s'espera per als propers anys. L'objectiu del present estudi és avaluar els impulsors (o drivers) de les emissions difuses, així com estimar el possible compliment dels objectius de reducció d'emissions sota diverses metodologies i diferents escenaris de creixement econòmic.

Revisió de literatura

Un aspecte rellevant per a entendre la dificultat de mitigar el canvi climàtic és conèixer quins són els principals factors socioeconòmics que provoquen i/o incrementen les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Aquests són coneguts en la literatura com els *drivers* de les emissions i presenten diferents nivells d'anàlisi, com es veurà a continuació. Partint des d'un marc d'anàlisi general, els principals *drivers* de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle es poden representar a través del que es coneix com la identitat IPAT. Aquesta reuneix, a grans trets, els diferents factors antropogènics, causants de les emissions de gasos amb efecte hivernacle a l'atmosfera. La identitat IPAT

estableix que els impactes ambientals (I) depenen de la població (P), riquesa (A) i la tecnologia (T). Tot sovint aquesta anàlisi ha esdevingut més empírica, a través del que es coneix com identitat de Kaya (Kaya, 1990). Segons aquesta, les emissions d'un país es descomponen en el producte de quatre factors bàsics: índex de carbonització o intensitat de carboni de l'energia; intensitat energètica; renda per càpita i població, com mostra la següent equació:

$$Emissions\ de\ CO_2 = \frac{CO_2}{Energia} \times \frac{Energia}{PIB} \times \frac{PIB}{Població} \times Població \quad (1)$$

L'anàlisi de la importància dels diversos factors en les emissions de CO₂ és conegut amb el nom d'anàlisi de descomposició. El pes relatiu de cada factor en el canvi observat i la seva evolució pot resultar important per a les mesures polítiques que es vulguin aplicar per a lluitar contra el canvi climàtic i limitar les emissions de carboni.

Un cop coneguts els drivers de les emissions, en un context de voluntat d'implementació de polítiques reducció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, resulta important conèixer els costos de les diferents opcions disponibles, per a escollir aquelles que són més cost-efectives. Aquesta darrera opció metodològica es pot fer de diverses maneres, en funció de les hipòtesis, l'abast i sobretot el nivell de concreció al qual es vol arribar.

Una opció que ha estat força utilitzada, i que dóna una visió global dels costos de reduir les emissions en una economia, és el que es coneix com corbes de cost de reducció marginal de les emissions (marginal abatement cost curves [MAC], en anglès). Aquestes representen el conjunt d'opcions disponibles per a reduir la contaminació al llarg d'un nombre de sectors en una economia. Hi ha diversos estudis que han estimat corbes MAC, si bé no s'han adaptat per a Catalunya.

Drivers de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle difusos i creixement econòmic

Anàlisi descriptiva i bivariant de les emissions dels difusos i possibles factors

Per a fer l'anàlisi estadística descriptiva de les emissions dels sectors difusos a Catalunya es disposa d'una sèrie des de 1990 fins a 2012 de l'inventari d'emissions segons la metodologia SNAP (*Standardized Nomenclature for Air Pollutants*). Aquesta inclou 11 grans sectors que alhora es desagreguen en diferents subsectors. Per a cada sector i subsector es disposa d'informació sobre emissions de CH₄, CO₂, N₂O, SF₆, HFC i PFC. D'altra banda, els valors

d'emissions dels diferents gasos s'han transformat a unitats de CO₂ equivalent, per tal d'agregar totes les emissions de cada subsector.

- **Catalunya**

El sector del transport per carretera és el major emissor de gasos amb efecte d'hivernacle de manera molt destacada respecte de la resta de sectors. També és el que més mostra les conseqüències de la crisi a partir de l'any 2008, on comença a reduir dràsticament les emissions, arribant l'any 2012 a nivells de 1997. Un altre sector que també comença a reduir les emissions a partir de 2008 és el d'altres modes de transport i maquinària mòbil, que segueix un patró semblant, evidenciant els efectes de la crisi sobre el transport. Les emissions de la resta de sectors no segueixen un patró tan clarament definit. Cal destacar la caiguda de les emissions que van patir els processos industrials sense combustió l'any 2001 i que s'han mantingut a nivells molt baixos des d'aleshores. Això ha estat bàsicament degut a la reducció de les emissions d'HFC per la desaparició aquell any d'una font d'emissió important a Tarragona. Altres causes que també han influït ha estat la substitució de molts aparells d'aire condicionat per altres de menys contaminants durant aquest període.

- El conjunt d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle difusos ha seguit una tendència creixent, però aquesta ha estat menys pronunciada que la tendència també creixent del consum total d'energia primària a Catalunya. La relació entre les emissions dels difusos i el consum d'energia total presenta una correlació de 0,83, el que indica una elevada correlació entre les dues variables però també suggeriria l'existència d'altres factors en la relació causal entre el consum d'energia i les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle dels sectors difusos. Aquests factors serien bàsicament la composició de fonts energètiques utilitzades i la tecnologia utilitzada.
- Pel que fa a les emissions i el PIB, durant el període d'expansió econòmica (1990-2008), hi ha dues tendències en les emissions. La primera part del període (1990-2000) s'observa una tendència creixent de les emissions i del PIB, mentre que la segona part del mateix (2001-2008) mostra una estabilització de les emissions malgrat l'economia seguia creixent. A partir de la crisi econòmica l'any 2008, les emissions decreixen, conjuntament amb el conjunt de l'economia. El coeficient de correlació de Pearson entre les dues variables és de 0,73, força elevat tenint en compte que l'anàlisi integra el conjunt de l'economia amb multitud d'activitats econòmiques i les seves particularitats corresponents. Cal tenir en compte que si només considerem el període 1990-2000 (primera part del període d'expansió econòmica analitzat) la correlació entre les dues variables és de 0,89. Hi ha per tant un conjunt de factors que van fer que, a partir de l'any 2000, es

produís cert desacoblament entre l'evolució de l'economia i les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera. Resulta important destacar també com a partir de l'any 2008, l'inici de la crisi econòmica sembla que va generar una caiguda de les emissions.

- Pel que fa les emissions i la població s'observa com les dues variables segueixen tendències similars fins l'any 2008, en el qual les emissions comencen a decreixer, mentre que la població continua creixent (tot i que menys que tot el període anterior). Tot i així la correlació global del període és de 0,35, el que suposa un valor força baix. Les fluctuacions a nivell d'emissions són molt més visibles que a nivell poblacional.
- Hi ha molts altres factors que afecten les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i que en són causa. A més dels indicats en els anteriors subapartats, n'hi ha altres més difícils de captar en una anàlisi quantitativa, com ara el comportament d'administracions, consumidors i empreses; la normativa i les institucions; l'estat de la tecnologia; els preus de les matèries primeres i de l'energia; la meteorologia; etc.

- **Transport**

Analitzant el sector transport de manera diferenciada, s'observa com les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle del sector han augmentat menys que el consum final d'energia, el que implica que les emissions per unitat d'energia consumida han anat decreixent al llarg del període.

- El coeficient de correlació de Pearson entre el consum d'energia en el transport i les emissions del transport a Catalunya és de 0,96, pel que existeix una relació molt directa entre el consum i les emissions totals en el sector del transport. La principal font energètica ha estat i encara són els productes petrolífers. S'observa però, com fonts energètiques renovables han anat entrant paulatinament els últims anys, Les millores tecnològiques que han permès la introducció de noves formes energètiques també explicarien part de les diferències entre les dues variables.
- El creixement de les emissions al sector ha anat de la mà del creixement econòmic, tot i que el VAB ha crescut més durant tot el període que el que ho han fet les emissions. Entre les dues variables s'observa una correlació de 0,95. Cal tenir en compte, però, que la sèrie corresponent al VAB també inclou les comunicacions, que amb les dades disponibles no s'ha pogut desagregar.
- Fins l'any 2007 hi ha una relació clara entre les emissions i la població. Tanmateix, a partir de 2008 les emissions cauen mentre que la població segueix creixent amb menor mesura. Això pot ser degut a que els efectes

de la crisi sobre la població (menor immigració i natalitat, i major emigració) poden veure's amb retard.

- El sector del transport, a diferència d'altres, està fortament relacionat amb el consum final d'energia i amb les fonts energètiques utilitzades. Hi ha però determinats factors de millora d'eficiència en l'ús de l'energia que fan que, recorrent els mateixos quilòmetres es faci un consum menor d'energia, pel que també s'emeten menys gasos amb efecte d'hivernacle. Aquests factors són, des de la tecnologia utilitzada en diferents components del vehicle (motor, neumàtics, atributs i característiques, etc.) fins aspectes relacionats amb la gestió de la mobilitat (xarxa de transport públic, capacitat d'absorció de vehicles, congestió, etc.) i amb les infraestructures (infraestructures viàries, tipus d'asfalt utilitzat, etc.).

- **Sector industrial**

No es disposa de dades diferenciades de consum d'energia per al sector industrial dels difusos, fet que suposa una limitació important per aquesta anàlisi. Així:

- No es pot identificar una relació clara entre emissions difuses i consum d'energia. Entre d'altres causes, pel fet que el consum d'energia es refereix a tota la indústria, mentre les emissions són només una part, però també pel fet que hi ha altres factors que afecten aquestes emissions, singularment els factors tecnològics. A partir de l'any 2000 les emissions presenten una tendència clarament decreixent.
- El VAB de tota la indústria a Catalunya ha seguit una tendència creixent fins l'any 2008 d'inici de la crisi econòmica. Les emissions dels difusos, tanmateix, han tingut una tendència irregular però creixent fins l'any 2000 en el qual iniciaren una tendència decreixent. El coeficient de correlació de les dues variables és de 0,22, però cal tenir en compte que caldria una anàlisi del VAB de les indústries que no estan regulades per la Directiva, cosa que no ha estat possible ja que no es disposa de les dades desagregades.
- De la mateixa manera que amb la resta de variables analitzades no s'observa una relació clara entre emissions i població. En aquest cas, la correlació entre les dues variables és de 0,35.
- L'anàlisi bivariant entre les emissions de la indústria difusa i els diferents factors de Kaya suggereix que hi ha altres factors més enllà del consum d'energia, el VAB i la població que expliquen l'evolució de les emissions difuses de la indústria a Catalunya, dels quals no es disposa de dades.

- **Sector agrícola i ramader**

- L'anàlisi de les relacions entre el consum d'energia i les emissions del sector agrícola i ramader presenta dues tendències durant el període d'anàlisi. Per una banda, s'observa una elevada correlació entre les dues variables durant el període 1990-1999 (amb un valor de 0,93), per altra, s'observa una correlació molt menor durant el període 2000-2009 (un valor de 0,64). L'evolució de la composició de les fonts energètiques utilitzades pel sector, sobretot amb la progressiva introducció del gas natural a partir de 1999, pot haver jugat cert paper a l'hora de determinar la reducció d'aquestes emissions i les diferències en els patrons.
- S'observa com la relació entre les emissions i el VAB no és clara. De fet, el coeficient de correlació entre ambdues és de 0,28, un valor força baix, el que indicaria l'existència d'altres factors en l'explicació de les emissions en l'agricultura i la ramaderia, tot i que el creixement econòmic també podria tenir la seva importància.
- Cal diferenciar els dos subsectors: l'agrícola i el ramader. En el primer juguen un paper clau el consum de fertilitzants, mentre que en les emissions del segon el factor clau seria la gestió dels purins. El consum de fertilitzants nitrogenats presenta un coeficient de correlació de 0,85 amb les emissions totals i de 0,83 amb les emissions de N₂O, un valor força elevat en ambdós casos. La major part de les emissions provenen de la fermentació entèrica de les vaques, que emet quantitats importants de CH₄.

Tractament i eliminació de residus

El sector de la gestió dels residus presenta certes especificitats pel que fa a l'evolució de les emissions. A diferència d'altres sectors, les emissions dels quals depenen en gran mesura del consum d'energia, en aquest sector depenen principalment de la gestió que es faci dels mateixos. Principalment la gestió que es faci de la FORM i d'altres materials biodegradables afecta les emissions de CH₄, que és el gas que afecta més amb diferència pel que fa a l'impacte d'aquest sector.

El percentatge de recollida selectiva té un creixement important durant el període 1998-2012. En canvi, les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle també són creixents i no s'estabilitzen fins l'any 2001 i comencen a declinar a partir de 2009. Les emissions de CH₄ en el tractament i eliminació de residus segueixen una tendència similar. Això pot ser degut a que els residus orgànics que entren a l'abocador emeten residus durant força anys (es pot assumir que en els primers 30 s'emeten la gran majoria), de manera que els resultats de la recollida selectiva en termes de reducció de les emissions de CH₄ dels abocadors no s'aprecien fins

al cap de força temps. En tot cas, a partir de la crisi econòmica cauen tant les emissions de gasos com el percentatge de recollida selectiva a Catalunya.

D'altra banda, caldria disposar de dades sobre el VAB del sector dels residus per constatar l'efecte crisi que hi hagi pogut haver, però no s'han trobat.

DESCOMPOSICIÓ DELS FACTORS DE LA IDENTITAT DE KAYA PER A CATALUNYA EN RELACIÓ AMB LES EMISSIONS DIFUSES

En aquest apartat es realitza una anàlisi de descomposició de les emissions difuses amb l'objectiu d'indagar en la participació relativa d'alguns factors clau en l'evolució d'aquestes emissions a Catalunya. Cal tenir en compte que el consum d'energia primària i el PIB és el de tota l'economia, ja que no es disposa de dades específiques per als sectors responsables de les emissions difuses.

S'observa com durant el període analitzat, considerant els diferents factors de Kaya, el que ha tingut més rellevància ha estat l'evolució del PIB per càpita. El creixement d'aquest s'ha vist compensat per una reducció de l'índex de carbonització –que considera implícitament certs canvis en les fonts energètiques utilitzades–, però sobretot per una reducció constant de la intensitat energètica, és a dir, l'energia primària necessària per a produir una unitat monetària de PIB –relacionat amb l'eficiència energètica i altres factors analitzats–.

En comparar l'evolució dels factors que afecten les emissions difuses a Catalunya amb els que afecten les emissions totals a tot el món, s'observa com les emissions globals han crescut més que les difuses a Catalunya. S'observa com hi ha una important diferència entre el creixement de la intensitat energètica (major a Catalunya) i el creixement del PIB per càpita (major al món). Si es compara amb les emissions totals dels països de la UE-28, s'observa com el creixement de les emissions dels difusos a Catalunya durant el període 1990-2009 ha estat molt superior. Això ha estat bàsicament degut a un decreixement menor del PIB per càpita, ja que en mitjana, l'índex de carbonització i la intensitat energètica han estat majors a Catalunya. Finalment, s'observa com les emissions globals a Espanya han crescut més que les difuses a Catalunya durant el període d'anàlisi. L'índex de carbonització i el PIB per càpita han crescut més a Espanya, mentre que la intensitat energètica i la població han crescut més al considerar les emissions difuses a Catalunya.

CORBA DE KUZNETS AMBIENTAL DE LES EMISSIONS DIFUSES A CATALUNYA

Addicionalment a l'anàlisi dels factors de Kaya, s'ha elaborat la corba de Kuznets ambiental (CKA) per les emissions difuses a Catalunya, que mostra la relació

entre la pressió ambiental (emissions difuses per càpita, en aquest cas) i la renda per càpita. Des d'alguns postulats teòrics s'ha suggerit que les corbes de Kuznets adopten una forma d'U invertida, considerant que l'impacte ambiental és baix en estadis baixos de desenvolupament econòmic, que creix a mesura que una economia s'industrialitza i incrementa els nivells de renda real per càpita fins que arriba a un màxim, a partir del qual, un major progrés econòmic redueix l'impacte ambiental. Tanmateix, alguns investigadors han argumentat que la forma d'U invertida no es produeix a llarg termini, sinó que, malgrat que inicialment, a partir de determinats nivells de renda, la pressió sobre el medi es redueix, en assolir nivells de renda més elevats torna a augmentar, i adopta una forma de N. Diversos indicadors, com ara l'accés a aigua neta, la salubritat urbana i la qualitat de l'aire urbà milloren conforme augmenta la renda per càpita, mentre que altres generalment empitjoren, com ara les emissions de diòxid de carboni, el consum de la majoria de recursos o la generació de residus municipals per càpita. Així mateix, durant el tram ascendent de la CKA es poden produir impactes que no siguin reversibles, i per tant pels quals no tingui sentit traçar un possible tram descendent.

A continuació, s'ha realitzat una anàlisi de regressió que relaciona les emissions difuses de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya amb el PIB per càpita durant el període 1990-2010. S'han provat les dues hipòtesis, la de la U invertida i la que té forma d'N.

Després de diverses especificacions i proves estadístiques, els models que més han ajustat els resultats i han resultat estadísticament vàlids han estat:

$$GHG_d^{\Omega} = -2,39 * 10^{-5}(PIB/cap)^2 + 1,24PIB/cap + 0,55GHG_{-1} \quad (2)$$

$$GHG_d^N = 1,20 * 10^{-7}(PIB/cap)^3 - 0,0072(PIB/cap)^2 + 142,46PIB/cap + 0,35GHG_{-1} - 0,34GHG_{-2} - 913,061 \quad (3)$$

A partir d'aquestes estimacions i fent hipòtesis sobre l'evolució de la renda per càpita fins a 2020 s'han realitzat simulacions per tal d'analitzar el possible compliment dels objectius en matèria d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle en les emissions difuses. Les projeccions s'ha realitzat a partir del primer model, ja que és el que ha proporcionat els millors resultats en el procés d'estimació.

Les projeccions s'han realitzat sota tres escenaris de creixement mitjà anual del PIB/càpita pel període 2016-2020: un primer de l'1%, del 2% i del 3%. En els tres casos s'han utilitzat dades reals de creixement mitjà anual del PIB/càpita pel període 2010-2014, així com les previsions actuals de creixement pel 2015 del l'FMI (2%). Això suposa un creixement mitjà anual per al període 2010-2020 de

0,72% per al primer escenari, d'1,22% per al segon i d'1,72% per al tercer. A partir d'aquestes dades s'han projectat les emissions difuses estimades pel 2020.

Per al període 2012-2020, s'observa com les emissions augmenten en tots tres escenaris de creixement econòmic, i a mesura que el creixement anual és major, augmenten més. Aquest fet mostra com un esperat creixement econòmic faria augmentar les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i mostra la necessitat, per una banda, de no relaxar les polítiques de mitigació de canvi climàtic per al 2020 i, per altra, de compatibilitzar els objectius de les polítiques econòmiques amb els de les ambientals.

Conclusions

Més enllà de les dades numèriques concretes que llança el model, una conclusió important és que un retorn a taxes positives de creixement econòmic del PIB per càpita no hauria de malmetre els esforços realitzats en termes de mitigació d'emissions difuses. En tot cas, caldrà seguir analitzant aquesta relació a mesura que es vagi disposant de més dades. Com més dades alimentin els models, major robustesa tenen i major fiabilitat tenen a l'hora de realitzar projeccions d'aquest tipus.

1

Introducció

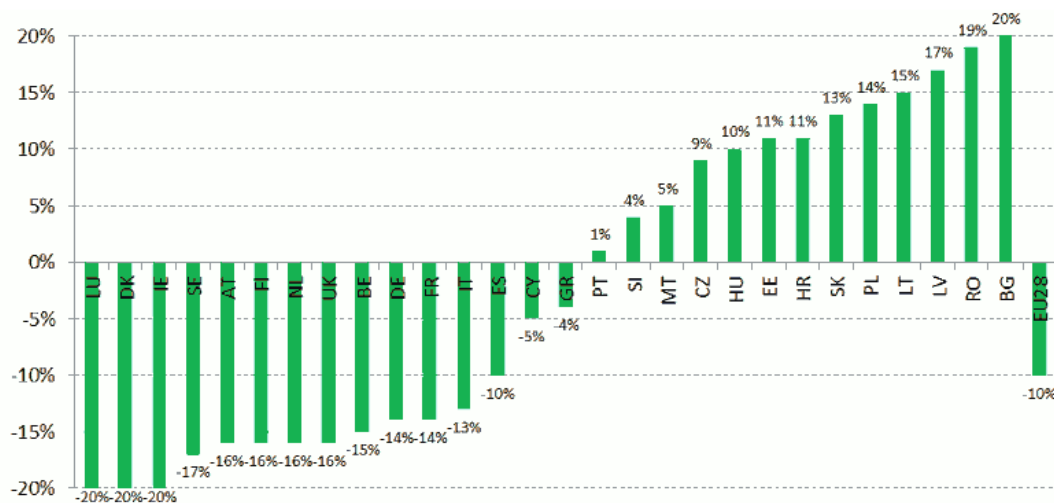
La Unió Europea es va fixar cinc grans objectius a assolir per l'any 2020. En relació al canvi climàtic i la sostenibilitat energètica, els objectius es van fixar en reduir un 20% les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, respecte dels nivells de 1990; assolir una proporció del 20% en energies renovables; i millorar un 20% l'eficiència energètica. Per a assolir aquests objectius es van establir quatre paquets de mesures, a partir de legislació complementària: (1) reforma del sistema de comerç d'emissions (ETS); (2) objectius nacionals per les emissions dels sectors anomenats "difusos"; (3) objectius nacionals sobre energies renovables i (4) captura i emmagatzematge de carboni.

Dins el segon paquet de mesures es van establir objectius nacionals per a les emissions dels sectors difusos que van des d'un 20% de reducció de les emissions respecte el 2005 per part de l'Estat membre més ric, fins a un 20% d'increment per a l'Estat Membre més pobre, per al període 2013-2020. A Espanya se li va assignar un objectiu de reducció global del 10% de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (veure Gràfic 1), dins el que es coneix com a *Effort Sharing Decision* (decisió sobre el repartiment dels esforços, Decisió 406/2009/EC).¹ Aquesta entrà en vigor el 25 de juny de 2009. Els sectors difusos són aquells que no estan subjectes al Règim de Comerç de Drets d'Emissió de la Unió Europea (EU ETS). Aquest esquema cobreix més d'11.000 centrals elèctriques i plantes industrials en 31 països (els 28 Estats Membres més Islàndia, Noruega i Liechtenstein).

¹ <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013D0162&from=EN>.

<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009D0406&from=EN>.

Gràfic 1. Objectius nacionals de reducció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle per al 2020 a la UE per als difusos, respecte els nivells de 2005.



Cal tenir en compte que aquesta decisió permet certa flexibilitat, tant dins dels propis Estats Membres com entre Estats. Dins dels Estats:

- > Una reducció superior en un any donat pot ser arrossegada els anys posteriors, fins al 2020.
- > Una assignació d'emissions de fins a un 5% durant el període 2013-2019 es pot tirar endavant des de l'any següent (article 3.2 de la decisió).

Recentment, es van anunciar un nou marc de política energètica i de canvi climàtic per a 2030 amb uns nous objectius més ambiciosos. L'objectiu seria el de continuar progressant cap a una economia baixa en carboni i incrementar la competitivitat i la seguretat energètica a la zona euro. El nou marc va ser aprovat pel Consell Europeu el 24 d'octubre de 2014, els nous objectius per l'any 2030 serien: una reducció de les emissions dels gasos amb efecte d'hivernacle del 40% per sota dels nivells de 1990, incrementar la proporció de les energies renovables en com a mínim un 27%, un augment de l'eficiència energètica d'almenys el 27%, que es revisarà el 2020 tenint en ment un nivell del 30% a la UE per 2030; completar el mercat interior de l'energia assolint una interconnexió elèctrica del 15% entre els Estats Membres i impulsar de projectes importants d'infraestructura.

Considerant els objectius vigents per al 2020 sobre el sector dels difusos a Espanya (de reducció del 10% de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle respecte el 2005), Catalunya compliria amb escreix si es mantingués constant en el seu nivell d'emissions. És a dir, les emissions difuses (a 2012) ja són actualment un 20% inferiors a les del 2005. Cal tenir en compte que la crisi econòmica és probablement la causa principal d'aquesta reducció, pel que, un

cop superada la crisi, el retorn a escenaris de creixement econòmic podria comprometre l'assoliment de l'objectiu establert.

La Taula 1 mostra les emissions dels sectors difusos a Catalunya l'any 1990 i des de 2005 fins a 2012.

Taula 1. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a Catalunya per als sectors difusos, en milers de tones de CO₂

Sectors	2005	2008	2009	2010	2011	2012
Sector industrial no directa	7.910	4.767	3.458	3.849	3.295	3.826
Combustió en sector serveis, residencial i agricultura	4.955	5.275	5.434	6.099	5.102	5.033
Transport *	15.066	15.173	14.391	13.548	12.864	11.859
Altres emissions de transport **	758	802	787	783	793	795
Emissions fugitives dels combustibles	625	259	271	220	202	203
Ús de dissolvents i altres productes	321	313	286	280	253	227
Agricultura i ramaderia	3.925	3.757	3.774	3.894	3.983	4.107
Tractament i eliminació de residus	2.281	2.478	2.832	2.643	2.627	2.586
Total	35.842	32.824	31.234	31.315	29.118	28.636

* Les emissions del sector del transport inclouen: aviació civil (domèstic), transport per carretera, per ferrocarril, marítim (nacional) i altres (altres fonts mòbils i maquinària).

** Les emissions Altres emissions de transport inclouen: maquinària del sector de l'agricultura, de la silvicultura i la flota pesquera nacional.

Font: OCCC.

L'objectiu d'aquest informe és avaluar la incidència econòmica de complir els objectius de reducció d'emissions sota diverses metodologies i diferents escenaris de creixement econòmic. En primer lloc, el capítol 2 fa una revisió de la literatura sobre els *drivers* de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, així com sobre l'assoliment d'objectius en reducció d'emissions i els costos i beneficis associats; posteriorment, el capítol 3 se centra en una anàlisi dels drivers de les emissions a Catalunya i el creixement econòmic; finalment, el capítol 4 presenta les principals conclusions.

2

Revisió de literatura

Les dificultats metodològiques d'abordar les qüestions de valoració i impacte econòmic, especialment en escenaris d'incertesa, com els relacionats amb el canvi climàtic, fan que calgui disposar dels diversos elements i metodologies d'anàlisi que proporciona la literatura econòmica i ambiental.

En aquest capítol es fa una revisió de la literatura existent sobre diversos aspectes que giren al voltant de la valoració econòmica i la mitigació del canvi climàtic, fent una anàlisi específica dels *drivers* de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i de la literatura que avalua els costos i beneficis de l'assoliment d'objectius en termes de reducció de les emissions.

2.1. ELS DRIVERS DE LES EMISSIONS DE GASOS AMB EFECTE D'HIVERNACLE

Un aspecte rellevant per a entendre la dificultat de mitigar el canvi climàtic és conèixer quins són els principals factors socioeconòmics que provoquen i/o incrementen les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Aquests són coneguts en la literatura com els drivers de les emissions i presenten diferents nivells d'anàlisi, com es veurà a continuació.

Partint des d'un marc d'anàlisi general, els principals drivers de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle es poden representar a través del que es coneix com la identitat IPAT (Ogawa, 1991; Parikh et al., 1991; Parikh, 1994; Alcamo et al., 1995; Gaffin i O'Neill, 1997; O'Neill et al., 2000; etc.). Aquesta reuneix, a grans trets, els diferents factors antropogènics, causants de les emissions de gasos amb efecte hivernacle a l'atmosfera. La identitat IPAT estableix que els impactes ambientals (I) depenen de la població (P), riquesa (A) i la tecnologia (T).

Tot sovint aquesta anàlisi ha esdevingut més empírica, a través del que es coneix com identitat de Kaya (Kaya, 1990). Segons aquesta, les emissions d'un país es descomponen en el producte de quatre factors bàsics (que, al seu torn, es veuen influenciats per altres factors): índex de carbonització o intensitat de carboni de l'energia (definida com el CO₂ emès per unitat d'energia consumida); intensitat energètica

(definida com l'energia consumida per unitat de PIB); la renda per càpita i la població, com mostra la següent equació:

$$Emissions\ de\ CO_2 = \frac{CO_2}{Energia} \times \frac{Energia}{PIB} \times \frac{PIB}{Població} \times Població \quad (4)$$

Per a petits canvis o moderats en els components de l'equació entre dos períodes, la suma dels canvis percentuals en cadascuna de les variables aproxima el canvi percentual en les emissions de carboni entre els dos períodes:

$$d(\ln CO_2)/dt = d\left(\ln \frac{CO_2}{Ener}\right)/dt + d\left(\ln \frac{Ener}{PIB}\right)/dt + d\left(\ln \frac{PIB}{Pob}\right)/dt + d(\ln Pob)/dt \quad (5)$$

On $d(\ln x)/dt$ representa la variació, a través del temps del logaritme neperià (\ln) de la variable x , és a dir, es vol observar com evoluciona en termes de variacions relatives (%) una variable exògena respecte d'una endògena (el que es coneix com elasticitat).

L'anàlisi de la importància dels diversos factors en les emissions de CO₂ és conegut amb el nom d'anàlisi de descomposició. El pes relatiu de cada factor en el canvi observat i la seva evolució pot resultar important per a les mesures polítiques que es vulguin aplicar per a lluitar contra el canvi climàtic i limitar les emissions de carboni. La identitat de Kaya proveeix un punt de partida interessant per a avaluar les projeccions climàtiques futures de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, així com els factors econòmics, demogràfics i d'intensitat energètica –que implica condicions sobre la tecnologia actual i l'eficiència dels sistemes i processos– que són clau en les emissions.

Més enllà d'aquesta tipologia d'anàlisi, hi ha altres mètodes per a l'anàlisi de descomposició més complexos, amb la descomposició per sectors econòmics, per processos productius, per font energètica o altres. Alguns d'ells parteixen de mètodes d'anàlisi Input-output o d'equilibri general. La simplicitat d'aquest mètode permet, però, comparacions homogènies entre els resultats obtinguts a diferents països o zones sense majors dificultats, sempre que es disposi de les dades necessàries.

Diversos estudis han utilitzat anàlisi de descomposició per a mostrar la intensitat en que els diversos factors afecten les emissions, en molts casos fent anàlisis internacionals i comparatives entre països (Kaivo-Oja i Luukkanen, 2004; Alcántara i Padilla, 2005; Diakoulaki i Mandaraka, 2007; Tapio et al., 2007; O'Mahony, 2013).

2.2. REDUCCIÓ D'EMISSIONS DE GASOS AMB EFECTE D'HIVERNACLE I COSTOS I BENEFICIS ASSOCIATS

Un cop coneguts els drivers de les emissions, en un context de voluntat d'implementació de polítiques reducció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, resulta important conèixer els costos de les diferents opcions disponibles, per a escollir aquelles

que són més cost-efectives, és a dir aquelles que proporcionen un millor resultat al menor cost possible. Aquesta anàlisi es pot fer a nivell microeconòmic, és a dir, avaluant mesura per mesura o a nivell macroeconòmic, a partir de l'estimació de la relació entre el nivell d'emissions d'una economia i els costos globals de reduir-les.

Aquesta darrera opció metodològica es pot fer de diverses maneres, en funció de les hipòtesis, l'abast i sobretot el nivell de concreció al qual es vol arribar. Es pot fer de manera molt agregada –donant una millor visió global, però fent grans hipòtesis i simplificacions– fins a la consideració de tots els costos agregats, per la desagregació sector per sector –amb un major realisme, però amb menor globalitat dels resultats–.

Una opció que ha estat força utilitzada, i que dóna una visió global dels costos de reduir les emissions en una economia, és el que es coneix com corbes de cost de reducció marginal de les emissions (marginal abatement cost curves [MAC], en anglès). Aquestes representen el conjunt d'opcions disponibles per a reduir la contaminació al llarg d'un nombre de sectors en una economia. Hi ha diversos estudis que han estimat corbes MAC. La consultoria McKinsey & Company les ha estimat per a diversos països (China, República Checa, Rússia, Israel, Estats Units, Suècia, Bèlgica, Polònia i Brasil).² ICF (2005) va produir una corba específica per a Califòrnia i CBI (2007) per al Regne Unit. L'Institut Wuppertal per al Clima, el Medi Ambient i l'Energia va produir diverses corbes MAC per a Alemanya (també anomenades corbes de cost potencial), en funció de la perspectiva (usuari final, serveis públics, societat) (Wuppertal Institute, 2006).

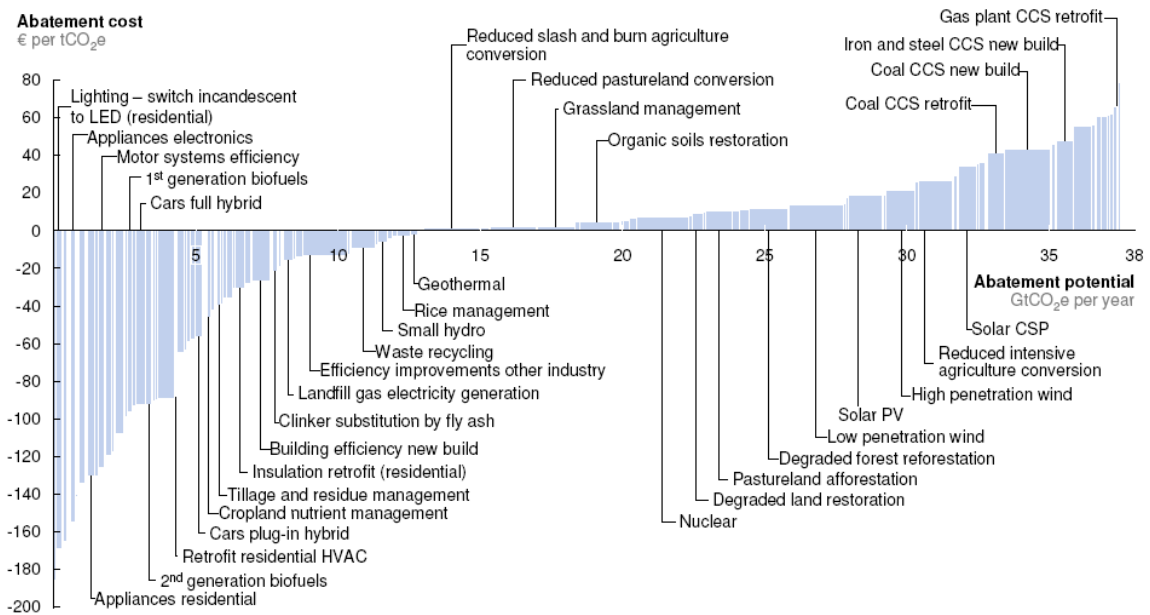
També s'han realitzat projeccions a nivell global. El Gràfic 2 mostra l'última versió de la corba global de costos de reducció de les emissions feta per McKinsey & Company (2010). Aquesta mostra una estimació del cost de reducció prospectiu anual en euros, per tona evitada d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. Mostra un escenari per al 2030 en relació al que ens portaria la situació actual, és a dir, el que es coneix com a business as usual.

Cal tenir en compte que aquestes estimacions estan basades en moltes hipòtesis sobre: evolució de l'economia i els preus, taxes de descompte, exclusió d'efectes dinàmics sobre els preus dels efectes d'implementar les mesures, no consideració de l'efecte rebot de l'eficiència energètica³, etc., així com que és una corba a nivell global, pel que a Catalunya pot tenir les seves especificitats tecnològiques, institucionals, socials i culturals que afectin aquests costos marginals.

² Aquests estudis poden trobar-se a:
http://www.mckinsey.com/client_service/sustainability/latest_thinking/greenhouse_gas_abatement_cost_curves.

³ Alguns estudis apunten a que a Catalunya aquest podria ser del 36% a curt termini i del 49% a llarg a l'electricitat a les llars (Freire-González, 2010). Pel que un 36% o 49% dels estalvis esperats fruits dels avenços en eficiència energètica no es produïrien.

Gràfic 2. Corba de costos marginals de reducció de les emissions globals, per al 2030 (comparat amb el bussiness as usual).



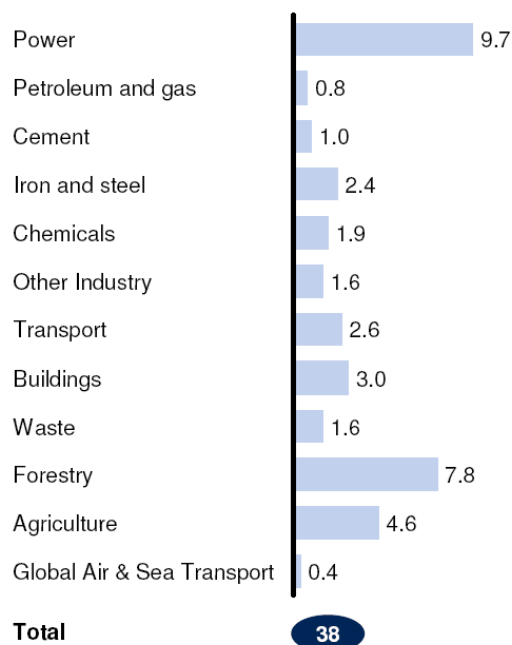
Nota: la corba presenta una estimació del màxim potencial de totes les mesures tècniques de reducció dels gasos amb efecte d'hivernacle per sota de 80€ per tona de CO₂ si cada mesura s'impulsa de manera efectiva. No és una previsió de quin rol juguen les diferents tecnologies.

Font: McKinsey & Company (2010).

Segons s'observa al Gràfic 2, com hi ha moltes opcions de reducció de les emissions globals que tenen costos marginals "negatius", el que significa que invertir en aquestes opcions generaria beneficis al llarg del seu cicle de vida. Són les anomenades iniciatives *win-win*, en el sentit que aporten simultàniament beneficis ambientals i econòmics. Els estalvis acumulats de portar a terme aquestes opcions podrien ser utilitzats per a compensar (totalment o en part) les opcions amb costos marginals positius.

D'altra banda, resulta interessant el potencial de reducció de gasos amb efecte d'hivernacle per sectors econòmics. El Gràfic 3 mostra aquest potencial a nivell global. S'observa com els sectors difusos tenen força potencial de reducció de les emissions, especialment pel que fa a l'agricultura i al sector forestal.

Gràfic 3. Potencial de reducció de gasos amb efecte d'hivernacle. Gigatonnes de CO2 per any, 2030.

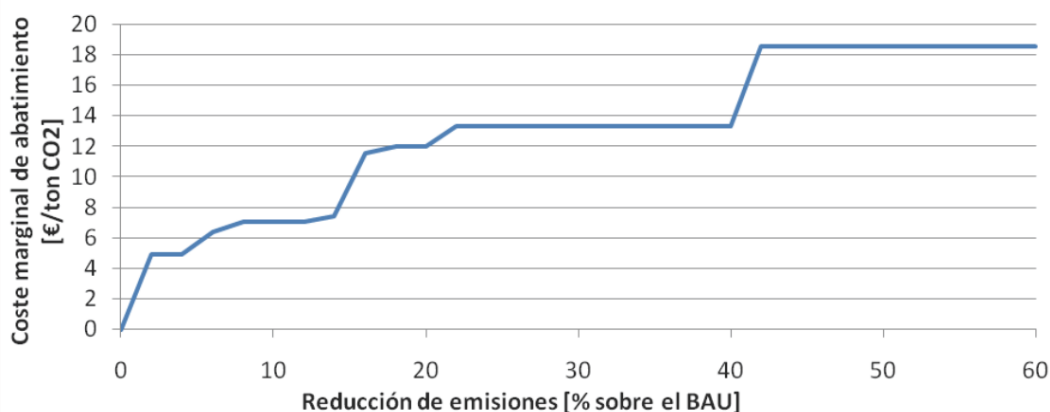


Font: McKinsey & Company (2010).

Hi ha estudis similars que determinen el potencial i els costos de reducció de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a nivell espanyol. Per exemple, IIASA (2010) avalua els potencials i els costos de la mitigació dels gasos amb efecte d'hivernacle excepte el CO₂ a la Unió Europea fins al 2030, incloent Espanya. Bourne *et al.* (2012) analitzen l'impacte de les polítiques mediambientals i de la Unió Europea per al sector agrícola espanyol a partir d'un model d'equilibri general computable. Santamaría i Linares (2011) van analitzar els costos de reduir les emissions de CO₂ a la indústria espanyola, desenvolupant corbes MAC per a diferents subsectors industrials, com ara el del ciment, de l'acer i el sector elèctric.

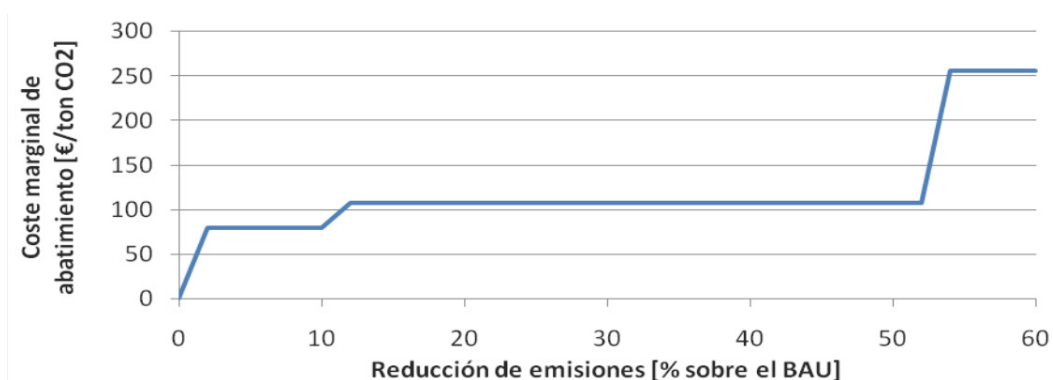
El Gràfic 4, el Gràfic 5 i el Gràfic 6 mostren les corbes a España per als sectors mencionats. Com argumenten els autors, aquests sectors són els responsables del 30% de les emissions a España.

Gràfic 4. Corba de costos marginals de reducció de les emissions al sector del ciment a Espanya



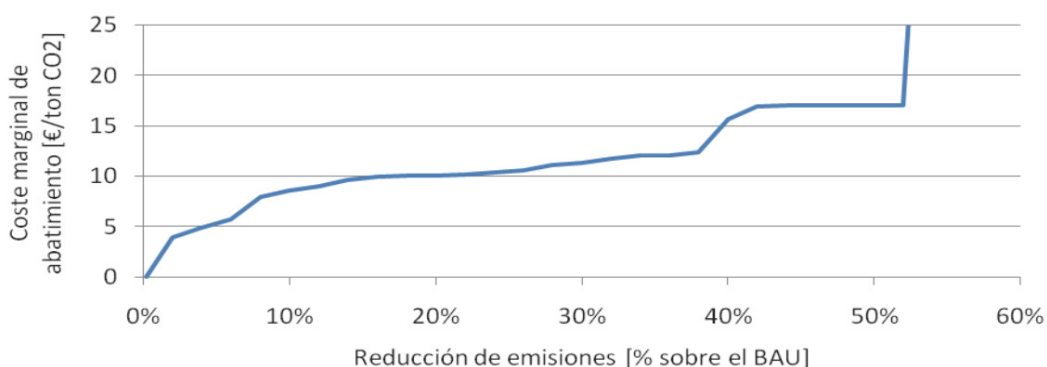
Font: Santamaría i Linares (2011).

Gràfic 5. Corba de costos marginals de reducció de les emissions al sector del acer a Espanya



Font: Santamaría i Linares (2011).

Gràfic 6. Corba de costos marginals de reducció de les emissions al sector elèctric a Espanya



Font: Santamaría i Linares (2011).

No s'han trobat estudis que realitzin estimacions de les funcions de corbes de costos marginals en el context català. Una estimació d'aquestes identificaria les potencialitats de reduir les emissions i les mesures més adequades per a fer-ho donades les restriccions pressupostàries. Tot i no entrar en el detall de la caracterització d'aquestes corbes, posteriorment es fa una anàlisi cost-eficàcia d'algunes mesures, amb la que es podria construir una primera aproximació del que suposaria una corba de costos marginals de reducció de les emissions per a Catalunya.

3

Drivers de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i creixement econòmic

A continuació es realitza una anàlisi estadística descriptiva tant de les emissions de gasos amb efecte hivernacle dels diferents sectors difusos com dels principals factors que explicarien els drivers de les emissions en aquests sectors. Aquesta anàlisi permet observar els diferents subsectors inclosos en els difusos i la seva relació amb altres variables socioeconòmiques.

Posteriorment es realitza una anàlisi de descomposició dels factors de la identitat de Kaya per als mateixos sectors, però a nivell més agregat. Aquesta proporciona una visió del pes que tenen els diferents factors rellevants en l'evolució de les emissions. A més, aquesta anàlisi permet fer comparatives internacionals, donat que aquesta metodologia està sent àmpliament utilitzada a nivell internacional.

Un coneixement de la importància relativa dels diferents factors permet una millor orientació de les polítiques de mitigació o permet extrapolar en quina mesura evolucionarien les emissions en un futur en funció de com evolucionessin aquests factors.

3.1. ANÀLISI DESCRIPTIVA I BIVARIANT DE LES EMISSIONS DELS DIFUSOS I POSSIBLES FACTORS

Per a fer l'anàlisi estadística descriptiva de les emissions dels sectors difusos a Catalunya es disposa d'una sèrie des de 1990 fins a 2012 de l'inventari d'emissions segons la metodologia SNAP (Standardized Nomenclature for Air Pollutants). Aquesta inclou 11 grans sectors que alhora es desagreguen en diferents subsectors. Per a cada sector i subsector es disposa d'informació sobre emissions de CH₄, CO₂, N₂O, SF₆, HFC i PFC.

Una avantatge d'utilitzar la metodologia SNAP és que permet identificar si els subsectors corresponen a emissions subjectes al Règim de Comerç de Drets d'Emissió de la Unió Europea (Directiva) o bé si es considera un sector no inclòs, i per tant les emissions es consideren difuses. Només en alguns subsectors concrets hi ha barreja entre les dues tipologies. En aquests casos, d'acord amb l'OCCC, s'ha fet la hipòtesi de que el 50% de les emissions són dins la Directiva i el 50% corresponen a emissions difuses.

D'altra banda, els valors d'emissions dels diferents gasos s'han transformat a unitats de CO₂ equivalent, per tal d'agregar totes les emissions de cada subsector. A continuació, la Taula 2 i la Taula 3 mostren les equivalències utilitzades per a homogeneïtzar les unitats.

Taula 2. Taula d'equivalències utilitzades per a transformar les emissions de CH₄, N₂O, SF₆ i PFC a unitats de CO₂ equivalent

Gas amb efecte d'hivernacle	Factor de conversió a CO ₂ equivalent
CH ₄	21
N ₂ O	310
SF ₆	23.900
PFC	7.000

Font: OCCC.

Pel que fa als HFC, cal utilitzar un factor de conversió diferent cada any. Això és degut a que sota la denominació d'HFC hi ha un conjunt de diferents gasos, els quals tenen diferents factors d'emissió. Com que a Catalunya ha anat canviant el tipus d'HFC utilitzat, el factor de conversió també ha anat canviant.

Taula 3. Taula d'equivalències utilitzades per a transformar les emissions de HFC a unitats de CO₂ equivalent

Any	Factor de conversió a CO ₂ equivalent
1990	11.360,53
1991	11.376,16
1992	11.483,43
1993	11.330,72
1994	11.198,86
1995	11.031,36
1996	10.785,79
1997	10.513,06
1998	9.550,01
1999	9.220,92
2000	8.803,95
2001	6.464,20
2002	2.244,34
2003	2.625,13
2004	1.962,49

2005	1.934,58
2006	2.111,42
2007	2.238,64
2008	1.802,46
2009	1.868,16
2010	1.874,05
2011	1.916,89
2012	1.961,86

Font: OCCC.

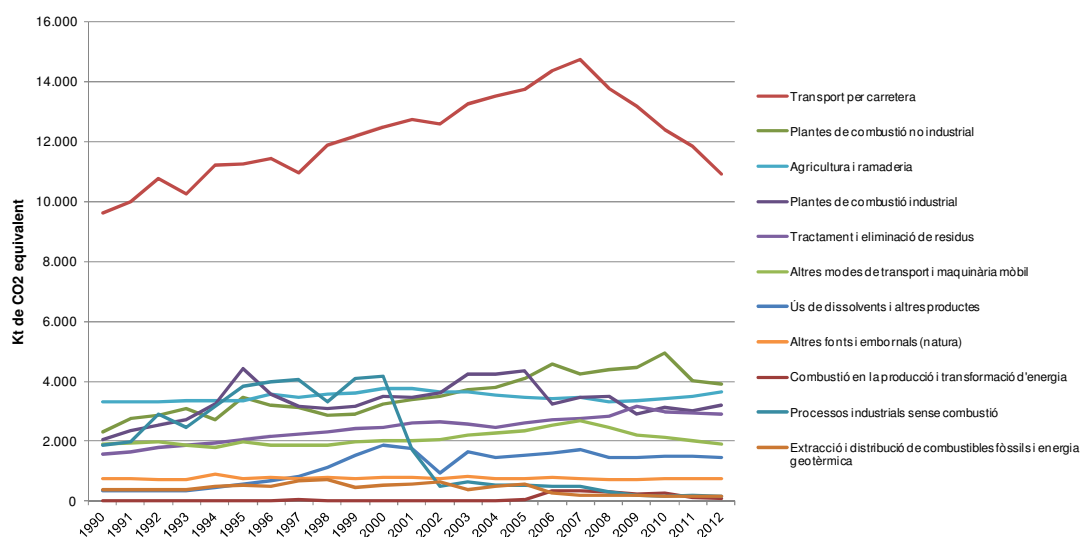
En els següents subapartats es realitza una anàlisi bivariant dels diferents factors que poden afectar les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle en els sectors difusos. Aquesta es realitza pel conjunt de Catalunya i pels principals sectors difusos implicats en les emissions: transport, indústria, agrícola i ramader i residus.

Per a fer-ho es parteix dels factors identificats en la identitat de Kaya, però també es consideren algunes de les principals especificitats de cada sector.

3.1.1.Catalunya

A continuació, el Gràfic 7 mostra l'evolució de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle dels diferents sectors difusos segons metodologia SNAP d'onze sectors a Catalunya.

Gràfic 7. Emissions de gasos amb efecte d'hivernacle dels sectors difusos a Catalunya segons classificació sectorial SNAP, 1990-2012



Font: elaboració pròpia a partir d'informació sobre les emissions sectorials de l'OCCC.

S'observa com el sector del transport per carretera és el major emissor de gasos amb efecte d'hivernacle de manera molt destacada respecte de la resta de sectors. També s'observa com és el que més mostra les conseqüències de la crisi a partir de l'any 2008, on comença a reduir dràsticament les emissions,

arribant l'any 2012 a nivells de 1997. Un altre sector que també comença a reduir les emissions a partir de 2008 és el d'altres modes de transport i maquinària mòbil, que segueix un patró molt semblant, evidenciant els efectes de la crisi sobre el transport. Les emissions de la resta de sectors no segueixen un patró tan clarament definit.

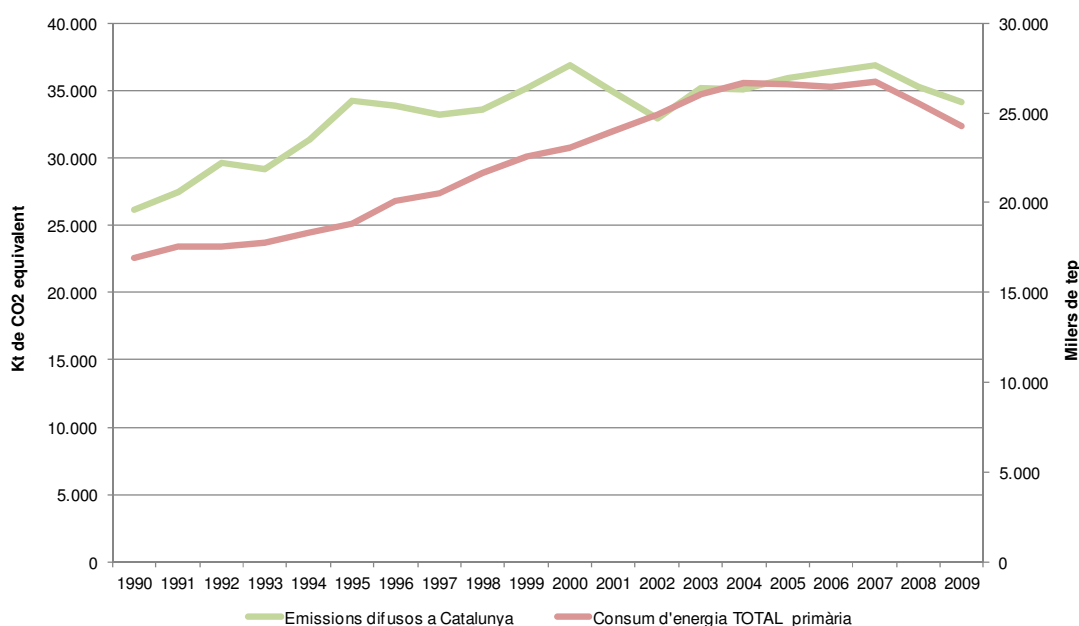
Cal destacar la caiguda de les emissions que van patir els processos industrials sense combustió l'any 2001 i que s'han mantingut a nivells molt baixos des de llavors. Això ha estat bàsicament degut a reducció de les emissions d'HFC per la desaparició aquell any d'una font d'emissió important a Tarragona. Altres causes que també han influït ha estat la substitució de molts aparells d'aire condicionat per altres de menys contaminants durant aquest període.

3.1.1.1. Emissions i consum d'energia

A continuació, el

Gràfic 8 mostra l'evolució de les emissions totals amb l'evolució del consum total d'energia primària a Catalunya. El conjunt d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle ha seguit una tendència creixent, però aquesta ha estat menys pronunciada que la tendència també creixent del consum total d'energia primària a Catalunya.

Gràfic 8. Evolució de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle dels sectors difusos i el consum d'energia primària a Catalunya, 1990-2009

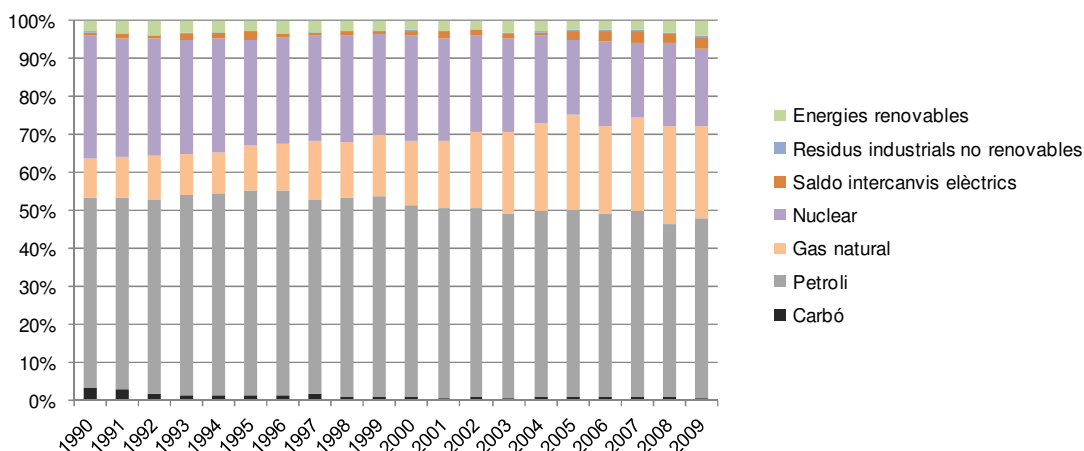


Font: elaboració pròpia a partir dels balanços energètics (ICAEN) i informació sobre les emissions sectorials de l'OCCC.

Més enllà de l'anàlisi gràfica, una mesura estadística (en anàlisi bivariant) per a avaluar la relació lineal que tenen aquestes dues variables és el coeficient de correlació de Pearson. Si aquest índex obté un valor d'1 (en valor absolut) les dues variables estan perfectament relacionades, si obté un valor de 0 les variables no tenen cap relació lineal. Tot i que un valor elevat no implica causalitat, a mesura que el coeficient s'apropa a 1, hi ha més possibilitat de causalitat entre una i altra variable.

La relació entre les emissions dels difusos i el consum d'energia total presenta una correlació de 0,83, el que indica una elevada correlació entre les dues variables però també suggeriria l'existència d'altres factors en la relació causal entre el consum d'energia i les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle dels sectors difusos. Aquests factors serien bàsicament la composició de fonts energètiques utilitzades (amb diferents potencials d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle) i la tecnologia utilitzada. El Gràfic 12 mostra l'evolució de la proporció de fonts energètiques utilitzades a Catalunya.

Gràfic 9. Evolució de la proporció del consum d'energia primària a Catalunya segons fonts energètiques, 1990-2009



Font: elaboració pròpia a partir dels balanços energètics (ICAEN).

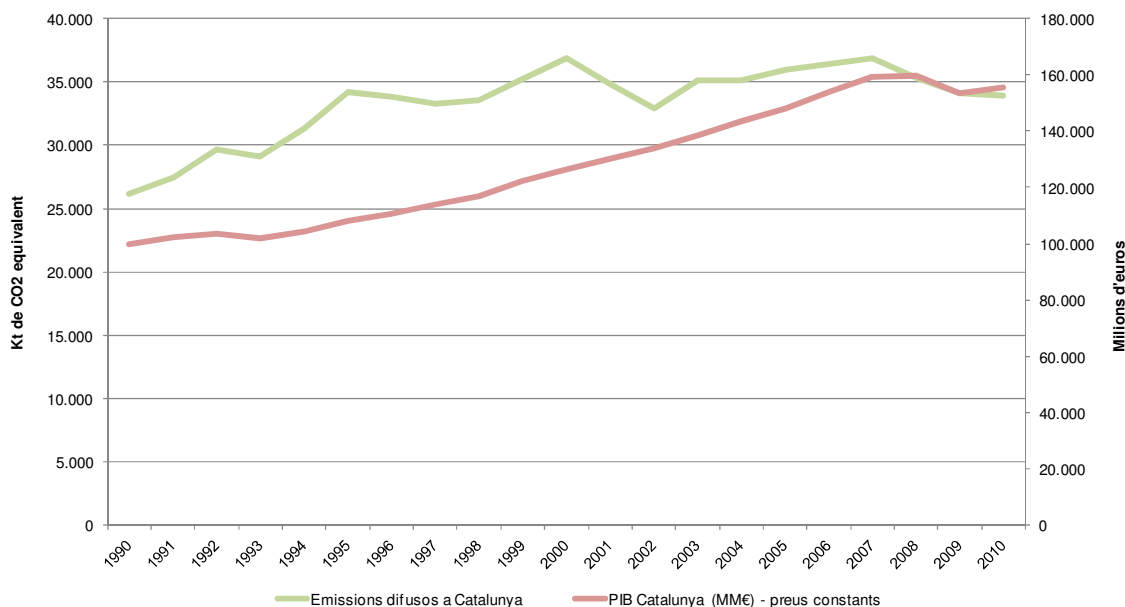
3.1.1.2. Emissions i PIB

A continuació, el Gràfic 10 mostra l'evolució de les emissions totals dels sectors difusos amb l'evolució del PIB a Catalunya. S'observa com les dues variables segueixen tendències similars, però amb algunes diferències destacables:

Durant el període d'expansió econòmica (1990-2008), hi ha dues tendències en les emissions. La primera part del període (1990-2000) s'observa una tendència creixent de les emissions i del PIB, mentre que la segona part del mateix (2001-2008) mostra una estabilització de les emissions malgrat l'economia seguia

creixent. A partir de la crisi econòmica l'any 2008, les emissions decreixen, conjuntament amb el conjunt de l'economia.

Gràfic 10. Evolució de les emissions dels sectors difusos i el PIB a preus constants (del 2000) a Catalunya, 1990-2010



Font: elaboració pròpia a partir de dades macroeconòmiques de l'Idescat i informació sobre les emissions sectorials l'OCCC.

El coeficient de correlació de Pearson entre les dues variables és de 0,73, força elevat tenint en compte que l'anàlisi integra el conjunt de l'economia amb multitud d'activitats econòmiques i les seves particularitats corresponents. Cal tenir en compte que si només considerem el període 1990-2000 (primera part del període d'expansió econòmica analitzat) la correlació entre les dues variables és de 0,89.

Hi ha per tant un conjunt de factors que van fer que, a partir de l'any 2000, es produís cert desacoblament entre l'evolució de l'economia i les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera. Resulta important destacar també com a partir de l'any 2008, l'inici de la crisi econòmica sembla que va generar una caiguda de les emissions.

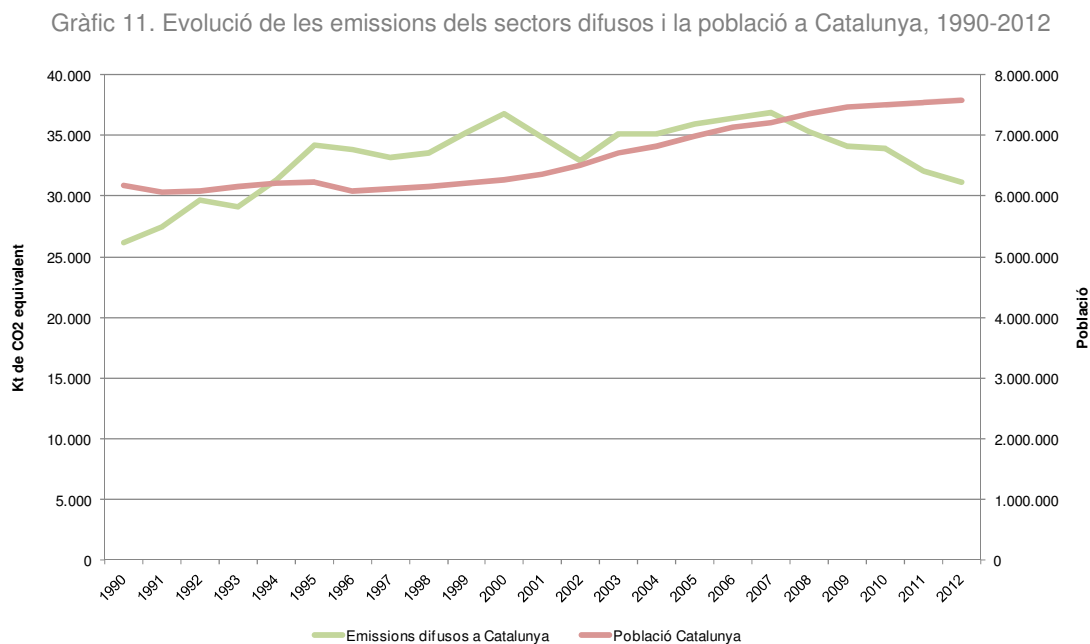
3.1.1.3. Emissions i població

Un altre factor identificat a la identitat de Kaya com a rellevant per a explicar les emissions és la població. Aquest factor presenta certa relació amb l'activitat econòmica, ja que en períodes d'expansió econòmica acostuma a haver-hi saldo migratori positiu, mentre que períodes d'estancament o recessió de l'economia suposen saldos migratoris negatius. Les components de natalitat i mortaldat, però, no sempre presenten una relació clara amb l'evolució econòmica. En tot

cas, el nivell poblacional afecta el consum de recursos i les emissions de contaminants en un territori.

A continuació, el

Gràfic 11 mostra l'evolució de les emissions totals amb l'evolució de la població.



Font: elaboració pròpia a partir dels balanços energètics (ICAEN) i informació sobre les emissions sectorials de l'OCCC.

S'observa com les dues variables segueixen tendències similars fins l'any 2008, en el qual les emissions comencen a decreixre, mentre que la població però continua creixent (tot i que menys que tot el període anterior). Tot i així la correlació global del període és de 0,35, el que suposa un valor força baix. Les fluctuacions a nivell d'emissions són molt més visibles que a nivell poblacional.

3.1.1.4. Emissions i altres factors rellevants

Com s'ha indicat, hi ha molts altres factors que afecten els emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i que en són causa. A més dels indicats en els anteriors subapartats, n'hi ha altres més difícils de captar en una anàlisi quantitativa, com ara el comportament d'administracions, consumidors i empreses; la normativa i les institucions; l'estat de la tecnologia; els preus de les matèries primeres i de l'energia; la meteorologia (aquest és un factor força rellevant, s'estima que entre 0,5 i 1 milió de tones de CO2 equivalent poden variar en funció d'aquest factor, especialment pel fred); etc.

Per tant, l'anàlisi realitzada presenta les grans tendències i els factors més rellevants a nivell macroeconòmic a Catalunya (aspecte en el qual el següent

capítol aprofundeix més en termes quantitativs), però no mostra les particularitats dels diferents agents econòmics i socials en la generació d'emissions.

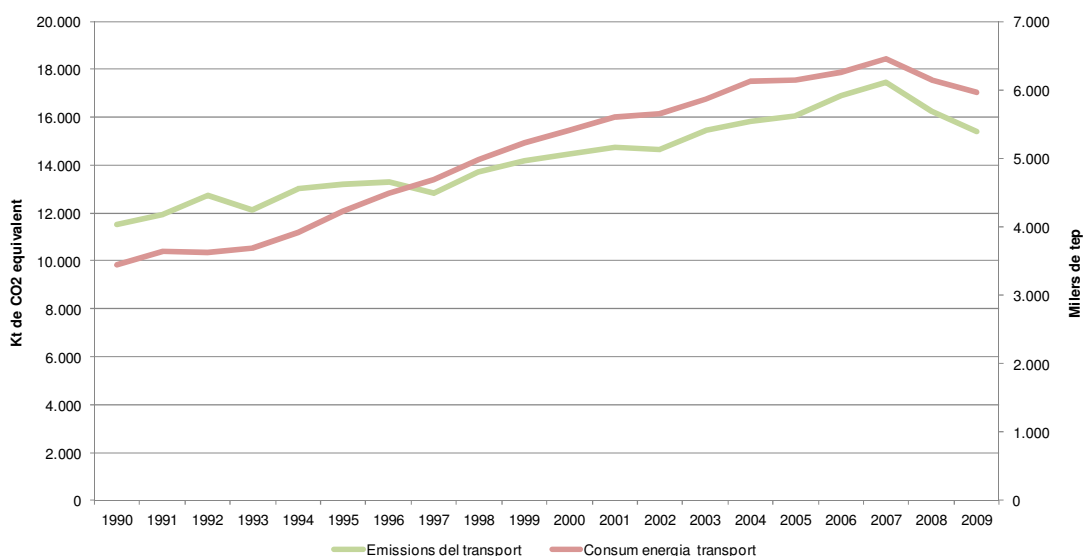
Per a evidenciar alguns d'aquests aspectes particulars, els següents apartats mostren els factors més rellevants en les emissions dels principals sectors difusos, tenint en compte l'evolució econòmica i social.

3.1.2. Transport

3.1.2.1. Emissions i consum d'energia

Analitzant el sector transport de manera diferenciada, s'observa com les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle del sector han augmentat menys que el consum final d'energia, el que implica que les emissions per unitat d'energia consumida ha anat decreixent al llarg del període.

Gràfic 12. Evolució de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i el consum final d'energia al sector del transport a Catalunya, 1990-2009

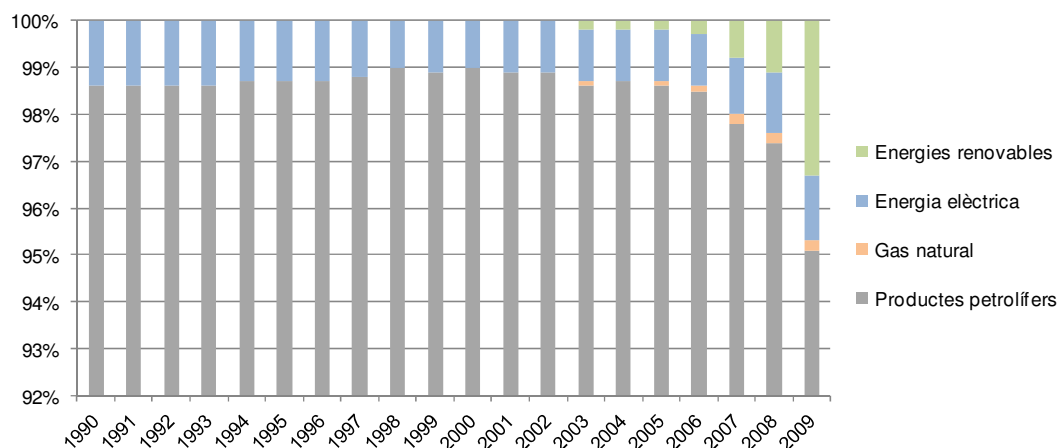


Font: elaboració pròpia a partir dels balanços energètics (ICAEN) i informació sobre les emissions sectorials de l'OCCC.

El coeficient de correlació de Pearson entre el consum d'energia en el transport i les emissions del transport a Catalunya és de 0,96, pel que existeix una relació molt directa entre el consum i les emissions totals en el sector del transport. El Gràfic 12 mostra com la principal font energètica ha estat i encara són els productes petrolífers. S'observa però, com fonts energètiques renovables han anat entrant paulatinament els últims anys, el que ha suposat un desacoblament paulatí entre el consum final d'energia i les emissions associades. Tot i així, aquestes fonts encara suposen una proporció molt baixa del consum en el sector,

essent predominant el petroli (95,2% l'any 2009). Les millores tecnològiques que han permès la introducció de noves formes energètiques també explicarien part de les diferències lineals entre les dues variables.

Gràfic 13. Evolució de la proporció de fonts energètiques utilitzades en el sector del transport a Catalunya, 1990-2009

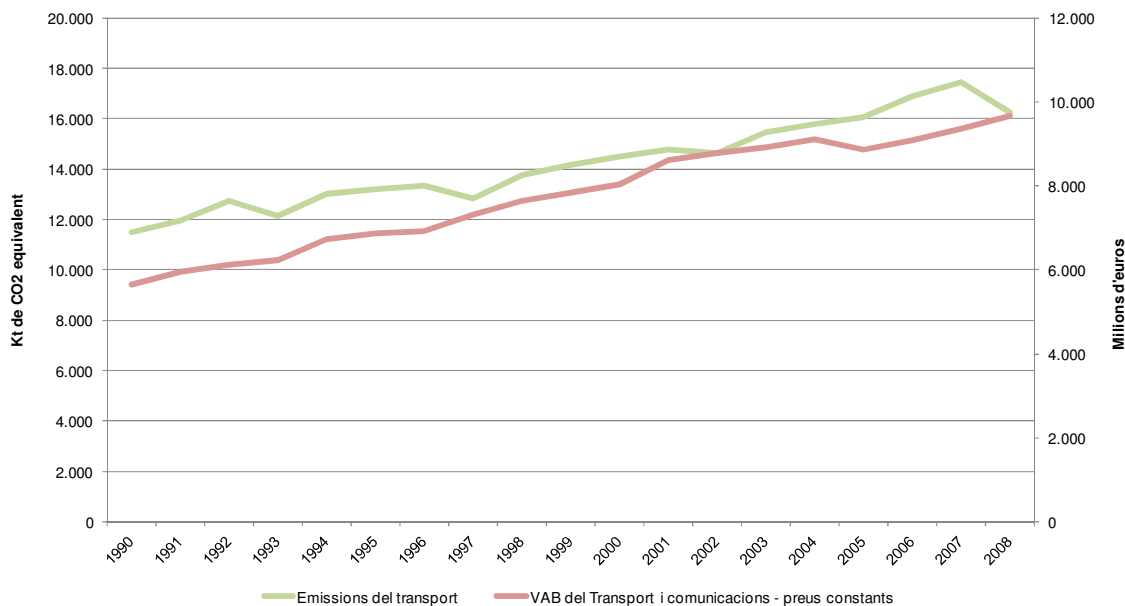


Font: elaboració pròpia a partir dels balanços energètics (ICAEN).

3.1.2.2. Emissions i VAB

De la mateixa manera que amb altres sectors de l'economia, existeix una relació entre el creixement econòmic del sector transport i les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a l'atmosfera. El Gràfic 14 mostra l'evolució de les dues variables a Catalunya.

Gràfic 14. Evolució de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i el VAB al sector del transport a Catalunya en preus constants del 2000, 1990-2008



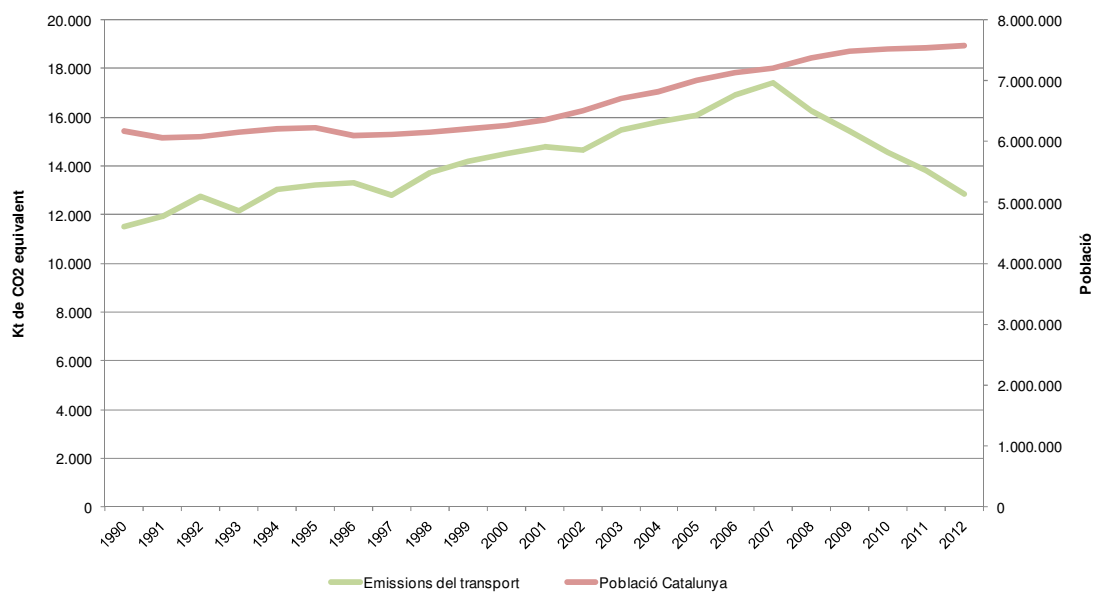
Font: elaboració pròpia a partir de dades macroeconòmiques de l'Idescat i informació sobre les emissions sectorials de l'OCCC.

S'observa com el creixement de les emissions al sector ha anat de la mà del creixement econòmic, tot i que el VAB ha crescut més durant tot el període que el que ho han fet les emissions. Entre les dues variables s'observa una correlació de 0,95. Cal tenir en compte, però, que la sèrie corresponent al VAB també inclou les comunicacions, que amb les dades disponibles no s'ha pogut desagregar.

3.1.2.3. Emissions i població

En aquest subapartat s'ha analitzat la relació entre les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle al transport i la població. El Gràfic 15 mostra la relació entre aquestes dues variables.

Gràfic 15. Evolució de les emissions del transport i la població a Catalunya, 1990-2012



Font: elaboració pròpia a partir de dades de població de l'Idescat i informació sobre les emissions sectorials de l'OCCC.

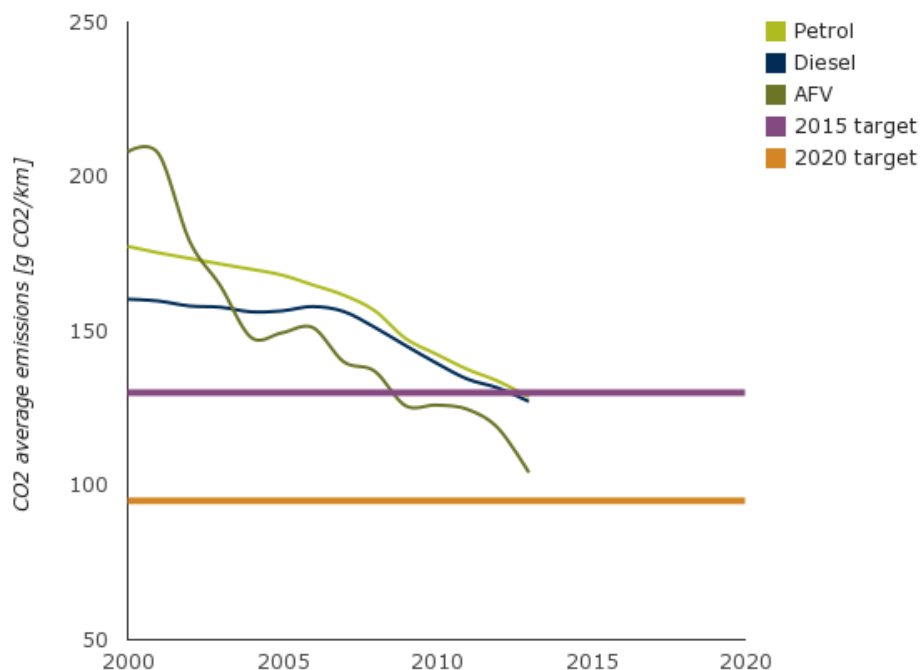
Fins l'any 2007 hi ha una relació clara entre les emissions i la població. S'observa com a partir de 2008 però, les emissions cauen mentre que la població segueix creixent amb menor mesura. Això pot ser degut a que els efectes de la crisi sobre la població (menor immigració i natalitat, i major emigració) poden veure's amb retard.

3.1.2.4. Emissions i altres factors rellevants

El sector del transport, a diferència d'altres, està fortament relacionat amb el consum final d'energia i, per tant, amb les fonts energètiques utilitzades. Hi ha però determinats factors de millora d'eficiència en l'ús de l'energia que fan que, recorrent els mateixos quilòmetres es faci un consum menor d'energia, pel que també s'emeten menys emissions de gasos amb efecte d'hivernacle.

Aquests factors són, des de la tecnologia utilitzada en diferents components del vehicle (motor, neumàtics, atributs i característiques, etc.) fins aspectes relacionats amb la gestió de la mobilitat (xarxa de transport públic, capacitat d'absorció de vehicles, congestió, etc.) i amb les infraestructures (infraestructures viàries, tipus d'asfalt utilitzat, etc.).

Gràfic 16. Emissions mitjanes per quilòmetre recorregut



Font: Agència ambiental europea.

Més enllà de factors com el creixement econòmic o el consum de combustible, aquests factors relacionats amb l'eficiència energètica del servei energètic, afecten de manera rellevant les emissions de gasos per quilòmetre recorregut.

3.1.3. Sector industrial

3.1.3.1. Emissions i consum d'energia

El Gràfic 17 mostra l'evolució de les emissions difuses del sector industrial amb el consum d'energia total de la indústria a Catalunya. Tanmateix, no es disposa de dades diferenciades de consum d'energia per al sector industrial dels difusos, fet que suposa una limitació important per aquesta anàlisi.

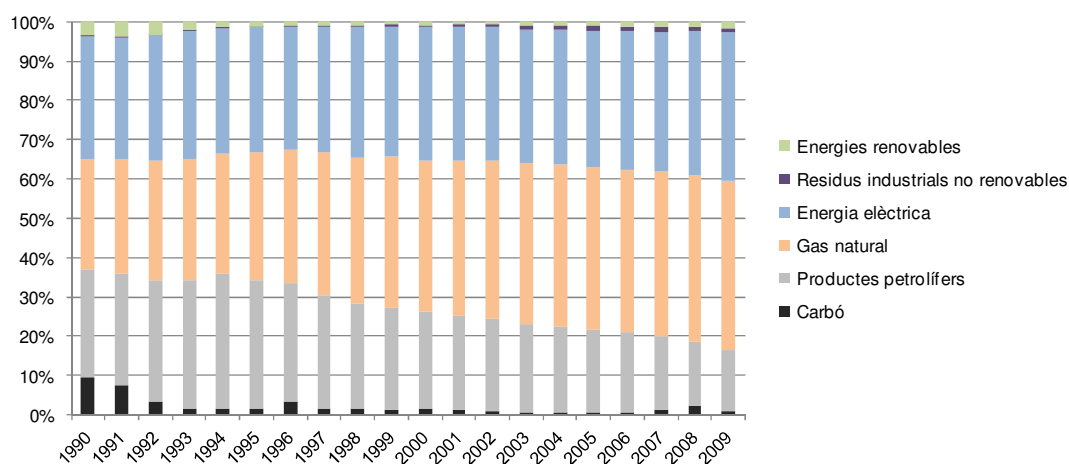
Gràfic 17. Evolució de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle als difusos industrials i del consum d'energia a tot el sector de la indústria a Catalunya, 1990-2009



Font: elaboració pròpia a partir dels balanços energètics (ICAEN) i informació sobre les emissions sectorials de l'OCCC.

No es pot identificar una relació clara entre les dues variables. Entre d'altres causes, pel fet que el consum d'energia es refereix a tota la indústria, mentre les emissions són només les difuses, però també pel fet que hi ha altres factors que afecten aquestes emissions, singularment els factors tecnològics. A partir de l'any 2000 les emissions presenten un tendència clarament decreixent.

Gràfic 18. Evolució de la proporció de fonts energètiques utilitzades en el sector del industrial a Catalunya, 1990-2009



Font: elaboració pròpia a partir dels balanços energètics (ICAEN).

3.1.3.2. Emissions i VAB

A continuació, s'analitzen les emissions dels difusos de la indústria en relació amb el VAB de tota la indústria a Catalunya. Malgrat l'interès de constatar ambdues evolucions, com en el subapartat anterior no es poden extreure conclusions, atès que les emissions són dels difusos mentre que el VAB és el de tot el sector industrial.

Gràfic 19. Evolució de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i el VAB de la indústria a Catalunya en preus constants del 2000, 1990-2010



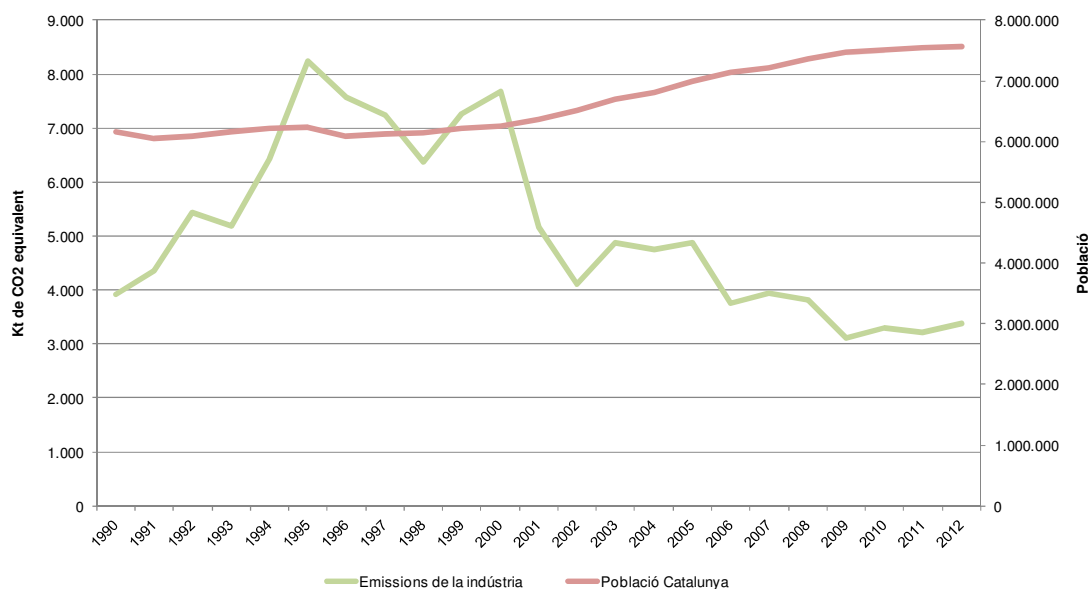
Font: elaboració pròpia a partir de dades macroeconòmiques de l'Idescat i informació sobre les emissions sectorials de l'OCCC.

El VAB de tota la indústria a Catalunya ha seguit una tendència creixent fins l'any 2008 d'inici de la crisi econòmica. Les emissions dels difusos, tanmateix, han tingut una tendència irregular però creixent fins l'any 2000 en el qual iniciaren una tendència decreixent. El coeficient de correlació de les dues variables és de 0,22, però cal tenir en compte que caldria una anàlisi del VAB de les indústries que no estan regulades per la Directiva, cosa que no ha estat possible ja que no es disposa de les dades desagregades.

3.1.3.3. Emissions i població

A continuació, el Gràfic 20 mostra la relació entre les emissions a la indústria dels difusos i la població.

Gràfic 20. Evolució de les emissions de la indústria difusa i la població a Catalunya, 1990-2012



Font: elaboració pròpia a partir de dades de població de l'Idescat i informació sobre les emissions sectorials de l'OCCC.

De la mateixa manera que amb la resta de variables analitzades no s'observa una relació clara entre les dues variables. En aquest cas, la correlació entre les dues variables és de 0,35.

3.1.3.4. Emissions i altres factors rellevants

L'anàlisi bivariant entre les emissions de la indústria difusa i els diferents factors de Kaya suggereix que hi ha altres factors més enllà del consum d'energia, el VAB i la població que expliquen l'evolució de les emissions de la indústria difusa a Catalunya.

Cal tenir en compte, però, que no es disposa de dades específiques del consum d'energia i del VAB de la indústria difusa, pel que s'han comparat les emissions amb el VAB i el consum d'energia de tota la indústria a Catalunya.

3.1.4. Sector agrícola i ramader

3.1.4.1. Emissions i consum d'energia

L'anàlisi de les relacions entre el consum d'energia i les emissions del sector agrícola i ramader presenta dues tendències durant el període d'anàlisi. Per una banda, s'observa una elevada correlació entre les dues variables durant el període 1990-1999 (amb un valor de 0,93), per altra, s'observa una correlació

molt menor durant el període 2000-2009 (un valor de 0,64). Durant aquest segon subperíode les emissions per unitat d'energia consumida s'han reduït dràsticament. La correlació global entre les dues variables durant tot el període és de 0,72, però l'anàlisi diferenciada d'aquests dos subperíodes permet identificar determinats factors que han tingut un paper destacat en la reducció de les emissions durant el període 2000-2009.

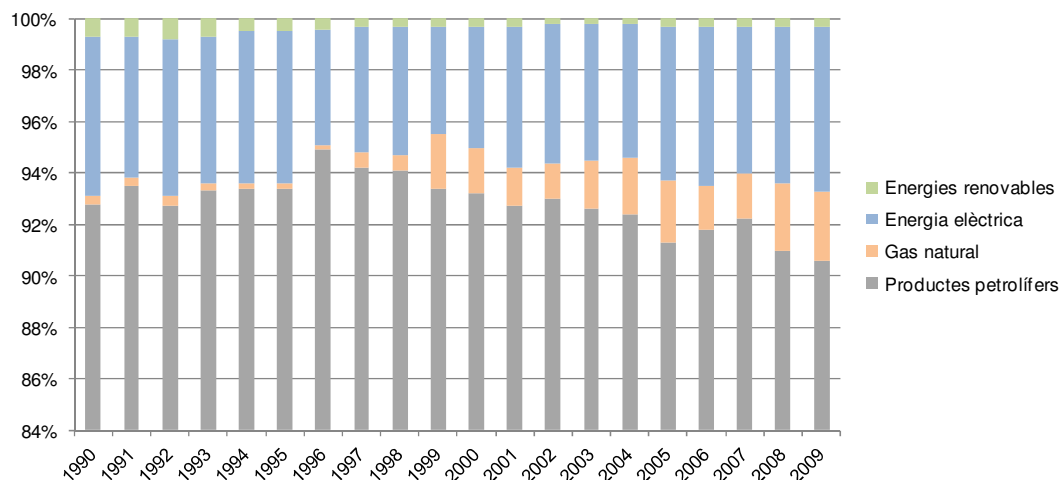
Gràfic 21. Evolució de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i el consum d'energia al sector de l'agricultura i la ramaderia a Catalunya, 1990-2009



Font: elaboració pròpia a partir dels balanços energètics (ICAEN) i informació sobre les emissions sectorials de l'OCCC.

L'evolució de la composició de les fonts energètiques utilitzades pel sector (Gràfic 22), sobretot amb la progressiva introducció del gas natural a partir de 1999, pot haver jugat cert paper a l'hora de determinar la reducció d'aquestes emissions i les diferències en els patrons.

Gràfic 22. Evolució de la proporció de fonts energètiques utilitzades en el sector del agrícola i ramader a Catalunya, 1990-2009



Font: elaboració pròpia a partir dels balanços energètics (ICAEN).

3.1.4.2. Emissions i VAB

A continuació, es mostra l'evolució de les emissions de l'agricultura i la ramaderia en relació amb l'evolució del VAB al sector:

Gràfic 23. Evolució de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i el VAB de l'agricultura i la ramaderia a Catalunya, 1990-2010



Font: elaboració pròpia a partir de dades macroeconòmiques de l'Idescat i informació sobre les emissions sectorials de l'OCCC.

S'observa com la relació entre les dues variables no és clara. De fet, el coeficient de correlació entre ambdues és de 0,28, un valor força baix, el que indicaria

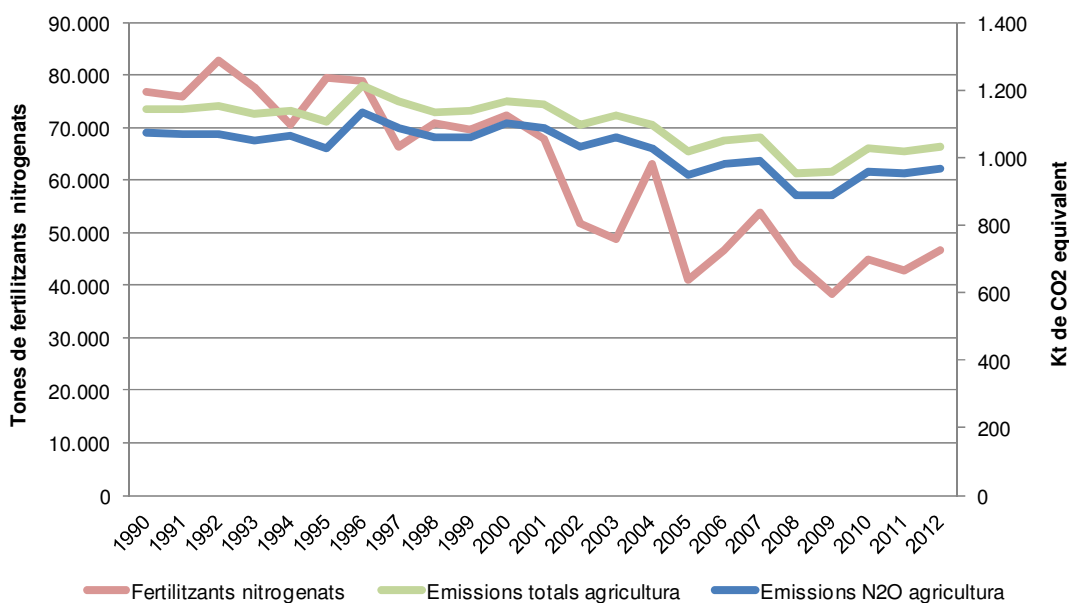
l'existència d'altres factors en l'explicació de les emissions en l'agricultura i la ramaderia, tot i que el creixement econòmic també podria tenir la seva importància.

3.1.4.3. Emissions i altres factors rellevants

Cal tenir en compte que, en major mesura que en altres sectors, com ara el transport, les emissions d'aquest sector depenen en major mesura d'altres factors, més enllà del consum d'energia. En aquest sentit cal diferenciar els dos subsectors: l'agrícola i el ramader. En el primer juguen un paper clau el consum de fertilitzants, mentre que en les emissions del segon el factor clau en les emissions seria la gestió dels purins.

El Gràfic 24 i el Gràfic 25 mostren, respectivament, la relació entre l'evolució de les emissions a l'agricultura i el consum de fertilitzants, i la relació entre l'evolució de les emissions a la ramaderia i l'evolució dels caps de bestiar boví i porcí a Catalunya. A aquests dos factors (fertilitzants i caps de bestiar) se'ls ha atribuït gran part de la responsabilitat de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle en aquests dos subsectors de l'economia. Els fertilitzants són emissors de N_2O i el bestiar de CH_4 .

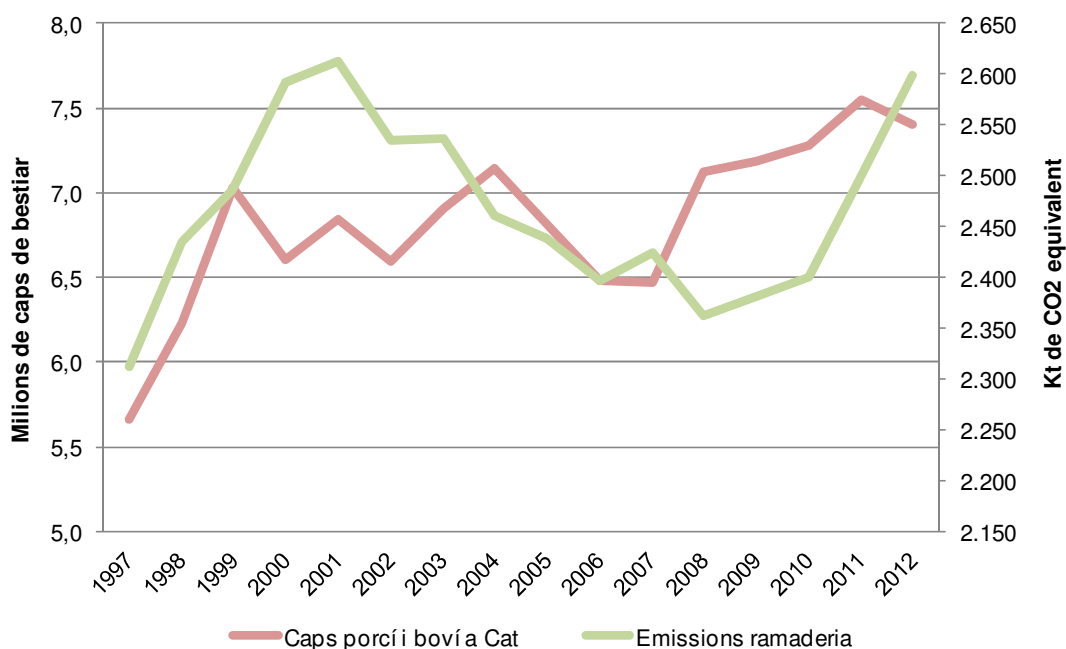
Gràfic 24. Evolució de les emissions totals de gasos amb efecte d'hivernacle a l'agricultura, de les emissions de N_2O a l'agricultura i de l'ús de fertilitzants nitrogenats a Catalunya, 1990-2012



Font: elaboració pròpia a partir de les estadístiques del Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural i informació sobre les emissions sectorials de l'OCCC.

El consum de fertilitzants nitrogenats presenta un coeficient de correlació de 0,85 amb les emissions totals i de 0,83 amb les emissions de N₂O, un valor força elevat en ambdós casos. Cal tenir en compte però que l'ús de fertilitzants presenta un decreixement més pronunciat que les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (totals i de N₂O).

Gràfic 25. Evolució de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a la ramaderia i caps de porcí i boví a Catalunya, 1997-2012



Font: elaboració pròpia a partir de les estadístiques del Departament d'Agricultura, Ramaderia, Pesca, Alimentació i Medi Natural i informació sobre les emissions sectorials de l'OCCC.

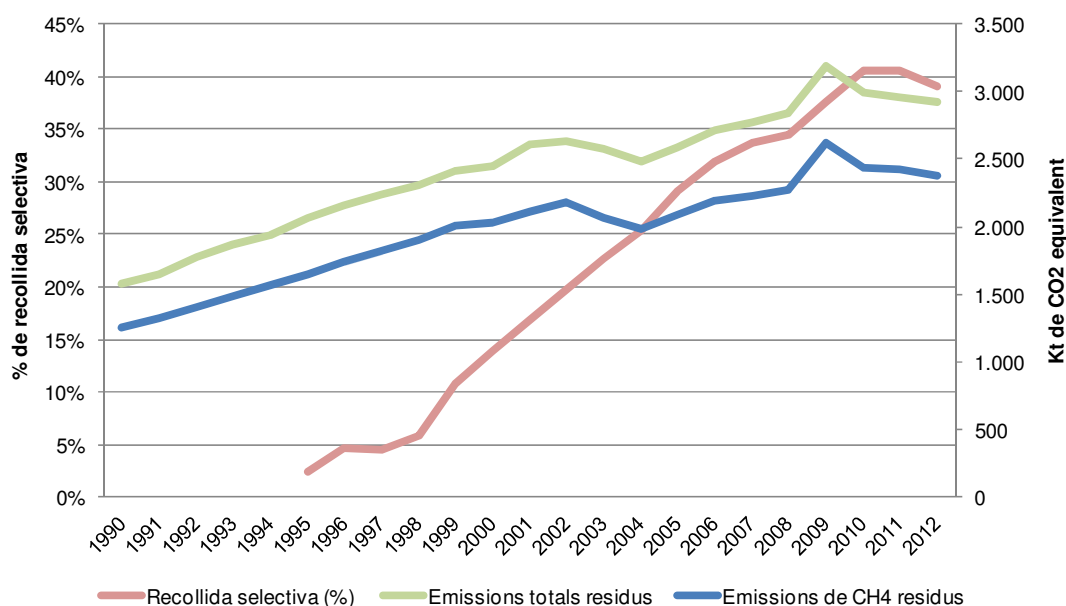
Pel que fa l'evolució dels caps de bestiar s'observa com no sembla que presenti gaire relació amb l'evolució de les emissions a la ramaderia. De fet, el coeficient de correlació és força baix, de 0,33. La major part de les emissions provenen de la fermentació entèrica de les vaques, que emet quantitats importants de CH₄.

3.1.5. Tractament i eliminació de residus

El sector de la gestió dels residus presenta certes especificitats pel que fa a l'evolució de les emissions. A diferència d'altres sectors, les emissions dels quals depenen en gran mesura del consum d'energia, en aquest sector depenen principalment de la gestió que es faci dels mateixos. Principalment la gestió que es faci de la FORM i d'altres materials biodegradables afecta les emissions de CH₄, que és el gas que afecta més amb diferència. El Gràfic 26 mostra l'evolució de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle derivats del tractament i

eliminació dels residus a Catalunya i l'evolució del percentatge de recollida selectiva a Catalunya. Les dades sobre percentatge de recollida selectiva s'han considerat des de 1995, ja que la recollida selectiva de FORM als municipis va començar a implantar-se l'any 1996.

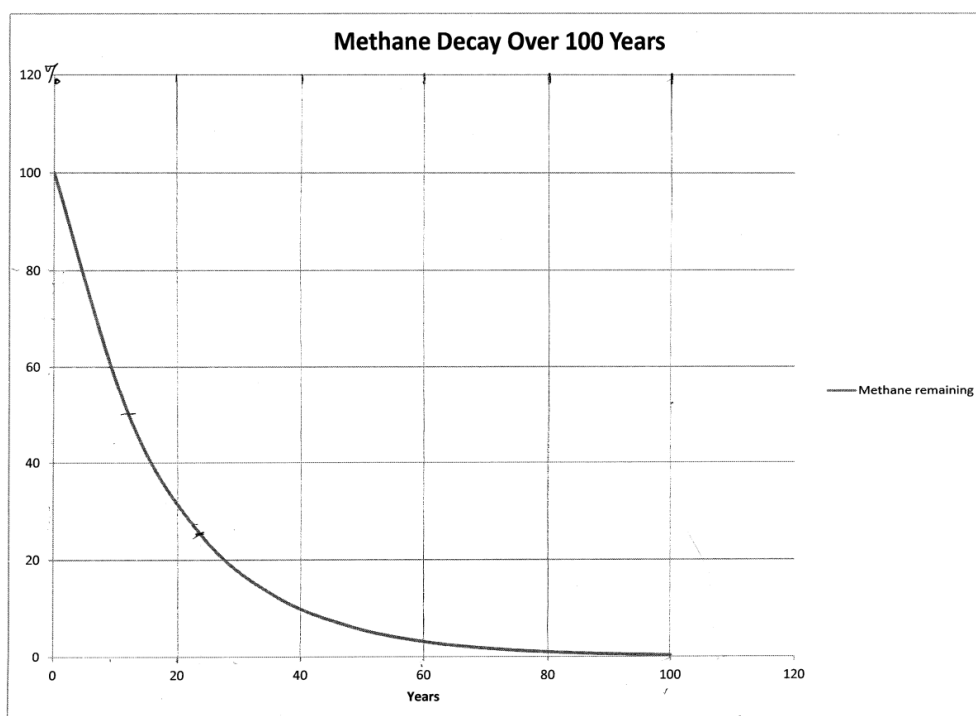
Gràfic 26. Evolució del total de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i de les emissions de CH4 en el tractament i eliminació de residus, i percentatge de recollida selectiva a Catalunya, 1997-2012



Font: elaboració pròpia a partir de les estadístiques l'Agència de Residus de Catalunya (ARC) i d'informació sobre les emissions sectorials de l'OCCC.

S'observa com el percentatge de recollida selectiva té un creixement important durant el període 1998-2012, en canvi, les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle també són creixents i no s'estabilitzen fins l'any 2001 i comencen a declinar a partir de 2009. Les emissions de CH4 en el tractament i eliminació de residus segueixen una tendència similar. Això pot ser degut a que els residus orgànics que entren a l'abocador emeten residus durant força anys (es pot assumir que en els primers 30 s'emeten la gran majoria), de manera que els resultats de la recollida selectiva en termes de reducció de les emissions de CH4 dels abocadors no s'aprecien fins al cap de força temps. En tot cas, a partir de la crisi econòmica cauen tant les emissions de gasos com el percentatge de recollida selectiva a Catalunya.

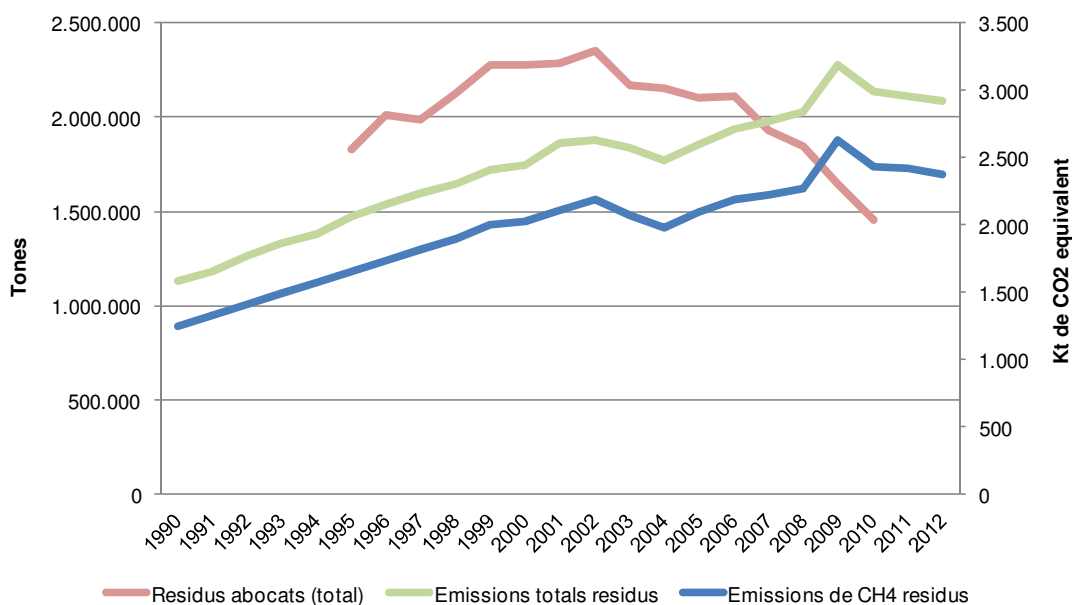
Gràfic 27. Decaïment del metà en abocadors al llarg de 100 anys



Font: Carbonlessair: <https://carbonlessair.wordpress.com/>

D'altra banda, caldria disposar de dades sobre el VAB del sector dels residus per constatar l'efecte crisi que hi hagi pogut haver, però no s'han trobat.

Gràfic 28. Evolució del total de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i de les emissions de CH4 en el tractament i eliminació de residus, i residus abocats a Catalunya, 1997-2012



Font: elaboració pròpia a partir de les estadístiques l'Agència de Residus de Catalunya (ARC) i d'informació sobre les emissions sectorials de l'OCCC.

El gràfic anterior mostra com els residus abocats van créixer fins l'any 2002, a partir del qual s'inicià una tendència decreixent. En aquell mateix any s'observa com les emissions s'estabilitzen, tot i que l'any 2005 continuen creixent fins l'any 2009, que comencen a decreixer, coincidint amb la crisi econòmica i possiblement amb l'inici de la reducció d'emissions de metà dels abocadors.

3.2. DESCOMPOSICIÓ DEL FACTORS DE LA IDENTITAT DE KAYA PER A CATALUNYA EN RELACIÓ AMB LES EMISSIONS DIFUSES

Com s'ha vist en l'apartat anterior, hi ha multitud de factors que expliquen les emissions difuses de gasos amb efecte d'hivernacle, corresponents a les activitats excloses de la Directiva 2003/87/CE del Parlament Europeu i del Consell, de 13 d'octubre de 2003, per la qual s'estableix un règim per al comerç de drets d'emissió de gasos amb efecte d'hivernacle en la Comunitat i per la qual es modifica la Directiva 96/61/CE del Consell. Factors com el desenvolupament econòmic, l'estructura demogràfica, el canvi tecnològic, les dotacions de recursos, les estructures institucionals, els models de transport, els estils de vida, el comerç internacional, etc. acaben afectant les emissions de l'economia.

Com s'ha vist en l'apartat 1 d'anàlisi de la literatura dels drivers, hi ha factors que a nivell empíric agregat s'ha vist que evolucionen conjuntament amb les emissions. La identitat de Kaya és una eina analítica que ha estat força utilitzada per a indagar en les principals forces motrius causants del comportament contaminant mencionat. Partint d'aquest marc teòric de la identitat de Kaya (Kaya, 1990), a continuació es farà una anàlisi de descomposició de les emissions difuses amb l'objectiu d'indagar en la participació relativa d'alguns factors en l'evolució d'aquestes emissions a Catalunya.

A tal efecte, s'ha fet una adaptació de l'equació original, que originàriament contempla les emissions de CO₂. Aquesta adaptació s'ha fet en base a la consideració que, de la mateixa manera que la intensitat del carboni, la intensitat energètica, el PIB per càpita i la població afecten les emissions de CO₂ equivalents totals, aquests també afecten les emissions totals dels difusos, sempre que se substitueixi la intensitat del carboni per la intensitat de les emissions totals de GHG en els difusos.

$$Emissions\ de\ GHG_d = \frac{GHG_d}{Energia} \times \frac{Energia}{PIB} \times \frac{PIB}{Població} \times Població \quad (6)$$

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

Tot i que es podria considerar que la resta de variables a la dreta de l'equació haurien de ser específiques per als sectors difusos, cal tenir en compte que l'evolució de les macromagnituds per a tota l'economia té també un efecte associat a les emissions dels sectors difusos, i que és aquest efecte el que interessa obtenir per a veure com evolucionarien les emissions dels difusos al canviar determinades macromagnituds a Catalunya (p.e. com evolucionarien les emissions dels difusos en evolucionar l'economia en conjunt).

Un dels inconvenients de realitzar una descomposició de factors en la identitat és que pot succeir –i de fet succeeix– que els diferents factors no siguin independents, ja que països amb major benestar econòmic desenvolupen i implementen tecnologies més eficients, atrauen immigració, etc.

La Taula 4. mostra la descomposició de les emissions difuses de cada any en funció dels quatre factors de la identitat de Kaya. Cal tenir en compte que el consum d'energia primària i el PIB és el de tota l'economia, ja que no es disposava de dades específiques per als sectors responsables de les emissions difuses.

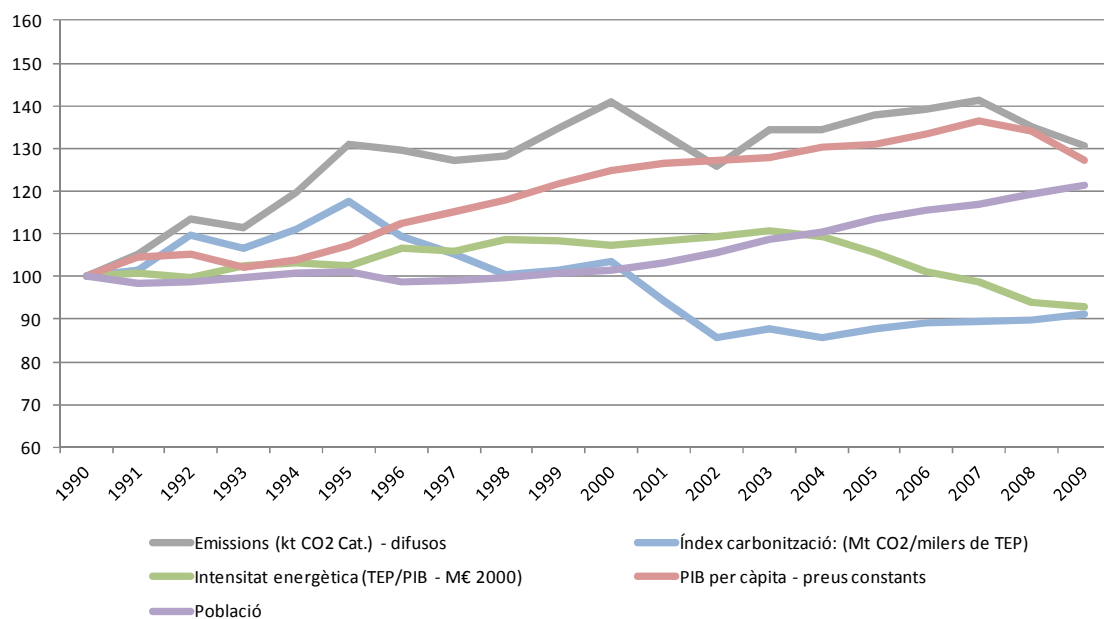
Taula 5. Anàlisi de descomposició dels factors de Kaya de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle per als difusos a Catalunya, 1990-2009

Any	Índex carbonització (Mt CO2 equivalent/TEP)	Intensitat energètica (TEP/PIB - M€)	PIB per càpita (milions d'euros)	Població
1990	0,0015	0,2572	0,0107	6.165.632
1991	0,0016	0,2441	0,0119	6.059.494
1992	0,0017	0,2262	0,0128	6.082.030
1993	0,0016	0,2227	0,0129	6.158.677
1994	0,0017	0,2153	0,0137	6.208.581
1995	0,0018	0,2039	0,0149	6.226.869
1996	0,0017	0,2042	0,0161	6.090.040
1997	0,0016	0,1971	0,0170	6.118.825
1998	0,0015	0,1974	0,0178	6.147.610
1999	0,0016	0,1920	0,0189	6.208.817
2000	0,0016	0,1828	0,0202	6.261.999
2001	0,0015	0,1770	0,0213	6.361.365
2002	0,0013	0,1721	0,0222	6.506.440
2003	0,0013	0,1677	0,0232	6.704.146
2004	0,0013	0,1585	0,0247	6.813.319
2005	0,0014	0,1472	0,0258	6.995.206
2006	0,0014	0,1349	0,0275	7.134.697
2007	0,0014	0,1277	0,0291	7.210.508
2008	0,0014	0,1187	0,0292	7.364.078
2009	0,0014	0,1172	0,0277	7.475.420

Font: elaboració pròpia.

A continuació, el Gràfic 29 mostra l'evolució dels diferents factors de Kaya de les emissions difuses, utilitzant un índex en base 1990=100, és a dir, establint l'any 1990 com a any base de referència, i fent que la resta d'anys mostrin l'evolució en relació a aquest any.

Gràfic 29. Evolució dels diferents factors de Kaya per a les emissions dels difusos a Catalunya, base 1990=100

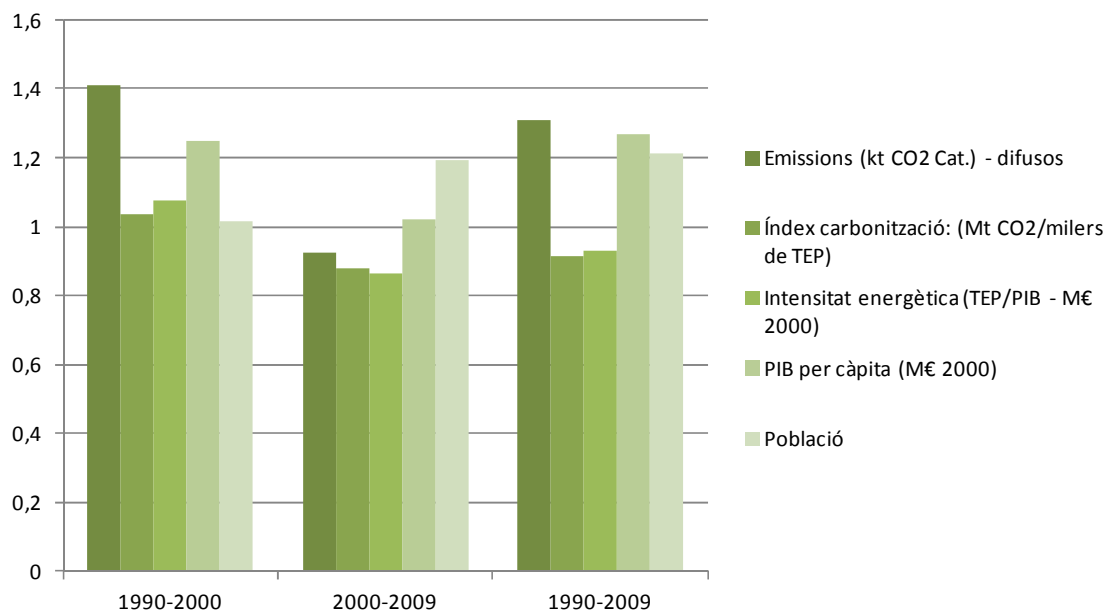


Font: elaboració pròpia.

S'observa com durant el període analitzat, considerant els diferents factors de Kaya, el que ha tingut més rellevància ha estat l'evolució del PIB per càpita. El creixement d'aquest s'ha vist compensat per una reducció de l'índex de carbonització –que considera implícitament certs canvis en les fonts energètiques utilitzades–, però sobretot per una reducció constant de la intensitat energètica, és a dir, l'energia primària necessària per a produir una unitat monetària de PIB –relacionat amb l'eficiència energètica i altres factors analitzats–.

El Gràfic 30 mostra l'evolució dels diferents factors per tres grans períodes: 1990-2000, 2000-2009 i 1990-2009.

Gràfic 31. Evolució dels diferents factors de Kaya per a les emissions dels difusos a Catalunya per tres grans períodes: 1990-2000, 2000-2009 i 1990-2009.



Font: elaboració pròpia.

Analitzant els factors per tres grans períodes s'observa com en el primer període tots els factors creixen, però és el PIB per càpita el que creix més, mentre que en el segon període tots els factors decreixen menys el PIB per càpita i la població, sent la població el que creix més. Per al global del període (1990-2009), s'observa com, tant l'índex de carbonització com la intensitat energètica decreixen. El factor que creix més és el PIB per càpita seguit per la població.

La construcció d'un índex en base permet realitzar una comparativa internacional de la importància dels diferents factors. L'Agència Internacional de l'Energia (AIE) realitza l'anàlisi dels factors de la identitat de Kaya per a gairebé tots els països i àrees econòmiques del món (per a les emissions totals i no només les difuses). La Taula 6 mostra l'evolució dels diferents factors de Kaya per diferents països i àrees econòmiques per l'any 2009, utilitzant un índex base 1990=100.

Taula 6. Anàlisi de descomposició dels factors de Kaya a diferents països i àrees econòmiques per l'any 2009. Índex 1990=100

País / Àrea Econòmica	Emissions de CO2	Índex de carbonització	Intensitat energètica	PIB per càpita	Població
Països de la UE-28					
Alemanya	77,61	86,99	69,59	124,26	103,16
Àustria	113,77	88,42	86,56	136,47	108,92
Bèlgica	93,47	79,04	84,56	129,19	108,25
Bulgària	51,70	92,49	48,32	136,98	84,46
Xipre	193,54	104,62	94,07	143,12	137,41
Croàcia	91,87	95,07	86,70	120,29	92,66
Dinamarca	92,60	87,57	78,21	125,85	107,43

Eslovàquia	58,98	75,17	47,56	161,32	102,27
Eslovènia	105,15	86,74	69,26	169,82	103,08
Espanya	137,65	97,08	87,62	137,46	117,72
Estònia	40,61	84,75	35,83	158,50	84,38
Finlàndia	101,28	86,42	83,20	131,53	107,08
França	99,10	87,58	84,79	120,37	110,87
Grècia	128,65	93,71	84,63	148,62	109,15
Hongria	60,13	72,65	67,08	129,65	95,16
Irlanda	128,83	88,52	54,18	207,49	129,46
Itàlia	98,00	87,12	94,11	112,63	106,13
Letònia	38,46	68,61	51,88	127,61	84,68
Lituània	37,54	68,79	50,05	120,74	90,29
Luxemburg	96,41	82,59	56,27	159,13	130,37
Malta	107,36	96,08	58,87	162,29	116,95
Països Baixos	113,02	94,96	77,45	138,98	110,56
Polònia	66,86	94,08	38,87	181,43	100,77
Portugal	135,30	93,78	102,53	132,30	106,37
Regne Unit	84,62	88,68	62,08	142,38	107,96
República Txeca	70,98	83,69	59,14	141,68	101,24
Romania	41,94	83,18	41,96	129,57	92,74
Suècia	79,23	82,35	67,35	131,47	108,65
Altres països					
Suïssa	101,83	91,99	86,23	111,84	114,79
Noruega	131,05	92,44	85,50	145,68	113,82
Islàndia	109,47	42,46	155,01	132,95	125,10
Japó	102,59	95,46	93,19	111,35	103,58
Austràlia	155,60	109,88	75,22	146,08	128,88
Xina	300,24	114,73	42,46	525,35	117,31
Estats Units	106,50	94,22	70,92	129,77	122,81
Àrees econòmiques					
Països no OCDE	172,70	105,22	69,70	178,44	131,97
Països OCDE	107,81	93,32	77,06	130,12	115,22
UE - 27	87,85	87,08	71,55	133,25	105,83
Món	138,01	99,20	77,95	138,79	128,60
Catalunya					
Emissions difuses	130,61	91,18	93,00	127,05	121,24

Font: Elaboració pròpia a partir de dades sobre emissions de CO₂ i descomposició de factors de Kaya de l'Agència Internacional de l'Energia.⁴

Cal tenir en compte que per a Catalunya s'han considerat les emissions difuses, mentre que la resta de països consideren les emissions de CO₂ totals. Tot i així es pot realitzar una comparativa que evidenciï certs aspectes que relacionen les emissions amb aspectes socioeconòmics.

En comparar l'evolució dels factors que afecten les emissions difuses a Catalunya amb els que afecten les emissions totals a tot el món, s'observa com les emissions globals han crescut més que les difuses a Catalunya. S'observa com hi

⁴ <http://www.iea.org/statistics/topics/co2emissions/>

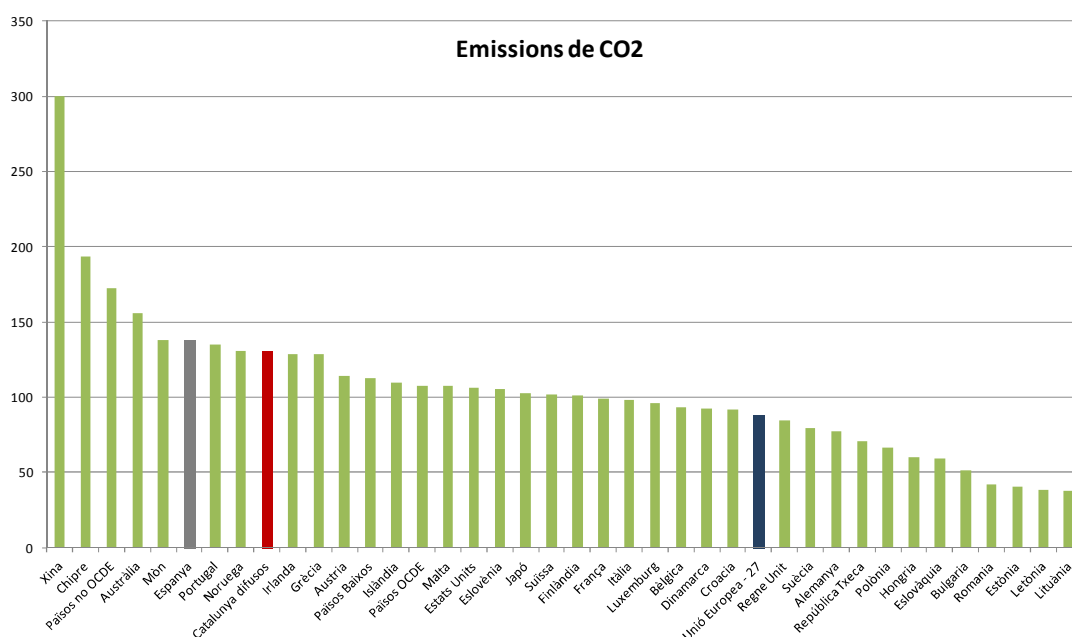
ha una important diferència entre el creixement de la intensitat energètica (major a Catalunya) i el del PIB per càpita (major al món).

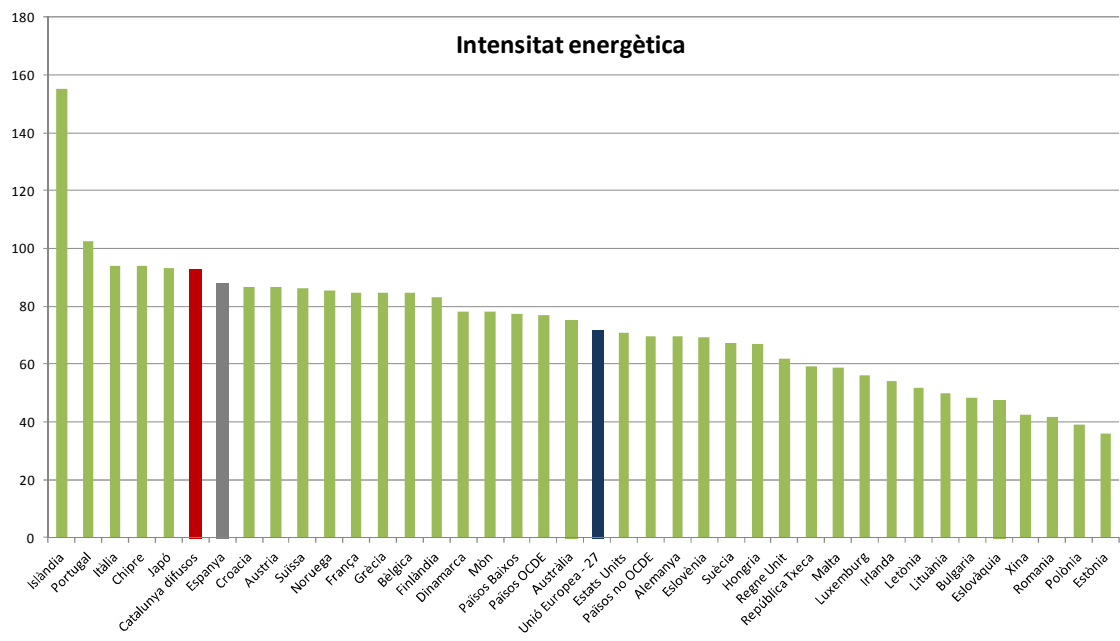
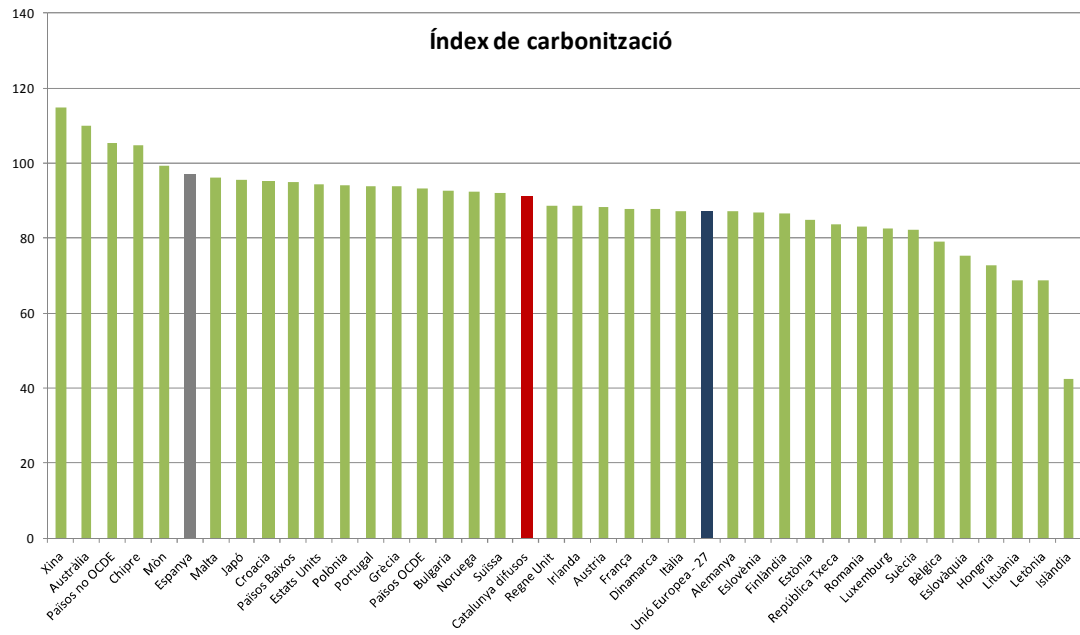
Si es compara amb les emissions totals dels països de la UE-28, s'observa com el creixement de les emissions dels difusos a Catalunya durant el període 1990-2009 ha estat molt superior. Això ha estat bàsicament degut a un decreixement menor del PIB per càpita, ja que en mitjana, l'índex de carbonització i la intensitat energètica han estat majors a Catalunya.

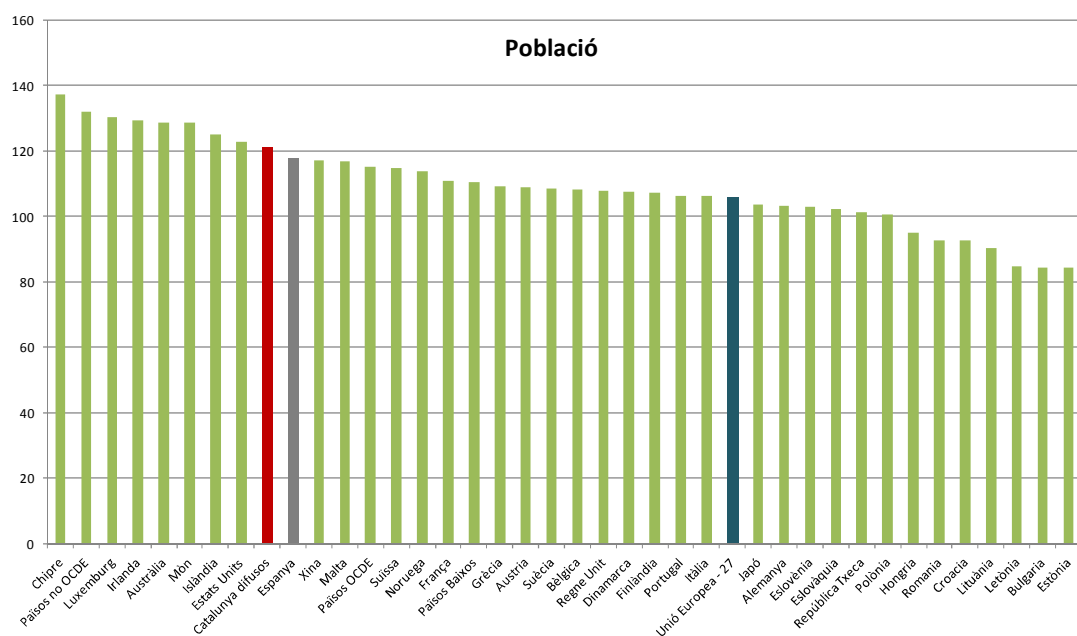
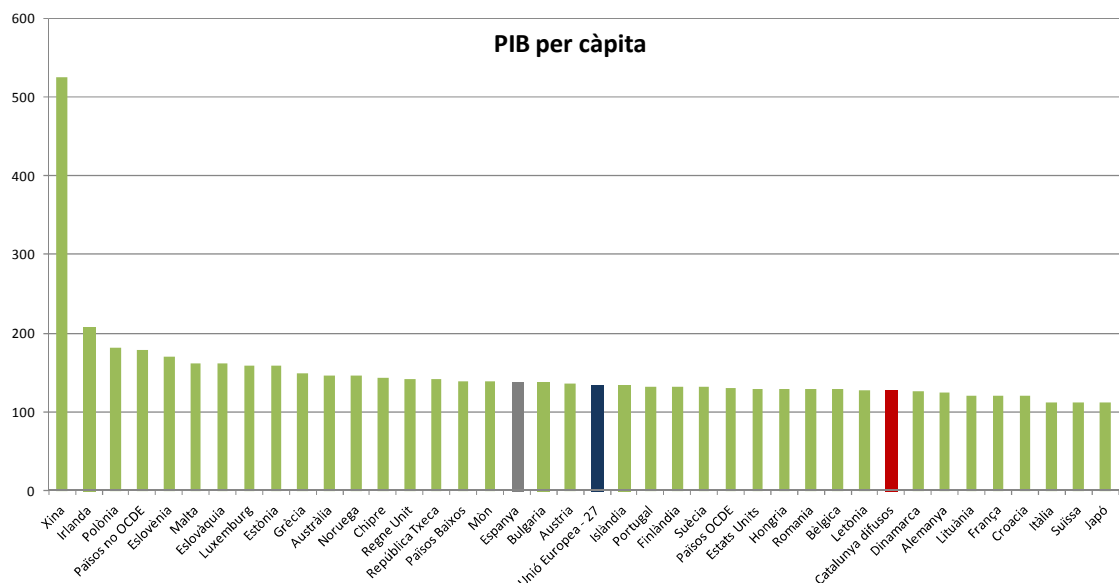
Finalment, s'observa com les emissions globals a Espanya han crescut més que les difuses a Catalunya durant el període d'anàlisi. L'índex de carbonització i el PIB per càpita han crescut més a Espanya, mentre que la intensitat energètica i la població han crescut més al considerar les emissions difuses a Catalunya.

A continuació el Gràfic 32 mostra una comparació visual de l'evolució que han seguit els factors a les emissions difuses a Catalunya amb l'evolució que han seguit a la resta del món.

Gràfic 32. Comparativa de l'evolució dels factors de Kaya de les emissions difuses a Catalunya amb els factors de les emissions totals en altres països i àrees econòmiques, 2009. Índex 1990=100







Font: Elaboració pròpia a partir de dades sobre emissions de CO2 i descomposició de factors de Kaya de l'Agència Internacional de l'Energia.

3.3. CORBA DE KUZNETS AMBIENTAL DE LES EMISSIONS DIFUSES A CATALUNYA

3.3.1. Introducció

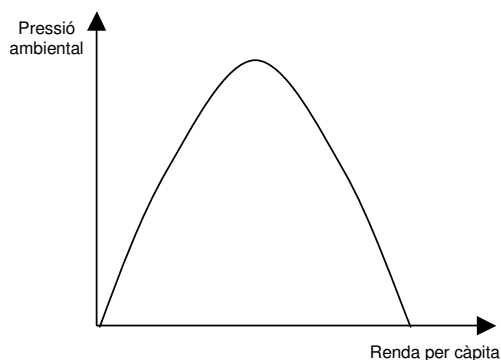
Adicionalment a l'anàlisi dels factors de Kaya, s'ha elaborat la corba de Kuznets ambiental (CKA) per les emissions difuses a Catalunya, que mostra la relació entre la pressió ambiental i la renda per càpita. Des d'alguns postulats teòrics

s'ha relació suggerit que les corbes de Kuznets adopten una forma d'U invertida, fent la hipòtesi que el creixement econòmic acaba afectant positivament el medi ambient per l'existència de diversos factors (Puig et al. 2007):

- > **Efecte composició:** la composició de l'estructura productiva varia al llarg de diferents estadis de desenvolupament econòmic, fent que en etapes inicials hi hagi un major pes de les activitats primàries i industrials (molt contaminants i extractores de recursos), mentre que en economies avançades hi ha un major pes del sector serveis (menys generador d'impacte ambiental directe).
- > **Progrés tecnològic:** a mesura que una economia assoleix majors nivells de renda per càpita inverteix en major mesura i adopta tecnologies més eficients que consumeixen una quantitat de recursos menor assolint el mateix nivell d'output.
- > **Regulacions ambientals:** en general, els països més desenvolupats tenen normatives ambientals més desenvolupades i exigents.
- > **Augment dels recursos econòmics:** a mesura que les economies incrementen els seus nivells de renda per càpita disposen de més recursos per a la cura del medi ambient.

Així, la hipòtesi considera que l'impacte ambiental és baix en estadis baixos de desenvolupament econòmic, que creix a mesura que una economia s'industrialitza i incrementa els nivells de renda real per càpita fins que arriba a un màxim, a partir del qual, un major progrés econòmic redueix l'impacte ambiental.

Gràfic 33. Representació d'una corba de Kuznets ambiental amb forma d'U invertida



Font: elaboració pròpia.

Hi ha estudis empírics que demostren l'existència de la CKA amb aquesta forma per a determinats tipus d'emissions contaminants (Grossman i Krueger, 1992; Selden i Song, 1994). Tanmateix, alguns investigadors han argumentat que la forma d'U invertida no es produeix a llarg termini, sinó que, malgrat que inicialment, a partir de determinats nivells de renda, la pressió sobre el medi es redueix, en assolir nivells de renda més elevats torna a augmentar, i adopta una forma de N.

Per a justificar la forma de N, Opschoor (1990) argumenta que un cop les millores d'eficiència en l'ús dels recursos o les oportunitats de reducció de la contaminació s'han exhaurit o es tornen massa cares, el subsegüent creixement de la renda per càpita provoca una degradació del medi. Aquest argument està relacionat amb una de les crítiques principals a la CKA: l'efecte escala, que estableix que, conforme les economies creixen, es produeixen efectes negatius sobre el medi ambient a causa del major consum de recursos i la major generació de residus i substàncies contaminants, cosa que fa que per aquesta via l'augment de la renda per càpita tingui un efecte negatiu sobre el medi ambient, independentment del nivell en què se situï.

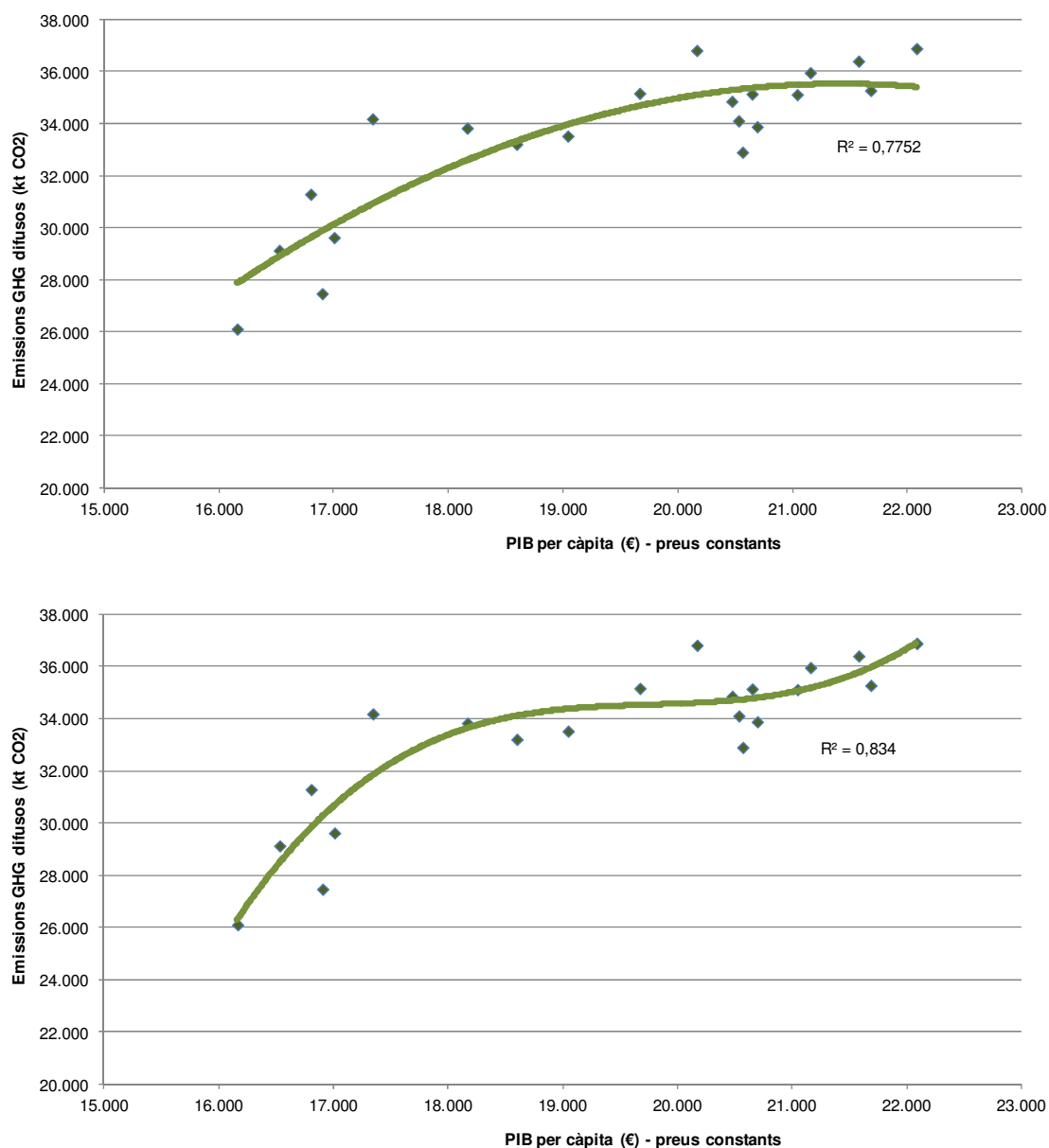
Diversos indicadors, com ara l'accés a aigua neta, la salubritat urbana i la qualitat de l'aire urbà milloren conforme augmenta la renda per càpita, mentre que altres generalment empitjoren, com ara les emissions de diòxid de carboni, el consum de la majoria de recursos o la generació de residus municipals per càpita.

Així mateix, durant el tram ascendent de la CKA es poden produir impactes que no siguin reversibles, i per tant pels quals no tingui sentit traçar un possible tram descendent.

3.3.2. Estimació de la CKA per a les emissions difuses a Catalunya

A continuació, es realitza una anàlisi de regressió que relaciona les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a les emissions difuses a Catalunya amb el PIB per càpita durant el període 1990-2010 (veure Taula 7). El Gràfic 34 mostra la relació entre les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle a les emissions difuses a Catalunya i el PIB per càpita. D'entre les corbes que uneixen els punts traçats, les que millor han ajustat els valors han estat les que es mostren, és a dir, una funció polinòmica de segon grau i una de tercer grau, que complirien respectivament les hipòtesis de forma d'U invertida (CKA) i forma d'N, respectivament.

Gràfic 34. Relació entre les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle de les emissions difuses i PIB per càpita a Catalunya, 1990-2010



Font: elaboració pròpia.

La primera corba de regressió és la que confirmaria la hipòtesi d'U invertida de Kuznets ambiental, és a dir, a mesura que augmenta el PIB per càpita a Catalunya les emissions dels difusos (GHG en kt de CO2 equivalent) augmenten fins el nivell d'aproximadament els 21.500 euros per càpita, punt a partir del qual les emissions d'aquests gasos en aquests sectors caurien.

A continuació s'ha realitzat una anàlisi de regressió que trobi de manera rigorosa la relació estadística entre les dues variables. Abans de procedir a l'anàlisi de regressió s'ha realitzat una anàlisi de l'estacionarietat de les sèries. Per a fer-ho s'ha fet un test de Dickey-Fuller augmentat, tant per a les emissions com per al PIB per càpita real (a preus constants del 2000), conclouent que les dues sèries no

són estacionàries, sinó que són integrades d'ordre 1, és a dir, tenen una arrel unitària. Posteriorment, el contrast de cointegració d'Engle i Granger (1987) ha permès avaluar si les dues variables tenen realment una relació d'equilibri a llarg termini, és a dir, si estan cointegrades. S'ha avaluat doncs, si l'anàlisi realitzat suposa una relació de cointegració o si contràriament és una relació espúria (que no té validesa estadística). Per a fer-ho s'ha fet un test de Dickey-Fuller augmentat als residus de les dues regressions, observant que els residus sí que són estacionaris.

Taula 7. Principals estadístics de l'anàlisi de regressió de la corba de Kuznets ambiental pels difusos a Catalunya. Mínims Quadrats Ordinaris

Variable	Coeficients estimats corba en U invertida (polinomi de 2n grau)*	Coeficients estimats corba en N (polinomi de 3r grau)*
(PIB/càpita) ³	-	1,65x10 ⁻⁷ (6,71x10 ⁻⁸) (**)
(PIB/càpita) ²	-0,000277 (0,000126) (**)	-0,0097 (0,0038) (**)
PIB/càpita	11,87 (4,82) (**)	193,17 (74,01) (***)
C	-91.613,64 (45.500) (*)	-1.240.258 (469.894) (**)
Període	1990-2010 (21 observacions)	1990-2010 (21 observacions)
R ²	0,775	0,834
R ² ajustat	0,751	0,804
Error estàndard de la regressió	1.503,55	1.329,55
Suma al quadrat dels residus	40.691.867	30.050.998
Durbin Watson	0,89	1,35
Estadístic F	31,04	28,47
Prob. (estadístic F)	0,0000	0,0000

Nota: Desviació estàndard entre parèntesi. (*) paràmetres significatius al 90% (**) paràmetres significatius al 95%, (***) paràmetres significatius al 99%, la resta no són significatius.

Font: elaboració pròpia amb Eviews.

La Taula 7 mostra els resultats de l'anàlisi de regressió dels paràmetres pel mètode dels Mínims Quadrats Ordinaris. La primera equació presenta un coeficient de determinació (R²) força elevat. Concretament, el PIB per càpita estaria explicant un 77% de la variabilitat de les emissions dels difusos a Catalunya (R²=0,77). El coeficient de determinació ajustat resulta menor (de 0,75), però segueix essent força elevat. Els coeficients estimats són significatius en més d'un 95% menys el terme constant que ho és en un 90% (veure Taula 7). Aquests resultats donarien validesa a l'equació i confirmarien la hipòtesi d'U invertida en la corba de Kuznets ambiental. Cal tenir en compte que el baix valor de l'estadístic de Durbin Watson (DW), allunyat del valor 2 (0,89), fa que existeixi autocorrelació, un problema que invalidaria els resultats.

Per tal de comprovar un ajustament addicional de la regressió s'ha especificat una relació funcional addicional entre les dues variables seguint la hipòtesi d'N

amb tendència explosiva a llarg termini. El segon gràfic (Gràfic 34) mostra com una funció polinòmica de tercer grau podria assolir un major ajustament. En aquest cas la funció mostra com les emissions creixerien fins gairebé els 19.000 euros per càpita (a preus del 2000), després s'estabilitzarien i, a partir d'aproximadament els 20.000 euros per càpita (a preus del 2000) tornarien a créixer. En aquest cas, l'ajustament és més elevat, amb un coeficient de determinació (R^2) de 0,83, el que mostra com el PIB per càpita estaria explicant el 83% de la variabilitat de les emissions dels difusos. El coeficient de determinació ajustat (de 0,80), també és elevat. Els coeficients segueixen sent significatius en un 95% o 99%. En aquest cas també cal tenir en compte que el baix valor de l'estadístic de Durbin Watson (DW), allunyat del valor 2 (1,35), fa que existeixi autocorrelació, un problema que invalidaria els resultats.

S'han realitzat altres tests per a contrastar la validesa de les hipòtesis del model mínims quadrats ordinaris, i per tant, la validesa del model estimat (esfericitat del terme de pertorbació: normalitat, homoscedasticitat i absència d'autocorrelació dels residus). Per a avaluar la normalitat dels residus s'ha realitzat un test de Jarque-Bera, arribant a la conclusió que en els dos models estimats els residus segueixen una distribució normal. Per a avaluar l'heteroscedasticitat s'ha fet un test de Breusch-Pagan-Godfrey, arribant a la conclusió que no hi ha problemes en aquest sentit. Per a avaluar l'autocorrelació, tant el valor de l'estadístic Durbin Watson (que com s'ha indicat hauria de ser al voltant de 2) com l'anàlisi dels correlogrames i el test de màxima versemblança de Breusch-Godfrey, corroboren que hi ha problemes d'autocorrelació dels residus en els dos models. Això podria ser degut a l'omissió de variables explicatives rellevants en el model i invalidaria les conclusions quant als paràmetres estimats.

Per a solucionar aquest problema d'autocorrelació s'ha afegit dinàmica als dos models, introduint l'endògena retardada en l'especificació del mateix. En el cas de la corba en forma d'N s'han afegit dos retards perquè afegint-ne un encara persistien els problemes d'autocorrelació. Els resultats d'aquestes estimacions pel mètode dels Mínims Quadrats Ordinaris són els que es mostren a la Taula 8.

Taula 8. Principals estadístics de l'anàlisi de regressió de la corba de Kuznets ambiental pels difusos a Catalunya amb correcció d'autocorrelació. Mínims Quadrats Ordinaris

Variable	Coefficients estimats corba en U invertida (polinomi de 2n grau)	Coefficients estimats corba en N (polinomi de 3r grau)
(PIB/càpita) ³	-	1,20x10 ⁻⁷ (7,48x10 ⁻⁸)
(PIB/càpita) ²	-2,39x10 ⁻⁰⁵ (8,77x10 ⁻⁰⁵) (**)	-0,0072 (0,0043)
PIB/càpita	1,246 (0,418) (***)	142,46 (84,44)
GHG ₋₁	0,55 (0,19) (***)	0,35 (0,26)
GHG ₋₂	-	-0,34 (0,23)
C	-	-913.061 (541.025)
Període	1991-2010 (20 observacions)	1992-2010 (19 observacions)
R ²	0,79	0,80
R ² ajustat	0,77	0,73
Error estàndard de la regressió	1.242,94	1.122,54
Suma al quadrat dels residus	26.263.406	16.381.136
Durbin Watson	1,74	1,76
Estadístic F	-	10,78
Prob. (estadístic F)	-	0,000

Nota: Desviació estàndard entre parèntesi. (*) paràmetres significatius al 90% (**) paràmetres significatius al 95%, (***) paràmetres significatius al 99%, la resta no són significatius.

Font: elaboració pròpia amb Eviews.

Aquests models sí que compleixen tots els criteris d'esfericitat del terme de perturbació, de significació dels paràmetres i de significació conjunta dels models. També presenten ajustaments molt elevats. Cal tenir en compte que la introducció de retards al model ha fet perdre una o dues observacions, respectivament, el que redueix la robustesa global de les estimacions. Seria bo disposar d'una sèrie més llarga, amb major nombre d'anys que proporcionés major robustesa a tota l'anàlisi estadística. S'observa però com els coeficients del model en forma d'N no són significatius en cap cas, mentre que els del model en forma d'U invertida són significatius a nivells molt elevats de confiança.

3.3.3. Projeccions d'emissions per al 2020 en funció d'escenaris de creixement econòmic

Com mostra l'anàlisi estadística realitzada, els resultats dels dos models es poden considerar com a vàlids. De totes maneres es realitzaran les projeccions amb el primer dels dos models, pel fet que proporciona resultats lleugerament millors:

$$GHG_d^U = -2,39 * 10^{-5}(PIB/cap)^2 + 1,24PIB/cap + 0,55GHG_{-1} \quad (7)$$

$$GHG_d^N = 1,20 * 10^{-7}(PIB/cap)^3 - 0,0072(PIB/cap)^2 + 142,46PIB/cap + 0,35GHG_{-1} - 0,34GHG_{-2} - 913.061 \quad (8)$$

A partir d'aquestes estimacions i fent hipòtesis sobre l'evolució de la renda per càpita per al 2020 s'han realitzat simulacions per tal d'analitzar el possible compliment dels objectius en matèria d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle en les emissions difuses.

Cal tenir en compte que les dades amb les quals s'ha estimat el model finalitzen l'any 2010 i les projeccions es realitzen per al 2020. Cal, per tant, tenir moltes precaucions, tant amb les hipòtesis implícites com amb les incerteses que suposa realitzar projeccions econòmiques a tant llarg termini (donades les característiques dels models desenvolupats).

Principalment, els models es basen en la hipòtesi que totes les condicions exògenes al model es mantenen constants (tant les tecnològiques, com les institucionals, com les culturals, les d'estructura econòmica, les de preus dels recursos, dels inputs i dels factors, etc.), cosa que no succeeix en la realitat i, per tant, són menys fiables a mesura que la projecció temporal s'allarga.

En tot cas, resulten útils per entendre què podria passar a grans trets si donéssim com a vàlid el model i no es produïssin grans perturbacions respecte el que ha succeït els últims anys. D'altra banda, el model es pot anar alimentant amb dades noves, re-estimar les tendències i millorar la capacitat de predicció, a mesura que es corregeixen les desviacions reals respecte les estimades.

Les projeccions s'ha realitzat a partir del primer model (el que no rebutja la hipòtesi de forma d'U invertida), ja que és el que ha proporcionat els millors resultats en el procés d'estimació.

Les projeccions s'han realitzat sota tres escenaris de creixement mitjà anual del PIB/càpita durant el període 2016-2020: un primer de l'1%, del 2% i del 3%. En els tres casos s'han utilitzat dades reals de creixement mitjà anual del PIB/càpita pel període 2010-2014, així com les previsions actuals de creixement pel 2015 del l'FMI (2%). Això suposa un creixement mitjà anual per a tot el període 2010-2020 de 0,72% per al primer escenari, d'1,22% per al segon i d'1,72% per al tercer. A partir d'aquestes dades s'han projectat les emissions difuses estimades pel 2020. El resultat es mostren a la Taula 9.

Taula 9. Variacions de les emissions difuses segons projeccions per al 2020 segons escenaris de creixement econòmic

Escenari creixement anual mitjà PIB/cap (2010-2020)	Δ 2020/2005	Δ 2020/2012
1r escenari (0,72%)	-4,09%	11,96%
2n escenari (1,22%)	-2,76%	13,08%
3r escenari (1,72%)	-1,81%	13,87%

S'observa com per als tres escenaris de creixement econòmic hi ha un decreixement de les emissions de les emissions difuses l'any 2020 respecte l'any 2005. Aquesta reducció és menor com més gran és la taxa de creixement anual del PIB per càpita. Les simulacions realitzades mostren com en tots els escenaris de creixement econòmic hi ha una reducció de les emissions respecte les de 2005, essent el pic (el punt més àlgid, és a dir, de menor reducció de les emissions), la taxa del 2,5, és a dir, amb un creixement econòmic major que aquesta taxa. les emissions augmenten.

Resulta però més rellevant l'anàlisi del període 2012-2020. En aquest cas s'observa com les emissions augmenten en tots tres escenaris de creixement econòmic, i a mesura que el creixement anual és major, augmenten més. Aquest fet mostra com un esperat creixement econòmic faria augmentar les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle i mostra la necessitat, per una banda, de no relaxar les polítiques de mitigació de canvi climàtic per al 2020 i, per altra, de compatibilitzar els objectius de les polítiques econòmiques amb els de les ambientals.

4

Conclusions

En aquest document s'han analitzat els principals drivers de les emissions difuses a Catalunya, fent èmfasi a la importància que té el creixement econòmic en les mateixes.

De les anàlisis sectorials s'observa com les emissions derivades del transport són les que tenen més importància dins les emissions difuses i que depenen en gran mesura del consum d'energia que realitza aquest sector. Altres sectors com la indústria (no inclosa dins la directiva), l'agricultura, la ramaderia i el tractament i eliminació de residus tenen altres factors explicatius de les emissions com a més rellevants.

En l'agricultura i la ramaderia hi ha altres factors que afecten les emissions, com l'ús de determinats fertilitzants o el nombre de caps de bestiar derivats de la digestió anaeròbia. En el cas de la indústria, la desaparició d'una font d'emissió a Tarragona que emetia grans quantitats d'HFC és una de les principals causes de la seva reducció a partir de 2001. Finalment, pel que fa la gestió de residus, resulta rellevant la quantitat de matèria orgànica que es recull i es destina als abocadors. Aquestes emissions, principalment de metà, presenten una inèrcia important per la durada dels processos de digestió anaeròbica que tenen lloc dins dels abocadors.

L'anàlisi de descomposició que permet realitzar la identitat de Kaya ha identificat i desagregat en quatre grans factors les emissions difuses i per tant, ha permès realitzar una comparativa internacional de l'evolució dels mateixos a través d'una metodologia estandarditzada. En comparar l'evolució dels factors que afecten les emissions difuses a Catalunya en el període 1990-2009, amb els que afecten les emissions totals a Europa i a tot el món, s'observa com aquestes han crescut més que les difuses a Catalunya. D'altra banda, hi ha una important diferència entre el creixement de la intensitat energètica (que és major a Catalunya que a Europa i que a la resta del món) i el creixement del PIB per càpita (que és major a Europa i a la resta del món).

D'altra banda, s'ha testat la hipòtesi de la corba de Kuznets ambiental, que sosté que determinats impactes ambientals, com les emissions, creixen a mesura que creix la renda per càpita, però a partir d'un cert punt comencen a decreixer. Pel cas de Catalunya s'ha constatat a partir del desenvolupament de diversos models econòmics la possible existència d'aquesta relació per a les emissions difuses, tot i que també resulta factible l'existència d'una forma de N (amb una menor probabilitat).

Amb els models estimats es pot realitzar una projecció de les emissions difuses per l'any 2020 a partir de diversos escenaris de creixement del PIB per càpita, amb les precaucions necessàries. S'observa com en el model que ajusta millor les dades (el que té forma d'U invertida, és a dir, que compleix la hipòtesi de la CKA), les emissions de l'any 2020 són majors que les de 2012, tant suposant un creixement de l'1% anual, com suposant un creixement del 2% com un del 3% pel període 2016-2020. Tot i que el model podria dibuixar tendències a curt termini, cal llegir amb precaució aquests resultats a tant llarg termini, ja que les dades que alimenten el model van de 1990-2010, mentre que la predicció és per 2020. Al llarg d'aquest període han canviat les condicions tecnològiques, institucionals, culturals, d'estructura econòmica, de preus dels recursos, inputs i factors, etc. Condicions que les projeccions del model assumeixen com a constants.

Més enllà de les dades numèriques concretes que llança el model, una conclusió important és que un retorn a taxes positives de creixement econòmic del PIB per càpita provocaria increments de les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle, mantenint constants la resta de factors. Això obliga a no relaxar les polítiques climàtiques, malgrat les reduccions d'emissions observades durant el període de crisi econòmica. Cal intentar fer compatibles els objectius de creixement econòmic amb els de reduccions de les emissions, si bé fins ara el creixement econòmic ha tendit a anar acompanyat d'un creixement de les emissions.

En tot cas, caldrà seguir analitzant aquesta relació a mesura que es vagi disposant de més dades. Com més dades alimentin els models, major robustesa tenen i major fiabilitat tenen a l'hora de realitzar projeccions d'aquest tipus.

Referències

Alcamo, J., Bouwman, A., Edmonds, J., Grübler, A., Morita, T., Sugandhy, A. (1995). An evaluation of the IPCC IS92 emission scenarios. In *Climate Change 1994, Radiative Forcing of Climate Change and An Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios*, Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Bruce, J., Hoesung Lee, B.A. Callander, Haites, E., Harris, N., Maskell, K. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge.

Alcántara, V., Padilla, E. (2005). Análisis de las emisiones de CO₂ y sus factores explicativos en las diferentes áreas del mundo. Document de treball 05.07. Departament d'Economia Aplicada. Universitat Autònoma de Barcelona.

Bourne, M., Childs, J., Philippidis, G., Feijoo, M. (2012). Controlling greenhouse gas emissions in Spain: what are the costs for agricultural sectors? *Spanish Journal of Agricultural Research* 2012 10(3), 567-582.

CBI (2007). *Climate change: everyone's business*.

Diakoulaki, D., Mandaraka, M. (2007). D. Decomposition analysis for assessing the progress in decoupling industrial growth from CO₂ emission in the EU manufacturing sector, *Energy Economics* 29, 636–664.

Engle, R.F., Granger, C.W.J. (1987). Co-integration and error correction: Representation, estimation and testing. *Econometrica* 55 (2), 251–276.

Freire-González, J. (2010). Empirical evidence of direct rebound effect in Catalonia. *Energy Policy* 38 (5): 2309-2314.

Gaffin, S. R., B.C. O'Neill, 1997: Population and global warming with and without CO targets. *Population and Environment*, 18(4), 389-413.

Grossman, G.M., Krueger, A.B. (1992). *Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement*. Woodrow Wilson School, Princeton, New Jersey.

IIASA (2010). Potentials and costs for mitigation of non-CO2 greenhouse gas emissions in the European Union until 2030. REPORT to the European Commission, DG Climate Action.

Kaivo-oja, J., Luukkanen J. (2004). The European Union balancing between CO2 reduction commitments and growth policies: decomposition analyses. *Energy Policy* 32 (13), 1511-1530.

Kaya, Y. (1990). Impact of Carbon Dioxide Emission Control on GNP Growth: Interpretation of Proposed Scenarios. Paper presented to the IPCC Energy and Industry Subgroup, Response Strategies Working Group, Paris.

McKinsey & Company (2010). Impact of the financial crisis on carbon economics: Version 2.1 of the global greenhouse gas abatement cost curve.

Ogawa, Y. (1991). Economic activity and greenhouse effect. *The Energy Journal*, 12(1), 23-34.

O'Mahony (2013). Decomposition of Ireland's carbon emissions from 1990-2010: an extended Kaya identity. *Energy Policy* 59: 573-581.

O'Neill, B.C., MacKellar, F.L., Lutz, W. (2000). *Population and Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.

Opschoor, J.B. (1990). Ecologische duurzame economische ontwikkeling: Een theoretisch idee en een weerbarstige praktijk. Dins de: Nijkamp, P., Verbruggen, H., (Eds.), *Het Nederlands Milieu in de Europese Ruimte: Preadviezen van de Koninklijke Vereniging voor Staathuishoudkunde*. Stenfert Kroese, Leiden, p. 77-126.

Parikh, J.K., Parikh, K.S., Gokarn, S., Painuly, J.P., Saha, B., Shukla, V. (1991). *Consumption Patterns: The Driving Force of Environmental Stress*. Report prepared for the United Nations Conference on Environment and Development (UNCED), IGIDR-PP-014, Indira Gandhi Institute for Development Research, Mumbai, India.

Parikh, J.K. (1994). North-south issues for climate change. *Economic and Political Weekly*, November 5-12, 2940-2943.

Puig Ventosa, I., Freire González, J., Almazor Escartín, L. (2007). Política ambiental i competitivitat de l'economia catalana. *Temes de Medi ambient i habitatge*. TEMAH. Departament de Medi Ambient i Habitatge. Generalitat de Catalunya.

Santamaría, A., Linares, P. (2011). Costes de reducción de CO2 en la industria española. *Economics for Energy*. WP 02/2011

Selden, T., Song, D. (1994). "Environmental quality and development: is there a Kuznets curve for air pollution emissions?", *Journal of Environmental Economics and Management* 27, 147-162.

Tapio, P., Banister, D., Luukkanen, J., Vehmas, J., Willamo, R. (2007). Energy and transport in comparison: Immaterialisation, dematerialisation and decarbonisation in the EU15 between 1970 and 2000, *Energy Policy* 35, 433-451.

Wuppertal Institute (2006). Options and potentials for energy end-use efficiency and energy services.