

004 ESTUDIS CAIXA CATALUNYA
ECONOMIA / DEMOGRAFIA / SOCIETAT
ENVELLIMENT / DEPENDÈNCIA
SANITAT / HABITATGE / TREBALL

Aspectes econòmics del canvi climàtic a Espanya

Javier Martín Vide (Coordinador)

Josep Enric Llebot Rabagliati

Emilio Padilla Rosa

Vicent Alcántara Escolano



CAIXA CATALUNYA

Aspectes econòmics del canvi climàtic a Espanya

Javier Martín Vide (Coordinador)

Josep Enric Llebot Rabagliati

Emilio Padilla Rosa

Vicent Alcántara Escolano

CAIXA CATALUNYA 

Aspectes econòmics del canvi climàtic a Espanya

Edició:

Caixa Catalunya
Plaça Antoni Maura, 6
08003- BARCELONA

Redacció dels textos i elaboració i anàlisi de dades:

Coordinador: Javier Martín Vide, Catedràtic de Geografia Física de la Facultat de Geografia i Història de la Universitat de Barcelona.

Autors dels treballs: Javier Martín Vide, Catedràtic de Geografia Física de la Facultat de Geografia i Història de la Universitat de Barcelona; Josep Enric Llebot Rabagliati, Catedràtic de Física de la Matèria Condensada de la Facultat de Ciències de la Universitat Autònoma de Barcelona; Emilio Padilla Rosa, Titular d'Universitat d'Economia Aplicada de la Facultat de Ciències Econòmiques i Empresariales de la Universitat Autònoma de Barcelona i Vicent Alcántara Escolano, Titular d'Universitat d'Economia Aplicada de la Facultat de Ciències Econòmiques i Empresariales de la Universitat Autònoma de Barcelona.

Les opinions emeses al llarg d'aquest estudi són de l'exclusiva responsabilitat dels autors. Caixa d'Estalvis de Catalunya no s'hi identifica necessàriament.

Diseny:

H₂O Comunicació Integral

Fotocomposició i impressió:

Ediciones Gráficas Rey, S.L.

© Caixa d'Estalvis de Catalunya

© Javier Martín Vide

Josep Enric Llebot Rabagliati

Emilio Padilla Rosa

Vicent Alcántara Escolano

Número de registre editorial 1535/76

Barcelona, abril del 2007

ISSN: 1699-1117

Dipòsit legal: B-22.448-2007

Imprès en paper ecològic TCF

5	Presentació	32	
8	Introducció	33	
10	1. Realitat i prospectiva del canvi climàtic	33	
10	1.1. Introducció		
11	1.2. El clima	35	
11	1.2.1. Què és el clima?	36	
12	1.2.2. Com es pot saber que la Terra s'escalfa o que plou més?	38	
14	1.2.3. Quines conclusions es poden extreure de les dades existents?	38	
19	1.3. El cas d'Espanya		
19	1.3.1. A manera d'introducció: el clima actual		
19	1.3.2. Anàlisi de les tendències climàtiques recents	39	
23	1.3.3. Tendències futures a partir dels models climàtics	40	
26	2. El canvi climàtic i els seus impactes sobre les generacions futures	40	
26	2.1. Introducció	44	
27	2.1.1. L'efecte hivernacle i les seves causes	50	
28	2.1.2. Les incerteses sobre el canvi climàtic	52	
28	2.2. Impactes del canvi climàtic sobre la natura i els humans	54	
29	2.2.1. Agricultura	56	
29	2.2.2. Recursos hídrics	59	
29	2.2.3. Ecosistemes i biodiversitat	60	
30	2.2.4. Salut	62	
30	2.2.5. Assentaments humans, energia i indústria	62	Conclusions
31	2.2.6. Assegurances i altres serveis financers	65	Bibliografia
31	2.2.7. Desigualtats en els impactes i vulnerabilitat davant el canvi climàtic	72	Annex
31	2.2.8. Impactes extrems	78	Apèndix metodològic
			2.2.9. Els efectes del canvi climàtic a Espanya
			2.3. L'anàlisi econòmica dels impactes del canvi climàtic i les polítiques de mitigació: limitacions i controvèrsies
			2.3.1. Els models clima-economia i les seves recomanacions de política
			2.3.2. El descompte i les generacions futures
			2.3.3. El criteri de compensació i les generacions futures
			2.3.4. Altres supòsits i judicis de valor controvertits dels models clima-economia
			2.3.5. El desenvolupament sostenible i els drets de les generacions futures en l'anàlisi del canvi climàtic
			2.3.6. La mitigació del canvi climàtic
			3. Activitat econòmica i emissions de CO₂ a Espanya
			3.1. Introducció
			3.2. Les emissions de CO ₂ a Espanya des d'una perspectiva de llarg termini
			3.3. Anàlisi sectorial
			3.3.1. Una perspectiva global del comportament sectorial
			3.3.2. El paper dels sectors
			3.4. El sector transport i les unitats familiars (residencial)
			3.5. A manera de síntesi
			3.6. Algunes conclusions rellevants

El monogràfic *Aspectes econòmics del canvi climàtic a Espanya*, editat per Caixa Catalunya, afronta l'imprescindible estudi del canvi climàtic. Caixa Catalunya, a través del seu Servei d'Estudis, conduït pel seu objectiu de promoure el coneixement econòmic sobre aspectes de rellevància social, publica aquest estudi que il·lustra diferents visions del fenomen del canvi climàtic. El contingut és una nova aportació a les investigacions ja existents sobre aquesta matèria. La idoneïtat de l'assumpte tractat és innegable, perquè el canvi climàtic s'ha convertit en company mediàtic i institucional aquestes darreres setmanes, en paral·lel amb les etapes finals d'edició de l'estudi que els presentem.

Pot l'economia contribuir al debat sobre el canvi climàtic? Al nostre judici, pot i ho ha de fer. Aquestes darreres dècades, experts de ciències diverses han documentat nombrosos fets relacionats amb les causes i els efectes del canvi climàtic. Els mateixos ciutadans, animats bé per la intransigent associada als impactes augurats del canvi climàtic, o bé pel mer desig de conèixer més i millor aquest assumpte, estimulen el treball dels experts, demandant informació més àmplia, més sòlida i més profunda. En aquest sentit, el monogràfic *Aspectes econòmics del canvi climàtic a Espanya* hi proporciona algunes respostes des del costat de la ciència econòmica. No és l'economia precisament, a títol individual, la ciència que disposa dels instruments suficients per validar l'evidència física del canvi climàtic. Les ciències de la Física, la física, la geografia, la biologia i altres, han desenvolupat mecanismes de constatació de l'evidència del canvi climàtic. No obstant això, fins al punt en el qual el canvi sigui un canvi induït per l'home, clarament l'anàlisi de les causes ha de trobar els seus fonaments en les ciències socials. I l'economia, com a pilar de totes elles, ha de ser capaç d'explicar els efectes que el seu desenvolupament, les seves estructures i la

interacció de tots els agents econòmics han tingut en el medi ambient. I la mateixa economia, en un treball basat en l'esforç mutu de tothom que tingui alguna cosa a aportar al coneixement del nostre sistema productiu i als seus procediments, hauria de ser capaç d'assenyalar les solucions que posin fi als efectes perniciosos del canvi climàtic. Si pot ser, abans que aquests efectes perniciosos se situïn en el nivell irreversible.

El quart monogràfic de la col·lecció "Estudis de Caixa Catalunya" ha estat elaborat per un equip compost per quatre experts: Javier Martín Vide, Josep Enric Llebot, Emilio Padilla i Vicent Alcántara. Els coneixements específics de cadascun dels autors proporcionen, en la seva unió, un coneixement global del problema del canvi climàtic, i sens dubte el seu treball és enormement aclaridor i complet sobre aquest aspecte, que la nostra Institució reconeix i agraeix. Els dos primers capítols posen les bases conceptuals dels termes associats amb el clima i amb el canvi climàtic per constatar, tot seguit, l'evidència estadística del canvi climàtic al nivell global i unificar el consens sobre els seus potencials efectes en el futur. En aquest sentit, se sintetitzen els trets generals que haurien de caracteritzar el nostre medi ambient i les nostres vides, si a mitjà termini s'incrementa el nivell d'emissions de gasos d'efecte hivernacle. L'últim capítol afronta l'explicació del canvi climàtic d'acord amb l'activitat econòmica en general i amb l'especialització sectorial en segon lloc. El toc d'atenció que aquest capítol representa va molt més enllà de pertorbar la consciència mediambiental individual i posa l'èmfasi en la manca de respecte al nostre entorn des del punt de vista de la base del nostre sistema econòmic. Aquí sorgeix una contradicció evident entre progrés econòmic i sistema insostenible que ha de ser molt atesa. Pels ciutadans, per les institucions, pel sistema i pels responsables.

A tots ells es dirigeix aquest estudi. El tema tractat és d'una proximitat absoluta per a tothom, i d'una rellevància urgent, si es pot dir així. Cal, per tant, augmentar les investigacions i l'anàlisi com aquesta, profunda, composta, rigorosa, per identificar les causes veritables del canvi climàtic. Cal, també, afrontar el debat sobre el consum energètic, sobre el nostre sistema productiu i els inputs energètics alternatius no agressius amb el medi ambient que necessita, i sobre els mecanismes idonis per a la mitigació i control d'emissions i per al compliment dels compromisos de reducció. El coneixement científic independent permetrà allunyar-se tant com es pugui d'estratègies, parcials, interessades a mantenir el debat en l'àmbit de la confusió i de la inacció. L'esforç dels agents del sistema econòmic ha d'ali-

near-se amb les necessitats del sistema natural del qual som part, o, més encara, al qual pertanyem. Caixa Catalunya ha considerat oportú, ara més que mai, aportar la seva contribució al debat sobre les causes i els efectes del canvi climàtic, amb l'objectiu que una vegada valorats correctament els seus impactes, la reflexió pugui portar-nos, juntament amb el desenvolupament mateix de les ciències i de la nostra societat, a prendre les mesures necessàries que assegurin la continuïtat del sistema natural i del sistema econòmic, en un ambient que sigui respectuós, pròsper i beneficiós per a tothom.

CAIXA CATALUNYA
Abril del 2007

Introducció

Fa tan sols trenta anys, a mitjan dècada dels setanta del segle passat, bona part dels climatòlegs, preguntats sobre l'evolució del clima del planeta, responien bé assumint la seva estabilitat, bé, amb horitzons més llunyans, anunciant una pròxima glaciació, que havia d'arribar abans d'uns pocs milers d'anys, perquè, al cap i a la fi, estàvem vivint un període interglacial, després de l'última empena glacial de fa poc més de 10.000 anys. Cap indici d'escalfament, doncs, a l'horitzó immediat o llunyà. En tot cas, poques preocupacions per una afecció humana en el sistema climàtic. Però a partir d'aquell moment -fa tres dècades-, la temperatura de l'aire en superfície va començar a experimentar un augment clar en gran part del planeta, encara que, al principi, explicable per la mateixa variabilitat del clima. En aquest punt cal insistir que totes les variables climàtiques (temperatura, precipitació, pressió atmosfèrica, etc.) mostren sempre una notable variabilitat temporal, que s'anomena natural. Així, a qualsevol escala de temps que es consideri, siguin minuts, dies, mesos, anys, segles, mil·lennis, etc., la temperatura i les restants variables van fluctuant contínuament, sense que per això es pugui parlar, en absolut, de canvi climàtic.

No obstant això, l'escalfament inicial va persistir i es va batre repetidament el rècord de l'any més càlid al nivell planetari, almenys d'ençà que hi ha registres instrumentals llargs i fiables, a partir de mitjan segle XIX. La concentració d'anys rècord per la seva elevada temperatura mitjana va començar a resultar tan anòmala o, dit d'una altra manera, tan difícil d'explicar mitjançant la variabilitat natural, que va començar a gestar-se la hipòtesi -només hipòtesi, al principi- d'un efecte humà o antròpic en el clima. Científicament, es va recórrer a un concepte nou, el de la variabilitat antròpica o induïda, que, sobreposada a la de sempre, la natural, començava a alterar el clima del planeta, en concret, cap a un escalfament. I hi havia raons per suposar això, perquè l'escalfa-

ment global podia ser, abans que res, l'expressió directa de l'augment en l'atmosfera planetària dels anomenats gasos d'efecte hivernacle, principalment el CO₂, ben constatat instrumentalment des de mitjan segle XX, fruit sobretot de la ingent crema de combustibles fòssils, això és, carbó, petroli i gas natural.

Els registres climàtics, de fonts diverses, des de les estacions meteorològiques en superfície als satèl·lits, i nombroses observacions i fenòmens oceanogràfics, biològics, glaciològics, etc., en els últims tres lustres constitueixen un conjunt tan ampli i variat d'evidències i arguments de l'escalfament de la superfície terrestre, que aquest és assumit fins i tot pels més reticents i escèptics davant el canvi climàtic. Tots -si es vol- vam ser escèptics en un principi davant la realitat d'un canvi climàtic actual, però avui dia les evidències permeten considerar-lo com un fet cert. Cosa diferent, i molt important, és l'atribució de causes, és a dir, si es tracta d'un canvi o anomalia climàtica natural o és d'origen humà. El perfeccionament dels models climàtics, l'eina més poderosa per comprendre el sistema climàtic i la seva evolució, ha proporcionat aquests últims anys la prova definitiva per a la major part de la comunitat internacional de climatòlegs de la naturalesa nova, per la novetat de l'agent causal, del canvi climàtic actual. Quan els models climàtics, els mateixos que serveixen per avaluar l'augment de temperatura que es produirà d'aquí a vint-i-cinc o cinquanta anys, o el 2100, s'usen per predir les temperatures registrades en l'últim segle, els valors subministrats s'ajusten notablement als observats fins a l'esmentada dècada dels anys setanta del segle XX, sense fer res més que contemplar la variabilitat natural, això és, la causada per les variacions de l'activitat solar i de la volcànica¹. A partir d'aquesta dècada, els models són incapaços de reproduir bé les temperatures realment mesurades, que queden sistemàticament per sobre de les pronosticades. Només quan

¹ Les variacions de l'activitat solar tenen immediatament impacte en el balanç energètic del planeta, mentre que, després de les grans erupcions volcàniques, l'ombreig que produeixen els materials ejectats dona lloc a una disminució de la temperatura en superfície.

en aquests models introduïm la variabilitat d'origen antròpic, és a dir, fonamentalment la derivada dels gasos d'efecte hivernacle i dels aerosols o partícules contaminants en suspensió, els resultats dels models tornen a ajustar-se als valors observats. És clara, doncs, l'empremta humana, o de les activitats que comporten contaminació atmosfèrica, en el clima a escala global o planetària.

Els impactes del canvi climàtic antròpic no es redueixen, ni es reduiran, a l'esfera ambiental o del sistema natural, en què l'elevació del nivell del mar és ja, per exemple, una de les conseqüències més inquietants. Els impactes a l'esfera socioeconòmica seran, amb gran probabilitat, greus i molt visibles. Tot estudi que analitzi i identifiqui les causes de les emissions de gasos d'efecte hivernacle en el cas d'Espanya, com en el d'altres països, i dels sectors econòmics principalment implicats, i que pugui perfilar els efectes del canvi climàtic en la societat i en les seves activitats econòmiques tindrà en si un gran valor. Valor afegit en l'àmbit de la prevenció i la gestió dels riscos climàtics, que, segons tots els models, seran inherents al canvi climàtic, en la correcta planificació del territori i dels seus usos i fins en la mateixa vida individual. Amb aquest objectiu s'ha plantejat el present informe, que, després d'un primer capítol ("Realitat i prospectiva del canvi climàtic") que resumeix els coneixements bàsics sobre el canvi climàtic antròpic actual, sense deixar d'esmentar la seva evolució futura més probable, tant a escala global (apartat 1.2) com pel que fa a Espanya (apartat 1.3), aborda aspectes fonamentals de l'esfera socioeconòmica. En concret, al capítol 2 ("El canvi climàtic i els seus impactes sobre les generacions futures") es valoren els plantejaments de les anàlisis econòmiques

sobre el canvi climàtic, incorporant-hi el recent Informe Stern del 2006, que discrepa de les anàlisis convencionals. I al capítol 3 ("Activitat econòmica i emissions de CO₂ a Espanya") s'analitza àmpliament l'evolució de les emissions del dit gas, el de més impacte entre els d'efecte hivernacle, al nostre país i s'estima la contribució sectorial, en la qual el transport i la indústria de la construcció en un sentit ampli ressalten en gran manera com a contribuents a la variació de les emissions aquestes últimes dècades.

El present informe pretén projectar una mica de claror damunt el complex entrellat de relacions entre economia i canvi climàtic, amb especial referència a Espanya. Certament, es tracta només d'una aproximació, però d'una aproximació en la qual queda suficientment provada l'afirmació que el sistema climàtic compta des de fa ja algunes dècades amb un nou subsistema a afegir als cinc naturals (atmosfera, hidrosfera, litosfera, biosfera i criosfera), que és el sistema socioeconòmic, decisiu ara i encara més les pròximes dècades quant als escenaris climàtics. Segons que siguin les polítiques econòmiques, i en especial les seves exigències ambientals, serà també el clima del planeta Terra, i en particular d'Espanya. Com mostra el present informe, al nostre país, malgrat els esforços recents, hi ha encara moltes coses per fer en el camí de la sostenibilitat i del bon governament economicambiental. En la direcció d'aquest objectiu, els autors reconeixen gustosament la iniciativa de l'encàrrec i edició del monogràfic per part de Caixa Catalunya.

El coordinador
Abril del 2007

1.

Realitat i prospectiva del canvi climàtic

1.1. Introducció

Històricament, l'estudi de l'atmosfera i dels oceans, el nostre entorn interior, juntament amb l'estudi de l'entorn exterior més immediat format per la Lluna, el Sol i els planetes, ha constituït un impuls per al desenvolupament de la ciència. Des de fa uns quaranta anys, el coneixement de l'espai exterior i de l'entorn interior ha progressat substancialment en la mesura que la tecnologia ha permès enviar petits laboratoris a l'espai, que han aportat dades noves i diferents sobre el sistema solar i fins i tot sobre els orígens de l'univers. A més, també signifiquen una important eina d'observació de la Terra que ha modificat d'una manera substancial algunes de les concepcions anteriors. No pel fet de ser habituals són menys sorprenents i meravelloses les imatges i la informació científica que pràcticament en temps real ens envien avui les sondes espacials i altres ginys. Qüestions com, per exemple, l'evolució del contingut d'ozó de l'atmosfera antàrtica, és impensable analitzar-les avui sense el concurs de la informació satel·litària.

A la segona meitat del segle XIX, alguns científics es van preguntar quins processos podien haver produït les glaciacions, els canvis substancials del clima esdevinguts durant l'últim milió d'anys, i entre els debats i discussions Svante Arrhenius², fa poc més de cent anys, formulava les primeres hipòtesis sobre el possible escalfament de l'atmosfera degut a les emissions de diòxid de carboni (CO₂) que les activitats humanes produïen sobre l'atmosfera. Avui, en canvi, podem afirmar sens cap mena de dubte que el desenvolupament de la societat moderna indueix impactes i tecnologies que tenen influència a escala local i a escala global sobre el medi ambient. Fa uns lustres, el clima i l'atmosfera eren el decorat imposat i a vegades agressiu que conformava l'espectacle de la vida. Avui sabem que també nosaltres som actors i a vegades directors del comportament i de l'evolució d'aquest decorat que determina la nostra vida com a individus i com a espècie.

² Svante Arrhenius va ser un químic físic suec, Premi Nobel de Química l'any 1903, que es va interessar per les causes de les glaciacions. Opinava que es devien a causes internes al sistema climàtic i va elaborar un model de balanç d'energia per comprovar que això era possible. Una vegada ho va tenir desenvolupat, es va preguntar què passaria si la concentració de diòxid de carboni augmentés, en comptes de disminuir.

1.2. El clima

1.2.1. Què és el clima?

Intuïtivament, la primera paraula que relacionem amb el vocable clima és la de temps meteorològic, i, de fet, en llenguatge col·loquial moltes vegades els utilitzem com a sinònims. En sentit literal, la meteorologia és l'estudi dels meteors atmosfèrics, és a dir, el coneixement de la física de l'atmosfera, dels meteors que s'hi produeixen i del seu comportament en el temps de manera que se'n pugui preveure l'evolució. Els diccionaris defineixen clima com "el conjunt de condicions atmosfèriques pròpies d'una regió, en la mesura que afecten la vida animal i vegetal". La definició, molt general, es refereix a l'afectació de la vida sigui per episodis puntuals i concrets, com una erupció volcànica, un temporal o un terratrèmol, o per condicions ambientals a llarg termini, com les condicions d'habitabilitat d'un determinat entorn, que denominaríem ecosistema. De fet, és aquest segon sentit el que s'acosta més al concepte de clima entès com el conjunt de circumstàncies ambientals que condicionen la vida.

El clima des del punt de vista estrictament tècnic és el temps mitjà, és a dir, les propietats estadístiques de l'atmosfera i de l'oceà en un període de temps llarg i en una regió geogràfica determinada. Per tant, es pot parlar de la climatologia d'una regió, d'una comarca, fins i tot d'una ciutat, però no té sentit parlar de la climatologia d'un dia ni d'un cap de setmana. El comportament de l'atmosfera i dels altres sistemes que caracteritzen el clima segueix unes lleis físiques ben conegudes, com les lleis de Newton de la dinàmica i les lleis de la termodinàmica clàssica, que conceptualment no són gaire complexes, encara que a la pràctica són complicades d'usar, atès el gran nombre de variables que relacionen. Per

determinar l'estat de l'atmosfera, les lleis físiques s'escriuen en forma d'equacions que no tenen una solució analítica i que constitueixen el que en podríem dir equacions del temps meteorològic. L'absència de solucions analítiques fa que els meteoròlegs usin eines de càlcul informàtiques que resolten les equacions del temps cada sis hores. Això permet elaborar la predicció meteorològica ordinària. Els models meteorològics fan prediccions per a intervals de 6,12,18,24..., 240 hores. Naturalment, com més llarg és l'interval sobre el qual s'elabora la predicció, més imprecisos són els resultats. Aquesta imprecisió es deu a la naturalesa caòtica de l'atmosfera que va mostrar, en un article pioner, E.N. Lorentz³, quan va constatar la influència de les condicions inicials en l'evolució del comportament de l'atmosfera. La impossibilitat de saber amb precisió suficient l'estat de l'atmosfera fa, doncs, que el límit de la predicció mínimament fiable sigui d'uns deu dies. La climatologia comença, en rigor, on acaba la meteorologia, és a dir, en períodes de temps superiors a una setmana, encara que la informació climàtica sol ser mensual, estacional, anual i fins i tot per a períodes més grans.

Una altra de les característiques de la informació climàtica és la regional. Malgrat que hi ha hàbitats de dimensions molt petites, normalment les característiques ambientals abasten una regió o un país. La mitjana de les variables climàtiques s'avalua llavors en l'entorn que presenta característiques i tendències semblants o homologables.

Les variables climàtiques més comunes són els valors mitjans de la temperatura, la precipitació, el vent, la pressió, la humitat i la nuvolositat. La temperatura i la precipitació són els elements de més interès, ja que determinen les espècies de plantes i d'animals que es desenvolupen en una determinada regió. La humitat de l'atmosfera determina la formació dels núvols, que, al seu torn, determinen l'energia del Sol que arriba a la superfície i, en conseqüència, l'evaporació i les

³ E.N. Lorentz: *Deterministic Nonperiodic Flow*, J. Atmos. Sci. 20, 130-141 (1963).

espècies vegetals que hi viuen. El clima és complex, i per poder-lo estudiar cal conèixer el funcionament conjunt dels cinc sistemes que el formen: l'atmosfera, la hidrosfera, la litosfera, la criosfera i la biosfera. Aquests sistemes intercanvien constantment matèria i energia entre ells, i el progrés en la comprensió d'aquests intercanvis és el fet que permet avançar en la comprensió i en l'elaboració de models del clima.

1.2.2. Com es pot saber que la Terra s'escalfa o que plou més?

Per tenir la certesa que el clima està canviant i que aquest canvi és diferent del passat més o menys recent, cal tenir mesures de les variables climàtiques rellevants (temperatura, precipitació, cobertura nuvolosa, extensió de la neu i del glaç, etc.) en diferents punts representatius de la superfície terrestre. Això és relativament fàcil avui, que hi ha moltes estacions meteorològiques repartides per tot el globus terraqüi que mesuren aquestes i altres variables d'interès meteorològic, i, a més, hi ha satèl·lits que proporcionen també informació global sobre algunes d'aquestes variables. No obstant això, en el passat aquesta situació no era pas igual. Els registres instrumentals continus més antics de temperatura són europeus i daten del segle XVIII⁴. Abracen, però, una zona petita a escala mundial, i un període de temps massa curt per a moltes anàlisis climàtiques. Les dades meteorològiques es comencen a ser més nombroses des de la meitat del segle XIX, encara que amb criteris diversos respecte a la qualitat de les mesures. D'aquesta època també hi ha bastants dades de la temperatura de l'aigua del mar recollides per vaixells.

Per tant, a la pràctica no hi ha mesures directes de les variables climàtiques a tot el món que estiguin prou repartides espacialment i temporalment. Què s'ha fet davant aquesta situació? La imaginació i la feina de molts geòlegs, biòlegs

i, en particular, de climatòlegs han permès obtenir informació parcial del passat climàtic de la Terra. A continuació ens referirem als principals sistemes dels quals es disposa per conèixer dades sobre la climatologia del passat.

1) *MESURES INSTRUMENTALS*. Els instruments moderns són capaços de mesurar totes les variables d'interès climàtic. Tot i això, quan s'interpreten les mesures instrumentals, cal prendre algunes precaucions, tenint en compte les condicions en què s'han instal·lat les garites meteorològiques i l'efecte illa de calor, atès que alguns observatoris meteorològics que se situaven a llocs representatius a l'entorn de concentracions urbanes, amb el creixement de les ciutats, han quedat engolits per la ciutat. L'estructura dels carrers i del trànsit de les ciutats fa que la temperatura sigui una mica més alta que la de les zones no urbanitzades, i això cal tenir-ho en compte a l'hora d'analitzar les sèries, perquè altrament es poden fer interpretacions errònies.

Les mesures instrumentals de la precipitació tenen una antiguitat semblant a les de la temperatura. Els dispositius de mesura també tenen característiques que obliguen a analitzar-se amb cura les dades per atorgar-les la representativitat adequada. En aquest cas, per exemple, és important saber si el pluviòmetre està en un lloc amb corrents d'aire forts, ja que llavors les mesures poden estar infravalorades. En tot cas, el principal problema és que el nombre d'estacions que mesuren la precipitació ha de ser més gran que el d'estacions que mesuren la temperatura, ja que la pluja és un meteor molt més variable i que depèn dels patrons meteorològics de cada zona.

Un altre conjunt de mesures instrumentals és el que proporcionen els satèl·lits. Des del començament dels anys seixanta hi ha hagut ginys espacials que han mesurat propietats de l'estat de l'atmosfera terrestre. Els primers satèl·lits

⁴ Hi ha dotze ciutats a Europa que disposen de sèries de temperatura i pressió atmosfèrica. A Barcelona, per exemple, Francisco Salvà i Campillo, metge, va començar l'any 1780 a registrar tres vegades el dia la pressió atmosfèrica i la temperatura. A Madrid, un altre metge va començar a elaborar un registre semblant sis anys més tard. Vegeu J. Martín Vide: "El tiempo y el clima", *Rubés ed.*, Barcelona (2002).

amb prou feines proporcionaven informació sobre la cobertura nuvolosa de la superfície terrestre i de la temperatura de la superfície i dels núvols. Al final dels anys setanta es va disposar d'informació referent a la radiació d'ona llarga emesa per la superfície terrestre i pels núvols, amb la qual cosa es va disposar d'una mesura de la temperatura superficial i d'algunes capes de l'atmosfera. El desenvolupament dels sensors de microones va permetre veure a través dels núvols i mesurar l'extensió de zones cobertes per neu i glaç. Els registres instrumentals dels satèl·lits presenten dos problemes: que cobreixen un interval de temps curt per a les anàlisis climatològiques i que les mesures de la temperatura no són completament comparables d'una manera directa amb les mesures registrades a la superfície per termòmetres o termistors. Els avantatges, en canvi, són l'àmplia cobertura de les mesures de variables que són molt difícils de veure des de la superfície, com, per exemple, l'extensió de la superfície coberta per glaç o neu. Un altre gran progrés aportat pels sensors de microones dels satèl·lits fa referència a l'observació de la precipitació sobre els oceans. Per raons òbvies, sense els recursos d'aquests instruments es tenia tradicionalment una informació molt escassa de la precipitació sobre el mar, que constitueix el 70% de la superfície terrestre. Un altre aspecte, controvertit, que el recurs a la informació procedent dels satèl·lits ha proporcionat és el relatiu a dades sobre la cobertura nuvolosa de l'atmosfera. Aparentment, aquest és un paràmetre de càlcul relativament fàcil, però que queda emmascarat pel diferent rendiment dels instruments a mesura que van envellint i pel fet que, des del punt de vista del clima, convé discriminar entre diferents tipus de núvols, ja que cadascun té unes propietats radiatives diferents. Per ara, els satèl·lits no proporcionen un diagnòstic definitiu respecte a com ha evolucionat la cobertura nuvolosa del planeta durant últims quaranta anys del segle XX.

II) *REGISTRES HISTÒRICS*. Quan no hi ha registres instrumentals, s'intenta descobrir informació sobre el clima en un determinat lloc a partir de diferents registres històrics. A Europa s'ha aconseguit extreure un registre sobre els períodes de sequera i d'inundacions a partir dels documents històrics des del segle XV que donaven constància de les rogatives *pro pluviam* fetes a les esglésies per encàrrec dels gremis agrícoles⁵.

Altres registres històrics fan referència a l'establiment de relacions entre el preu del blat en els mercats de cereals⁶, però la dificultat en la informació d'aquesta mena de dades és que estan relacionades únicament amb les condicions climàtiques de mig any. Una altra referència documental molt interessant és la que fa referència a la data de l'inici de la verema. Es disposa de registres francesos de les dates de la verema des de 1484. La virtut d'aquest registre és que té una part que es duplica amb mesures instrumentals, encara que sigui d'estacions llunyanes. En tot cas, això permet, ni que sigui amb molta cautela, estendre el registre instrumental cap al passat en una regió determinada.

III) *MESURES PROXY*. Si no hi ha registres instrumentals ni documents històrics a partir dels quals es pugui extreure informació sobre el clima o l'estat de l'atmosfera, cal recórrer a les dades indirectes, les mesures denominades *proxy*. Una de les característiques d'aquestes dades és que poques vegades ofereixen una mesura directa d'una variable meteorològica ni d'un any complet, i, a més, la informació climàtica que se n'obté sol correspondre a la integració de diferents variables climàtiques, habitualment la temperatura i la pluviositat. A continuació comentem les usades més sovint:

- *Anells de creixement dels arbres*. La resposta dels arbres a les condicions climàtiques es registra en els anells de creixement. L'amplada dels anells proporciona una

⁵ M. Barriendos, "Climatic variations in the Iberian Peninsula during the late Maunder Minimum (AD 1675-1715): An analysis of data from rogation ceremonies", *Holocene*, 7,105-111 (1997).

⁶ Sir William Herschel va intuir que quan el Sol tenia la seva màxima activitat s'apreciava a la seva superfície el màxim nombre de taques solars. Això li va fer plantejar-se que, en conseqüència, la temperatura seria més gran i, per tant, que la collita de blat seria més abundant, cosa que produiria el descens del preu del blat al mercat de Londres.

manera de saber l'edat de l'arbre i de la climatologia en què aquest ha viscut. El repte per als experts és saber extreure de l'amplada dels anells les condicions de temperatura, pluviositat i humitat del terra en què ha viscut l'arbre.

- *Testimonis de glaç.* La neu que cau i es diposita en les capes de glaç de l'Antàrtida i de Grenlàndia, o a les glaceres de les muntanyes més altes del món conté una valuosa informació sobre les condicions ambientals del moment de la precipitació. Si aquesta neu no es fon a l'estiu, a mesura que es va acumulant i amb el pas dels anys es va comprimint i formant glaç, que conserva la informació ambiental del moment de la precipitació. Quan s'extreu un testimoni de glaç, s'obté un registre que inclou informació sobre els canvis de la temperatura, la quantitat de neu caiguda cada any, la pols transportada d'altres latituds i vestigis d'erupcions volcàniques. Tota aquesta informació, a més, està dotada d'una cronologia basada en la seqüència de capes. D'altra banda, les bombolles d'aire atrapades en el glaç contenen informació també molt valuosa i directa de la composició de l'aire. El problema d'aquests registres és que estan limitats a determinats jaciments en què l'acumulació de capa sobre capa ha estat regular i és identificable.
- *Sediments de l'oceà.* L'anàlisi dels sediments de l'oceà proporciona una informació també molt valuosa, ja que aquests sediments estan formats per cossos de les closques fòssils d'espècies foraminíferes⁷ pelàgiques i bentòniques. Les restes d'aquests organismes proporcionen informació sobre les condicions en què aquests organismes van viure tant a la superfície com en el fons dels oceans, a partir de l'anàlisi de la proporció dels isòtops de ¹⁸O – ¹⁶O d'alguns components de la

petxina. El fet que aquests registres puguin extreure's en la majoria de conques oceàniques significa que és possible reconstruir una espècie de fotografia dels canvis globals ambientals del globus.

- *Pol·len.* Si els sediments s'han format en un llac i no en una conca oceànica, la presència i la proporció de grans de pol·len en els sediments proporcionen informació sobre la composició de les espècies vegetals que formaven els ecosistemes terrestres propers al llac.
- *Perforacions a la roca.* Les perforacions a la roca en zones especialment adequades constitueixen una manera directa de mesurar la temperatura durant períodes passats. La idea és fer un forat fins a profunditats d'un quilòmetre o més i fer un estudi a partir d'admetre que la distribució de la temperatura amb la profunditat també depèn de la temperatura que hi havia a la superfície.

1.2.3. Quines conclusions es poden extreure de les dades existents?

A continuació fem una relació dels indicis directes en l'atmosfera i al mar que sustenten la idea que som en un procés d'escalfament de l'atmosfera i, per tant, d'un canvi del clima.

- *La concentració atmosfèrica dels gasos amb efecte d'hivernacle augmenta.* En l'atmosfera hi ha molts gasos amb efecte d'hivernacle, però no tots incideixen de la mateixa manera en l'escalfament de l'atmosfera perquè tenen concentracions diferents i una capacitat diferent d'absorbir la radiació terrestre. De tots aquests gasos, el protocol de Kyoto en considera sis: el diòxid de carboni (CO₂), el metà (CH₄), l'òxid nítric (N₂O), l'hexafluorur de sofre (SF₆), els compostos

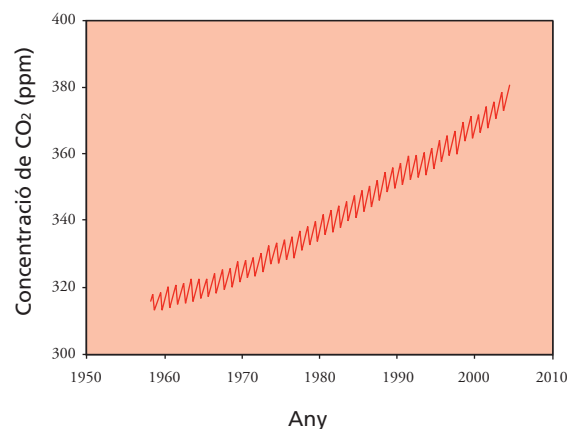
⁷ Els foraminífers són protists, que formen l'ordre amb aquesta denominació (amb cinc subordres i unes 40.000 espècies) i que posseeixen una petxina quitinosa o calcària. Poden ser uniloculars, biloculars o pluriloculars i solen presentar un dimorfisme important que es mostra en la forma de la petxina. En general són organismes marins de dimensions que van de dècimes de mil·límetre a alguns centímetres. Són molt presents en els sediments i són bons fòssils estratigràfics que s'estenen des del Càmbric fins avui.

perfluorats (PFC) i els hidrofluorcarburs (HFC). Encara que el vapor d'aigua és el gas que absorbeix la radiació terrestre amb més efectivitat, quan es tracta de la qüestió de l'escalfament de l'atmosfera degut a l'activitat humana no s'inclou aquest gas en els balanços, ja que apreciablement la seva concentració varia amb la temperatura però no per causa directa atribuïble a activitats humanes. Un altre gas amb efecte hivernacle és l'ozó. Cal distingir entre l'ozó estratosfèric i l'ozó en la troposfera. El primer es veu afectat per la presència de compostos de clor en l'estratosfera i, de mitjana, ha disminuït durant els últims vint anys, mentre que l'ozó a la troposfera es forma a conseqüència de les emissions d'òxids de nitrogen emesos per les activitats humanes i absorbeix radiació terrestre. Encara que la concentració de cadascun dels gasos amb efecte hivernacle és diferent, se sol convertir el seu efecte global sobre l'energia de l'atmosfera a la concentració equivalent de diòxid de carboni⁸. En general, les emissions de gasos i d'aerosols a l'atmosfera creixen relacionades amb l'evolució de l'economia. La bonança econòmica i el desenvolupament econòmic mateix comporten tradicionalment taxes d'emissions grans i, en canvi, les crisis econòmiques es caracteritzen per menys emissions. La concentració atmosfèrica de diòxid de carboni augmenta any rere anys, modulant el seu augment amb els cicles estacionals. Aquesta tendència és comuna en la majoria de gasos amb efecte hivernacle, els quals actualment tenen concentracions en l'atmosfera molt més grans que no en períodes preindustrials⁹. Si es fan balanços precisos, persisteixen encara incerteses sobre on va a parar tot el CO₂ emès a l'atmosfera, ja que la concentració atmosfèrica del gas que es mesura és si fa no fa

la meitat de la que aparentment s'ha emès. No obstant això, els majors embornals del diòxid de carboni atmosfèric són els oceans i la biosfera. S'observa, també, que el ritme de creixement de les emissions varia, a conseqüència de la transformació dels sistemes de producció d'energia elèctrica, amb el pas de l'ús de carbó al d'altres combustibles fòssils amb menys emissions de carboni, de les transformacions de determinades pràctiques agrícoles, ramaderes i industrials i de l'activitat econòmica creixent de països en via de desenvolupament amb altes taxes de creixement.

- *Durant el segle XX, la temperatura mitjana de la superfície terrestre ha augmentat.* Per poder afirmar que el clima està canviant a partir de mesures instrumentals, cal recórrer a l'estudi de les dades de la xarxa d'estacions que mesuren la temperatura terrestre. El registre

Figura 1: Concentració atmosfèrica de CO₂ mesurada a l'observatori de Mauna Lloa (Hawaii). Font: Elaboració pròpia a partir de C.D. Keeling, T.P. Whorf i the Carbon Dioxide Research Group, Scripps Institution of Oceanography (SIO), University of Califòrnia, La Jolla, Califòrnia, USA.



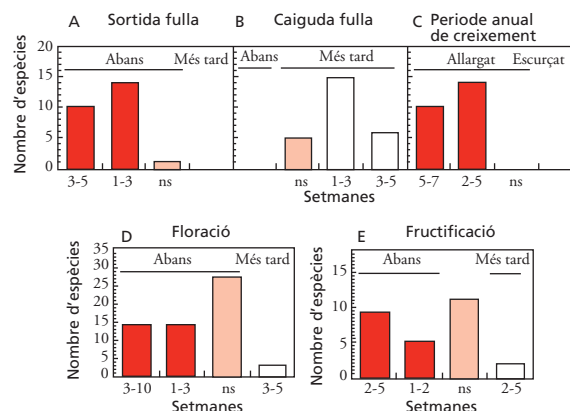
⁸ Quantitat de CO₂ que produiria el mateix nivell de forçament radiatiu que una determinada quantitat d'un gas d'efecte hivernacle. És una mesura que s'utilitza per comparar les emissions de diferents gasos d'efecte hivernacle d'acord amb el seu potencial d'escalfament global.

⁹ En el cas dels PFC i HFC, aquesta afirmació no té sentit, ja que primera síntesi d'un gas d'aquesta mena es va produir el 1928 i la majoria s'han desenvolupat i utilitzat durant la segona meitat del segle XX.

instrumental de la temperatura en estacions terrestres i en vaixells fa concloure que la temperatura superficial global de l'aire s'ha escalfat entre 0,4 i 0,8 graus centígrads (°C) durant el segle XX¹⁰. La tendència a l'escalfament és general a tot el planeta i és consistent amb el retrocés de les glaceres, la reducció de la superfície de neu i el ritme més accelerat d'ascens del nivell del mar durant el segle XX comparat amb el dels últims mil anys. S'han observat i documentat fenòmens derivats de l'escalfament que, pel fet de correspondre a sistemes biològics, suposen una integració dels canvis de diferents variables climàtiques, com per exemple l'allargament del període de creixement d'algunes espècies vegetals, l'avançament de la floració i el retard de la caiguda de les fulles, el desplaçament cap al nord d'espècies de papallones i el desplaçament d'espècies d'arbres cap a zones més altes i l'avanç en l'arribada d'espècies migratòries. També es pot afirmar que la capa superficial de l'oceà (des de la superfície fins a 700 metres de profunditat) s'ha escalfat uns 0,10°C durant el període 1963-2003, com ho constata el grup intergovernamental d'experts sobre el canvi climàtic en el Quart Informe¹¹ (Figura 2).

- *Ha canviat la pluviositat?* S'ha observat una tendència d'augment de la precipitació sobre les zones continentals d'un 1% durant el segle XX, encara que des del 1980 fins a la fi de segle es va produir una estabilització i fins i tot una petita disminució. La precipitació ha augmentat damunt les àrees continentals especialment a l'hemisferi nord i en latituds altes durant la tardor i l'hivern, de manera consistent amb l'augment de la temperatura. La mesura de la precipitació practicada mitjançant estacions convencionals presentava problemes de coherència, però les millores progressi-

Figura 2. Canvis fenològics observats a Cardedeu (Barcelona) durant el període 1952-2000. Font: Josep Peñuelas, Iolanda Filella, Santi Sabaté i Carles Gracia en Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya, J.I.Llebot (ed), CADS 2005.



ves de la instrumentació han constatat creixements sistemàtics i progressius de la precipitació, particularment a les zones on acostuma a ser en forma de neu. Tanmateix, semblen clars l'augment de la precipitació a les latituds altes i la disminució a la zona nord dels tròpics a l'Àfrica. Als territoris de l'antiga Unió Soviètica es constata un augment de la precipitació d'un 10% durant un segle aproximadament. L'increment ha estat superior a l'hivern que a l'estiu. Així mateix, els augments de la precipitació més grans s'atribueixen a la primera meitat del segle XX, amb una tendència d'una molt lleugera disminució des de 1950. En contrast, a l'Amèrica del Nord, l'augment més important de precipitació té lloc des de la segona meitat del segle XX, tant al Canadà com als Estats Units, amb una magnitud global del 5%. Les regions de l'oest del continent són les zones on l'augment ha estat menys important. A Europa els canvis en la precipitació mostren una clara dependència amb la latitud. A les regions situades més al nord, per sobre del paral·lel 50° nord, hi ha increments en la precipitació,

¹⁰ Dins el context dels dos últims mil·lennis, es pot dir que les temperatures globals dels dos darrers decennis del segle XX han estat les més altes dels últims mil tres-cents anys. Encara que s'ha arribat a proposar que les temperatures han estat les més altes dels dos últims mil·lennis, la precarietat de les dades de què es disposa fa que aquesta última hipòtesi no es pugui afirmar amb rotunditat. (*Surface Temperature Reconstructions for the Last 2000 Years*, National Academy of Sciences, 2006 (<http://www.nap.edu/catalog/11676.html>)).

¹¹ IPCC *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press (2007).

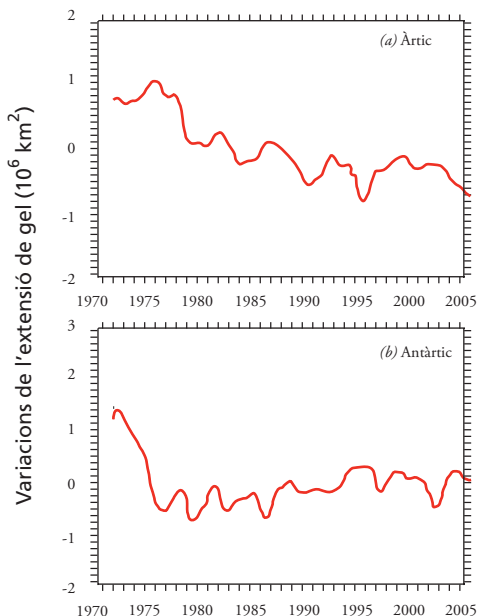
mentre que a la zona central no se n'observa cap tendència clara i als països mediterranis se n'observa una petita disminució, encara que modulada per un augment de la irregularitat que pot induir fins i tot un augment estacional durant la tardor. No obstant això, la mesura dels canvis de la precipitació en els oceans és difícil. De fet, les mesures fiables es limiten a les estacions meteorològiques situades a illes i petits illots. Les observacions fetes mitjançant satèl·lits proporcionen una cobertura contínua, però en canvi són massa recents (des de 1979) per poder tenir una estadística que permeti extreure conclusions. Les anàlisis actuals de la precipitació als oceans, per tant, es basen en dades indirectes, com la cobertura nuvolosa i els perfils de la temperatura. En aquestes condicions sembla que hi ha bastants evidències que suggereixen un augment de la precipitació sobre el Pacífic central, especialment a la zona equatorial, que s'ha corroborat recentment amb la constatació d'una disminució de la salinitat. Aquest augment disminueix a mesura que s'estudien regions més al nord o més al sud de l'equador. Cal fer notar, però, que el règim de pluges és afectat de manera influent pels episodis del *Nen*.

- *Com varia l'extensió de neu i glaç?* No hi ha cap estadística ben completa sobre l'extensió de neu i de glaç. Es disposa d'uns vint-i-cinc anys de mesures sistemàtiques amb satèl·lits que indiquen que, des de fa uns deu anys, l'extensió de neu i glaç a l'hemisferi nord és inferior a la de la mitjana dels anys 1974-1994. Aquesta disminució es fa especialment rellevant durant la primavera, i en menor grau, durant l'estiu i la tardor. L'extensió de neu durant l'hivern sembla no experimentar cap canvi apreciable, encara que la disminució anual se situa al voltant del 10% de mitjana i no s'ob-

serva una dependència gaire accentuada amb la situació geogràfica. La disminució de l'albedo (la fracció de la radiació solar que incideix en una superfície i que aquesta reflecteix cap a l'espai) terrestre durant la primavera a causa de la menor extensió de neu explica un 50% de l'escalfament de l'atmosfera en latituds altes i mitjanes de l'hemisferi nord. Pel que fa als estudis de la profunditat mitjana de la neu, la informació encara és molt precària. Esperant poder disposar d'un registre continu obtingut mitjançant algun tipus de mesura automatitzada, s'empren dades d'estacions de l'antiga Unió Soviètica que mostren que els gruixos de la neu han disminuït d'un 15% des de començament del segle XX. En alguns sectors d'Àsia, aquest descens s'ha detingut i des de l'any 1960 ha començat a créixer una altra vegada. No obstant això, sembla que la tendència general a tot el globus és l'establiment d'un descens regular del gruix de glaç (Figura 3).

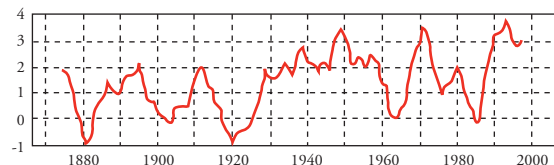
- *Com ha variat el nivell del mar?* Durant el passat geològic de la Terra s'han produït nombrosos canvis en el nivell del mar. Les dades geològiques i arqueològiques mostren que l'altura del nivell del mar global des de l'any 0 no ha variat més que una trentena de centímetres. A escala històrica més recent, la identificació del nivell del mar a partir del registre de les marees està afectada pels moviments dels continents, resultat del continu reajustament de l'escorça terrestre i de la consegüent variació del volum de les conques oceàniques. Quan es té en compte aquest reajustament, resulta un ascens del nivell del mar entre 10 i 25 centímetres (cm) durant els últims cent anys. Aquest ascens suposa una acceleració dels canvis del nivell del mar respecte a períodes anteriors, que podria haver-se iniciat poc abans de 1850 (Figura 4).

Figura 3: Variació de l'extensió de gel durant els últims 25 anys. Font: World Meteorological Organization núm. 998, 2006.



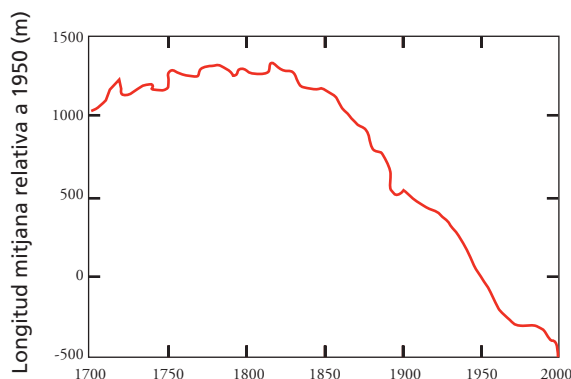
- *Ha canviat l'extensió de les glaceres?* A tot el planeta, les glaceres disminueixen d'extensió, fet que s'interpreta com un signe inequívoc de l'escalfament de l'atmosfera del planeta, ja que, a excepció d'algunes situades al cercle polar àrtic, especialment a Noruega, amb una dinàmica local de precipitacions i de temperatura singular, l'evolució de la resta de les glaceres del món respon a un balanç entre la neu caiguda a l'hivern i la durada de l'estació estival que fa fondre el glaç. En una glacera típica situada a latituds mitjanes, el paper de la temperatura sol ser més important que no el de la precipitació a l'hivern. Això és així perquè una mica de calor extra a l'estiu és una manera molt eficient de disminuir la quantitat de glaç. Així, un augment d'1 °C en la temperatura mitjana de l'estiu aplicada uniforme-

Figura 4: Taxa de variació del nivell del mar en mm./any. Font: Church, J.A. i N.J. White, A 20th century acceleration in global sea-level rise, Geophysical Research Letters 33(L01602), doi10.1029/2005GL024826.



ment a tota una glacera és suficient per fondre un metre vertical de glaç per any. Una glacera típica de latituds mitjanes rep a ratlla d'un metre de glaç per any (uns tres metres de neu). Per tant, l'augment d'un grau en un any en la temperatura mitjana durant el període estival equival a tot un any sense nevades, o, dit d'una altra manera, cada grau d'augment de la temperatura mitjana durant l'estiu implica que per mantenir la quantitat de glaç sobre la glacera han de caure tres metres de neu addicionals durant l'hivern (Figura 5).

Figura 5: Evolució de l'extensió de les glaceres referida a l'any 1950. Font: Elaboració pròpia a partir de dades de World Glacier Monitoring.



1.3. El cas d'Espanya

1.3.1. A manera d'introducció: el clima actual

Espanya és un país molt divers des d'un punt de vista natural, això és, atenent el clima, el relleu, la vegetació, el paisatge, etc.. Els poc més de mig milió de quilòmetres quadrats del territori acullen una varietat climàtica molt notable. Això és degut, en primer lloc, a la seva situació geogràfica general, a cavall entre les zones temperada i humida, al nord, i subtropical (mediterrània), al sud, i a la seva posició a l'extrem sud-occidental d'Europa, enfront d'Àfrica, entre l'Atlàntic i la Mediterrània. A més, la complexa orografia del solar ibèric i dels arxipèlags canari i balear hi afegeix una infinitat de matisos climàtics.

Gran part d'Espanya és, climàticament i sota altres perspectives, mediterrània. En efecte, si se n'exceptuen la franja més septentrional de la península Ibèrica, des de Galícia al Pirineu navarrès, i les Canàries, la resta del territori pot adscriure's al clima mediterrani, que és, tècnicament, un clima subtropical de façana occidental (d'Euràsia), caracteritzat per estius eixuts i calorosos i hiverns suaus i moderadament plujosos. La franja ibèrica més del nord té un clima marítim de latituds mitjanes, mentre que les Canàries formen part d'un àmbit subtropical molt proper al tròpic. Fins i tot essent bona part d'Espanya mediterrània, hi ha regions amb forts matisos de continentalitat, d'altres amb una acusada aridesa, que recorda àrees semidesèrtiques, etc.. És a dir, tot enfocament relatiu al clima d'Espanya ha d'utilitzar sempre el plural –els climes– per reflectir la gran varietat climàtica del territori (Martín Vide i Olcina, 2001; Capel Molina, 2000) (Quadre 1).

D'una manera sintètica, per reflectir la variada realitat climàtica actual d'Espanya, pot al·ludir-se a les diferències

espacials dels valors tèrmics mitjans anuals, que superen els 18 °C en el territori peninsular, des de valors negatius als alts cims fins a prop del número esmentat a la costa sudmediterrània o a la vall mitjana-baixa del Guadalquivir; i al rang de precipitació mitjana anual, que oscil·la entre a penes 150 mm, al cap de Gata, fins a més de 2.500 mm als sectors més plujosos de Galícia i del Pirineu navarrès.

A això, cal afegir-hi l'elevada variabilitat climàtica interanual i la notable amplitud de valors diaris extrems. Així, per exemple, la variabilitat pluviomètrica assoleix coeficients superiors al 20%, i fins al 40%, a les regions mediterrànies i a l'arxipèlag canari, fet que suposa anys notablement contrastats. Les seqüències de dies consecutius sense pluja arriben a excedir els 4 mesos a la meitat meridional. D'altra banda, els valors tèrmics diaris extrems possibles abracen un interval de -40 a +50 °C, i els màxims de precipitació diària arriben a superar els 500 mm (Martín Vide i Olcina, 2001).

Quant a l'estacionalitat climàtica, n'hi ha prou amb dir, per remarcar la diversitat del territori, que dels 24 règims pluviomètrics estacionals¹² possibles, a Espanya n'hi ha, ni més ni menys, 13 de representats, en qualsevol de les estacions, incloent-hi l'estiu, com la més plujosa.

En conclusió, si ja és complexa la realitat climàtica actual, no serà d'entrada fàcil preveure el futur climàtic, o, almenys, discernir amb encert els matisos territorials que comportarà el canvi climàtic.

1.3.2. Anàlisi de les tendències climàtiques recents

Els estudis com més va més nombrosos i en especial els dos amplis -tant per l'abast temàtic com pel nombre d'investigadors implicats- informes oficials sobre el canvi climàtic a l'àmbit espanyol, l'un relatiu a Espanya (Moreno, 2005) i l'altre a Catalunya (Llebot, 2005), confirmen evidències clares

¹² Per règim pluviomètric estacional s'entén l'ordenació decreixent de les quantitats mitjanes estacionals de precipitació. Per exemple, un règim OPIV és el que té, de mitjana, la tardor (O) com l'estació més plujosa, seguida de la primavera (P) i l'hivern (I), mentre que la més eixuta és l'estiu (V).

Quadre 1: Regionalització climàtica d'Espanya. Font: Martín Vide i Olcina (2001).

Tipus	Subtipus	Varietat	P (mm)	Reg.pluv.est	T (°C)	DT (°C)	Altres caract.
OCEÀNIC	ATLÀNTIC	Gallec	1000-2500	Màx. hivernal i mín. estival	11-15	8,5-12	Abundant nuvolositat i elevada humitat ambiental
		Asturià i càntabre	900-1500		12-14	10-11	
		Basc litoral	1100-2000		12-14	10-12	
	DE MUNTANYA	-	1000-2500	-	<12	-	
MEDITERRANI	SUBMEDITERRÀNI	-	700-900		11-14	14,5-16	-
	CONTINENTAL	Altiplà Nord	350-550	Màx. hivernal o primaveral i mín. estival	10-12,5	16-18	Gelades freq. a l'hiv.
		Altiplà Sud	350-550		12-15	18-20,5	Temp.màx estiv. altes
		Vall de l'Ebre	300-550	Màxims equinoccials	13-15	18-20	Vent NW sec
	DE FAÇANA ORIENTAL	Català	550-750	Màx. tardorenc i mín. estival	14-17	14-17	Precipitac. torrencials a la tardor
		Valencià	400-850		15,5-17,5	13,5-16,5	
		Balear	400-800		16-18	13,5-15,5	
	MERIDIONAL	Litoral	400-750	Màx. hivernal i mín. estival	17-18,5	10-13,5	Gelades excepció.
		Vall del Guadalquivir	550-650		17-18,5	15-18,5	Temp.màx.estiv. molt altes
		Extremeny	450-600		16-16,5	16,5-18	Temp.màx.estiv altes
	ÀRID O DEL SUD-EST	-	150-350	Mín. estival	14,5-18,5	13,5-17,5	Extrema aridesa
	DE MUNTANYA	-	600-2000	-	<14	-	-
SUBTROP./TROPICAL (canari)	LITORAL	-	75-350	Màx. hivernal i mín. estival	18-21	5-7,5	Alisis al N i extrema aridesa al S
	DE MAR DE NÚVOLS	-	500-1000		13-16	6-8	Elevada humitat ambiental
	D'ALTURA	-	450-700		<12	12-14	Aire molt sec

P, precipitació mitjana anual (mil·límetres, mm); Reg.pluv.est., règim pluviomètric estacional; T, temperatura mitjana anual (°C); DT, amplitud tèrmica mitjana anual (°C).

sobre el canvi climàtic a la península Ibèrica i els seus arxipèlags, alhora que revelen algunes incerteses. D'una banda, l'augment, estadísticament significatiu, de la temperatura a

Espanya des de fa un quart de segle o una mica més no ofereix dubtes, mentre que, per una altra, la precipitació no mostra, tant a resolució anual com diària, tendències definides.

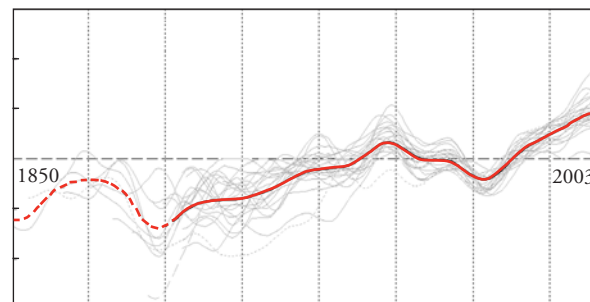
La temperatura

Pràcticament totes les anàlisis de sèries de temperatura d'observatoris de la península Ibèrica ofereixen una nítida tendència a l'alça. L'increment de la temperatura mitjana anual a partir del segon lustre dels anys setanta del segle XX, el confirmen les anàlisis fetes a partir de sèries regionals obtingudes mitjançant interpolació dels observatoris de diferents regions, com també de les sèries individuals més llargues existents (Raso, 1977). Una investigació sobre 45 observatoris ibèrics, 27 dels quals amb sèries que comencen el 1869, ha arribat a les següents conclusions: 1) Les temperatures màximes han crescut significativament des dels anys setanta del segle XX, excepte a Galícia, a raó de 0,6 °C/dècada, com a valor mitjà, encara que amb apreciables variacions regionals. 2) Les temperatures mínimes han experimentat un ascens similar. 3) L'escalfament s'ha detectat principalment a l'hivern (Staudt, 2004). Un recent treball sobre la temperatura diària de 22 observatoris espanyols al llarg del període 1850–2003 (Brunet *et al.*, 2006) confirma la tendència ascendent i paral·lela a la planetària. Les temperatures mitjanes de les màximes i mitjanes de les mínimes anuals mostren increments de 0,12 °C/dècada i 0,10 °C/dècada, respectivament, sobre l'esmentat període de segle i mig.

Diversos estudis sobre regions espanyoles coincideixen en el fet essencial: l'escalfament a partir de la dècada dels anys setanta és visible i significatiu. Així conclouen diverses anàlisis de les temperatures mitjanes anuals i de les màximes i mínimes mitjanes anuals sobre l'altiplà nord (Labajo *et al.*, 1998, Labajo i Piorno, 2001) l'altiplà sud (Galán *et al.*, 2001; Cañada *et al.*, 2001), Aragó, Navarra i la Rioja (Abaurrea *et al.*, 2001), Catalunya (Brunet *et al.*, 2001), la conca del Segura (Horcas *et al.*, 2001), entre d'altres.

En tots els casos, les anomalies positives mostren una clara acumulació a partir dels anys vuitanta del segle XX fins avui. El comportament general és molt semblant al planeta-

Figura 6: Evolució temporal de la temperatura mitjana de les màximes de 22 observatoris espanyols durant el període 1850–2003, expressada com anomalies respecte al 1961-90 i suavitzada (línia vermella) amb un filtre gaussià de 13 anys. Font: Brunet *et al.*, 2006.



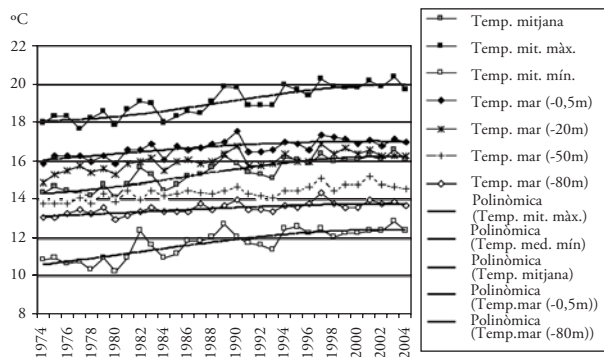
ri, amb valors baixos durant el segle XIX, un augment de la temperatura durant la primera meitat del segle XX, anomalies negatives a la dècada dels anys seixanta i setanta i el dit increment final.

La temperatura de l'aigua marina constitueix un important indicador sobre l'escalfament global, donada la seva inèrcia. Són poques les sèries llargues disponibles respecte a les aigües espanyoles. A l'Estartit (Baix Empordà), diverses sèries de temperatura de les aigües a profunditats de 0,5, 20, 50 i 80 m del període que va des del 1974 fins avui mostren tendències creixents estadísticament significatives (Salat i Pascual, 2006).

La precipitació

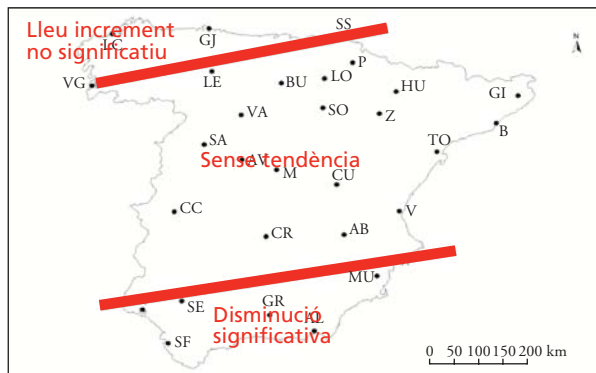
L'evolució de la precipitació a Espanya des de l'últim terç del segle XIX no mostra tendències generals ni significatives, llevat d'alguna notable excepció. En efecte, contràriament a la temperatura, l'ascens recent de la qual a Espanya és indiscutible, per la quantia i generalitat, i s'ajusta bé a l'augment tèrmic experimentat pel conjunt del planeta, la precipitació no ha donat senyals clars de variació. Encara que hi ha una àmplia percepció ciutadana que avui plou menys que dècades enrere, els registres instrumentals de gran part d'Espanya no avalen pas aquest supòsit.

Figura 7: Evolució temporal de les temperatures mitjana, mitjana de les màximes i mitjana de les mínimes de l'aire i de les temperatures marines a 0,5, 20, 50 i 80 m de profunditat en l'Estartit (Girona), durant el període 1974–2004. Font: Elaboració pròpia, a partir dels registres de Josep Pascual.



En el còmput anual no pot admetre's la significació estadística de les petites tendències en les precipitacions de la majoria dels observatoris amb sèries de longitud superior a un segle (Milián 1996; Chazarra i Almarza, 2002; Saladí, 2004, entre d'altres). Hi ha, tanmateix, una excepció que crida l'atenció, la de la zona més meridional de la península Ibèrica, on, d'altra banda, es localitzen alguns dels observatoris amb sèries pluviomètriques més llargues, com ara San Fernando o Gibraltar (Figura 8). La precipitació mitjana anual hi ha experimentat una disminució estadísticament significativa des de final de l'últim terç del segle XIX fins a final del XX. Així, a San Fernando es va passar d'una mitjana anual de 707,4 mm en el període 1870-1899 a només 553,4 mm entre 1960-1994 (Querreda i Montón, 1997) i a Gibraltar de 880,4 mm els anys 1871-1900 a 739,6 mm entre 1961-1988. (Wheeler i Martín-Vide, 1992). Altres observatoris de la regió mostren també tendències decreixents. Aquest fet podria estar vinculat al desplaçament cap al nord del cinturó d'altres pressions tropicals, la subsidència de les quals és la causa dels grans deserts planetaris de l'hemisferi boreal (Sàhara, Aràbia, etc.).

Figura 8: Tendències bàsiques de la precipitació anual a l'Espanya peninsular des de l'últim terç del segle XIX fins a finals del XX. Font: Milián, 1996, modificat.



En un ampli espai central, des d'Extremadura a Catalunya, no s'han detectat tendències pluviomètriques anuals significatives i amb certa representació espacial des de final del segle XIX fins a l'última dècada del XX, mentre que en alguns observatoris gallecs i propers la pluja anual s'ha incrementat molt lleugerament al llarg del mateix període.

Si l'anàlisi es redueix a l'últim terç del segle XX, sí que s'aprecien certes reduccions de la precipitació a diferents regions, bé que no pas generals (Abaurrea *et al*, 2002; Romero *et al*, 1998; Guijarro, 2002, De Luis *et al*, 2002, etc.). Si, per contra, s'augmenta l'escala temporal a l'últim mig mil·lenni, i es reconstrueixen sèries pluviomètriques mitjançant l'ús de *proxy-data*, és a dir, amb registres dendroclimàtics¹³, informacions històriques, etc., s'observa una reducció de la pluja en les últimes dècades del segle XX respecte a segles anteriors (Rodrigo *et al*, 1999; Saz, 2003).

La sensibilitat de moltes activitats econòmiques al repartiment estacional i mensual de la pluja, en particular l'agricultura de secà, en la qual és més important que caigui al moment oportú que no pas la quantitat, obliga a fer anàlisis pluviomètriques intraanuals. Només s'ha trobat, en el cas

¹³ La dendroclimatologia és una branca de la paleoclimatologia que reconstrueix el clima dels segles passats a partir de l'anàlisi del gruix, la densitat i els isòtops dels anells de creixement d'algunes espècies arbòries longeves.

d'Espanya, una significativa tendència a la baixa, gairebé general, el mes de març, que té la seva empremta a la primavera. Es pot afirmar que al llarg de l'últim mig segle s'ha reduït la pluja de març, i fins i tot amb menor senyal la primavera, en bona part d'Espanya (Trigo *et al.*, 2006). Aquesta tendència és clarament negativa per al bon desenvolupament de molts conreus.

Pel que fa a la variabilitat pluviomètrica interanual i sobre la intensitat de la precipitació, que tenen importants efectes en la planificació i gestió hídrica o en l'erosió del sòl, entre d'altres coses, no s'han apreciat fins ara tendències clares i generals.

Altres elements

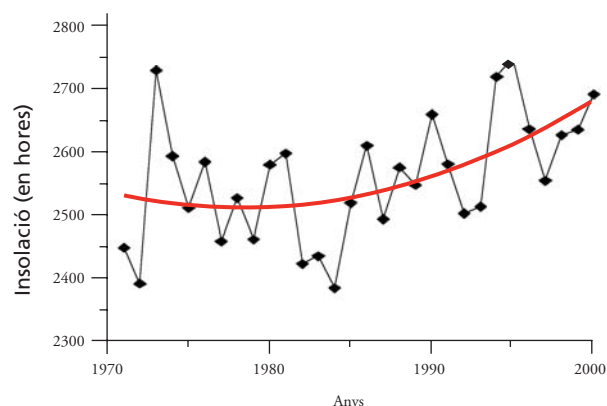
Les sèries de pressió atmosfèrica més llargues de la península Ibèrica, com les de Barcelona, Madrid, San Fernando, Gibraltar, Lisboa, etc., mostren una certa tendència ascendent durant les últimes dècades, consistent, en el cas de les meridionals, amb el descens de la precipitació al sud de la península.

Una anàlisi molt recent d'una sèrie d'insolació anual conjunta obtinguda a partir de les 20 millors sèries espanyoles del període 1971-2000 mostra una tendència creixent, després d'un mínim els primers anys vuitanta, coincidint amb l'observat en molts registres de gran part del planeta (Martín-Vide *et al.*, 2006). Aquest mínim, denominat *global dimming* i atribuït als aerosols d'origen antròpic, va donar pas a un major nombre d'hores de sol a la fi del segle passat a Espanya.

1.3.3. Tendències futures a partir dels models climàtics

Les previsions sobre el clima de les pròximes dècades a Espanya presenten les mateixes incerteses que tenen les pro-

Figura 9: Evolució temporal de la insolació mitjana anual a partir de 20 observatoris espanyols durant el període 1971-2000, amb suavització polinòmica. Font: Martín-Vide, Calbó i Sánchez-Lorenzo, 2006.



jeccions del clima global, això és, les derivades de l'evolució de la demografia, el creixement econòmic, l'ús de combustibles fòssils, els progressos tecnològics, etc., i, a més, la resultant de la mateixa complexitat climàtica del territori. Mitjançant l'ús dels models climàtics globals, i suposant la duplicació de l'actual concentració de CO₂ l'any 2100, l'augment de temperatura actual continuaria d'una manera ràpida i general, amb taxes d'increment d'1 a 2 °C cada 30 anys, amb més elevació a l'estiu que a l'hivern (Moreno, 2005), cosa que significa una variació a l'alça considerable. Quant a la precipitació, els resultats de l'aplicació dels models mostren algunes discrepàncies, per bé que coincideixen en una reducció del total anual, derivada sobretot de més primaveres eixutes.

L'assaig amb algun model climàtic regional, que augmenta el grau de resolució espacial dels resultats, dibuixa per a l'horitzó de l'últim terç del segle XXI un interior de la península Ibèrica entre 4 i 6 °C més càlid que a final del segle XX a l'estiu i de 2 a 3 °C a l'hivern; mentre que a la perifèria peninsular, a les Balears i les Canàries els augments són més moderats, 2 °C per sota els anteriors.

També es preveuen més dies amb temperatures màximes extremes, sobretot a la primavera i l'estiu.

Respecte a la precipitació, la reducció prevista, especialment marcada a la primavera i també a l'estiu, té excepcions, amb certs increments a l'hivern al nord-oest peninsular i a la tardor al nord-est. Les Canàries és l'àmbit amb menys variacions pluviomètriques i tèrmiques previstes (Quadre 2).

Quadre 2: Tendències climàtiques previsible a Espanya.
(Variacions en l'últim terç del segle XXI respecte a 1961-1990) Font: Elaboració pròpia i Moreno (2005).

-
- **Increment** progressiu de la **temperatura** mitjana (entre 2 i 5 °C més).
 - **Escalfament** més acusat (uns 2 °C més) a l'**estiu** que a l'hivern.
 - **Escalfament** superior (uns 2 °C més) a l'**interior** que a les costes i illes.
 - **Major freqüència** d'anomalies tèrmiques, en especial de **dies amb temperatures màximes elevades** a la primavera i l'estiu.
 - **Disminució** de la **precipitació** (entre un 5 i un 20 %), llevat de les Canàries.
 - Major **reducció pluviomètrica** a la **primavera i l'estiu**. Probable augment de la pluja hivernal a l'oest i tardorena al nord-est.
 - Probable **augment** dels **riscos climàtics** (onades de calor, precipitacions torrencials, sequeres, etc.).
-

2.

El canvi climàtic i els seus impactes sobre les generacions futures

2.1. Introducció

La intensificació de l'efecte hivernacle i el consegüent escalfament del planeta han generat una preocupació mediambiental sense precedents. Aquest interès s'ha reflectit en el nombre i la magnitud de les conferències internacionals i dels projectes científics organitzats per analitzar-lo i trobar-hi solucions. Fins ara el resultat més visible d'aquesta preocupació ha estat el compromís de control d'emissions establert en el Protocol de Kyoto el 1997 i que, malgrat la moderació de les seves propostes, no va ser ratificat pels Estats Units, el més gran emissor de gasos d'efecte hivernacle i, per tant, el país que més contribueix a l'agreujament del problema¹⁴. Però les polítiques de mitigació (vegeu apartat 2.3.6) han estat mínimes i poc efectives fins ara. El creixent coneixement científic del fenomen confirma les pitjors expectatives prèvies i cada dia es fa més evident la necessitat d'actuar enèrgicament per mirar d'evitar els pitjors impactes del canvi climàtic. La major certesa científica sobre la contribució humana a la intensificació de l'efecte hivernacle i les dades que mostren que el canvi climàtic ja s'està produint, així com la major inestabilitat en els esdeveniments climàtics i desastres naturals de les últimes dècades, justifiquen el creixent interès de la societat en el problema i les possibles solucions.

No obstant això, llevat de notables excepcions com el recent treball de Stern (2006), fet per encàrrec del govern britànic, els resultats de la major part de les anàlisis econòmiques convencionals aplicades al canvi climàtic fins ara semblen no justificar tal preocupació i en alguns casos s'han utilitzat per legitimar i donar una justificació "científica" a les polítiques de no-control o de control lleu d'emissions. Això, com s'explica més endavant, es deu en part a les limitacions i als supòsits que se solen incorporar en aquests estudis i que han contribuït a esbiaixar-los cap a la recomanació de polítiques poc agressives contra el canvi climàtic, que, a més, no incorporaven el coneixement científic més recent sobre la gravetat del fenomen.

¹⁴ El Protocol de Kyoto és un acord internacional adoptat en la tercera conferència de les Parts de la Convenció Marc de les Nacions Unides per al Canvi Climàtic, el desembre de 1997. Aquest acord implicava un compromís de reducció d'emissions de gasos d'efecte hivernacle en 2008-2012 del 5,2% respecte al nivell de 1990 als països industrialitzats (països de l'Annex I del Protocol, que inclou la majoria dels països de l'OCDE i els països d'Europa de l'est). El Protocol establia compromisos de reducció per als països industrialitzats, d'un 6% el Japó, un 7% els EUA i un 8% la UE. Va entrar en vigor el 16 de febrer del 2005, quan es va complir el requisit que almenys 55 països, incloent-hi països de l'Annex I que sumessin el 55% de les emissions totals de 1990 per a aquest grup, ratificarien l'acord. Al 13 de desembre del 2006, 168 països i la UE havien ratificat el Protocol; països que representen el 61,6% de les emissions de l'Annex I.

2.1.1. L'efecte hivernacle i les seves causes

L'escalfament global i el consegüent canvi climàtic es deuen a la intensificació de l'“efecte hivernacle”, que és un fenomen natural causat per diversos gasos presents en l'atmosfera i que és el responsable de les temperatures que fan habitable la Terra. El problema apareix perquè l'activitat humana ha accelerat l'acumulació d'aquests gasos, principalment amb la crema de combustibles fòssils, i això ha intensificat el procés d'escalfament. El principal gas responsable de l'efecte hivernacle és el CO₂. Les emissions d'aquest gas hi han contribuït en un 60% entre el 1750 i el 2000 (mesurat en termes de l'increment en el forçament radiatiu¹⁵ causat pels augments dels gasos d'efecte hivernacle) i es preveu que el seu pes relatiu dins dels gasos d'efecte hivernacle creixi en el futur (IPCC, 2001a). Les concentracions de CO₂ a l'atmosfera han augmentat d'un 31% entre el 1750 i el 2000, de 280 a 366,8 ppmv (parts per milió en volum), i els escenaris d'emissions de l'IPCC (2000) preveuen una concentració d'entre 490 i 1200 ppmv al final d'aquest segle, cosa que alteraria severament el clima global. La crema de combustibles fòssils per obtenir l'energia que requereixen els processos d'industrialització i l'expansió de l'ús de vehicles motoritzats explicarien el gran augment experimentat en les emissions de CO₂.

Tenint en compte el total mundial d'emissions d'efecte hivernacle de l'any 2000, uns dos terços estan generats per l'ús d'energia —24% en generació d'electricitat, 14% en la indústria, 14% en el transport, 8% en edificis i 5% en altres activitats relacionades amb l'ús d'energia—, mentre que un terç correspon a altres fonts d'emissió —18% per l'ús del sol, 14% en l'agricultura i 3% pels residus (càlcul de Stern, 2006, Figura 1, p. iv; a partir de dades del World Resources Institute).

Quant a la responsabilitat dels diferents països i regions en la generació del problema, és molt desigual. Hi ha enormes desigualtats en les emissions per càpita dels diferents països, desigualtats que encara són més remarcables si es consideren les emissions acumulades. A partir de les dades de l'Agència Internacional de l'Energia (IEA, 2003) sobre emissions de CO₂ provinents de la crema de combustibles fòssils l'any 2001, les emissions per càpita per regions oscil·len entre 19,7 tones per persona i any als Estats Units i 0,9 tones per persona i any de mitjana al continent africà. Les diferències es poden explicar per diversos factors —com la diferent intensitat energètica de l'economia i la diferent combinació de fonts energètiques—, però, de bon tros, el factor més important és el dels molt diferents nivells de renda per càpita (Alcántara i Padilla, 2005). És a dir, les divergències es donen sobretot entre els països rics i els països pobres, i, així, les emissions per càpita estarien fortament correlacionades amb el PIB per càpita. Segons Stern (2006), des de 1850, l'Amèrica del Nord i Europa han produït al voltant del 70% de totes les emissions de CO₂ per producció d'energia, mentre que els països en desenvolupament no arribarien a la quarta part.

Una característica particular del canvi climàtic és que les conseqüències per a cada país no depenen de la seva contribució individual al problema, sinó de la contribució global. Una altra característica és que els efectes són duradors, si no irreversibles, i el que es faci ara respecte al control d'emissions té efectes damunt les generacions futures, mentre que amb prou feines en tindrà en els pròxims trenta anys. A més, els impactes de les alteracions climàtiques són difícils de determinar per raó de la complexitat dels processos a analitzar. Aquestes característiques, juntament amb el “lliure accés” —sense gestió que limiti l'ús del recurs— a un medi ambient compartit per tothom, indivi-

¹⁵ Per forçament radiatiu s'entén la influència que un factor té per alterar l'equilibri de l'energia entrant i sortint del planeta.

dues presents i futures, regions riques i pobres, fan que no hi hagi els incentius necessaris per a una gestió sostenible.

2.1.2. Les incerteses sobre el canvi climàtic

Hi ha incertesa sobre qüestions bàsiques del canvi climàtic. En primer lloc, hi ha la dificultat de mesurar les emissions i de fer prediccions sobre concentracions futures. En segon lloc, l'existència de múltiples interaccions complica l'estudi de la relació entre les concentracions d'emissions i l'escalfament -alguns gasos d'efecte hivernacle produeixen interaccions químiques i causen problemes com la pluja àcida¹⁶ o la reducció de la capa d'ozó¹⁷, i el seu efecte final sobre el canvi climàtic és més difícil de determinar que en el cas del CO₂. En tercer lloc, respecte a cada nivell d'escalfament, hi ha incertesa sobre els impactes climàtics a les diferents regions del món. En quart lloc, és difícil identificar i estimar la magnitud dels impactes que el canvi climàtic pugui causar sobre el medi ambient i el benestar humà, i la dificultat i controvèrsia augmenten més quan s'intenten mesurar en termes monetaris. Finalment, també hi ha importants incerteses i controvèrsies a l'hora d'avaluar en termes monetaris quin sacrifici suposaria un major control d'emissions.

Aquests últims anys ha millorat d'una manera considerable el coneixement sobre el canvi climàtic i s'han reduït algunes d'aquestes incerteses. Recentment s'ha avançat molt en la possibilitat d'assignar probabilitats als diferents nivells d'escalfament i impactes sobre la natura associats a diferents nivells d'estabilització de gasos d'efecte hivernacle, amb la qual cosa ara és possible analitzar millor els riscos d'impactes poc probables però catastròfics assignant probabilitats. A més, es coneixen millor les possibles interaccions dinàmiques que poden amplificar el canvi climàtic (Stern, 2006).

Aquesta millora en el coneixement existent pot significar un avanç important en la capacitat dels models de recomanar les polítiques adequades. No obstant això, en el futur pròxim persistiran moltes de les incerteses que dificulten l'anàlisi del canvi climàtic.

2.2. Impactes del canvi climàtic sobre la natura i els humans

Segons l'últim informe complet del Panel Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic (tercer informe d'avaluació, IPCC 2001a), la temperatura mitjana mundial de la superfície de la terra ha augmentat al voltant de 0,6 °C des de l'any 1861. S'estima que l'augment en els últims 10.000 anys ha estat d'1 °C i que la taxa d'escalfament ha estat constant fins a les últimes dècades del segle XX, que va augmentar fins a 0,15 °C per dècada. L'IPCC estima que la temperatura mitjana podria augmentar d'1,4 a 5,8 °C entre 1990 i el final del segle XXI, i es preveu que això faci augmentar el nivell del mar de 9 a 88 cm de mitjana durant aquest període. Aquesta seria una taxa d'escalfament sense precedents en la història de la humanitat, la qual comportaria canvis i anomalies climàtiques amb forts impactes sobre la natura i el benestar humà. El resultat del canvi climàtic pot ser més calor o més fred, més pluges o més sequera, depenent de la regió, i, en general, més inestabilitat climàtica, amb un augment de la freqüència de desastres naturals com inundacions, ciclons o sequeres. Com més gran sigui l'escalfament, més grans seran les alteracions en el clima, i els models mostren que els danys augmenten més que proporcionalment a mesura que augmenta la temperatura.

A continuació, es resumeixen molt breument les previsions recollides en el tercer informe de l'IPCC (2001b) sobre els impactes socials i sobre el medi natural del canvi climàtic.

¹⁶ Es coneix per pluja àcida la que té valors de pH inferiors a 5,6. Aquesta es forma quan els òxids de nitrogen i el diòxid de sofre, emesos fonamentalment en la crema de combustibles fòssils i per indústries i vehicles, es combinen amb la humitat en l'aire formant àcid sulfúric i àcid nítric. La pluja àcida provoca greus efectes ambientals, com l'acidificació d'aigües (perjudicant els ecosistemes aquàtics) i sòls, a més de produir danys sobre la vegetació. També ocasiona danys en les construccions i monuments. Gauci *et al.* (2005) suggereixen que la pluja àcida podria reduir la generació de metà en àrees pantanoses.

¹⁷ Capa de l'estratosfera terrestre, a uns 25 km sobre el nivell del mar, que conté una concentració relativament alta d'ozó natural. Aquesta capa absorbeix la fracció més perillosa de

la radiació ultraviolada i impedeix que arribi a la superfície terrestre. Les emissions d'alguns compostos, com els CFC o el bromur de metil, han provocat una reducció de la concentració d'ozó estratosfèric. Aquesta reducció pot tenir conseqüències greus sobre la salut humana, com augmentar els casos de melanomes i perjudicar el sistema immunitari, i també sobre altres espècies animals i els vegetals sensibles als raigs ultraviolats. A més, la capa d'ozó evita que la radiació terrestre escapi amb facilitat. Per tant, els CFC, d'una banda, contribuirien a l'escalfament, pel fet de ser gasos d'efecte hivernacle, però, d'una altra, tindrien un efecte refredador, per la reducció de la capa d'ozó que provoquen, que contrarestaria al voltant de la meitat la seva contribució a l'escalfament global. Lamentablement, els gasos substituïts que s'utilitzen, com els HFC, són també potents gasos d'efecte hivernacle.

2.2.1. Agricultura

Es preveuen costos en l'agricultura, tant per reduccions en la producció de les collites com per l'adaptació dels sistemes de producció al canvi climàtic. Un escalfament moderat podria comportar lleus millores en les collites de països desenvolupats de latituds mitjanes i altes —especialment de cereal—, que desapareixerien amb un escalfament més gran. En canvi, un escalfament moderat implicaria menors produccions en les collites a molts països en via de desenvolupament, a la majoria de regions tropicals i subtropicals. Amb un escalfament més gran (uns 4 °C), regions senceres podrien tenir reduccions generalitzades de les seves collites, en bona part a l'Àfrica. Els efectes seran més severes en les collites de secà i en les dependents de la pluja allà on hi hagi un fort descens en les precipitacions. També es preveu que el canvi climàtic provoqui un augment global dels preus dels aliments, en cas d'augmentar la temperatura anual mitjana de 2,5 °C o més. Tenint en compte els preus i la producció, els impactes sobre els ingressos serien pitjors en els països i les poblacions més pobres, cosa que augmentaria la població en risc de fam, especialment a l'Àsia occidental i a l'Àfrica, on els canvis empitjorarien la seguretat alimentària.

2.2.2. Recursos hídrics

Es preveu que es redueixi substancialment la disponibilitat total d'aigua a moltes zones on aquesta és ja un ben escàs, especialment a l'Àfrica, mentre que augmentarà en altres.

Globalment, les precipitacions mitjanes augmentaran durant el segle XXI, encara que a escala regional pot haver-hi importants augments o reduccions. Es preveu que s'incrementin a regions de latituds altes a l'hivern i a l'estiu. Els

augmentos també es donaran a l'hivern en latituds intermèdies, l'Àfrica tropical i l'Antàrtida, i a l'estiu a l'est i sud d'Àsia. Les precipitacions es reduïrien a l'hivern a Austràlia, Amèrica Central i sud d'Àfrica. També es preveu una reducció a la Mediterrània. La magnitud i la freqüència de les inundacions podrien incrementar-se a diverses regions. El cabal dels rius augmentaria a les latituds altes i al sud-est d'Àsia, i disminuiria a l'Àsia central, la Mediterrània, l'Àfrica del sud i Austràlia. S'acceleraran la reducció de les glaceres i desapareixeran les petites, cosa que afectaria la disponibilitat d'aigua d'algunes poblacions.

El canvi climàtic podria reduir la recàrrega d'aigua subterrània i el cabal de rius a molts països amb estrès hidrològic¹⁸. Aquest és el cas de l'Àsia central, el sud d'Àfrica i els països de la Mediterrània. La major temperatura podria empitjorar la qualitat de l'aigua, cosa que es veuria compensada allà on es disposés de majors cabals i agreujada on es reduïssin.

El canvi climàtic no afectaria gaire la demanda d'aigua per a ús domèstic, però sí que podria fer augmentar la demanda d'aigua per a l'agricultura, a causa de la més gran evapotranspiració¹⁹.

Les majors vulnerabilitats es concentren a les regions amb estrès hídric i en els sistemes insuficientment o deficientment gestionats, atesa la seva menor capacitat per adaptar-se.

2.2.3. Ecosistemes i biodiversitat

Els ecosistemes i la biodiversitat es veuran alterats pel canvi climàtic i la pujada del nivell del mar, que augmentaran el risc d'extinció d'algunes espècies vulnerables. Quan les tensions causades pel canvi climàtic —sequera, incendis, invasió d'espècies, tempestes— s'uneixen a altres tensions, els

¹⁸ Quan la demanda d'aigua excedeix la quantitat disponible durant cert període, o quan la baixa qualitat en restringeix l'ús, hi ha estrès hidrològic. Aquest estrès deteriora la qualitat dels recursos hídrics (salinitat, contaminació, etc.) i la seva quantitat (sobreeplotació d'aqüífers, cabal de rius, etc.).

¹⁹ Pèrdua d'humitat d'una superfície per evaporació directa i per transpiració de la vegetació. S'expressa en mm per unitat de temps.

ecosistemes podrien patir danys substancials, incloent-hi la pèrdua de certs sistemes únics i l'extinció d'algunes espècies.

Un lleu escalfament podria fer augmentar la producció global de fusta, cosa que podria beneficiar els consumidors de fusta, mentre que en el cas dels productors dependrà dels canvis regionals en productivitat. No obstant això, els efectes positius tendrien a desaparèixer amb un major nivell d'escalfament i part del bosc amazònic podria desaparèixer.

Molts ecosistemes marins són sensibles al canvi climàtic. Les tendències climàtiques i la variabilitat poden afectar d'una manera important l'abundància de peixos, amb impactes significatius en les societats humanes dependents de la pesca. Els ecosistemes de coral ja han experimentat importants danys amb l'escalfament actual, que s'agreuaran amb nivells més grans.

Finalment, moltes àrees costaneres tindran majors inundacions i erosió accelerada, amb pèrdua d'aiguamolls i introducció d'aigua marina a fonts d'aigua dolça.

2.2.4. Salut

El canvi climàtic augmentarà les amenaces sobre la salut humana, particularment entre les poblacions d'ingressos baixos, sobretot als països tropicals i subtropicals. El canvi climàtic pot afectar la salut directament mitjançant la pèrdua de vides en inundacions, tempestes i onades de calor, i indirectament a través de canvis en els vectors de malaltia (com els mosquits), la disponibilitat de menjar i la qualitat de l'aigua i de l'aire. Els impactes dependran de les condicions ambientals locals, la infraestructura sanitària, les condicions socioeconòmiques i les mesures d'adaptació²⁰ que es prenguin.

Augmentarà l'àmbit geogràfic de transmissió potencial de malària i dengue, que, juntament amb altres malalties

infeccioses, incrementaran la seva incidència i durada estacional. També augmentaran les onades de calor, sovint acompanyades de major humitat i contaminació, i això comportarà més malalties i morts per calor. L'impacte serà més gran a les poblacions urbanes, afectant malalts i persones grans, i els qui no tenen accés a l'aire condicionat. En alguns països de clima temperat, tanmateix, podrien reduir-se les morts per fred a l'hivern. L'augment de les inundacions comportarà més ofegaments i malalties respiratòries i diarrees. En algunes regions es pot produir un augment dels ciclons tropicals més intensos, cosa que comportaria impactes devastadors, especialment en poblacions denses amb recursos deficientes. Finalment, la reducció en la producció de les collites pel canvi climàtic en algunes regions, en especial als tròpics, pot predisposar a la malnutrició i a la fam a poblacions amb poca seguretat alimentària.

2.2.5. Assentaments humans, energia i indústria

Els assentaments humans es veuen afectats pel canvi climàtic quan s'afecten els seus sectors econòmics, quan les infraestructures, serveis i/o indústries pateixen danys o quan les seves poblacions veuen danyada la seva salut o han de migrar.

Les poblacions de petites illes i zones costaneres baixes corren un gran risc de patir greus conseqüències socials i econòmiques per un augment de l'erosió i de les inundacions, causades per la major intensitat de les precipitacions i l'augment del nivell del mar. També perillen recursos crítics per a la seva supervivència, com les platges, aigües dolces, hàbitats d'algunes espècies, pesqueries i esculls. Desenes de milers de persones que viuen en deltes, zones costaneres baixes o en petites illes corren el risc d'haver-se de desplaçar. Segons el recent informe Stern (2006), l'augment del nivell del mar,

²⁰ L'IPCC defineix l'adaptació com l'ajust de sistemes naturals o humans a un medi ambient nou o canviant. L'adaptació al canvi climàtic es refereix a l'ajust de sistemes naturals o humans, en resposta a estímuls climàtics reals o previstos o als seus efectes, que modera els danys o explota oportunitats profitoses. Alguns exemples en són: canvis en les collites, adaptació d'infraestructures, millores en la gestió de l'aigua, canvis en l'ús de la terra, limitacions a l'edificació a la costa, millores en la infraestructura sanitària, etc..

les inundacions i les sequeres podrien fer desplaçar 200 milions de persones, que esdevindrien refugiats ambientals. La ràpida urbanització de zones costaneres augmenta els actius exposats.

Les inundacions urbanes poden ser un problema allà on les infraestructures —drenatge d'aigües, oferta d'aigua i gestió de residus— són insuficients; en aquest sentit són més vulnerables els assentaments amb alta densitat de població i pocs recursos. Les majors temperatures i precipitacions poden agreujar els dèficits existents en infraestructures, afectant l'oferta d'aigua i energia, el tractament de residus i el transport.

Els assentaments que depenguin de sectors primaris sensibles al canvi climàtic (agricultura, silvicultura i pesca) són més vulnerables que no els que estiguin més diversificats.

Quant a les infraestructures d'indústria, transport i comerç, són generalment vulnerables als mateixos riscos que la infraestructura dels assentaments. Finalment, respecte a la demanda d'energia, s'espera que augmenti per a refrigeració i aire condicionat i que es redueixi per a calefacció. L'efecte net depèn de la zona i l'escenari considerats.

2.2.6. Assegurances i altres serveis financers

Els costos provocats per esdeveniments climàtics extrems han augmentat substancialment aquestes últimes dècades. En part això es deu a factors socioeconòmics, com el creixement econòmic i demogràfic o la urbanització en àrees vulnerables, i en part a factors climàtics, com els canvis observats en precipitacions i inundacions, i és molt complex assignar en cada cas la part que correspon a cada factor. El canvi climàtic augmenta la incertesa en l'avaluació de riscos. Això pot portar a majors primes o a reclassificar alguns riscos com no assegurables. En conseqüència, es faria més car asse-

gurar-se, es limitaria l'expansió de serveis financers als països pobres i disminuiria la disponibilitat d'assegurances per a riscos, cosa que augmentaria la demanda de compensacions estatals després dels desastres. A més, el sector d'assegurances pot tenir dificultats per cobrir alguns esdeveniments poc probables però de gran impacte. A països pobres molt dependents de la producció primària, el PIB pot reduir-se significativament pels desastres naturals.

Si els riscos associats al clima es converteixen en no assegurables, o si s'encareixen o es limita la disponibilitat de les assegurances, es podrien agreujar els problemes d'equitat i augmentar els frens al desenvolupament. En contrast, segons l'IPCC (2001b), un accés més extensiu a les assegurances i als serveis financers augmentaria l'habilitat de països en via de desenvolupament per adaptar-se al canvi climàtic.

2.2.7. Desigualtats en els impactes i vulnerabilitat davant el canvi climàtic

Els impactes del canvi climàtic seran especialment greus als països en vies de desenvolupament i en les poblacions més desfavorides de tots els països, i això ha d'augmentar encara més les desigualtats. La situació geogràfica dels països en desenvolupament, i la seva dependència de sectors econòmics sensibles al canvi climàtic, fa que corrin un risc elevat de patir els impactes negatius, mentre que la pobresa i la falta d'infraestructures els limiten la capacitat d'adaptació.

2.2.8. Impactes extrems

Segons l'IPCC, hi ha la possibilitat d'impactes extrems, com canvis en els corrents oceànics, reducció considerable dels casquets polars i escalfament accelerat a causa de l'alliberament de bosses de metà i carboni o per la retroalimentació

del cicle de carboni a la biosfera terrestre, entre d'altres. Si es produïssin, els efectes serien catastròfics, i possiblement irreversibles a llarg termini. La probabilitat d'aquests fenòmens depèn de la taxa, magnitud i durada del canvi climàtic (IPCC, 2001b). Com més extrems siguin els esdeveniments, més dificultat trobaran els humans per adaptar-s'hi.

2.2.9. Els efectes del canvi climàtic a Espanya

Les dades confirmen que el canvi climàtic ja s'està produint a Espanya. Des de mitjan segle XIX fins avui, la temperatura mitjana anual ha pujat una dècima de grau centígrad per dècada, de mitjana, i han augmentat tant les temperatures màximes com les mínimes. Han disminuït les precipitacions i el nombre de dies de neu anuals. Hi ha una clara tendència a l'augment de freqüència i severitat de les onades de calor²¹. A més, la taxa anual de pujada del nivell mitjà del mar s'ha accelerat²² (Ayala, 2004).

A Europa, Espanya i els països del sud, juntament amb l'àrtic europeu, per la seva situació geogràfica, serien les zones més vulnerables al canvi climàtic. Es preveu una pujada del nivell del mar de 10 a 68 cm al final de segle (50 cm és l'escenari més probable) i un augment de la temperatura peninsular de 3 a 7 graus (IPCC, 2001a). Les precipitacions, especialment a l'estiu, tendiran a reduir-se i seran més freqüents les sequeres, cosa que disminuiria la disponibilitat d'aigua i la humitat dels sòls.

El major estrès hídric farà disminuir la productivitat de l'agricultura, especialment a terres de secà i a pastures, i també afectarà negativament el creixement de la massa forestal. A més, la major temperatura i sequedat farà més perillosos i freqüents els incendis forestals.

Algunes espècies es veuran amenaçades per la pèrdua d'importants hàbitats. Es produirà un desplaçament altitudi-

nal de zones de vegetació i major vulnerabilitat i pèrdua d'espècies. Part de la fauna es desplaçarà cap al nord o cap a majors altituds.

A les zones costaneres augmenta el risc d'inundació, erosió i pèrdua d'aiguamolls, amb implicacions per als assentaments humans, el turisme, l'agricultura i els hàbitats naturals de la costa. El descens de recursos hídrics també comportaria una reducció dels recursos pesquers, que igualment es fan més vulnerables a la contaminació del mar. La pujada del nivell del mar i el descens dels recursos hídrics portadors de sediments provocaran l'erosió de les platges i costes i el retrocés de deltes. Les zones costaneres més baixes —aiguamolls, deltes de l'Ebre i del Llobregat, Manga del Mar Menor, costa de Doñana— podrien tenir inundacions. Les edificacions a primera línia de platja es veuran seriosament afectades.

Els costos poden ser molt importants en el sector turístic: les temperatures més altes i les onades de calor poden perjudicar seriosament el turisme d'estiu (encara que la temporada s'allargui a la tardor), mentre que la menor fiabilitat de les condicions de neu pot tenir afectes negatius en el turisme d'hivern. A més, l'elevació del nivell del mar fa perillar la localització d'assentaments i infraestructures turístiques.

Respecte als impactes sobre el consum energètic, disminuirà el consum per a calefacció, però hi haurà un fort augment del consum per a aire condicionat i refrigeració. Conseqüentment, augmentarà la demanda elèctrica, de petroli i gas natural. D'altra banda, disminuirà la producció d'energia hidràulica (Moreno, 2005).

El sector d'assegurances es pot veure afectat sobretot per les tempestes i inundacions, especialment a la meitat oriental de la península (Moreno, 2005).

També apareixeran efectes negatius per a la salut per infeccions exòtiques pròpies de zones més càlides i per l'augment d'altres malalties infeccioses. A més, l'augment

²¹ Les dades de l'Institut Nacional de Meteorologia (2002) mostren un augment en els 38 observatoris peninsulars analitzats dels dies amb temperatura superior a 25 °C de mitjana (Ayala, 2004).

²² Segons Ayala (2004), la taxa anual de pujada del nivell mitjà del mar (a Alacant) s'ha multiplicat per tres la dècada 1990-2000 (3,875 mm/any) respecte a la dècada 1980-1990 (1,345 mm/any), mentre que hi ha hagut fenòmens similars al Cantàbric.

de la freqüència i gravetat de les onades de calor causarà més morts i problemes de salut.

Els impactes negatius del canvi climàtic a Espanya superen de molt els impactes positius. A Moreno (2005) es pot trobar una avaluació àmplia dels impactes del canvi climàtic a Espanya (Quadre 3).

2.3. L'anàlisi econòmica dels impactes del canvi climàtic i les polítiques de mitigació: limitacions i controvèrsies

2.3.1. Els models clima-economia i les seves recomanacions de política

S'han elaborat diversos models d'anàlisi integrada per incorporar les interrelacions entre el clima i l'economia. Aquests models fan estimacions dels impactes econòmics causats pel canvi climàtic global i per les polítiques de reducció d'emissions.

Els resultats, en general, mostren que als països rics un escalfament petit no tindria impacte econòmic important, mentre que les pèrdues augmentarien amb majors nivells d'escalfament. En tot cas, afectaria sobretot l'agricultura, que hi té un pes relatiu petit. En canvi, als països pobres, la importància de les activitats que podrien veure's afectades pel canvi climàtic, en especial la producció d'aliments, és molt més gran. Qualsevol nivell d'escalfament hi provocaria pèrdues, més grans com més gran sigui l'escalfament.

En el global, els models calculen que el PIB mundial canviaria poc amb augments petits de temperatura (per sota d'un 1%), mentre que majors augments de temperatura dispararien les pèrdues netes (IPCC 2001b). Els impactes serien molt més grans als països pobres, en part per la seva menor capacitat d'adaptació i la seva major vulnerabilitat, cosa que

Quadre 3: Principals impactes del canvi climàtic sobre la natura i els humans a Espanya.

-
- Menor disponibilitat de recursos hídrics, major variabilitat interanual i sequeres més grans.
 - Augment del nivell mitjà del mar (de 10 a 68 cm).
 - Riscos d'erosió i inundació de zones costaneres.
 - Reducció de la productivitat agrícola.
 - Major freqüència i gravetat dels incendis forestals.
 - Alteracions en ecosistemes marins i terrestres i pèrdua d'hàbitats.
 - Reducció de recursos pesquers.
 - Pèrdua d'infraestructures per l'elevació del nivell del mar i les inundacions.
 - Augment del consum energètic.
 - Més problemes de salut per malalties infeccioses i onades de calor.
 - Impactes negatius i alteracions en el sector turístic.
-

augmentaria la desigualtat entre països rics i pobres. En alguns casos, l'impacte local podria ser catastròfic. Donat un nivell d'escalfament qualsevol, els éssers humans perjudicats serien molts més que els beneficiats. No obstant això, la diferent gravetat de l'impacte a les diferents àrees comporta seriosos problemes a l'hora de cercar solucions, ja que accentua els incentius dels països a comportar-se de manera avançada: els països menys afectats —per la seva situació geogràfica, la major capacitat d'adaptació i la menor vulnerabilitat— en bona part són també els més grans responsables de l'escalfament i tenen pocs incentius a participar en uns acords de reducció que implicarien sacrificis.

Cal destacar que la possibilitat d'esdeveniments extrems, assenyalada per l'IPCC (2001b), que podrien tenir efectes catastròfics, ha estat ignorada o se li ha assignat una probabilitat arbitràriament baixa en la majoria dels càlculs dels models integrats clima-economia. Si bé amb la informació disponible quan es van elaborar els models no era possible conèixer aquesta probabilitat, eliminar aquests riscos de l'anàlisi i ignorar-los no sembla pas la millor manera d'orientar la presa de decisions. Les millores aconseguides en el

coneixement científic haurien de permetre que, des d'ara, aquests riscos es tinguin en compte, assignant probabilitats. Stern (2006) assenyala el fet que ara s'esperen majors impactes monetaris del canvi climàtic del que suggerien els estudis previs, en bona part perquè exclouen alguns dels impactes més incerts però potencialment més perjudicials. Això, més altres diferències de criteri, com l'elecció del tipus de descompte²³ utilitzat, fa que Stern (2006) tingui una visió radicalment diferent sobre la magnitud dels costos del canvi climàtic respecte a la majoria de models econòmics aplicats. Segons Stern, l'impacte negatiu del canvi climàtic en l'economia equivaldria a la pèrdua d'un 5%, si més no, de PIB global anual ara i per sempre (en el càlcul es transformen els impactes que tenen lloc al llarg del temps en un flux anual equivalent), mentre que, si també es té en compte una major diversitat de riscos i impactes —impactes sobre la salut, l'evidència científica recent que indica una major sensibilitat del clima a les emissions de gasos d'efecte hivernacle i una ponderació dels danys segons la renda—, els costos del canvi climàtic en un escenari sense actuació equivaldrien a un 20% del PIB anual global ara i per sempre.

D'acord amb la majoria de càlculs econòmics convencionals, caldria sacrificar un 2% del PIB anual global per aconseguir un efecte significatiu en el control d'emissions (l'estimació central de Stern (2006), amb informació més actual, és d'un 1%). Com afirmava Schelling (1992) fa ja quinze anys, això únicament significa “posposar el PIB del 2050 al 2051”, cosa que es podria considerar com un impacte trivial. L'IPCC (2001c) estima que el cost total d'estabilitzar les concentracions atmosfèriques de CO₂ en 450, 550 i 650 ppmv estaria en el rang de 2,5–18, 1–8 i 0,5–2 bilions de dòlars de 1990, respectivament (descomptats a 1990 al 5%). Molts economistes han utilitzat aquestes xifres per argumentar que el control d'emissions podria

fer perillar el creixement econòmic. Tanmateix, atès que la majoria de models assumeixen un augment global d'ingrés absolut d'un 2–3% per any (amb un creixement més gran als països pobres), això significa que “el cost d'una ‘assegurança climàtica’ representa ‘només’ un parell d'anys de retard a l'hora d'aconseguir un impressionant creixement en els nivells d'ingrés per càpita” (Azar i Schneider, 2002), encara que aquest cost representés el 5% de l'ingrés global per any. Per tant, fins i tot per als models més pessimistes respecte als costos d'estabilització, l'estabilització de les concentracions atmosfèriques a nivells que evitin els pitjors impactes del canvi climàtic i un gran augment en l'ingrés global són plenament compatibles. A més, “la diferència en les taxes de creixement mitjà entre un cas amb un ús no restringit de combustibles fòssils i un cas amb fortes restriccions en l'ús d'aquests combustibles seria possiblement menys d'una desena part d'un u per cent per any al llarg d'aquest segle” (Azar i Schneider, 2002).

No obstant això, en general, els models econòmics convencionals aplicats al canvi climàtic suggereixen que no són rendibles accions enèrgiques per mitigar el canvi climàtic, o que aquestes accions haurien de ser molt limitades (per exemple, Manne i Richels, 1992, 1999; Nordhaus 1993, 1994; Peck i Teisberg, 1992, 1994, 1999; Manne, *et al.*, 1995; Nordhaus i Yang, 1996; Chakravorty *et al.*, 1997; Nordhaus i Boyer, 1999; Hamaide i Boland, 2000). Segons aquests models, els impactes econòmics del canvi climàtic no justificarien els costos que suposaria una política decidida de control d'emissions. Aquest resultat ha influït en la política seguida davant el canvi climàtic per alguns països, com els Estats Units, o, en tot cas, s'ha utilitzat per legitimar-la. Tanmateix, la validesa de tal recomanació de política s'enfronta a les limitacions, judicis de valor i biaixos en alguns supòsits crítics que incorporen aquests models. A més, l'evi-

²³ Factor que s'utilitza en l'avaluació de costos i beneficis per tenir en compte el fet que un impacte es produeixi en el futur i no en el present, atorgant-li un pes menor com més tard es produeixi; vegeu apartat 2.3.2.

dència científica més recent és més pessimista sobre l'escalfament i els impactes climàtics que la informació que incorporen. Sense tenir en compte la resta de limitacions, l'actualització d'aquests models conduiria a la recomanació de polítiques, si bé moderades, més decidides, com mostren els resultats de la reelaboració de Nordhaus (2006) del seu model, la nova política “òptima” de reducció d'emissions de la qual seria el 14% el 2050 i el 25% el 2100; per bé que encara estaria molt per sota de les reduccions que defensen com necessàries els ambientalistes.

En contrast amb els resultats de la majoria de models basats en el cost-benefici convencional, se situa la revisió, apareguda recentment, de l'economia del canvi climàtic de Stern (2006). L'informe de Stern planteja com a “òptimes”, des del punt de vista econòmic, actuacions decidides i radicals de reducció d'emissions, per evitar efectes importants en el futur —com a mínim un 25% per sota dels nivells actuals el 2050 i un 80% a més llarg termini, per permetre l'estabilització dels gasos d'efecte hivernacle entre 450 i 550 ppm de CO₂ equivalent—²⁴. Models anteriors, com el de Cline (1992), també plantejaven polítiques més decidides de les que la majoria d'anàlisis econòmiques convencionals recomanaven. La revisió de Stern incorpora l'evidència científica recent i fa alguns supòsits i judicis de valor diferents de les anàlisis econòmiques convencionals en qüestions determinants per al resultat de l'avaluació, com per exemple en l'elecció de la taxa de descompte²⁵ (vegeu apartat 2.3.2). Aquestes diferències fan concloure a Stern que invertir en polítiques decidides enfront del canvi climàtic no solament no perjudica el creixement, sinó que aquesta seria “l'estratègia pro-creixement a llarg termini” (p. viii).

A continuació es comenten alguns dels punts més controvertits de l'anàlisi econòmica del canvi climàtic, cosa que ajuda a comprendre les divergències entre diferents estudis i

a entendre quines són les limitacions de l'anàlisi econòmica convencional per donar una orientació clara a la presa de decisions sobre polítiques de mitigació.

2.3.2. El descompte i les generacions futures

L'anàlisi econòmica convencional descompta (o actualitza) els fluxos que ocorren en el futur. És a dir, dóna menys pes als fluxos futurs que als impactes immediats. L'aplicació habitual del descompte devalua i pràcticament elimina de l'anàlisi els impactes que s'esdevenen en el futur distant, de manera que, per als models econòmics, el manteniment de les condicions necessàries per a la vida en el futur llunyà té un valor present insignificant. Part de la controvèrsia sobre els models aplicats al canvi climàtic s'ha donat respecte a l'elecció de la taxa de descompte. Broome (1992), Cline (1992), Nordhaus (1994) i Fankhauser (1994) coincideixen en la importància d'aquesta elecció per al nivell de mitigació recomanat. Una mostra d'aquesta controvèrsia és la crítica de Nordhaus (2006) a l'elecció per part de Stern (2006) d'una taxa de descompte, a la seva manera de veure, excessivament baixa, cosa que segons Nordhaus explica la visió “radical” de la revisió de Stern: “Si la substituïssim per taxes de descompte més convencionals utilitzades en altres anàlisis de canvi climàtic [...] els resultats dramàtics de la Revisió desapareixerien” (Nordhaus, 2006; p. 6). No obstant això, l'ús convencional de la taxa de descompte està sotmès a nombroses crítiques que mereixen un comentari, donat el seu paper crucial en la determinació de les polítiques “òptimes” dels models.

Habitualment, la taxa de descompte es justifica per la impaciència i la creença que en el futur els individus seran més rics, i per tant valoraran menys un euro del que es valorava en el present, el que es coneix com l'argument de la utili-

²⁴ Vegeu nota al peu 8.

²⁵ Taxa amb la qual es té en compte que un impacte es produeix en el futur atorgant-li menys pes que a un impacte que s'esdevé en el present. Com més gran sigui la taxa de descompte, menys pes tindran en l'avaluació els impactes que es produeixen en el futur. La taxa respon a les preferències entre consum present i futur i/o al rendiment del capital, però no té en compte les preferències entre consum propi i consum de les generacions futures. Mitjançant el des-

compte (o actualització) s'expressen els impactes que tenen lloc en diferents moments del temps en valor present, assignant-los menor pes com més distants són, i és exponencial respecte al temps el decreixement de la importància que es dóna a un impacte (cosa que fa pràcticament nul·la la importància dels que ocorrin en el futur llunyà). No hi ha acord sobre el mètode més adequat per determinar la taxa de descompte a aplicar en l'avaluació de polítiques i projectes. Tot i això, l'elecció de la taxa de descompte té una gran influència en el resultat de l'avaluació dels impactes del canvi climàtic i les polítiques de mitigació.

tat marginal decreixent. No obstant això, descomptar el consum d'individus futurs amb una taxa que mostra la impaciència dels individus presents pel seu consum suposa confondre la preferència per impaciència en el consum propi amb la preferència entre que un consum el faci una o una altra generació.

Respecte a l'aplicació pràctica de l'argument de la utilitat marginal decreixent del consum, aplicar un descompte perquè es creu en la prosperitat del futur podria comprometre aquesta prosperitat, a causa de la infravaloració que es faci dels impactes futurs del canvi climàtic. A més, si s'aplica el descompte als individus futurs per la creença que seran més rics, aquest raonament justificaria ponderar els impactes dels individus presents d'acord amb la seva riquesa, cosa que rarament es fa (Azar i Sterner, 1996). Els països amb més responsabilitat en la generació del problema són els països rics, mentre que els que amb tota probabilitat en patiran, i ja n'estan patint, més severament les conseqüències són els països pobres. Cal posar en dubte que els pobres del futur estiguin en millors condicions que els rics del present, fet que debilitaria l'argument de descomptar el futur per la seva suposada menor utilitat marginal del consum, i més encara si es permet que el canvi climàtic tingui efectes devastadors sobre el seu sistema ecològic i socioeconòmic. La mitigació del canvi climàtic implicaria que el nivell de vida dels països pobres no es deteriori. D'acord amb la seva major utilitat marginal, caldria aplicar als impactes que recauen sobre els pobres un pes més gran del qual se'ls dona en l'anàlisi cost-benefici convencional. L'anàlisi cost-benefici social es basa a ponderar d'acord amb la riquesa individual (vegeu Squire i van der Tak, 1975) un aspecte que no s'acostuma a tenir present en les anàlisis convencionals. El recent treball de Stern (2006) mostra que aplicar aquesta ponderació, seguint el

criteri de l'anàlisi cost-benefici social, porta a una major valoració dels danys del canvi climàtic —un 20% del PIB global anual ara i per sempre— i a una recomanació de més control d'emissions.

2.3.3. El criteri de compensació i les generacions futures

L'anàlisi cost-benefici convencional es basa en el criteri de compensació de Kaldor (1939) i Hicks (1939), segons el qual es considera que els guanys dels uns compensen les pèrdues dels altres. Si el valor present dels beneficis és més gran que el dels costos, llavors s'assumeix que, en teoria, els qui guanyen podrien compensar els qui perden, millorant tots respecte a la seva situació inicial. Si es pagués la compensació, tots estarien millor. No obstant això, el criteri només requereix que el càlcul monetari dels beneficis sigui més gran que el dels costos, i és irrellevant per al resultat de l'anàlisi que aquesta compensació es doni o no.

En projectes ordinaris, l'anàlisi cost-benefici sense compensació es pot justificar si s'assumeix que la utilitat marginal d'un euro de costos té el mateix valor social que un euro de beneficis (Lind, 1997). Una altra justificació és que, si hi ha múltiples projectes petits, en general tothom hi guanya amb l'aplicació del criteri. Però, com afirma Lind, la validesa ètica del primer argument depèn que es jutgi correcta la distribució inicial. En el canvi climàtic, la desigual distribució —tant dels impactes com de la renda— entre els qui hi guanyen i els qui hi perden invalidaria aquesta justificació, mentre que la magnitud dels impactes que s'estan considerant invalidaria la segona argumentació. Per tant, l'anàlisi cost-benefici sense compensació es troba amb seriosos problemes de legitimitat en l'anàlisi del canvi climàtic.

D'altra banda, assumir que fer mal es pot compensar fent bé, o que fer una cosa beneficiosa a algú ens dóna dret a fer mal conscientment a altres, suposa fer un controvertit judici de valor (Sen, 1982; Spash, 1994; Azar, 2000). En decisions que afectin drets elementals, com podria el manteniment de les condicions bàsiques per a la vida de les generacions futures, potser no hauria de ser acceptable el criteri de compensació.

És qüestionable que tots els impactes puguin traduir-se en valors monetaris; l'anàlisi cost-benefici o els tradueix en valors monetaris o els ignora. El criteri de compensació de l'anàlisi cost-benefici convencional implica posar un preu a les vides humanes, cosa que, en si mateixa, implica el supòsit que el mètode per determinar-ne el valor és correcte i que els diners als països rics es poden comparar amb les vides als països pobres (Azar, 2000). Això, de nou, implica un judici de valor determinant. De fet, una de les qüestions que fa uns anys vam generar més controvèrsia en el debat sobre el canvi climàtic va ser l'assignació per part de l'IPCC (Pearce *et al.*, 1996) d'un valor monetari a una mort en un país ric 15 vegades més gran que a una mort en un país pobre (valors basats en les estimacions de Fankhauser, 1995 i Tol, 1995). A més, les valoracions se solen esbiaixar per l'elecció de mesures de disposició al pagament en casos que la mesura apropiada seria la disposició a acceptar, quan l'evidència empírica mostra que la segona mesura dóna valors molt superiors.

Des de la perspectiva convencional, Hamaide i Boland (2000) intenten "superar" la limitació del criteri de compensació (potencial) estudiant solucions en què "tots hi guanyin" gràcies a una compensació efectiva. La seva solució suggereix que els països pobres, que serien els més beneficiats per les polítiques de mitigació, haurien de pagar una compensació econòmica a la Xina i als Estats

Units perquè els controlessin les emissions. Malgrat que sol parlar de neutralitat de valors, l'anàlisi convencional incorpora forts judicis de valor que són èticament qüestionables —com justificar des d'un punt de vista ètic que els països pobres hagin de subsidiar el control d'emissions dels Estats Units?

La compensació potencial implícita en l'anàlisi cost-benefici consisteix en la possibilitat de pagament per part dels qui es veuran afectats en el futur perquè en el present els causants del problema incorrin en els "costos" de controlar les seves emissions. Si es requereix compensació efectiva, aquesta implicaria el pagament d'una compensació per part de les generacions futures per evitar que el present destrueixi les condicions necessàries per a la vida en el futur. A més, aquesta compensació es donaria des dels països pobres als països rics. Una compensació intergeneracional com aquesta seria difícil d'establir, però la qüestió fonamental és que resulta d'assumir com a legítima una distribució de drets molt injusta. És difícilment justificable sota conceptes d'ètica o justícia que els pobres hagin de patir les càrregues ecològiques que implica el major desenvolupament dels països rics.

L'anàlisi cost-benefici convencional assumeix que existeix el dret de contaminar, sense obligació de compensar els qui pateixen les conseqüències d'aquest comportament. No obstant això, considerar que la mateixa possibilitat d'existència de les generacions futures depengui de les preferències dels individus presents que puguin expressar-se en mercats sembla èticament qüestionable. Hi ha forts arguments per qüestionar la validesa ètica de la distribució de drets que implica l'anàlisi convencional —segons la qual la Terra i tots els seus recursos pertanyen al present i té el dret a destruir-los—, així com de l'aplicació del criteri de compensació en l'anàlisi del canvi climàtic.

2.3.4. Altres supòsits i judicis de valor controvertits dels models clima-economia

Alguns dels models clima-economia més coneguts han tingut tendència, a més, a assumir altres supòsits que afecten críticament els seus resultats i que han tendit a infravalorar els costos i a sobrevalorar els guanys econòmics del canvi climàtic, cosa que ha derivat a la recomanació d'un control d'emissions moderat, almenys a curt termini (a Padilla (2004) pot trobar-se una revisió d'aquests problemes). Entre aquests, es destaquen: ignorar els beneficis secundaris del control que implica una menor contaminació (menors emissions de monòxid de carboni (CO), diòxid de sofre (SO₂), òxids de nitrogen (NO_x), etc.); tractar de manera inadequada la incertesa, assignant probabilitats arbitràriament baixes als efectes catastròfics (o exclouent-los de l'anàlisi); infravalorar els efectes econòmics beneficiosos del control d'emissions, com la reducció de distorsions fiscals substituint impostos distorsionants per impostos ambientals o el desenvolupament de nous sectors associats a les tecnologies de mitigació. En general, s'ha tendit a assumir supòsits optimistes respecte als impactes del canvi climàtic i pessimistes respecte a l'esforç que suposa la mitigació. També és comú el supòsit que, fins i tot si no hi hagués controls, es produiria un sostre en les emissions de gasos d'efecte hivernacle, després del qual les emissions disminuirien. Això es basa en les hipòtesis de l'anomenada corba de Kuznets ambiental, segons la qual el mateix creixement econòmic seria el causant dels canvis necessaris per a la desaparició del problema ambiental. Però l'evidència empírica pel que fa als gasos d'efecte hivernacle, i en especial al CO₂, tendeix a refutar aquesta hipòtesi (vegeu, per exemple, Roca *et al.*, (2001)).

A més, els escenaris d'emissions futures de l'IPCC (2000) són més pessimistes del que mostren la majoria dels

models econòmics esmentats. Finalment, els impactes associats amb els marges superiors d'escalfament estimats per l'IPCC (2001b) no han estat encara prou explorats per aquests models. Això pot suggerir que els impactes de canvi climàtic i la reducció d'emissions "òptima" podrien haver estat subestimats. Cal dir que, com recull la recent revisió de Stern (2006), l'evidència posterior a la realització de l'últim informe de l'IPCC tendeix a ser encara més pessimista sobre els impactes negatius del canvi climàtic. Això ho confirmarà el Quart Informe de l'IPCC, que veurà la llum el 2007.

2.3.5. El desenvolupament sostenible i els drets de les generacions futures en l'anàlisi del canvi climàtic

La definició més coneguda de desenvolupament sostenible el caracteritza com "[...] el desenvolupament que satisfà les necessitats del present sense comprometre la capacitat de les generacions futures de satisfer les seves necessitats." (*World Commission on Environment and Development*, WCED, 1987). Per complir amb aquesta definició caldria imposar al desenvolupament actual la restricció de no usar els recursos de manera que es perjudiqui les oportunitats del futur, i l'anàlisi de les polítiques climàtiques haurien d'introduir aquest requisit. Això implicaria assumir com a legítima una distribució de drets diferent de la de l'anàlisi econòmica convencional. La consideració de l'obligació de respectar els drets de les generacions futures implicaria una anàlisi de les polítiques de mitigació que incorpori restriccions en els impactes del canvi climàtic.

En concret, les obligacions del present haurien de portar a l'"estabilització de les concentracions de gasos d'efecte hivernacle en l'atmosfera a un nivell que eviti interferències antropogèniques perilloses amb el sistema climàtic", objectiu últim de la Convenció Marc de les Nacions Unides per al

Canvi Climàtic, CMNUCC (Article 2. Objectiu). Si no s'actua a temps, pot exposar-se la Terra a pressions climàtiques sense precedents que perjudiquin greument la capacitat ecològica i econòmica llegada al futur. D'altra banda, el respecte als drets del futur ha de fer-se de la manera que impliqui un menor sacrifici en el moment present. Fins i tot Nordhaus (1997), autor del més conegut model clima-economia d'optimització econòmica, veu una clara oposició entre l'eficiència econòmica —tal com l'entén l'anàlisi cost-benefici convencional— i el desenvolupament sostenible i suggereix l'establiment previ d'objectius fixos per als nivells permissibles de canvi climàtic, i per tant les concentracions o emissions.

Els models d'optimització basats en el cost-benefici ens ofereixen una informació de gran valor, analitzant el possible impacte en l'economia de les diferents alternatives de política. No obstant això, cal que quedi clar en quins judicis de valor es basen, quines són les eleccions crítiques dels models sobre qüestions subjectes a controvèrsia i quines són les seves limitacions respecte a la informació que incorporen i el tractament que fan de la incertesa existent, ja que totes aquestes qüestions influeixen determinantment en els seus resultats. En tot cas, els resultats d'aquests models econòmics no eviten el debat sobre quins impactes o riscos damunt les generacions futures es consideren tolerables, cosa que dependrà de les diferents visions i judicis de valor sobre justícia intergeneracional.

2.3.6. La mitigació del canvi climàtic

L'informe de l'IPCC (2001c) assenyalava amb detall les diferents alternatives possibles quant a les polítiques de mitigació. La revisió de l'economia del canvi climàtic de Stern (2006) destaca tres elements fonamentals per controlar les emissions de gasos d'efecte hivernacle d'una manera eficient

—és a dir, que suposi un menor sacrifici en el moment present. En primer lloc, posar un preu al carboni mitjançant impostos, comerç o regulació. En segon lloc, fomentar la política tecnològica, donant suport a la innovació i al desplegament de les tecnologies baixes en carboni. En tercer lloc, eliminar les barreres al canvi tecnològic per a l'adopció de tecnologies netes, afavorint l'eficiència energètica i informant sobre les possibilitats d'actuació davant el canvi climàtic.

El canvi climàtic és un problema global i només s'hi pot trobar una solució efectiva si la resposta és internacional. Els nous acords contra el canvi climàtic s'haurien de construir sobre els marcs ja existents, com la Convenció Marc de les Nacions Unides per al Canvi Climàtic i el Protocol de Kyoto (que representava una reducció del 5,2% d'emissions dels gasos d'efecte hivernacle als països desenvolupats en el període 2008-2012 en relació amb les emissions de 1990), però haurien d'anar molt més lluny en els compromisos de reducció que els acords actuals. Com conclou l'informe Stern (2006), hi ha d'haver una visió compartida dels objectius i hi ha d'haver acord sobre els marcs d'actuació. Algunes de les mesures fonamentals que, segons l'informe, haurien d'incloure aquests marcs són: el comerç d'emissions, la cooperació tecnològica entre països, les mesures per reduir la desforestació, així com mesures d'adaptació per pal·liar els efectes del canvi climàtic. Les mesures d'adaptació són especialment urgents als països pobres, els més vulnerables al canvi climàtic, si es vol reduir la gravetat dels impactes negatius.

Possiblement encara siguem a temps d'evitar els pitjors riscos del canvi climàtic, que segons els últims estudis podrien ser catastròfics. Si bé els esforços econòmics per aconseguir-ho no són petits, aquests podrien significar un cost raonable per "assegurar-nos" contra els seus pitjors efectes i evitar així els riscos d'impactes catastròfics sobre les generacions futures.

3.

Activitat econòmica i emissions de CO₂ a Espanya

3.1. Introducció

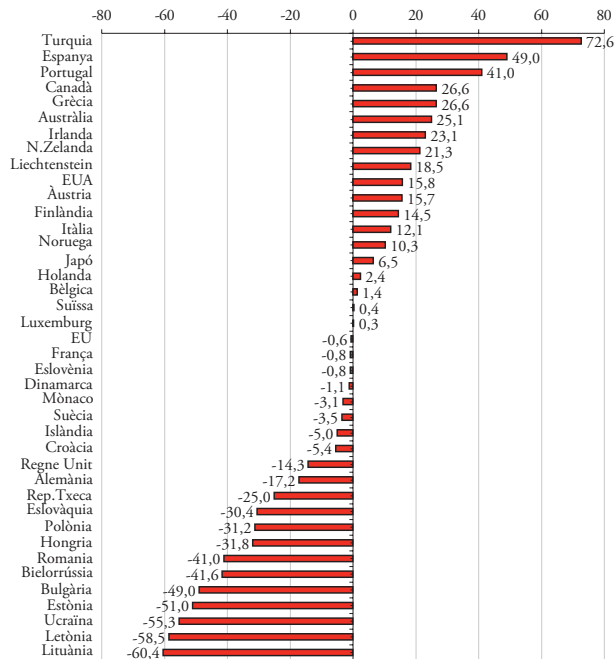
La signatura del Protocol de Kyoto a final de 1997 comprometia els països industrialitzats (Annex B) a limitar les emissions de gasos d'efecte hivernacle. La Unió Europea (UE) va establir per als països membres un repartiment de càrregues, per complir el compromís, que implicava una reducció conjunta del 8% respecte als nivells de 1990 dels sis gasos següents: CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC i SF₆ (diòxid de carboni, metà, òxid nitrós, hidrofluorcarburs, compostos perfluorats i hexafluorur de sofre). Pel que fa a Espanya, l'Acord de la Presidència del Consell de Medi Ambient de Juny de 1998 permetia un increment de les emissions del 15% respecte als nivells de 1990.

Si atenem l'última informació facilitada per la Convenció Marc sobre el Canvi Climàtic, les emissions de gasos d'efecte hivernacle a Espanya van ascendir el 2004 a 427,9 Tg (teragrams) de CO₂ equivalent, descomptats els canvis en ús de terres i reforestació, principalment. Això significa que el creixement experimentat sobre l'any base (1990) ha estat del 49%, només superat per Turquia, amb un increment del 72,6%. Si es té en compte el percentatge de creixement objectiu, hom s'adona que hi ha raons més que justificades per considerar els motius que ens han conduït a fer aquest treball, així com a intentar entreveure els possibles rumbos que poden prendre aquestes emissions, i discernir sobre les necessitats futures d'investigació amb vista al disseny de polítiques ambientals correctes.

Amb la finalitat d'evidenciar la rellevància del que diem i la situació d'Espanya des d'una perspectiva comparada, hem elaborat la Figura 10, que mostra d'una manera palpable fins a quin punt som lluny de complir els compromisos adquirits.

La reducció d'emissions contaminants i el manteniment de les cotes de benestar de les societats requereixen un delicat equilibri entre polítiques que molt sovint tenen efectes contraris. En el cas dels gasos d'efecte hivernacle, aquesta qüestió és essencial, perquè les emissions d'aquests gasos depenen, en general, del consum de combustibles fòssils. Tenint en

Figura 10: Canvis en el total d'emissions agregades de gasos d'efecte hivernacle de les diferents Parts de l'Annex I, 1990-2004. Canvis en les emissions de GEH sense UTS(*) %. Font: Elaboració pròpia amb informació procedent de United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)



*Creixement després de descomptar els efectes del canvi d'ús de sòls, reforestació i altres.

compte l'estreta relació que hi ha entre creixement econòmic i consum energètic, les polítiques encaminades a la reducció d'emissions poden xocar amb els objectius de desenvolupament de la societat, sobretot quan aquest es veu com una mera expansió material, i el benestar com un residu del creixement a ultrança. D'aquí ve la importància d'establir el lligam entre comportament econòmic i consum energètic en general.

La major part de les anàlisis sobre els canvis en les necessitats d'energia i les seves conseqüències per a les emissions de CO₂ tenen, normalment, dues característiques,

que es discuteixen en aquest treball. La primera es refereix als canvis en el que s'anomena intensitat energètica, que és la relació entre l'energia consumida en un territori, en termes físics, i la producció generada, mesurada normalment pel producte interior brut (PIB) a preus constants. És, en definitiva, l'energia requerida per unitat de producte i sol prendre's com a indicador de l'eficiència energètica del sistema econòmic en conjunt (de manera que una disminució d'aquest indicador respondria a un increment de l'eficiència en l'ús de l'energia, per exemple). No obstant això, per bé que aquest és un bon indicador global d'eficiència energètica, presenta serioses limitacions a l'hora d'imputar responsabilitats sectorials tant en el volum d'energia primària consumida com en les emissions atmosfèriques que acompanyen l'esmentat consum. En efecte, en parlar d'e-

nergia primària ens referim a les fonts originàries de l'energia, per exemple carbó, cru de petroli, calor nuclear, etc., i encara que algunes d'aquestes fonts són susceptibles d'utilitzar-se directament en usos finals, gairebé sempre utilitzem energia secundària, és a dir, l'obtinguda de les fonts primàries: electricitat a partir de carbó o energia hidràulica, gasolina a partir del petroli, etc., cada transformació de les quals dóna lloc a pèrdues irreversibles. D'altra banda, quan utilitzem l'energia amb un determinat propòsit final, com engegar una màquina en un procés productiu, escalfar aigua, il·luminar un determinat espai i tants altres fets quotidians, també es produeixen pèrdues de qualitat interna de l'energia utilitzada que depenen de l'ús més o menys eficient que fem d'aquesta energia final utilitzada. L'eficiència energètica, doncs, està influenciada tant pels efectes de l'eficiència en la transformació d'energia pels sectors energètics, com, en l'eficiència en l'ús final de l'energia, per la resta de sectors econòmics. Aquesta anàlisi s'efectuarà a l'apartat següent.

Altrament, l'eficiència energètica global depèn d'un conjunt de factors que permeten aïllar els efectes explicatius de la demanda d'energia i considerar, d'una banda, l'eficiència energètica "pura" i, d'una altra, l'impacte del canvi estructural en l'economia sobre l'esmentada demanda. Aquests aspectes seran objecte de desenvolupament en els apartats a continuació.

Els dos aspectes anteriors permetran arribar a un primer diagnòstic de les qüestions bàsiques que cal tenir en compte en el cas espanyol a l'hora d'explicar l'evolució, passada i present, del consum d'energia primària i de les emissions de CO₂. Per això, a manera de síntesi, es lligaran els resultats obtinguts amb les propostes analítiques de l'anomenada corba de Kuznets ambiental. És evident que es tracta més d'una síntesi descriptiva que no pas d'una síntesi analítica, que s'efectua amb la intenció de recapitular els resultats obtinguts. Aquesta tasca s'abordarà en un pas de l'anàlisi posterior.

Finalment, a l'últim apartat, es destacaran en forma de conclusions els aspectes rellevants a l'hora d'encarar l'esbós de polítiques econòmiques encaminades a mitigar aquestes emissions.

S'hi afegixen a un Apèndix metodològic, al final del monogràfic, els desenvolupaments metodològics que s'apunten en els apartats 3.2 i 3.3.

Al llarg de tot el capítol, tret d'advertir el contrari, la informació estadística utilitzada prové, en el cas de les emissions de CO₂, de l'Agència Internacional de l'Energia (IEA, 2004), i els consums d'energia, així com el producte interior brut en paritat de poder adquisitiu, provenen de l'OCDE (2004). Pel que fa a la informació econòmica sectorial, s'ha utilitzat la base STAN de l'OCDE (*Structural Analysis Database for Industrial Analysis*). Això ha permès usar les mateixes nomenclatures sectorials, tant pel que fa a les emissions de CO₂ com als indicadors de producció. El fet que a l'hora de redactar aquestes pàgines només disposàvem d'informació homogènia dels anys analitzats aquí no desvirtua gens ni mica l'anàlisi, car es tracta d'una anàlisi de tipus estructural. En forma d'annexos es donen les dades desagregades més rellevants per a la interpretació i comprensió dels resultats obtinguts amb elaboració pròpia.

3.2. Les emissions de CO₂ a Espanya des d'una perspectiva de llarg termini

En aquest apartat s'aborda el procés de desenvolupament de l'economia espanyola, que s'inicia a mitjan dècada dels cinquanta del segle XX, quant als vincles existents entre aquest procés de creixement i les emissions de CO₂. Entenem que l'esbós de polítiques ambientals, i econòmiques amb conseqüències ambientals, ha d'abordar-se tenint en compte l'experiència històrica en un doble sentit. D'una banda, perquè és una forma d'aprendre d'errors passats, atenent els fets esdevinguts des d'una perspectiva a llarg termini, i, d'altra, perquè els processos econòmics requereixen temps i estan subjectes, moltes vegades, a les inèrcies del passat. S'enfoca l'anàlisi, doncs, des d'una perspectiva de llarg termini. Això significa que s'encara el problema, en una primera aproximació, des d'un punt de vista històric; en concret, l'anàlisi abraça un lapse temporal que va des de 1960 fins als primers anys del nou segle.

A les pàgines que segueixen es mostrarà com l'evolució de l'ús d'energia primària, que té una importància crucial tant des d'una òptica econòmica com ecològica, pot ser analitzada combinant la informació que proporcionen els balanços energètics i les estadístiques econòmiques en ús. S'utilitzaran per a això relacions poc complexes entre variables econòmiques i ambientals, models comptables senzills, que permetran fer un primer diagnòstic de l'íntima relació que hi ha entre l'activitat econòmica i l'emissió de gasos d'efecte hivernacle. Es limitarà l'anàlisi a les emissions referents al més important d'aquests gasos, el diòxid de carboni (CO₂), com s'ha vist a l'apartat 1.1.3. La inclusió de la resta de gasos no ha estat possible per les limitacions d'informació, des d'una perspectiva a llarg termini per a Espanya.

Si es contempen des d'una perspectiva agregada, les emissions de CO₂ es poden descompondre segons la identitat següent:

$$(1) \quad C(t) \equiv \frac{C(t)}{EP(t)} \times \frac{EP(t)}{PIB(t)} \times \frac{PIB(t)}{POB(t)} \times POB(t)$$

en què C són les emissions totals d'aquest gas o, en alguns casos, les emissions de gasos d'efecte hivernacle reduïdes a unitats de CO₂ equivalent; EP és el consum d'energia primària total reduït a unitats energètiques equivalents (tones equivalents de petroli (tep), joules (J), kilowatts hora (kWh), etc.); PIB es correspon amb les sigles del producte interior brut a preus constants, com indicador del volum de producció de l'àrea geogràfica considerada, i POB és la població. Els indicadors estan referits a un període de temps determinat t , normalment un any.

Coneguda per identitat de Kaya (1989), l'expressió anterior ens diu que les emissions de CO₂ depenen de les emissions per unitat d'energia primària utilitzada, un indicador de carbonització dels consums energètics; del consum d'energia primària per unitat de PIB, el que es coneix per intensitat energètica; del PIB per càpita, una mesura de l'afluència de béns de què gaudeix la societat, i, finalment, del nivell de població com a factor d'escala. Aquesta descomposició es pot veure com una de les habituals descomposicions tipus IPAT²⁶ (Commoner, 1992), que mostren la relació dels impactes ambientals (I) amb els nivells de població (P), l'afluència de béns (A) i la tecnologia utilitzada per la societat (T).

Tal com exposen Alcàntara i Roca (1995), els factors que expliquen les emissions de CO₂ es deuen als processos de transformació del sector energètic, a l'estructura de combustibles finals per part dels diferents sectors productius i al consum energètic final d'aquests. Cal tenir en compte, també,

²⁶ Les descomposicions tipus IPAT parteixen d'una identitat que expressa una variable com a producte d'altres. Pel fet de tractar-se d'una identitat, el que dona sentit a l'anàlisi és la descomposició del creixement de la variable explicada segons les altres variables explicatives. Explicuem el significat de les sigles I, P, A i T. en el cas de l'expressió (1), P es correspon amb POB, la població en milions d'habitants, A és afluència de béns pel PIB per càpita, I són les emissions de CO₂, i T, la tecnologia, que ve donada, en el nostre cas, pel producte dels dos primers factors de l'expressió (1).

que aquest consum final total i les emissions de CO₂ associades depenen, en darrer terme, del consum específic de cada sector (intensitat energètica final sectorial), de l'estructura productiva i del nivell d'activitat de l'economia. A continuació es mostra la connexió entre el comportament agregat de l'economia espanyola i les emissions totals de CO₂.

Amb la finalitat de tenir en compte aquests efectes explicatius, s'escriu l'expressió (1) de la manera següent:

(2)

$$C(t) \equiv \frac{C(t)}{EFS(t)} \times \frac{EFS(t)}{EP(t)} \times \frac{EP(t)}{EF(t)} \times \frac{EF(t)}{PIB(t)} \times \frac{PIB(t)}{POB(t)} \times POB(t)$$

Les noves variables introduïdes en la identitat anterior permetran fer un primer diagnòstic, més acurat, descomponent la intensitat energètica en tres nous factors la rellevància dels quals es veurà de seguida. *EFS* constitueix el consum d'energia fòssil, del qual, en darrer terme, depenen les emissions de CO₂, i *EF* és l'energia final consumida.

Amb aquesta nova informació, *C/EFS* és, ara, un indicador genuí de carbonització²⁷, ja que la introducció de la variable *EFS* permet descompondre el primer factor a la part dreta de l'expressió (1) en dos factors. En efecte, *C/EFS* indica la variació de les emissions en relació amb l'energia fòssil consumida, i, per tant, les variacions en la composició dels combustibles fòssils utilitzats vindrà recollida per aquest factor. D'altra banda, *EFS/EP* dona el pes d'aquestes fonts energètiques en l'energia primària total. Així, d'aquesta manera, des de la perspectiva del tipus d'energia utilitzada, les emissions depenen tant del tipus de fonts fòssils utilitzades com de la intensitat d'ús.

La intensitat energètica és una magnitud agregada que depèn, com es posa de manifest en Alcàntara i Roca (1995), d'importants components, com ara l'estructura productiva,

els hàbits de consum o l'eficiència en la transformació i en l'ús de l'energia final, entre d'altres. Des d'una perspectiva agregada, interessa descompondre aquesta en dos importants factors: la quantitat d'energia primària per unitat d'energia final utilitzada en el conjunt de l'economia, i que ve donada pel factor *EP/EF*, i les necessitats d'energia final per unitat de producte, *EF/PIB*. Mentre que *EP/EF* és un indicador agregat de l'eficiència del canvi tecnològic en el sector energètic, com a sector transformador que és, *EF/PIB* mostra l'ús més o menys eficaç amb què els agents econòmics utilitzen l'energia²⁸. Els altres dos factors quedarien definits, en una primera anàlisi, com en l'expressió (1) (vegeu Apèndix metodològic).

Amb la finalitat d'explicar des d'una perspectiva històrica l'evolució de les emissions de CO₂, s'ha fet una anàlisi que abraça un lapse temporal que va des de 1960 fins a la data més recent de la qual hi ha dades coherents tant des de la perspectiva de la relació entre les variables utilitzades com de l'objectiu global d'aquestes pàgines (normalment, 2002 o 2003). Si s'atén al que s'assenyalava al principi, en referir-nos a l'esbós de polítiques ambientals, i econòmiques amb conseqüències ambientals, i a la seva relació amb l'experiència històrica, l'anàlisi següent permetrà, d'una banda, considerar el problema des d'una perspectiva a llarg termini i, d'una altra, determinar els condicionants estructurals de polítiques futures. Així mateix, l'examen d'aquest període històric servirà de base per a un primer diagnòstic dels mòbils que han donat lloc al poc èxit en el compliment dels compromisos de Kyoto.

A partir de l'expressió (2) és possible descompondre l'evolució al llarg del temps de les emissions de CO₂, atenent cadascun dels factors que conformen l'esmentada expressió. En aquest sentit, aquesta evolució s'explicaria per un "efecte carbonització", atenent l'increment o la disminu-

²⁷ Els matisos al voltant del concepte de carbonització sorgeixen en referir aquesta a l'anomenada corba de Kuznets ambiental i als seus factors explicatius. De manera general s'utilitza per a la relació entre emissions de CO₂ i consum d'energia primària. Altres autors es refereixen a la relació entre aquest gas i el PIB a preus constants, encara que nosaltres preferim referir-nos a aquesta relació com a intensitat d'emissió. Per no estendre'ns en aquesta qüestió, el lector interessat pot consultar: Ang (1999a), Mielnik i Goldemberg (1999), Sun (1999) i Roca i Alcàntara (2001).

²⁸ La descomposició suggerida es basa en la proposta analítica de Hamilton i Turton (2002). Convé assenyalar que en la relació *EP/EF* la part corresponent a electricitat en el consum final és molt rellevant, com aquests autors apunten molt encertadament.

ció experimentats per l'impacte que sobre les dites emissions hauria tingut el primer dels factors a la dreta de l'expressió. També per un efecte donat per la composició dels consums d'energia primària, que es dirà "efecte substitució". Atès que s'ha pres com a indicador d'eficiència en la transformació l'indicador que relaciona l'energia primària amb l'energia final, la traça deixada per aquesta variable s'anomenarà "efecte transformació". L'ampliació o la disminució de les emissions degudes a l'evolució de l'eficiència en l'ús de l'energia final (*EF/PIB*) vindran donades pel que s'assenyalarà com a "efecte eficiència", entenent que un increment de l'eficiència s'explica per una disminució d'aquest factor. Finalment, no és equívoc anomenar "efecte riquesa" i "efecte població" els impulsos deguts a les dues variables restants, respectivament.

Per tal de fer més fàcil la lectura, hem elaborat la següent taula, que resumeix les variables que utilitzarem i llur significat (veure quadre 4).

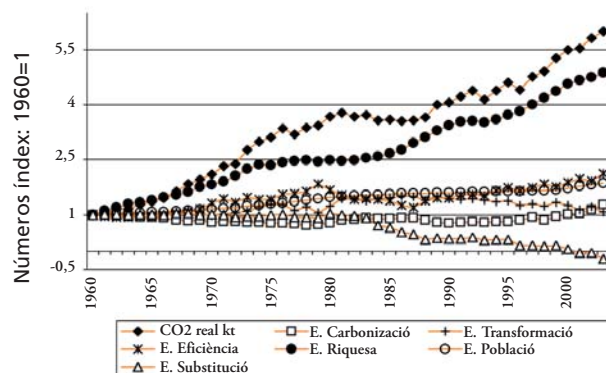
A partir de la descomposició esbossada, pot establir-se l'evolució de les emissions de CO₂ a Espanya degudes a aquests sis efectes explicatius (vegeu Annex I). A la Figura 11 es mostren, al costat de l'evolució efectiva de les emissions, les que haurien tingut lloc si només s'hagués donat el creixement de cadascuna de les variables, restant les altres constants. Cada línia, llavors, mostra la contribució de cadascuna de les variables a la variació total.

La Figura mostra, des del punt de vista de les emissions, tres períodes clarament diferenciats. El primer abraça des de 1960 fins als primers vuitanta, amb taxes de creixement mitjà anual acumulatiu del 6,5%, molt superior al del PIB per càpita, que va ser del 4,1%, cosa que donà lloc a un substancial increment de la intensitat d'emissió. Respecte a això, cal tenir en compte que el període comprèn anys de crisi pel primer xoc petrolíer. Nogensmenys, tots aquests anys van veure un impacte negatiu de l'efecte eficiència, com també

Quadre 4: Components utilitzats per analitzar l'evolució de les emissions de CO₂. Font: Elaboració pròpia.

Variable	Sigles	Observacions	Nom de l'efecte que provoca la variació
Impacte a explicar	CO ₂	Emissions de CO ₂	Efecte total
Factor de carbonització	C/EFS	La seva disminució és positiva per al canvi climàtic	Efecte carbonització
Nivell d'ús d'energia fòssil en la societat	EFS/EP	La seva disminució és positiva per al canvi climàtic	Efecte substitució
Factor de transformació	EP/EF	La seva disminució mostra l'eficiència del sistema energètic	Efecte transformació
Necessitats d'energia final per unitat de PIB	EF/PIB	La seva disminució mostra l'eficiència en l'ús de l'energia tant en la producció com en el consum	Efecte eficiència
Factor d'afluència de béns en la societat	PIB/POB	PIB per càpita	Efecte riquesa
Factor d'escala	POB	Habitants	Efecte població

Figura 11: Descomposició de l'evolució de les emissions de CO₂ (1960-2003). Font: Dades de l'Annex I i elaboració pròpia



un creixement sostingut de la població, amb taxes superiors a l'1% anual acumulatiu. Respecte als efectes composició i carbonització, es van mantenir estables i, com es veurà, fins i tot van tenir un comportament favorable. D'altra banda, l'eficiència en la transformació de l'energia va ser molt escassa, si més no tal com ha estat definida aquí, encara que en aquesta qüestió s'ha de ser curós i no és aquesta la millor metodologia²⁹ per fer afirmacions concloents.

El següent període clarament diferenciat és el de la dècada dels vuitanta, en el qual no es donen ambigüitats. Fins a mitjan dècada no comença a recuperar-se el producte per càpita, que és l'únic factor que explica el recreixement, de nou, de les emissions. La resta de factors explicatius va experimentar una caiguda que compensà l'increment del PIB la segona meitat de la dècada, de manera que les emissions de CO₂ van decreïxer, si més no, entre el 1981 i el 1988.

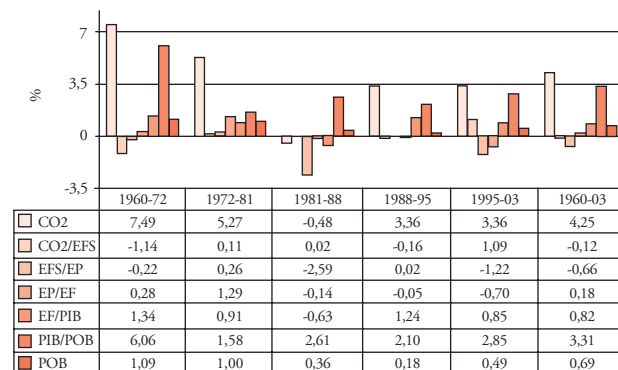
Finalment, als anys finals del segle passat i als primers de l'actual es veu clarament el paral·lelisme entre l'afluència de béns a la societat i les emissions. Es diria que és el creixement de l'activitat productiva el que té aquí un paper destacat, al qual cal afegir el major ús d'energia final per unitat de PIB, efecte eficiència, així com un repunt, bé que modest, en el creixement de la població. D'altra banda, tant l'efecte transformació, els requeriments d'energia primària per unitat d'energia final, com l'efecte substitució van jugar a favor de la disminució de les emissions, però, com es veu, aquests factors no van estar suficients per compensar el comportament conjunt dels altres.

Encara que els tres períodes considerats semblen molt ben delimitats seguint en la figura l'evolució de les emissions reals, no ho són des de la perspectiva de l'evolució teòricament imputada. Ens referim, com s'assenyalava al principi, a les que haurien tingut lloc atenent la variació de

cadascun dels factors mantenint la resta constant. Per poder veure aquesta heterogeneïtat s'ha elaborat la Figura 12, en què es mostren també les taxes de creixement anual mitjà dels diferents factors referides a períodes més curts, cosa que permetrà exposar les raons que expliquen determinats comportaments.

L'època de més alt creixement de les emissions de CO₂ es correspon amb el període de desenvolupament de l'economia espanyola, que hem fixat entre el 1960 i el 1972. Altes taxes de creixement del PIB per càpita, mesurat en paritat de poder adquisitiu, que donen una mitjana del 6,1%, al qual s'afegeixen, com s'ha dit, l'augment sostingut de la població i un creixement del consum d'energia final per sobre el creixement de la població. Això no és pas estrany, perquè davant el canvi espectacular dels nivells de creixement es generen, com va assenyalar Sudrià (1987), "[...] noves preferències dels consumidors (que) exigien canvis substancials en el sector energètic que havia de satisfer-les". En efecte, la intensi-

Figura 12: Evolució de les variables explicatives de les emissions de CO₂ (Taxes de creixement mitjà anual acumulatiu). Font: Dades de l'OCDE (2004) i AIE (2004) i elaboració pròpia.



²⁹ Sobre la qüestió metodològica, vegeu Alcàntara i Roca (1995) i (1996).

tat energètica tant final com primària es veu afectada per múltiples factors que tenen a veure amb els patrons de desenvolupament, l'estructura productiva de l'economia, les diferents classes de combustibles utilitzats, l'eficiència amb què es fan servir les fonts d'energia, així com els estils de vida. En el cas d'Espanya, el canvi en els patrons de consum i l'increment del transport per carretera van plantejar un increment substancial de la demanda energètica que havia de donar suport als nous hàbits. Com diu el mateix autor: "La demanda de gasolina, per exemple, va experimentar un augment entre el 1960 i el 1973 del 13,1% anual. En el cas de l'electricitat, el ritme d'increment mitjà en el mateix període va ser de l'11% anual" (Sudrià, 1987).

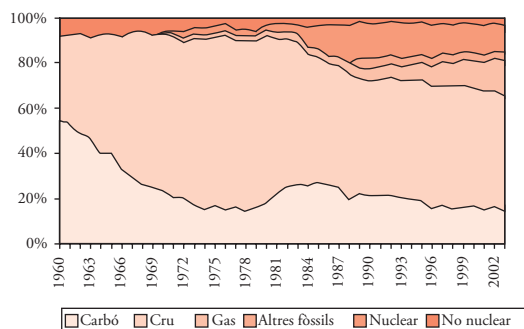
La intensitat energètica, que en aquest apartat de l'anàlisi s'ha descompost en dos factors, no hauria necessàriament de créixer si l'evolució de la producció i el consum energètic productiu ho fan al mateix ritme, cosa que requereix un delicat equilibri entre l'evolució de l'eficiència energètica dels processos de producció i l'estructura productiva de l'economia, així com dels estils de vida i consum. En efecte, els guanys d'eficiència en la transformació derivats de l'evolució de la relació *EP/EF*, amb un procés sostingut de disminució a partir de 1981, van quedar més que esgotats per l'increment de la relació entre energia final i PIB. Aquest comportament està a la base de l'increment energètic per unitat de PIB i, des del nostre punt de vista, juntament amb l'increment de l'afluència de béns a la societat, va ser determinant a l'hora d'explicar l'increment sostingut de les emissions de CO₂ per càpita. A l'apartat següent, dedicat a l'anàlisi sectorial, es veuran amb més detall aquestes qüestions.

Dos importants aspectes a destacar són el comportament de l'"efecte carbonització" i el que s'ha anomenat "efecte composició". Tots dos estan íntimament lligats, ja que, en últimes, es redueixen a una simple relació *C/EP*, cosa

que consideràvem com un indicador de carbonització (vegeu Nota 27 a peu de pàgina). La disposició en dos factors obeeix a importants raons d'índole pràctica, atès que la quantitat d'emissions per unitat energètica depèn tant dels coeficients específics d'emissió de les diferents fonts energètiques com de la magnitud de la participació dels combustibles fòssils en el total d'energia primària utilitzada. Com pot observar-se a la Figura 11, l'ús dels combustibles fòssils ha tingut una caiguda continuada des dels primers anys vuitanta. Aquesta caiguda va arribar a representar, a la dècada dels vuitanta, un 2,6% de disminució de la contribució d'aquests combustibles a les necessitats d'energia primària (vegeu dades a la Figura 12). Es tracta, des d'aquesta perspectiva històrica, de la major contribució a la desacceleració de les emissions. Ara bé, que el percentatge de participació decreixi, fet positiu en principi, no significa que el seu consum deixi d'augmentar i que el seu creixement no tingui clares conseqüències per a l'indicador de carbonització. En aquest efecte carbonització, els aspectes més destacables són la irregularitat en el decreixement al llarg del període estudiat i, sobretot, la seva contribució a l'increment de les emissions els últims anys d'un 1,09%. Vegeu aquesta qüestió més detingudament a partir de la Figura 13, que mostra la distribució del consum energètic per fonts.

Encara que la participació dels combustibles fòssils es va mantenir pràcticament constant fins als primers anys vuitanta, la substitució del carbó, que el 1960 representava el 54,6% de les fonts energètiques, per petroli i gas natural, encara que en menys grau per aquest últim, explica la reducció del factor de carbonització mitjà fins als primers anys setanta. La tornada al carbó, a partir de la segona meitat de la dècada dels setanta, dona lloc a un menor ritme de descarbonització, molt més lent del que es va produir la dècada dels seixanta. L'increment de l'energia d'origen nuclear, que no

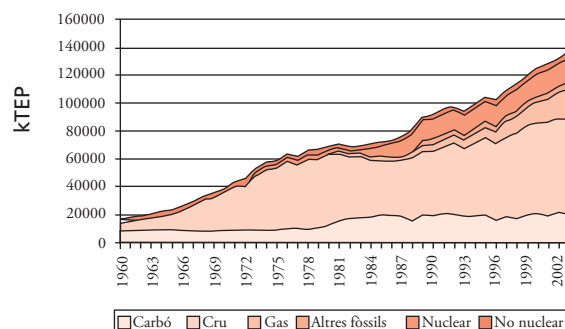
Figura 13: Consum d'energia primària per tipus



considerem que sigui la millor alternativa, tant pel problema dels residus com per la no-renovabilitat de l'urani, i un major recurs al gas natural, amb un factor d'emissió menor que el carbó i el petroli, van permetre fins a mitjan anys noranta mantenir el ritme de descarbonització. Tanmateix, l'arrencada manifesta del petroli va impossibilitar que es mantingués a partir de 1995, aproximadament. Com s'ha assenyalat, manteniment o disminució percentual en el consum dels combustibles fòssils no significa no-creixement. Això explica l'aparent contradicció de les dades de la Figura 12. Així, mentre que la ràtio *EFS/EPE* decreixia els últims anys del període a un ritme mitjà de l'1,23% anual, l'indicador de carbonització creixia a l'1,09%. La Figura 14 ho evidencia.

Sembla bastant inqüestionable que des de la segona meitat dels anys vuitanta fins al 1995 es produeix un molt lleu increment de la participació de les energies fòssils, d'un 0,02% interanual acumulatiu entre el 1988 i el 1995, com es pot veure a les dades de la Figura 12, i una disminució de -0,17% de l'indicador de carbonització, *CIEFS*, que és fàcilment explicable per la substitució del carbó per cru i en major grau per gas natural. No obstant això, encara que a partir de 1995 el pes dels combustibles fòssils en el consum total d'energia primària disminuís a un ritme mitjà anual

Figura 14: Consum d'energia primària per tipus



acumulatiu de -1,23%, el carbó va augmentar en tot aquest període d'un 3,5%, el petroli d'un 24,4%, menys que el gas natural, que incrementa la seva participació enormement, com es confirma a la Figura 13. El pes del cru, però, és prou substancial per explicar la responsabilitat que té en les emissions, com ho confirma la Figura 14.

Encara que després de la crisi del petroli tant el PIB per càpita com el consum energètic per unitat de PIB no hagin tornat a créixer als ritmes dels anys seixanta, i suposin un ritme més lent en el creixement de les emissions fins al final del període analitzat, això no comporta una disminució d'aquestes i, per tant, tampoc una situació més d'acord amb els principis del desenvolupament sostenible.

Si s'analitza amb deteniment la informació sobre tota l'etapa considerada, es comprova que, malgrat el seu bon comportament, encara que no especialment rellevant, els efectes carbonització i substitució han estat insuficients per compensar l'efecte d'afluència de béns, mantenint espectaculars ritmes de creixement de les emissions de CO_2 . Convé llavors examinar, si més no per a dates més recents, els efectes que expliquen el paper jugat pel creixement de l'activitat econòmica en la seva relació amb els impactes ambientals que aquí s'analitzen. Sens dubte, el comportament dels sec-

tors que conformen l'economia espanyola, així com la seva estreta relació amb l'entrellat energètic, permetrà trobar explicacions als resultats anteriors.

3.3. Anàlisi sectorial

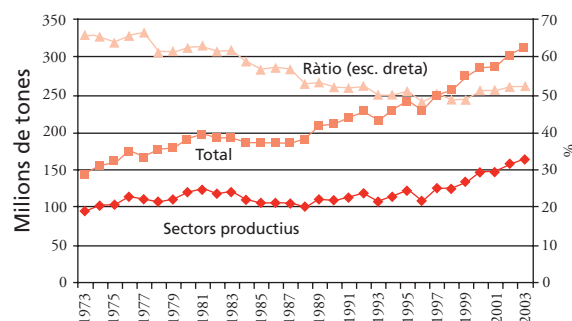
L'anàlisi de les emissions de contaminants atmosfèrics des d'una perspectiva sectorial presenta problemes d'informació. En primer lloc, la informació que tant l'Agència Internacional de l'Energia (AIE) com el Ministeri de Medi Ambient proporcionen – aquest últim elabora els inventaris Corine-air³⁰ – distingeix les emissions per mitjà de transport, però no per usuaris. Així, en el cas del transport per carretera no es distingeix entre transport personal, transport fet per les mateixes empreses utilitzant els mitjans de transport propis i el de les empreses l'activitat principal de les quals és el transport, tant de mercaderies com de persones. Aquest problema ha estat resolt, en part, per l'Institut Nacional d'Estadística (INE), en l'elaboració de la seva informació ambiental. L'INE atribueix a cada sector productiu la part de les emissions que correspon al transport, amb els seus propis mitjans, de mercaderies. I al sector productiu de transport, les seves. Tanmateix, en el primer cas, no proporciona informació separada entre les emissions sectorials referides al transport i les generades per l'ús energètic en els processos de producció. Respecte a les llars, només es dona la xifra d'emissió, sense distingir entre transport i altres. Això explica que no sigui gens fàcil una anàlisi detallada d'aquests sectors, essent com és l'activitat del transport una de les que més contribueix a l'emissió de gasos d'efecte hivernacle. Per tant, no es consideraran aquí les emissions de CO₂ relatives al transport ni tampoc les vinculades als consums energètics de les llars. No obstant això, els resultats de l'estudi

del comportament dels sectors productius han de permetre determinar el marge de maniobra per actuar-hi, des del punt de vista de la política econòmica i ambiental. D'altra banda, atenent la importància i les característiques de l'impacte d'aquests sectors, és possible intuir la magnitud i el paper que han de tenir en relació amb les esmentades polítiques. Es consideraran ara les emissions dels sectors productius de l'economia³¹, llevat del transport.

Aclarit això, convé, tanmateix, mostrar la relació que s'ha donat al llarg del temps entre les emissions dels sectors econòmics (el transport i les llars exclosos), el que hem anomenat d'una manera una mica laxa "sectors productius", i les emissions totals de CO₂. Amb aquesta finalitat s'ha elaborat la Figura 15. S'ha pres el període que va des del 1973 al 2003, i s'ha inclòs en l'eix secundari el percentatge que constitueixen les emissions dels sectors productius en el total.

Una simple inspecció de la figura evidencia l'esforç estalviador d'emissions dels sectors productius, encara que no deixa de ser cert que altres països del nostre entorn van fer un esforç més gran (Liaskas *et al.*, 2000). Des del 1981,

Figura 15: Emissions de CO₂: sectors productius i total. Font: Elaboració pròpia amb dades de l'AIE (2004)



³⁰ Els inventaris per a la *Coordination of information on the environment* (CORINE), els fan els estats membres de la Unió Europea anualment. Cobreixen també altres àmbits del medi ambient, a més de l'aire. El Corine-air presenta una informació detallada sobre les emissions contaminants dels processos productius de l'economia. No es tracta d'una informació per sectors, per bé que, fins i tot no essent senzilla, permeten una imputació sectorial de les emissions contaminants atmosfèriques.

³¹ La imputació de les emissions de CO₂ que corresponen a cada sector productiu pels seus consums d'energia elèctrica s'ha calculat aplicant el coeficient d'emissió estimat per l'AIE (2004), per a cada unitat d'energia elèctrica produïda. L'AIE calcula aquest coeficient d'emissió per a cada any, i, per tant, aquest contempla el canvi en el tipus de combustible per a l'obtenció d'electricitat.

les emissions totals van començar a caure, així com les dels sectors productius, i les d'aquests últims es mantingueren més o menys constants fins al 1996. Es torna, doncs, pràcticament, als nivells de 1973. Si amb la informació proporcionada per l'Agència Internacional de l'Energia (IAE, 2003), per evitar efectes de tipus conjuntural, es prenen les mitjanes dels tres primers anys del període considerat i la mitjana dels tres últims, les emissions haurien passat de total de 154,1 milions de tones (Mt) de CO₂ a 301,4 Mt. Això significa un increment de la ratlla del 95,7% en el cas de les emissions totals. De manera que, a efectes pràctics, aquestes últimes es van duplicar.

Els sectors productius, en canvi, haurien passat de 100,4 Mt a 156,6 Mt, amb un increment percentual del 56,1%. Ara bé, aquesta desconexió dels sectors productius de les emissions, encara que evident, ha de ser matisada. Si es para atenció a l'evolució de la proporció assenyalada a la figura, la desconexió de les emissions de la producció acaba el 1995, encara que la ràtio entre sectors productius i total, que mostra aquesta desconexió, després es manté més o menys constant o amb un lleuger increment. En efecte, fins a 1995 va tenir lloc, com és ben sabut, un canvi tecnològic important, afegit a la reconversió de molts sectors, cosa que va incrementar l'eficiència energètica, la substitució de combustibles, així com una millora substancial de l'eficiència en la transformació d'energia³², entre d'altres. Des d'aquesta perspectiva, i limitant-se al període 1973-1992, es pot comprovar aquesta dissociació entre emissió total i particular dels sectors productius. Així, prenent, com abans, el valor mitjà de les emissions per evitar factors conjunturals, en l'etapa que va de 1973/75 a 1991/93 el creixement de les emissions totals va ser del 46,3%, mentre que les emissions lligades als sectors productius va ser només del 13,4%. Això no obstant,

entre el període de 1991/93 a 2001/03 té lloc una evolució paral·lela i una mica més gran dels sectors productius. Les emissions dels sectors productius haurien crescut d'un 37,7% i les emissions totals d'un 36,3%. Sembla, doncs, interessant analitzar el període més recent per tal de mostrar els camins pels quals han recorregut les emissions vinculades a la producció i intuir, en la mesura possible, les perspectives futures.

De nou a la Figura 15, s'observa que després d'una certa estabilitat emissora que arriba fins a gairebé a final dels vuitanta, en concret fins al 1986 i/o 1987, es produeix una evolució creixent de les emissions. Amb la finalitat de procedir a una anàlisi detallada d'aquesta evolució al nivell sectorial s'analitzarà l'etapa que va de 1986 a 2002³³. S'han considerat dos intervals de temps, que van de 1986, un moment de clara estabilitat, fins al 1992 i des d'aquest any al 2002. A més, 1992 és la data final d'un cicle econòmic expansiu, que seguí la recessió de 1993.

El punt de partida continua essent la identitat tipus IPAT, només que ara ha de considerar-se que el volum total d'emissió és l'agregació de les emissions de cadascun dels sectors en què es divideix l'estructura productiva. El volum d'emissió en el moment t d'un sector qualsevol i vindrà donat per la següent expressió:

$$(3) \quad C_i(t) = \frac{C_i(t)}{E_i(t)} \times \frac{E_i(t)}{Y_i(t)} \times \frac{Y_i(t)}{Y(t)} \times Y(t)$$

Això és, les emissions de CO₂ d'un sector qualsevol depenen de quatre factors: del factor de carbonització mitjà del sector donat per la relació entre emissions i consum energètic del sector; de la seva intensitat energètica; de la seva participació en l'escala de la producció; i del nivell d'activitat global de l'economia donat pel volum total de producció dels sectors considerats. L'emissió total

³² Vegeu sobre això Alcàntara i Roca (1995) i (2004). Vegeu, així mateix, el treball desenvolupat per l'Institut de Diversificació i Estalvi Energètic (IDAE), 2001.

³³ Ens hem vist obligats a fer l'anàlisi fins al 2002, ja que la informació sobre la producció sectorial, per al 2003, no cobreix el nivell de desagregació adequat per a la nostra anàlisi. Les dades extretes de la base STAN de l'OCDE es basen en informació de l'INE. No obstant això, tampoc no hem pogut obtenir la informació necessària a partir d'aquesta institució.

deguda a l'activitat productiva de tota l'economia vindrà donada per l'agregació de tots els sectors:

$$(4) \sum_i C_i(t) = \sum_i \frac{C_i(t)}{E_i(t)} \times \frac{E_i(t)}{Y_i(t)} \times \frac{Y_i(t)}{Y(t)} \times Y(t)$$

A partir de l'expressió (4) és possible la descomposició en efectes explicatius de la variació anual de les emissions que s'obté utilitzant la metodologia exposada a l'Apèndix metodològic. I es té:

$$(5) ET_t = EC_t + EI_t + ES_t + EA_t$$

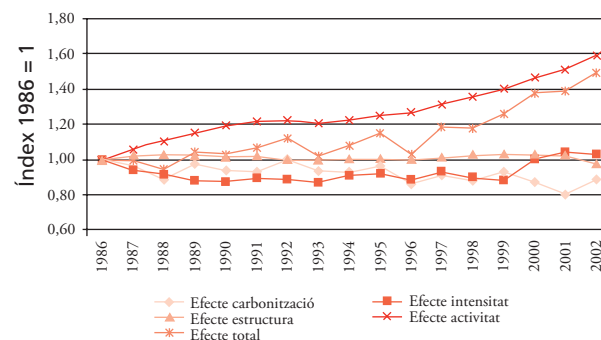
De manera que la variació experimentada per les emissions de CO₂, el que se'n dirà "efecte total" (ET), s'explica pels canvis en el factor de carbonització mitjà de tots els sectors, que es denominarà, com abans, "efecte carbonització" (EC); per l'eficiència en l'ús sectorial de l'energia, que pot considerar-se com a "efecte eficiència energètica" o, simplement, "efecte intensitat" (EI); pels canvis experimentats per l'estructura productiva o "efecte estructura" (ES); i per la "escala de la producció" (EA). Convé notar que el concepte d'eficiència energètica és un efecte que podria qualificar-se de pur, és a dir, que s'obté a estructura constant. Aquest efecte és, ara, més significatiu que l'utilitzat a l'apartat anterior, ja que el concepte d'eficiència energètica que s'utilitzava, fins i tot considerant només l'energia final, era un concepte d'eficiència bruta, molt influenciat per l'estructura productiva de la societat. D'aquí ve el paper que atorguem al nou efecte estructura introduït ara en l'anàlisi. Evidentment, els canvis en l'estructura productiva poden, de retruc i sense que els sectors productius facin cap esforç per reduir l'energia utilitzada per unitat de producte, donar lloc a una disminució global de la intensitat energètica i, paral·lelament, de les emissions contaminants vinculades al consum energètic.

3.3.1. Una perspectiva global del comportament sectorial

Considerem ara la informació de l'Annex II, en el qual es recull, de cada sector analitzat, la variació total de les seves emissions (en milers de tones, kt) atribuïbles a cadascun dels quatre efectes explicatius als quals ens hem referit. A la columna "Total", es recull la variació, any rere any, que correspon a tots els sectors per a cada efecte. Sobre la base d'aquesta informació, si, com s'ha fet abans, s'afegeixen al volum d'emissió de l'any $t-1$ els valors dels diferents sumands obtinguts en la computació de (5) (vegeu Apèndix metodològic), torna a obtenir-se l'evolució de les emissions que haurien tingut lloc l'any t si només hagués variat aquest factor, romanent la resta constant. Es torna a tenir altra vegada una mena d'índex en cadena expressat en kt de CO₂. Si es pren per base l'any 1986, l'evolució de les emissions es pot veure a la Figura 16.

Amb la finalitat d'evidenciar la major o menor importància de l'evolució que mostra la Figura, s'ha elaborat una

Figura 16: Evolució de les emissions de CO₂ a partir del comportament agregat sectorial. Font: Dades de l'Annex II i elaboració pròpia



síntesi del comportament dels diferents efectes i etapes en què s'ha descompost tot el període considerat. Això ajudarà el lector a l'hora de valorar els comportaments observats. Aquesta síntesi es mostra al Quadre 5. Des d'una perspectiva de conjunt, tal com es veu a la Figura 16, les emissions de CO₂ impulsades pels sectors econòmics entre el 1986 i el 2002 van significar un increment mitjà anual de l'1,9% sobre l'emissió total del 1986 (vegeu l'última part del Quadre 5), que va ascendir aquest any a 185.410 milers de tones. Les relatives als sectors econòmics (excepte transport) van ser, el mateix any, de 104.752,7 kt., cosa que va representar un increment mitjà anual de les seves emissions del 3,3%. Si es té en compte que el creixement mitjà anual de les emissions totals, el mateix període, va ser del 10,2%, la contribució de la producció sectorial fou relativament baixa. Per tant, aquests resultats apunten més cap al sector transport i al consum residencial com a causants del problema. Cal preguntar-se, des d'una perspectiva global de la producció, el perquè d'aquest baix creixement respecte de les emissions totals.

El factor explicatiu més important per a tot el període és l'efecte carbonització, el que contribueix més a compensar l'efecte activitat donat per l'expansió de l'economia. Si s'atén al que es plantejava al principi d'aquest capítol, la descarbonització es produeix per l'estabilització de la participació percentual dels combustibles fòssils, d'una banda, i per la substitució de fonts energètiques primàries, d'altra. En efecte, la substitució del carbó per gas natural, amb un component de carboni molt més baix, fa que el coeficient d'emissió mitjà davalli. D'altra banda, en les emissions sectorials s'han imputat, com ja s'ha dit, les emissions corresponents a l'energia elèctrica, que es beneficia de la substitució de fonts per a l'obtenció i, així mateix, es dona una disminució de l'ús de productes petrolers i carbó. Això reflecteix el comporta-

Quadre 5: Efectes explicatius de la variació d'emissions de CO₂ a Espanya entre el 1987 i el 2002. Font: Elaboració pròpia.

	Milers de tones		
	1992-1987	2002-1993	2002-1987
Efecte carbonització	568	-12166	-11598
Efecte intensitat	-11607	15159	3553
Efecte estructura	726	-2663	-1937
Efecte activitat	23284	38667	61951
Efecte Total	12972	38997	51969
Distribució per període Índex (efecte total = 100)			
	1992-1987	2002-1993	2002-1987
Efecte carbonització	4,4	-31,2	-22,3
Efecte intensitat	-89,5	38,9	6,8
Efecte estructura	5,6	-6,8	-3,7
Efecte activitat	179,5	99,2	119,2
Efecte Total	100,0	100,0	100,0
Contribució al creixement mitjà anual de les emissions totals % creixement mitjà anual sobre emissió total el 1986			
	1992-1987	2002-1993	2002-1987
Efecte carbonització	0,1	-0,7	-0,4
Efecte intensitat	-1,3	0,9	0,1
Efecte estructura	0,1	-0,2	-0,1
Efecte activitat	2,5	2,3	2,2
Efecte Total	1,4	2,3	1,9

ment sectorial des de la perspectiva dels processos i activitats productius, sobretot pel que fa a productes petrolers, ja que no es considera aquí el transport fet per la mateixa empresa. El procés de descarbonització és molt més important en la segona etapa que no en la primera dins el període considerat, atès que en el segon període s'accelera la substitució del carbó per gas natural. En resum, l'efecte carbonització va contribuir a una disminució sostinguda al llarg del període de la ratlla del 0,4 % anual.

L'altre factor que va contribuir a la disminució de les emissions totals va ser l'efecte estructura, bé que més modestament. La simple observació de la figura mostra la invariabilitat de l'estructura productiva al llarg dels anys examinats. Els grans canvis estructurals de l'economia s'havien produït,

com és ben sabut, en el decurs dels anys vuitanta. No obstant això, en la primera fase del període guanyen pes en l'estructura productiva dos sectors amb una intensitat energètica destacada: el sector químic i petroquímic i l'agricultura, deixant de banda les diferències entre tots dos, és clar. Aquesta sembla l'única raó per explicar la contribució d'aquest efecte estructura a l'increment de les emissions totals, d'un 0,1% mitjà anual aquest primer interval temporal. En el cicle següent, tots dos sectors van perdre pes i només el sector de la metal·lúrgia i la maquinària va guanyar presència, amb una intensitat energètica rellevant.

Els efectes intensitat energètica i activitat productiva, tanmateix, van tenir un comportament poc "amigable" amb el medi ambient. Tot i que els resultats del canvi tecnològic van ser notables des de mitjan anys vuitanta i es van deixar sentir fins a començament dels noranta – d'aquí ve l'aportació de l'efecte intensitat a l'alentiment de les emissions, almenys les sectorials, fins a mitjan anys noranta–, aquests canvis no són definitius i, a més, si suposen un abaratiment dels costos, perfilen una substitució de factors productius incrementant el consum energètic per unitat de producte, cosa que dona lloc al que en la bibliografia es coneix per "paradoxa de Jevons" (Roca i Padilla (2003)). Això explica el repunt del creixement de l'efecte intensitat a final dels anys noranta, i que avui encara es manté. Després, en l'anàlisi sectorial, tornarem a aquestes consideracions amb més detall, i es veurà quins sectors afecta.

Quant a l'efecte activitat, és lògic que sigui positiu, ja que l'economia va créixer de mitjana entorn del 3,5% anual. Ara, si es té en compte que l'efecte activitat mesura el creixement que les emissions haurien experimentat en el cas que tots els sectors haguessin crescut a la taxa mitjana, potser caldrà buscar-ne amb més afany la responsabilitat fora del sector productiu de l'economia.

Introduint, en aquest apartat, el factor estructura i els consums energètics sectorials, l'anàlisi s'ha enriquit atenent el comportament dels actors econòmics, encara que, ben cert, presentant els resultats en forma agregada. Certament, els resultats obtinguts i comentats ens han permès identificar els aspectes destacats de la problemàtica que considerem. No obstant això, les mesures de política econòmica encaminades a afrontar el repte de la disminució de les emissions de CO₂ no aniran adreçades a agregats, sinó a agents o grups d'agents concrets segons el seu paper en l'activitat econòmica. Per això, si bé és cert que el treball desenvolupat fins aquí ens ha permès identificar les causes, no deixa de ser necessari identificar els sectors que es troben sota les arrels del problema i quin és el paper que hi tenen. En definitiva, en què contribueix qui i a quin problema. Abordarem aquesta qüestió en l'apartat següent.

3.3.2. El paper dels sectors

S'analitza ara el paper particular dels diferents sectors. A partir de les dades de l'Annex III s'ha elaborat el Quadre 6, que a la primera part reflecteix la variació de les emissions de CO₂, en milers de tones (kt), des de 1986 fins al 2002, distribuïdes en els diferents efectes i de tots els sectors. En segon lloc, el quadre expressa l'impacte de cada sector i efecte sobre les emissions totals de 1986, mesurat l'impacte com el percentatge de variació mitjana anual (vegeu també la Figura 17 amb aquests percentatges). A fi de clarificar l'exposició, només es parlarà de les dues etapes considerades aquí. Per a això s'ha replicat el quadre per als períodes 1992–1987 i 2002–1993 a l'Annex III.

Un aspecte que salta a la vista tot seguit és la importància del sector comerç i serveis en l'efecte total. La contribució incremental d'aquest sector ve a representar entorn del

40% de l'impacte total. Abans, parlant del repunt de l'efecte estructura a final dels noranta, s'ha plantejat el problema d'aquest sector, que no és un problema d'estructura, sinó que el seu important paper ve del seu gran impacte des de la perspectiva de la intensitat energètica, d'una banda, i del seu efecte activitat, d'una altra.

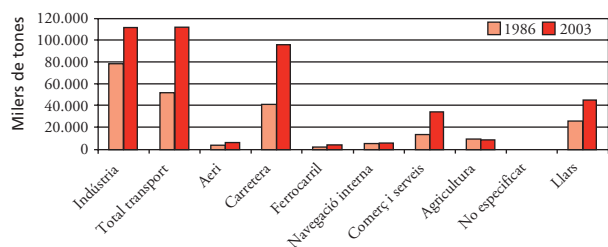
El seu efecte activitat només és superat pel sector de metal·lúrgia i maquinària. El lector pot comprovar en les dades de l'Annex III que aquesta situació es produeix des del cicle 1992-1987, pel que fa a l'important paper de la intensitat energètica. Mentre que, per continuar amb la mateixa comparació, el sector de metal·lúrgia i maquinària reflecteix impactes negatius de l'efecte intensitat en tots dos períodes, que ajuden, per tant, a la disminució d'emissions. I, cosa més

important, l'efecte activitat és entre el 2002 i el 1987 pràcticament idèntic al d'aquest sector. Això és molt més important perquè en aquest sector hi ha incorporada la indústria metal·lúrgica bàsica, tant fèrria com no fèrria. En un treball recent (Alcàntara i Padilla (2006)), en el qual es van calcular els impactes tant directes com indirectes en les emissions de CO₂ de quaranta-cinc sectors de l'economia espanyola, els sectors comercials apareixien com a sectors clau, al costat del transport, els minerals no metàl·lics, la construcció i alguns altres de menor entitat. El següent sector, en ordre d'importància respecte al seu impacte total, és el de minerals no metàl·lics, amb un efecte activitat molt pròxim al de comerç i serveis. En aquest cas es destaca per l'efecte activitat. Això no és pas estrany, la vinculació que té amb la construcció, que li

Quadre 6: Variació (en milers de tones i en % mitjà anual) de les emissions de CO₂ a Espanya entre el 1987 i el 2002, segons els efectes considerats. Font: Elaboració pròpia.

	Química i petroquímica	Minerals no metàl·lics	Equip transport	Metal·lúrgia i maquinària	Alimentació i begudes	Paper i impressió	Fusta i els seus productes	Construcció	Tèxtil i cuir	Altres indústries	Agricultura	Comerç i serveis	Total
Efecte carbonització	-951	-2576	-543	-3473	-1513	-1064	-905	-37	-311	395	-155	-465	-11598
Efecte intensitat	-3471	-3481	867	-6485	4379	1687	1507	496	961	818	-3414	9689	3553
Efecte estructura	1314	1463	-42	1327	-2577	-666	-402	113	-1834	20	-1290	637	-1937
Efecte activitat	8701	10839	1454	13706	4218	2821	526	470	2030	1807	4182	11196	61951
Efecte total	5594	6244	1736	5074	4507	2778	727	1043	846	3039	-677	21057	51969
Efecte carbonització	-0,03	-0,09	-0,02	-0,12	-0,05	-0,04	-0,03	0,00	-0,01	0,01	-0,01	-0,02	-0,42
Efecte intensitat	-0,12	-0,13	0,03	-0,23	0,16	0,06	0,05	0,02	0,03	0,03	-0,12	0,35	0,13
Efecte estructura	0,05	0,05	0,00	0,05	-0,09	-0,02	-0,01	0,00	-0,07	0,00	-0,05	0,02	-0,07
Efecte activitat	0,31	0,39	0,05	0,49	0,15	0,10	0,02	0,02	0,07	0,06	0,15	0,40	2,23
Efecte total	0,20	0,22	0,06	0,18	0,16	0,10	0,03	0,04	0,03	0,11	-0,02	0,76	1,87

Figura 17: Emissions de CO₂ segons sectors econòmics a Espanya. Font: Elaboració pròpia amb dades de l'AIE (2004)



fa de motor, explica la seva importància, que es menja l'efecte positiu sobre el medi ambient a causa de la reducció de la seva intensitat energètica. En efecte, juntament amb l'agricultura, metal·lúrgia i maquinària i la química i petroquímica, és un dels sectors en els quals l'impacte de la disminució de la intensitat energètica és més important. Contràriament, però, al que s'esdevé en el cas del sector del comerç i serveis, en aquest sector i en els tres últims esmentats, l'impacte beneficiós de l'efecte intensitat no és sostingut. Les millores d'eficiència energètica més importants es donen en el primer període. El lector ho pot comprovar consultant l'Annex III.

L'agricultura és l'únic sector amb un efecte total negatiu, això és, l'únic del qual podria dir-se que té connotacions de sostenibilitat forta. Aquesta situació s'explica per les substancials millores en eficiència energètica, almenys amb les dades disponibles. Tanmateix, això és purament aparent, perquè aquest sector té efectes d'arrossegament molt importants sobre sectors altament emissors, com ara el químic. En la investigació damunt esmentada, el sector agricultura apareix com a clau per a les emissions de CO₂³⁴.

Un altre sector amb característiques semblants quant a la capacitat d'arrossegament en l'emissió és la construcció. D'una manera directa, el paper d'aquest sector és mínim, el seu impacte en el creixement mitjà anual de les emissions totals el 1986 amb prou feines va ser d'un 0,4%. El seu paper

inductor d'emissions en tant que utilitzador de productes generats en sectors com ara minerals no metàl·lics, metal·lúrgia i maquinària, transport, etc., implica impactes indirectes de gran importància. Un dels resultats de la investigació esmentada en aquest apartat és que, davant un increment d'un 1% de l'activitat productiva de la construcció, l'impacte generat és d'un 1,6% en les emissions de CO₂.

Malgrat que no es tracti aquí de les emissions indirectes induïdes pels diferents sectors, és a dir, la seva responsabilitat última en les emissions totals, aquesta és una qüestió principal a l'hora d'esbossar polítiques ambientals enfront del canvi climàtic. Tota política ambiental que es vinculi a la demanda de béns ha de tenir en compte aquests efectes indirectes. És cert que, en les polítiques dirigides cap al sector directament emissor, n'hi ha prou amb una anàlisi com la feta en aquestes pàgines, però no deixa de ser un exercici interessant el desenvolupament d'anàlisis encaminades a determinar el que podria dir-se'n la genealogia de l'emissió.

3.4. El sector transport i les unitats familiars (residencial)

El sector transport mereixeria una anàlisi detallada per si sol, que escapa a l'objectiu d'aquestes pàgines. És, sens dubte, el sector clau per excel·lència des de la perspectiva de les emissions de gasos d'efecte hivernacle. Als paràgrafs següents es desenvoluparà un plantejament purament descriptiu a partir de la comparació de l'evolució de les emissions d'aquest sector amb la resta. Es mostrarà també com l'evolució de les emissions de CO₂ a partir d'un determinat moment es desvincula més dels altres sectors econòmics i apareix més lligada al sector transport.

S'analitza en primer lloc l'evolució del sector des del punt de vista de les emissions, en comparació de la resta de

³⁴ Encara que no podem detenir-nos aquí en el desenvolupament de sector clau des de la perspectiva de l'anàlisi econòmica input-output, volem aclarir que considerem clau des d'aquesta perspectiva aquell sector productiu, l'emissió directa del qual és relativament alta i, a més, obliga els seus sectors proveïdors d'inputs a generar emissions per sobre de la mitjana.

sectors. Com a l'apartat anterior, s'ha procedit a la imputació de les emissions originades en la generació d'energia elèctrica i la refinació de petroli a les diferents branques. El Quadre 7 sintetitza les dades corresponents al sector i als altres quatre grans grups: agricultura, indústria, comerç i altres serveis, així com les unitats de consum.

El sector ha passat de significar un 28,9% de l'emissió total a representar un 35,8%, això és, més d'un terç de les emissions, amb un creixement mitjà anual acumulatiu de l'11,5%, fet el que significa que les emissions d'aquest sector el 2003 eren més del doble que les de 1986. Només el sector comerç i serveis va experimentar un creixement superior, del 14,1%, però la seva participació en les emissions totals únicament representava, el 2003, l'11%. Així sí, les emissions es van multiplicar en l'espai de temps transcorregut entre les dues dates per 2,5, mentre que les corresponents a la indústria van experimentar un creixement del 5,1%, passant d'una participació del 43,7% a un 35,8%. És a dir, el 2003, transport i indústria igualen la seva aportació a l'emissió total. Pel que fa a l'agricultura, va

experimentar un decreixement sostingut de -0,4% anual, i la seva cooperació al total passà del 5,2 al 2,9%. Les llars, finalment, van augmentar les emissions a un ritme del 7,9%, disminuint d'unes dècimes la seva participació en l'emissió total. Ho il·lustra la Figura 18.

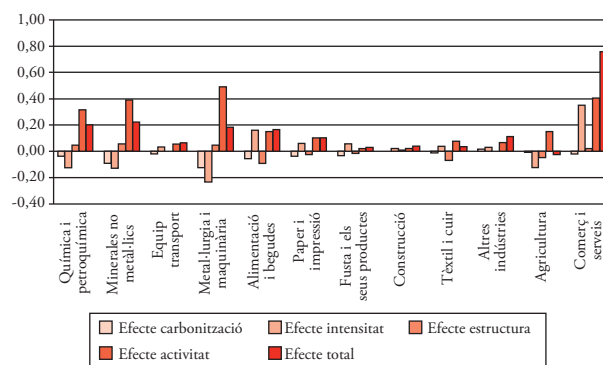
És inqüestionable que el sector transport, en general, i el transport per carretera, en particular, representen el sector més important amb vista al desenvolupament de polítiques encaminades a la reducció d'emissions de gasos d'efecte hivernacle. Per fer-se càrrec de la importància del sector en aquestes emissions es pot fer un petit exercici numèric que mostra fins a quin punt es troben cada vegada més lligades al transport i menys a la indústria, ja que, com mostra la figura, la magnitud de l'emissió és molt semblant, encara que una mica superior la de la indústria.

Considerem ara l'evolució en números índex de les emissions totals, d'una banda, i semblantment les dels sectors productius (fora del transport) i descomptades les que correspondrien al comerç i altres serveis. A continuació, prenguem la relació entre l'índex que fa referència a l'evolució de les

Quadre 7: Emissions de CO₂ del sector transport a Espanya entre el 1986 i el 2003. En milers de tones. Font: Elaboració pròpia.

Emissions de CO ₂ del sector transport (kt)				
	1986	%	2003	%
Total transport	51970,0	28,9	111646,4	35,8
Aeri	3366,6	1,9	5616,7	1,8
Carretera	40645,1	22,6	95733,9	30,7
Ferrocarril	1639,8	0,9	3385,8	1,1
Navegació interna	5166,0	2,9	5130,2	1,6
No especificat	619,2	0,3	807,5	0,3
Agricultura	9393,7	5,2	9132,8	2,9
Indústria	78652,7	43,7	111744,6	35,8
Comerç i serveis	13627,5	7,6	34405,1	11,0
Llars	26252,5	14,6	44729,7	14,3
Emissió total	179926,5	100	311885,8	100

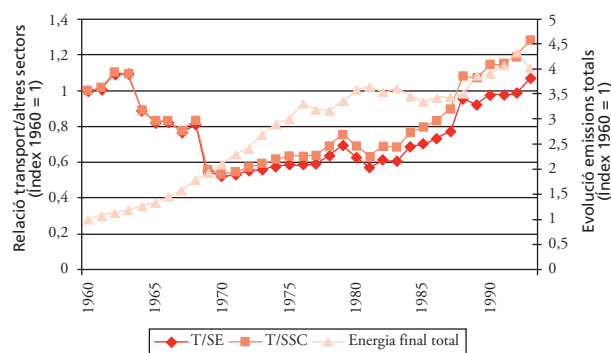
Figura 18: Variació mitjana anual amb els efectes sectorials a Espanya. Font: Elaboració pròpia amb dades de l'Annex III.



emissions degudes al transport i el de les dels sectors productius, amb comerç i serveis i sense. És obvi que si les relacions entre índexs són creixents, l'evolució de les emissions totals tendeix a dependre més del transport que no dels sectors productius (llevat del transport). Això mostraria el grau de desvinculació de les emissions totals dels sectors productius (excepte el transport). A la Figura 19 es poden observar les possibles tendències.

La sèrie *T/SE* expressa la relació entre les emissions del transport i les dels sectors productius. La sèrie *T/SSC* dona la mateixa relació, però ara no s'inclouen en els sectors productius el comerç i altres serveis. Com es veu, fins al 1970 hi ha una clara vinculació del creixement de l'emissió total amb els sectors productius, perquè el creixement de les emissions degut als sectors productius és molt més gran que no pas les corresponents al transport. A més, les emissions d'aquests sectors amb comerç i serveis o sense s'encobreixen. Des d'aquesta data fins a cap a la dècada dels vuitanta ja comença a ser creixent la relació, és el començament d'una major vinculació de l'emissió total al transport. Aquesta situació es manté

Figura 19: Anàlisi comparada del transport i de la resta de sectors productius. Font: Elaboració pròpia amb dades de l'AIE (2004)



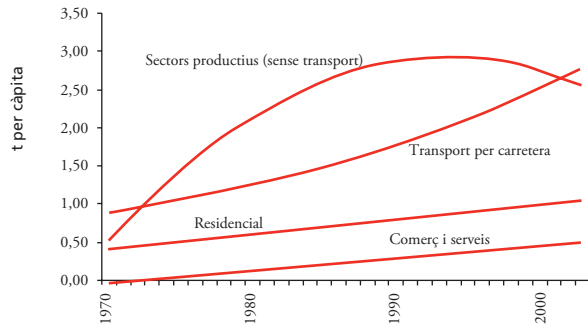
fins a mitjan anys vuitanta, que es posa clarament de manifest la pèrdua d'importància relativa dels sectors productius enfront del transport, quant a emissions de CO₂. Es pot veure també l'inici d'un altre fet important que lliga amb l'anàlisi de l'apartat anterior dels sectors productius, com ho és que la sèrie *T/SE* queda ostensiblement per sota de la sèrie *T/SSC*. Naturalment, en experimentar el comerç i altres serveis un increment substancial del consum energètic i estar aquests inclosos en el consum dels sectors productius, la relació *T/SE* tendeix a alentir-se, i això fa la sensació que el transport perd importància en la generació d'emissions. Si es descompten les emissions del comerç i els serveis de les emissions dels sectors productius, el transport torna a presentar-se amb un pes substancial en l'emissió total. És el que mostra l'evolució de la relació *T/SSC*. Confirma això el que en aquestes pàgines s'ha dit respecte a la importància que prenen els últims anys el comerç i altres serveis en el creixement de les emissions.

Sense més interès que mostrar el rumb que agafaran els grans sectors observats, s'han calculat les tendències que han seguit al llarg del període analitzat, les quals confirmen les conclusions que s'han anat obtenint. Per a això s'han calculat les emissions per càpita dels quatre sectors productius (sense transport). La Figura 20 mostra les línies de tendència estimades per a aquests a partir de les observacions existents des de 1960.

Com es veu, els sectors que s'han anomenat, fins i tot incloent-hi el comerç i els serveis, mostren una tendència decreixent. De fet, la millor estimació per a les dades és una paràbola de pendent negatiu. En el cas del transport per carretera, el millor ajust ve donat per una funció exponencial de les emissions per càpita.

Les llars, així com el comerç i els serveis, mostren una tendència lineal creixent. En tots els casos, el R², per donar

Figura 20: Tendències de les emissions de CO₂ per càpita a Espanya. Font: Elaboració pròpia amb dades de l'AIE (2004)



alguna mesura de la bondat de l'ajust, ja que la finalitat de les regressions és només descriptiva, oscil·la entre 0,9 i 0,95, i el millor ajust és el que correspon al transport per carretera, 0,95.

3.5. A manera de síntesi

Convindria ara, abans de treure algunes conclusions del que s'ha exposat, plantejar a manera de síntesi quina és la situació a Espanya amb vista al futur. Es tracta d'elaborar una imatge global a partir de la història passada, que pot fer llum sobre les línies de política econòmica i ambiental que seria interessant seguir, suposant que es vulgui abordar seriosament la situació actual i les seves tendències.

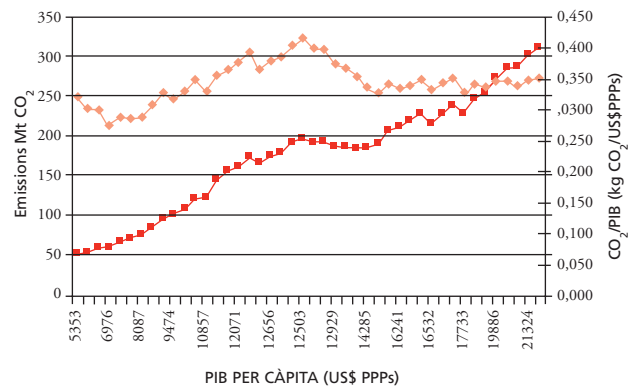
L'anàlisi pot plantejar-se en termes de corba de Kuznets ambiental (EKC). D'acord amb les hipòtesis de l'EKC, en els primers estadis de desenvolupament, les pressions ambientals (en el nostre cas, les emissions de CO₂) s'incrementen en la mesura que ho fa la renda per càpita. A partir d'un determinat punt, l'esmentada pressió disminuiria, amb increments successius de la renda. La corba tindria forma de U-invertida, al contrari de la proposada per Kuznets (1955) per a la relació entre desigualtat i renda per càpita. D'aquí ve el nom

de corba de Kuznets ambiental. Des de la perspectiva de les emissions, entenem que la pressió ambiental es manifesta en termes d'emissions absolutes, ja que el problema que en deriva ve donat per la seva acumulació a l'atmosfera. De manera que, seguint Bruyn i Opschor (1997), hi haurà una desvinculació en sentit fort entre creixement i pressió ambiental si:

$$(6) \quad dCO_2/dt < 0$$

Tenint en compte que les emissions depenen tant de la intensitat d'emissió (unitats de CO₂ per unitat monetària, a preus constants de PIB) com del volum de PIB, el creixement econòmic només serà "amic" del medi ambient si la taxa de creixement econòmic queda compensada per una taxa de variació negativa més gran de la pressió ambiental. Si la taxa de disminució de la pressió ambiental fos menor, en valor absolut, que la taxa de creixement del PIB, aleshores parlariem de desconexió feble (Roca i Alcàntara (2001)).

Figura 21: Renta per càpita, intensitat d'emissió i emissions totals de CO₂ a Espanya. Font: Elaboració pròpia amb dades de l'AIE (2004).



La simple inspecció de la Figura 21 mostra ben clarament que no ha estat aquest el cas a Espanya. Ja era palpable, per tot el que hem dit, que el creixement econòmic espanyol no presenta una situació de desconexió o, si es vol, de sostenibilitat forta. La desconexió feble només s'observa d'una manera clara entre el 1981 i el 1988. I, coincidint amb aquest curt període, un petit lapse de 1981 a 1986 de desconexió forta³⁵.

Cal notar que la intensitat d'emissió reflecteix d'una manera condensada els resultats als quals conduïa l'anàlisi sectorial i l'històric prèvi, encara que refonent en un sol indicador els efectes carbonització, composició, transformació i eficiència. Tanmateix, el comportament de la intensitat d'emissió, rellevant a la vista de la Figura, és inexplicable sense aquella descomposició. En certa manera, justifica el necessitat de la descomposició analítica en efectes explicatius que hem desenvolupat.

D'altra banda, la inexistència palpable, a hores d'ara, de desconexió forta i també feble reclama l'actuació dels poders públics amb vista a enfrontar els reptes de la sostenibilitat i, també, un fet més peremptori com ho és el compliment dels compromisos de Kyoto.

3.6. Algunes conclusions rellevants

L'anàlisi anterior posa de manifest dues qüestions importants. D'una banda, no sembla que el camí seguit per l'economia espanyola condueixi a una situació de desconexió o sustentabilitat forta tocant a les emissions de CO₂. I ni de bon tros es veuran complerts els compromisos de Kyoto. L'"esforç" dels sectors productius, que, com s'ha vist, condueix a una situació d'estabilitat de les seves emissions no és suficient per compensar les procedents del consum energètic de les llars i el transport. D'una altra banda, en poc temps hi

ha hagut canvis profunds, tant des de la perspectiva de l'eficiència energètica com de l'estructura productiva, que fan difícil imaginar transformacions en profunditat que accelerin l'evolució cap a una desconexió forta. Això ho avalen les últimes investigacions de l'Institut per a la Diversificació i l'Estalvi Energètic (IDAE, 2001), que no preveu millores substancials en els catorze anys vinents.

La via més raonable és un canvi substancial del model de transport, responsable de més del 60% del consum dels productes petrolers a Espanya. D'aquest, exactament el 61,4%, el trànsit rodat suposa un percentatge del 81,5%, si es dóna crèdit a la informació obtinguda a partir dels balanços energètics de l'Agència Internacional de l'Energia (AIE).

Pel que fa al sector residencial i al sector de comerç i serveis, ja s'ha vist que signifiquen conjuntament un 25,3% de les emissions de CO₂ totals contemplades al Quadre 7. En un treball recent, Nieto i Santamaría (2006), comentant el nou Codi Tècnic de l'Edificació, es fan ressò de l'important paper que les mesures relatives al sector de l'habitatge –no s'ha d'oblidar que una part substancial del consum energètic familiar està relacionat amb l'estructura de l'habitatge, a més dels estils de vida i consum, és clar– podrien tenir en l'avanç cap a la sostenibilitat. En efecte, s'assenyalava abans que el sector de la construcció tenia substancials efectes d'arrossegament en l'emissió. Si es té en compte que en el cas del sector serveis una part important del consum energètic està, igual que en el cas dels habitatges, o, potser, en major grau, vinculat a l'estructura de l'edifici o local, no és pas desenraonat considerar d'una manera integrada la qüestió de l'habitatge, així com els problemes al voltant del comerç i els serveis. Des d'aquesta perspectiva, no és estrany que aquests autors afirmen que "el sector de l'habitatge i dels serveis representa més del 40% del consum final d'energia de la Unió Europea". Amb l'aplicació de les mesures d'eficiència energètica als edi-

³⁵ Aquesta situació ha estat analitzada recentment per Roca *et al.* (2001) i a Roca i Padilla (2003).

fícis es podria estalviar l'emissió anual de 450 Mt. de CO₂, xifra que representa la vuitena part de les emissions actuals de la UE". I conclouïen: "La indústria de la construcció en un sentit ampli, des dels arquitectes i promotors a les empreses constructores i als mateixos usuaris, té un paper clau en l'avanç cap a la sostenibilitat".

La dificultat per a la comprensió i solució del problema radica en la falsa creença que una economia de serveis, que es manifesta en el creixement del valor afegit dels seus sectors davant els industrials, és una economia desmaterialitzada. Tot i ser els processos productius de tipus material, generació d'energia, siderúrgia, agricultura, producció de maquinària i equip, indústria química, etc., els més vinculats al consum energètic i, per tant, a les emissions pertinents, l'arrel del nostre problema es troba, en darrer terme, en els sectors demandants. Els serveis no deixen de tenir una base material sobre la qual sustenten la seva activitat. No únicament a Espanya, és clar, sinó també a la majoria dels països occidentals. Les nostres formes de vida i consum, la nostra manera d'entendre el benestar, constitueix la fita inexcusable per entendre el problema des d'una àmplia perspectiva.

Si es posa èmfasi sobre aquests aspectes del problema en aquestes conclusions és perquè necessitem energia per viure, l'extracció i transformació de l'energia no es fa perquè sí i, per tant, de nosaltres depèn fer-ne un ús adequat, tant des del punt de vista dels impactes ambientals vinculats al seu ús com de l'esgotament de les fonts. Fet i fet, com s'ha anat

veient al llarg d'aquestes pàgines, són les nostres formes de producció i consum les que determinen els resultats de la seva utilització. D'altra banda, cal considerar fins a quin punt té sentit la insistència en un creixement material que genera una aflluència sostinguda de mercaderies, la major part de vegades impulsada per un consumisme desmesurat, que poc té a veure amb el benestar, i que condueix a uns efectes les seqüeles dels quals fan posar en dubte els èxits futurs del creixement mateix.

Som conscients que la metodologia té limitacions importants, perquè oblida una sèrie d'interrelacions, com ara l'ús d'inputs industrials (la producció i el transport dels quals requereixen energia) per part dels sectors energètics i el fet que part de l'energia utilitzada per produir energia es gasta en altres països (com és, òbviament, el cas de l'extracció del petroli importat) i que es reflecteix ni en els balanços energètics ni en els indicadors d'activitat agregats. Altres limitacions vindrien imposades pel grau de qualitat i nivell de separació proporcionada per les fonts utilitzades. Malgrat totes aquestes limitacions, però, creiem que les nostres estimacions proporcionen una aproximació (de fet, una infravaloració) dels impactes en les emissions de gasos d'efecte hivernacle, a partir de l'ús energètic requerit per a llur activitat. No obstant això, l'aproximació proporcionada en aquest capítol permet, si més no, perfilar la marxa del problema i alhora mostrar alguns objectius de futures investigacions encaminades a reforçar l'esbós de polítiques conduents a un major grau de sostenibilitat.

Conclusions

Per tenir la certesa que el clima està canviant i que les noves condicions climàtiques són significativament diferents de les del passat més o menys recent, cal disposar de mesures de les variables climàtiques rellevants (temperatura, precipitació, cobertura nuvolosa, extensió de la neu i del glaç, etc.) a diferents punts representatius de la superfície terrestre. Actualment hi ha moltes estacions d'observació repartides per tot el globus que mesuren aquestes i altres variables d'interès meteorològic i, a més, hi ha satèl·lits que proporcionen també informació global sobre algunes d'elles. Quan aquestes dades no eren disponibles, per obtenir informació de magnituds climàticament importants s'ha recorregut a mesures indirectes, com els registres històrics, els anells de creixement dels arbres, els testimonis de glaç, etc. De tota aquesta informació, a escala global es pot afirmar que la concentració atmosfèrica de gasos amb efecte hivernacle augmenta, que durant el segle XX la temperatura mitjana de la superfície terrestre s'ha incrementat, que la pluviositat no ha canviat de manera homogènia a tot el planeta, que l'extensió de les glaceres i, en general, del glaç i la neu ha disminuït i que el nivell del mar ha pujat. Tots aquests indicis testimonien canvis profunds en el medi físic, que són conseqüència de les perturbacions en el sistema climàtic atribuïbles a una atmosfera amb un major contingut d'energia. Molt probablement, aquests canvis són atribuïbles a l'acció humana, tal com indica el recent “Resum per a responsables de polítiques” del Quart Informe IPCC (2 de febrer del 2007).

La varietat geogràfica d'Espanya i la seva situació a cavall del clima temperat i humit de latituds mitjanes i del subtropical mediterrani, i entre aigües marítimes a l'oest i a l'est, donen lloc a un complex mosaic climàtic. Les sèries climàtiques seculars del país presenten un increment nítid i general de la temperatura mitjana, així com de les mitjanes de les màximes i de les mínimes, paral·lel al planetari, mentre que els anys més càlids es concentren en les dues últimes dècades. La precipitació anual, en canvi, no mostra clares tendències, si s'exceptua el sud peninsular, on la pluja ha disminuït l'últim segle.

Estacionalment, les primaveres s'han tornat més eixutes les últimes dècades. Els models climàtics dibuixen un escenari per a les pròximes dècades i finisecular notablement més càlid, amb una temperatura de 2 a 5 °C, depenent dels escenaris d'emissions, més elevada que la registrada el període 1961-1990, amb estius marcadament més càlids que els actuals. Això s'hi afegeix una reducció pluviomètrica a la primavera i l'estiu. Regionalment, els augments de temperatures seran més acusats a l'interior que no al litoral ibèric i als arxipèlags canari i balear. Encara que resulta difícil de precisar, és previsible una major freqüència i intensitat dels riscos climàtics (onades de calor, sequeres, precipitacions torrencials, etc.).

L'escalfament global comportarà forts impactes sobre la natura i el benestar humà. Com més gran sigui l'escalfament, més grans seran les alteracions al medi ambient i els danys sobre els humans, i els models mostren que aquests augmenten més que proporcionalment a mesura que s'incrementa la temperatura. Es produiran alteracions dels costos en l'agricultura, en la disponibilitat d'aigua, els ecosistemes i la biodiversitat, la salut, els assentaments humans, energia i indústries i els serveis d'assegurances. Els impactes afectaran de manera molt desigual les diferents regions del món i seran especialment greus als països en via de desenvolupament i en les poblacions més desfavorides de tots els països. Espanya és, per la seva situació geogràfica, un dels països d'Europa que es veuran més afectats pel canvi climàtic i on els impactes negatius previsibles seran molt superiors als positius. Es destaquen els costos que es produiran en termes d'una menor disponibilitat d'aigua, erosió i inundació de zones costaneres, majors incendis forestals, alteració d'ecosistemes i pèrdua d'hàbitats, a més d'importants impactes negatius sobre el sector turístic.

Cal considerar els problemes i limitacions dels models que s'han estat aplicant per avaluar en termes monetaris els impactes del canvi climàtic i de les polítiques de mitigació. No poden deixar-se de banda les fortes limitacions ètiques que significa l'aplicació de l'anàlisi cost-benefici al canvi climàtic. Els models econòmics han tendit a incorporar supòsits, de vegades arbitraris, que infravaloren els costos del canvi climàtic i esbiaixen la recomanació de polítiques cap a un control lleu o nul d'emissions. N'és una excepció el recent estudi de Stern (2006), que recomana una actuació decidida i enèrgica per impedir que es produeixin els pitjors impactes previstos del canvi climàtic. No obstant això, siguin quins siguin els resultats d'aquests models, no eviten el debat ètic de quins riscos sobre les generacions futures es consideren tolerables. Les diferents alternatives destacades per l'Informe Stern (2006) per lluitar contra el canvi climàtic són: augmentar el preu relatiu del carboni, fomentar la innovació tecnològica i eliminar les traves al canvi tecnològic. Els marcs d'actuació haurien d'incloure mesures com el comerç d'emissions, la cooperació tecnològica, mesures contra la desforestació, així com d'adaptació. Si es consideren les mesures a prendre com un cost raonable per "assegurar-nos" contra els pitjors efectes del canvi climàtic, possiblement encara se sigui a temps d'evitar els pitjors riscos.

Si s'atén a l'última informació facilitada per la Convenció Marc sobre el Canvi Climàtic, les emissions de gasos d'efecte hivernacle a Espanya van ascendir el 2004 a 427,9 Tg de CO₂ equivalent, descomptats els canvis en ús de terres i reforestació, principalment. Això significa que el creixement experimentat sobre l'any base (1990) ha estat del 49%, només superat per Turquia, amb un increment del 72,6%. Si es té en compte el percentatge de creixement objectiu, es veu que hi ha raons més que justificades per considerar els motius que ens han conduït a fer aquest treball,

fonamentalment intentar entreveure els possibles rumbos que poden prendre aquestes emissions, i discernir sobre les necessitats futures d'investigació amb vista a esbossar polítiques ambientals correctes.

Amb aquesta perspectiva, en primer lloc l'anàlisi a llarg termini, amb la finalitat de desentranyar les tendències que han conduït fins a la situació actual, dona com a resultat més palpable que als anys finals del segle passat i en els primers de l'actual hi ha un clar paral·lelisme entre l'afluència de béns a la societat (creixement econòmic) i les emissions. Es diria que el creixement de l'activitat productiva és el factor que té aquí un paper destacat. No obstant això, també cal comptar amb un major ús d'energia final per unitat de PIB, que hauria de considerar-se com una menor eficiència, així com un repunt, bé que modest, en el creixement de la població. D'altra banda, s'observen millores des del punt de vista de la transformació energètica (menors requeriments d'energia primària per unitat d'energia final), així com els canvis que van donar lloc a una substitució en la classe de fonts energètiques i que van jugar a favor de la disminució de les emissions. No obstant això, aquests factors no han estat suficients per compensar el comportament desfavorable per a la reducció d'emissions de l'activitat productiva i l'ús no gaire eficient de l'energia.

Des d'una perspectiva més desagregada, s'observa l'“esforç” fet pels sectors productius, que, com s'ha vist, condueix a una situació d'estabilitat de les seves emissions, encara que no és suficient per compensar les procedents del consum energètic de les llars i el transport. D'altra banda, en poc

temps hi ha hagut canvis profunds, tant des de la perspectiva de l'eficiència energètica com de l'estructura productiva, que fan difícil imaginar transformacions en profunditat que accelerin l'evolució cap a una desconexió forta de les emissions respecte a l'activitat productiva. Per aquest motiu no es poden esperar millores substancials a curt termini.

A propòsit d'això, la via més raonable és un canvi substancial en el model de transport, responsable de més del 60% del consum dels productes petrolers a Espanya. D'aquest, exactament, 61,4%, el trànsit rodat significa un percentatge del 81,5%, si es dona crèdit a la informació obtinguda a partir dels balanços energètics de l'Agència Internacional de l'Energia (AIE).

Pel que fa al sector residencial i al sector de comerç i serveis, tots dos signifiquen en conjunt un 25,3% de les emissions totals de CO₂. Si es té en compte que en el cas del sector serveis una part important del consum energètic està, igual que en el dels habitatges, o potser en major grau, vinculat a l'estructura de l'edifici o local, no és cap disbarat considerar de manera integrada la qüestió de l'habitatge, així com els problemes al voltant al comerç i els serveis.

Com a resultat de tota l'anàlisi, cal plantejar-se fins a quin punt té sentit la insistència en un creixement material que genera una afluència sostinguda de mercaderies, la major part de vegades impulsada per un consumisme desmesurat, que poc té a veure amb el benestar i condueix a uns efectes les seqüeles dels quals posen en dubte els èxits futurs del mateix creixement.

- Abaurrea, J.; Asín, J. i Centelles, A. (2002): "Caracterización espacio-temporal de la evolución de la precipitación anual en la cuenca del Ebro", en Guijarro, Grimalt, Laita i Alonso (Eds.), *El Agua y el Clima*, pp. 113-124, Asociación Española de Climatología, Serie A, n. 3.
- Abaurrea, J.; Asín, J; Erdozain, O. i Fernández, E. (2001): "Climate Variability Analysis of Temperature Series in The Medium Ebro River Basin", en Brunet i López (Eds.), *Detecting and Modelling Regional Climate Change*, pp. 109-118, Berlín, Springer.
- Alcántara, V. i Padilla, E. (2005): "Análisis de las emisiones de CO₂ y sus factores explicativos en las diferentes áreas del mundo", *Revista de Economía Crítica*, n. 4, pp. 17-37.
- Alcántara, V. i Padilla, E. (2006): "An input-output analysis of the "key" sectors in CO₂ emissions from a production perspective: an application to the Spanish economy". Document de Treball, 06.01. Departament d'Economia Aplicada, Universitat Autònoma de Barcelona.
- Alcántara, V. i Roca, J. (1995): "Energy and CO₂ emissions in Spain. Methodology of analysis and some results for 1980-1990", *Energy Economics*, 17 (3), pp. 221-230.
- Alcántara, V. i Roca, J. (1996): "Tendencias en el uso de energía en España (1975-1990). Un análisis a partir de los balances energéticos", *Economía Industrial*, pp. 161-67.
- Alcántara, V. i Roca, J. (2004): "Consumo energético y actividad económica: sobre el uso de los balances energéticos desde una perspectiva input-output" en Campos, P. i Casado, J.M (2004), pp. 155-170.
- Ang, B.W. (1999a): "Is the energy intensity a less useful indicator than the carbon factor in the study of climate change?" *Energy Policy* 27, pp. 943-946.
- Ang, B.W. (1999b): "Decomposition methodology in energy demand and environmental analysis", en Jeroen i van den Bergh, *Handbook of Environmental and Resources Economics*, Edward Elgar, Chentelham, UK, pp. 1146-1163.
- Ayala Carcedo, F.J. (2004): "La realidad del cambio climático en España y sus principales impactos ecológicos y socioeconómicos", *Tecno ambiente*, n. 143, pp. 37-41
- Azar, C. (2000): "Economics and distribution in the greenhouse", *Climatic Change*, vol. 47, pp. 233-238.
- Azar, C. i Schneider, S.H. (2002): "Are the economic costs of stabilizing the atmosphere prohibitive?", *Ecological Economics*, vol. 42, pp. 73-80.
- Azar, C. i Sterner, T. (1996): "Discounting and distributional considerations in the context of global warming", *Ecological Economics*, vol. 19, pp. 169-184.
- Barriendos, M. (1997): "Climatic variations in the Iberian Peninsula during the late Maunder Minimum (AD 1675-1715): An analysis of data from rogation ceremonies", *Holocene*, 7, pp. 105-111.
- Broome, J. (1992): *Counting the Costs of Global Warming*. White Horse Press, Cambridge.
- Bruce, J.P., Hoesung, L. & Haites, E.F. (Eds.) (1996): "Climate Change 1995" *Economic and Social Dimensions of*

Bibliografía

Climate Change. Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Ed. Cambridge University Press.

Brunet, M.; Aguilar, E.; Saladié, O; Sigró, J. i López, D. (2001): “The Variations and Trends of the Surface Air Temperature in the Northeastern of Spain from Middle Nineteenth Century Onwards”, a Brunet i López (Eds.), *Detecting and Modelling Regional Climate Change*, pp. 81-93, Berlín, Springer.

Brunet, M.; Saladié, O; Jones, Ph.; Sigró, J; Aguilar, E.; Moberg, A.; Lister, D.; Walther, A.; López, D. i Almarza, C. (2006): “The development of a new dataset of Spanish Daily Adjusted Temperature Series (SDATS) (1850-2003)”. *International Journal of Climatology* (on-line 5 mayo 2006).

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

Campos, P. i Casado, J.M (2004): “*Cuentas Ambientales y Actividad Económica*”. Ed. Consejo General de Colegios de Economistas de España, Madrid

Cañada, R.; Galán, E.; Fernández, F. i Cervera, B.(2001): “Análisis de las tendencias de las temperaturas máximas y mínimas medias anuales en la Meseta sur española durante el siglo XX”, a Pérez-Cueva, López Baeza i Tamayo, *El Tiempo del Clima*, pp. 53-63, Buñol, Garmas, Asociación Española de Climatología, Serie A, n. 2.

Capel, Molina, J.J. (2000): *El clima de la península Ibérica*, Barcelona, Ariel.

Chakravorty, U., Roumasset, J. i Tse, K. (1997): “Endogenous substitution among Energy resources and global warming”, *Journal of Political Economy*, vol. 105, pp. 1201-1234.

Chazarra, A. i Almarza, C. (2002): “Reconstrucción desde 1864 de la serie de precipitación útil de las cuencas del Sureste y Levante”, a Guijarro, Grimalt, Laita i Alonso (Eds.), *El Agua y el Clima*, pp. 159-168, Asociación Española de Climatología, Serie A, n. 3.

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

Cline, W.R. (1992): *The Economics of Global Warming*. Insitute for International Economics, Whashington, DC.

Commoner B. (1992): *En paz con el planeta*. Ed. Crítica, Barcelona

De Luís, M.; Raventós, J.; González-Hidalgo, J.C.; Sánchez, J.R. i Cortina, J. (2002): “Spatial analysis of rainfall trends in the region of Valencia (east Spain)”. *International Journal of Climatology*, 20, pp.1451-1469.

Fankhauser, S. (1994): “The social costs of greenhouse emissions: An expected value approach”, *Energy Journal*, vol. 15, pp. 157-184.

Fankhauser, S. (1995): “*Valuing Climate Change: The Economics of the Greenhouse*”. Earthscan, Londres.

Galán, E.; Cañada, R.; Fernández, F. i Cervera, B. (2001): “Annual Temperature Evolution in the Southern Plateau of

Spain from the Construction of Regional Climatic Time Series”, a Brunet, M. i López, D. (Eds.), *Detecting and Modelling Regional Climate Change*, pp.119-131, Berlín, Springer.

Gauci, V., Dise, N. i Blake, S. (2005): “Long-term suppression of wetland methane flux following a pulse of simulated acid rain”, *Geophysical Research Letters*, Vol. 32, L12804, pp. 1-4.

Goldemberg, J., Squitieri, R., Stiglitz, J., *et al.* (1996): “Introduction: Scope of the Assessment”, in Bruce, J.P. *et al.* (Eds.) (1996)

Guijarro, J.A. (2002): “Tendencias de la precipitación en el litoral mediterráneo español”, a Guijarro, Grimalt, Laita i Alonso (Eds.), *El Agua y el Clima*, pp. 237-246, Asociación Española de Climatología, Serie A, n. 3.

Hamaide, B. i Boland, J. J. (2000) “Benefits, costs, and cooperation in greenhouse gas abatement”, *Climatic Change*, vol. 47, pp. 239–258.

Hamilton, C. i Turton, H. (2002): “Determinants of emissions growth in OECD countries”, *Energy Policy* 30, pp. 63-71.

Hicks, John (1939): “The Foundations of Welfare Economics,” *Economic Journal*, 49, pp. 696-712.

Horcas, R.; Rasilla, D. i Fernández-García, F. (2001): “Temperature Variations and Trends in the Segura River Basin. An Exploratory Analysis”, a Brunet i López (Eds.), *Detecting and Modelling Regional Climate Change*, pp.133-142, Berlín, Springer.

Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), (2000): “Eficiencia Energética y Energías Renovables”. Boletín IDAE 1. IDAE, Ministerio de Economía i Ministerio de Ciencia y Tecnología, Madrid.

International Energy Agency (IEA) (2003): “CO₂ emissions from fuel combustion”, OCED, París.

International Energy Agency (IEA) (2004): “CO₂ emissions from fuel combustion, 1971 – 2003”, CD-Room Database, Energy Statistics Division, París.

IPCC (1996): *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*, Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC (2000): *Escenarios de Emisiones. Resumen para responsables de política*. Informe especial del Grupo de Trabajo III del IPCC, disponible en: <http://www.grida.no/climate/ipcc/spmpdf/sres-s.pdf>

IPCC (2001a): *Climate Change 2001: The Scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC (2001b): *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC (2001c): *Climate Change 2001: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Third Assessment*

Bibliografia

Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

IPCC (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*, Summary for Policymakers, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge.

Kaldor, Nicholas (1939): “Welfare Propositions of Economics and Interpersonal Comparisons of Utility,” *Economic Journal*, 49:195, pp. 549-552.

Kaya, Y. (1989): “Impact of carbon dioxide emission control on GNP growth: Interpretation of proposed scenarios”. Intergovernmental Panel on Climate Change/Response Strategies Working Group, May. Cited in Goldemberg, J. *et al.*, (1996)

Labajo, J.L. i Piorno, A. (1998): “Análisis del comportamiento temporal de la temperatura en Castilla y León: primeros resultados”, a Fernández, Galán, i Cañada (Coords.), *Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e iberoamericanas*, pp. 577-591, Madrid, Parteluz.

Labajo, J.L. i Piorno, A. (2001): “Regionalization of precipitation in Castilla and Leon (Spain). Analysis of its temporal behaviour”, a Brunet i López (Eds.), *Detecting and Modelling Regional Climate Change*, pp. 163-173, Berlín, Springer.

Liaskas, K. *et al.* (2000): “Descomposition of industrial CO₂ emissions: The case of European Union”, *Energy Economics* 22, pp. 383-394.

Lind, R.C. (1997): “Intertemporal equity, discounting, and economic efficiency in water policy evaluation”, *Climatic Change*, vol. 37, pp. 41-62.

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

Llebot, J.E. (Coord.) (2005): *El canvi climàtic a Catalunya*, CADS, IEC, Barcelona.

Lorentz, E.N. (1963): “Deterministic Nonperiodic Flow”, *J. Atmos. Sci.* 20, pp. 130-141.

Manne, A., Mendelsohn, R. i Richels, R. (1995): “MERGE – A model for evaluating regional and global effects of GHG reduction policies”, *Energy Policy*, vol. 23, pp 17–34.

Manne, A.S. i Richels, R.G. (1999): “The Kyoto protocol: A cost effective strategy for meeting environmental objectives?”, *Energy Journal*, Special Issue: The Costs of the Kyoto Protocol – A Multi-model Evaluation, pp. 1–23.

Martín Vide, J. i Olcina, J. (2001): *Climas y tiempos de España*, Madrid, Alianza Editorial.

Martín Vide, J., Calbó, J. i Sánchez Lorenzo, A. (2006): Tendencias recientes de la insolación en la España peninsular y Baleares (1971-2000), a *5ª Asamblea Hispano Portuguesa de Geodesia y Geofísica*. Sevilla.

Martín Vide, J. (2002): *El tiempo y el clima*, Rubes ed., Barcelona.

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

Milián, T. (1996): *Variaciones seculares de las precipitaciones en España*, Universidad de Barcelona, 407 pp. (Tesis doctoral inédita).

Moreno, J.M. (Dir./Coord) (2005): *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Proyecto ECCE - INFORME FINAL*. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

Nadal, J. et al. (Comp.) (1987): *La economía española en el siglo XX. Una perspectiva histórica*. Ed. Ariel, S.A., Barcelona

Nieto, J. i Santamarta, J. (2006): *Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en España (1990–2005)*. Ed. Confederación sindical de comisiones obreras. Departamento de Medio Ambiente, Abril.

Nordhaus, W. D. (1994): *Managing the Global Commons: The Economics of Climate Change*, MIT Press, Cambridge, MA.

Nordhaus, W. D. i Yang, Z. (1996): “A regional dynamic general-equilibrium model of alternative climate-change strategies”, *American Economic Review*, vol. 86, pp. 741–765.

Nordhaus, W.D. (1993): “Rolling the “DICE”: An optimal transition path for controlling greenhouse gases”, *Resource and Energy Economics*, vol. 15, pp. 27–50.

Nordhaus, W.D. (1997): “Discounting in economics and climate change”, *Climatic Change*, vol. 37, pp. 315–328.

Nordhaus, W.D. (2006): “The *Stern Review* on the Economics of Climate Change”, disponible a: <http://www.econ.yale.edu/~nordhaus/homepage/SternReviewD2.pdf>

Nordhaus, W.D. i Boyer, J.G. (1999): *Roll the DICE Again: Economic Models of Global Warming*. Yale University, MIT Press, Cambridge, MA.

OECD (2004): *Energy Balances of OECD Countries, 2002–2003*. Head of Publications Service OECD, París.

Padilla, E. (2004): “Limitaciones, omisiones y juicios de valor del análisis económico convencional de las políticas de cambio climático. Hacia un análisis coherente con el desarrollo sostenible”, *Ecología Política*, n. 28, pp. 121–138.

Pearce, D., Cline, W.R., Achanta, A.N., Fankhauser, S., Pachauri, R.K., Tol, R.S.J. i Vellinga, P. (1996): *The Social Costs of Climate Change: Damages and Benefits of Control*, Intergovernmental Panel of Climate Change: Working Group III Report, Cambridge University Press, Cambridge.

Peck, S.C. i Teisberg, T.J. (1992): “CETA: a model for carbon emissions trajectory assessment”, *Energy Journal*, vol. 13, pp. 55–77.

Peck, S.C. i Teisberg, T.J. (1994): “Optimal carbon emissions trajectories when damages depend on the rate or level of global warming”, *Climatic Change*, vol. 28, pp. 289–314.

Bibliografía

- Peck, S.C. i Teisberg, T.J. (1999): "CO₂ emissions control agreement: incentives for regional participation.", Special Issue: The Costs of the Kyoto Protocol – A Multi-Model Evaluation, *Energy Journal*, pp. 367–390.
- Quereda, J. i Montón, E. (1997): *¿Hacia un Cambio Climático? La Evolución del Clima Mediterráneo desde el Siglo XIX*, Castellón, Fundación Dávalos- Fletcher.
- Raso, J.M. (1997): "The recent evolution of mean annual temperatures in Spain", a MARTÍN-VIDE (Ed.), *Advances in Historical Climatology in Spain*, pp. 201-223, Vilassar de Mar, Oikos-tau.
- Roca, J. (2002): "The IPAT formula and its limitations", *Ecological Economics*, vol. 42/1.
- Roca, J. i Alcántara, V. (2001): "Energy intensity, CO₂ emissions and the environmental Kuznets curve. The Spanish case" *Energy Policy* 29, pp. 553-556.
- Roca, J. i Alcántara, V. (2002): "Economic Growth, Energy Use, and CO₂ Emissions" a Blackwood, J.R. (Editor): *Energy Research at the Cutting Edge*. Ed. Nova Science Publishers, Nueva York.
- Roca, J. i Padilla, E. (2003): "Emisiones atmosféricas y crecimiento económico en España. La curva de Kuznets ambiental y el Protocolo de Kyoto". *Economía Industrial*, 351, pp. 73-86.
- Roca, J., Padilla, E, Farré, M. i Galletto, V. (2001): "Economic growth and atmospheric pollution in Spain: discussing the environmental Kuznets curve hypothesis", *Ecological Economics*, vol. 39, n. 1, pp. 85–99.
- Rodrigo, F.S; Esteban-Parra, M.J; Pozo-Vázquez, D. i Castro-Díez, Y.(1999): "A 500-year precipitation record in southern Spain". *International Journal of Climatology*, 19, pp. 1233-1253.
- Romero, R.; Guijarro, J.A.; Ramis, C. i Alonso, S. (1998): "A 30-year (1964-93) daily rainfall database for the Spanish Mediterranean regions: first exploratory study". *International Journal of Climatology*, 18, pp. 541-560.
- Saladí, O. (2004): *Variaciones y tendencia secular de la precipitación en el sector nororiental de la Península Ibérica (1850-2000)*, Universidad de Barcelona, 496 pp. (Tesis doctoral inédita).
- Salat, J. i Pascual, J. (2006): Principales tendencias climáticas en el Mediterráneo noroccidental, a partir de más de 30 años de observaciones oceanográficas y meteorológicas en la costa catalana, a J.M. Cuadrat Prats, M.A. Saz Sánchez, S.M. Vicente Serrano, S. Lanjeri, M. de Luis Arrillaga i J.C. González-Hidalgo (Eds.), *Clima, Sociedad y Medio Ambiente*, Zaragoza, AEC, serie A, n. 5.
- Saz, M.(2003): *Temperaturas y precipitaciones en la mitad norte de España desde el siglo XV*. Zaragoza, C.P.N.A, Diputación General de Aragón.
- Schelling, T.C. (1992): "Some economics of global warming", *American Economic Review*, vol. 82, pp. 1-14.
- Sen, A.K. (1982): "The choice of discount rates for social benefit–cost analysis", a Lind, R.C. (ed.) *Discounting for Time and Risk in Energy Policy*. Resources for the Future. Washington D.C. pp. 325-52.

Spash, C.L. (1994): “Double CO₂ and beyond: benefits, costs and compensation”, *Ecological Economics*, vol. 10, pp. 27-36.

Squire, L. i van der Tak, H.G. (1975): *Economic Appraisal of Projects*. John Hopkins University Press, Londres.

Staudt, M. (2004): *Detección de cambios térmicos en la Península Ibérica con datos homogéneos regionales*. Universidad de Granada, 559 pp. (Tesis doctoral inédita).

Stern, N. (2006) “Stern Review Report on the Economics of Climate Change”; Cambridge University Press, Cambridge, disponible en: http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/sternreview_index.cfm

Sudrià, C. (1987): “Un factor determinante: la energí”, a Nadal, J. *et al.* (Comp.), 1987.

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

Tol, R.S.J. (1995): “The damage cost of climate change toward more comprehensive calculations”, *Environmental and Resource Economics*, vol. 19, pp. 67-90.

Törnqvist, L. (1935): “A memorando concerning the calculation of Bank of Finland consumption price index” citado por Ang (1999)

Törnqvist, L., Vartia, P. i Vartia, Y. (1985): “How should relative changes be measured?”, *The American Statistician*, 39 (1), 43-46

Trigo, R.; Paredes, D.; Garcia-Herrera, R. i Trigo, I. (2006): “The changing nature of the precipitation regime in the Iberian Peninsula”. *Geophysical Research Abstracts*, 8, 02391. European Geosciences Union.

Wheeler, D. i Martín-Vide, J. (1992): “Rainfall Characteristics of Mainland Europe’s most Southerly Stations”. *International Journal of Climatology*, 12, pp. 69-76.

World Commission on Environment and Development (WCED) (1987): *Our Common Future*. Oxford University Press, Oxford.

Annex

Annex I

Descomposició del creixement CO₂ (milers de tones)

Pro memòria: Les emissions totals el 1960 van ascendir a 52.110,0 kt.

	CO2	CO2/EFS	EFS/EP	EP/EF	EF/PIB	PIB/POB	POB
1961	2990	-382,3	204,2	-670,4	-2157,8	5464,2	532,0
1962	4640	-974,9	399,0	1283,4	-1513,1	4757,2	688,5
1963	430	-732,7	-1124,4	-3061,0	-145,7	4788,8	705,0
1964	6080	-1317,4	935,4	2223,6	971,7	2530,7	736,1
1965	4000	-76,9	310,8	745,1	-1117,6	3354,7	783,9
1966	5660	-1468,0	-988,1	-121,4	3127,7	4277,8	831,9
1967	9200	-2287,6	1794,5	3236,0	3039,9	2514,0	903,2
1968	10520	-1692,6	352,8	3210,3	2882,6	4758,9	1007,9
1969	6090	1464,9	-1814,1	-5314,9	3337,6	7333,1	1083,4
1970	7490	-3089,0	1045,7	-2877,1	8027,3	3231,5	1151,5
1971	11890	202,7	-1754,6	2375,1	5838,0	4167,2	1061,5
1972	2900	-4,4	-3338,9	1915,5	-5272,9	8501,8	1099,0
1973	20420	-664,7	1788,8	1579,6	7669,8	8840,5	1206,0
1974	11490	-313,3	132,4	6526,9	-3060,9	6758,8	1446,1
1975	5940	-343,8	1353,0	3726,3	345,5	-795,6	1654,7
1976	12560	-598,0	1606,4	-918,3	7007,5	3477,3	1985,1
1977	-7870	-951,6	-4147,1	-8233,2	691,0	2743,7	2027,3
1978	9560	-2066,5	128,7	5344,9	3665,4	562,7	1924,8
1979	3180	1774,7	-1169,9	-7833,2	10334,6	-1513,4	1587,2
1980	12560	1828,9	5833,4	9487,9	-8642,5	2053,7	1998,6
1981	5100	4108,4	-1981,6	10158,7	-6927,8	-1451,1	1193,4
1982	-5030	1161,9	-1034,3	-1148,7	-6417,3	1365,4	1042,9
1983	1760	1388,4	-2607,5	-1709,3	1305,7	2475,3	907,3
1984	-7530	-774,3	-11033,2	2621,6	-1703,0	2583,6	775,4
1985	880	676,8	-3248,0	1227,3	-2057,8	3595,8	686,0
1986	-1610	873,7	-6015,9	3156,0	-5585,5	5395,6	566,2
1987	1020	-617,0	-3104,8	-1384,0	-3911,3	9579,4	457,8
1988	3960	-2946,2	-7709,6	-4710,7	9965,3	8947,2	414,1
1989	17510	-3583,1	2194,8	5137,5	4378,6	8997,0	385,1
1990	3370	-468,6	-659,9	-3394,6	114,4	7460,2	318,5
1991	8250	731,9	-806,2	-1045,4	3954,9	5032,6	382,2
1992	8350	1482,6	2274,3	1273,6	1250,8	1546,3	522,4
1993	-11680	-726,9	-3707,6	-2463,5	-2480,5	-2784,6	483,1
1994	12360	405,5	1072,0	-1295,5	6942,0	4838,3	397,7
1995	11460	22,2	-204,4	597,3	4673,4	6030,9	340,6
1996	-10660	1834,1	-8414,8	-5957,4	-3772,2	5315,6	334,8
1997	19150	4320,9	186,1	1478,5	3738,6	9006,8	419,1
1998	7340	-3885,2	-1137,9	-3147,2	4784,8	10053,6	672,0
1999	18660	4693,7	1412,6	5165,0	-3577,3	9806,2	1159,7
2000	11560	3798,5	-5834,0	-4301,5	5818,4	9957,8	2120,7
2001	2300	665,3	-5558,7	-5860,0	5136,0	5489,1	2428,2
2002	14920	6008,3	320,2	4367,2	-2305,4	4480,2	2049,5
2003	9390	6940,2	-7899,6	-7284,8	10036,2	5606,9	1991,1

Font: Elaboració pròpia. Dades estadístiques de base: AIE (2005) i OCDE (2005)

Annex II

Evolució del comportament sectorial a l'evolució de les emissions
Milers de tones (kt) de CO₂

	Química i petroquímica	Minerals no metàl·lics	Equip transport	Metal·lúrgia i maquinària	Alimentació i begudes	Paper i impressió	Fusta i els seus productes	Construcció	Tèxtil i cuir	Altres indústries	Agricultura	Comerç i serveis	Total
Efecte carbonització													
1987	-660	-354	-158	-975	-195	-156	-21	1	0	65	-83	-929	-3466
1988	-640	-720	-321	-2248	-538	-458	-158	-103	-399	-448	-333	-1515	-7881
1989	1772	754	307	2661	998	1325	174	132	393	-2222	592	2196	9083
1990	-1043	-324	-180	-521	-82	-260	-35	-8	-128	-810	-66	-264	-3721
1991	-401	-42	-34	-343	-94	-18	0	0	-5	362	-59	-377	-1011
1992	698	579	218	1852	486	294	117	66	273	1082	203	1697	7565
1993	-687	-880	-219	-1667	-542	-463	-137	-86	-445	359	-361	-1855	-6984
1994	-196	161	-31	-415	-25	34	-21	-13	-31	92	15	-255	-685
1995	886	362	8	715	235	191	90	181	-27	-381	347	1089	3694
1996	-601	-829	-343	-2178	-741	-543	-163	-229	-387	-811	-544	-3250	-10619
1997	446	355	171	1207	253	132	6	24	92	642	78	1857	5263
1998	142	-233	-88	-1490	-129	-100	-95	-50	15	-254	-97	-1186	-3565
1999	619	-969	212	1698	-703	-1339	-1005	51	248	3741	212	2698	5464
2000	-995	-888	-149	-1666	-134	-603	142	-66	-298	168	-218	-1496	-6203
2001	-28	-682	-295	-2501	-672	526	-2	-108	60	-1144	-105	-2227	-7177
2002	-261	1133	358	2399	370	376	203	172	329	-46	264	3353	8648
Efecte intensitat energètica													
1987	-980	-1061	11	-2763	-101	-485	-50	-62	-387	-585	-845	1692	-5617
1988	-1243	844	40	-763	361	426	63	258	267	-361	-1825	-1061	-2993
1989	-1456	-521	34	-911	-858	-804	-19	-345	283	3038	-2560	240	-3879
1990	-106	-1888	-105	331	-78	191	10	-48	111	824	35	224	-498
1991	821	401	106	-134	73	-92	-6	-7	108	-352	262	1066	2245
1992	-556	70	-129	-1045	-161	196	-8	58	59	-622	395	879	-864
1993	-1415	-2430	358	-311	212	542	69	74	360	1215	-59	-461	-1846
1994	787	-46	-37	357	835	139	207	14	77	204	830	1264	4630
1995	1641	-342	-167	-2830	798	621	-137	304	280	-689	934	217	630
1996	-2330	2044	8	-1960	-428	-457	-134	21	-255	-335	-1401	1458	-3769
1997	411	683	1	1791	128	427	164	-107	211	179	-466	1645	5067
1998	-1261	-1047	281	-578	-294	154	163	79	-242	-10	-523	-121	-3399
1999	-1161	-343	-232	-1693	1060	1490	1154	-12	-34	-4355	1347	1260	-1518
2000	3310	2434	726	348	1124	-665	-190	134	606	1285	1095	2468	12676
2001	-1479	1400	305	3730	459	-659	155	119	-815	746	-356	263	3868
2002	1548	-3678	-333	-54	1249	664	65	16	332	633	-277	-1343	-1180

Annex II (Continuació)

Evolució del comportament sectorial a l'evolució de les emissions
Milers de tones (kt) de CO₂

		Química i petroquímica	Minerals no metàl·lics	Equip transport	Metal·lúrgia i maquinària	Alimentació i begudes	Paper i impressió	Fusta i els seus productes	Construcció	Tèxtil i cuir	Altres indústries	Agricultura	Comerç i serveis	Total
Efecte estructura														
1987	1989	11	84	-252	36	142	-5	10	-54	48	771	-173	2606	
1988	382	770	104	104	-54	-252	-17	26	-231	-20	308	-80	1038	
1989	451	-116	59	240	-232	37	-18	49	-160	-34	-692	1	-414	
1990	-336	344	25	-999	-4	-195	-25	23	-145	118	79	-33	-1146	
1991	428	46	-31	-297	13	35	-16	-2	-145	-24	86	15	108	
1992	-77	-546	152	-1139	211	-195	-1	-43	-161	111	55	166	-1467	
1993	191	-464	-402	452	-116	-161	-43	-38	-21	-218	308	192	-320	
1994	-84	354	95	1227	-347	70	-126	-3	-80	-177	-478	89	540	
1995	-304	386	237	1451	-295	-337	-16	31	-88	53	-719	-21	377	
1996	-379	-1550	36	641	-559	89	3	-35	21	138	1170	-101	-527	
1997	176	993	219	-168	73	37	5	-16	81	41	-103	-43	1297	
1998	480	810	6	410	-89	-5	33	29	55	142	-333	-89	1449	
1999	-285	777	-5	441	-69	14	30	50	-110	115	-664	-25	269	
2000	-863	378	-173	639	-499	309	0	16	-219	90	-170	57	-432	
2001	340	287	-364	315	-80	-102	-146	21	-145	-142	-588	199	-405	
2002	-796	-1018	-83	-1738	-568	-153	-60	-4	-431	-220	-321	482	-4912	
Efecte activitat														
1987	876	1041	121	1513	394	252	50	31	201	143	550	822	5992	
1988	776	944	105	1215	350	211	41	32	164	97	454	702	5091	
1989	766	980	111	1204	346	220	42	33	169	97	345	703	5016	
1990	644	807	99	1052	292	195	38	24	153	103	246	654	4307	
1991	391	481	59	627	178	117	22	15	92	65	156	412	2616	
1992	39	47	6	60	18	12	2	2	9	7	16	44	262	
1993	-224	-262	-36	-350	-110	-72	-14	-9	-56	-55	-103	-271	-1561	
1994	233	260	38	378	119	79	15	10	59	72	113	287	1663	
1995	431	454	65	649	218	144	25	22	103	110	205	519	2944	
1996	323	353	49	463	159	108	16	21	75	66	157	397	2185	
1997	631	768	103	951	308	218	31	36	152	134	302	856	4490	
1998	667	834	119	1019	321	241	38	37	163	156	287	938	4820	
1999	598	762	115	931	296	229	40	37	152	134	267	919	4479	
2000	824	1064	164	1256	419	292	58	54	210	204	399	1364	6308	
2001	679	924	135	1042	346	217	46	47	156	187	320	1102	5202	
2002	1048	1381	201	1697	564	358	78	79	228	289	466	1750	8137	

Annex II (Continuació)

Evolució del comportament sectorial a l'evolució de les emissions													
Milers de tones (kt) de CO ₂													
	Química i petroquímica	Minerals no metàl·lics	Equip transport	Metal·lúrgia i maquinària	Alimentació i begudes	Paper i impressió	Fusta i els seus productes	Construcció	Tèxtil i cuir	Altres indústries	Agricultura	Comerç i serveis	Total
	Efecte total												
1987	1225	-363	58	-2478	135	-248	-27	-20	-241	-329	393	1411	-485
1988	-726	1838	-72	-1692	119	-73	-71	213	-200	-732	-1396	-1954	-4744
1989	1533	1097	512	3195	253	778	179	-131	684	879	-2314	3140	9806
1990	-841	-1061	-160	-137	128	-68	-12	-8	-9	235	294	580	-1059
1991	1240	887	99	-146	171	42	0	5	49	51	444	1116	3958
1992	104	151	246	-272	553	307	111	83	180	578	670	2786	5496
1993	-2135	-4036	-299	-1876	-556	-154	-125	-58	-162	1301	-215	-2395	-10711
1994	739	729	64	1547	583	322	74	8	24	191	481	1386	6148
1995	2653	859	143	-16	956	619	-37	538	267	-907	767	1803	7645
1996	-2987	18	-250	-3034	-1568	-804	-278	-224	-545	-943	-619	-1496	-12730
1997	1664	2799	493	3781	762	814	206	-63	537	996	-189	4315	16116
1998	28	365	318	-639	-191	290	138	95	-9	33	-666	-458	-695
1999	-230	227	90	1377	584	394	219	126	256	-364	1162	4851	8693
2000	2276	2988	569	577	910	-667	11	138	298	1747	1107	2394	12349
2001	-488	1930	-218	2585	54	-18	52	78	-743	-353	-728	-663	1488
2002	1539	-2183	142	2303	1615	1244	286	262	458	656	131	4241	10693

Font: Elaboració pròpia. Dades estadístiques de base: AIE (2005) i OCDE (2005) i STAN Industry Structural Analysis. Base de dades en línia OCDE.

Annex III

Descomposició de la variació d'emissions per efectes i període (kt) 1992-1987													
	Química i petroquímica	Minerals no metàl·lics	Equip transport	Metal·lúrgia i maquinària	Alimentació i begudes	Paper i impressió	Fusta i els seus productes	Construcció	Tèxtil i cuir	Altres indústries	Agricultura	Comerç i serveis	Total
Efecte carbonització	-274	-107	-168	427	575	726	77	88	134	-1971	254	807	568
Efecte intensitat	-3521	-2156	-43	-5285	-764	-568	-10	-146	441	1944	-4537	3039	-11607
Efecte estructura	2838	510	394	-2343	-30	-427	-81	63	-898	197	606	-104	726
Efecte activitat	3492	4301	501	5671	1578	1007	195	137	787	511	1768	3336	23284
Efecte total	2535	2549	683	-1530	1359	738	180	142	465	682	-1909	7078	12972
% d'increment mitjà anual sobre 1986													
Efecte carbonització	-0,03	-0,01	-0,02	0,05	0,06	0,08	0,01	0,01	0,01	-0,21	0,03	0,09	0,06
Efecte intensitat	-0,38	-0,23	0,00	-0,57	-0,08	-0,06	0,00	-0,02	0,05	0,21	-0,49	0,33	-1,25
Efecte estructura	0,31	0,05	0,04	-0,25	0,00	-0,05	-0,01	0,01	-0,10	0,02	0,07	-0,01	0,08
Efecte activitat	0,38	0,46	0,05	0,61	0,17	0,11	0,02	0,01	0,08	0,06	0,19	0,36	2,51
Efecte total	0,27	0,27	0,07	-0,17	0,15	0,08	0,02	0,02	0,05	0,07	-0,21	0,76	1,40

Annex III (Continuació)

	2002-1993												
	Química i petroquímica	Minerals no metàl·lics	Equip transport	Metal·lúrgia i maquinària	Alimentació i begudes	Paper i impressió	Fusta i els seus productes	Construcció	Tèxtil i cuir	Altres indústries	Agricultura	Comerç i serveis	Total
Efecte carbonització	-676	-2469	-375	-3899	-2088	-1790	-982	-124	-445	2365	-409	-1272	-12166
Efecte intensitat	50	-1325	910	-1201	5143	2256	1517	642	520	-1126	1123	6650	15159
Efecte estructura	-1524	953	-436	3670	-2547	-239	-320	50	-937	-177	-1896	741	-2663
Efecte activitat	5209	6538	954	8035	2640	1814	332	333	1243	1295	2414	7860	38667
Efecte total	3059	3696	1053	6604	3148	2040	547	901	381	2357	1232	13979	38997
	% d'increment mitjà anual sobre 1986												
Efecte carbonització	-0,04	-0,15	-0,02	-0,23	-0,13	-0,11	-0,06	-0,01	-0,03	0,14	-0,02	-0,08	-0,73
Efecte intensitat	0,00	-0,08	0,05	-0,07	0,31	0,14	0,09	0,04	0,03	-0,07	0,07	0,40	0,91
Efecte estructura	-0,09	0,06	-0,03	0,22	-0,15	-0,01	-0,02	0,00	-0,06	-0,01	-0,11	0,04	-0,16
Efecte activitat	0,31	0,39	0,06	0,48	0,16	0,11	0,02	0,02	0,07	0,08	0,14	0,47	2,32
Efecte total	0,18	0,22	0,06	0,40	0,19	0,12	0,03	0,05	0,02	0,14	0,07	0,84	2,34

Font: Elaboració pròpia. Dades estadístiques de base: AIE (2005) i OCDE (2005) i STAN Industry Structural Analysis. Base de dades en línia OCDE.

Pro memoria: Les emissions totals el 1986 van ascendir a: 104.753,7 kt.

Apèndix metodològic

El problema de la descomposició de l'evolució d'una variable en efectes explicatius no és nou. En realitat, com ha assenyalat Ang (1999b), el problema és similar al dels números índexs en economia. Törnqvist (1935) ja es plantejava aquest problema fa bastants anys i va ser reprès novament per Törnqvist et al. (1985), plantejant qüestions relatives a problemes que no tenien res a veure amb els problemes energètics i els impactes ambientals. A partir dels primers anys de la dècada dels vuitanta, la descomposició en factors va ser àmpliament desenvolupada en l'anàlisi de la demanda industrial d'energia, i, més recentment, per la necessitat de disposar d'instruments de diagnòstic en els problemes relatius a les emissions contaminants en general i de les emissions de CO₂ en particular. Des d'una perspectiva metodològica, el lector ha de considerar aquesta tècnica analítica com un problema d'anàlisi de números índexs, no comparable a instrumentals més potents com, per exemple, l'anàlisi de descomposició estructural input-output.

Una bona síntesi dels mètodes de descomposició es troba al treball esmentat d'Ang. Una discussió matemàtica rigorosa es troba a Liu i Ang (2003) i Choi i Ang (2003). S'ha optat per la metodologia més oportuna per als objectius del present treball.

Partint de l'expressió del text,

(1)

$$C(t) \equiv \frac{C(t)}{EFS_i(t)} \times \frac{EFS(t)}{EP(t)} \times \frac{EP(t)}{EF(t)} \times \frac{EF(t)}{PIB(t)} \times \frac{PIB(t)}{POB(t)} \times POB(t)$$

i amb la finalitat de simplificar les expressions, sigui

$$c_t = \frac{C(t)}{EFS(t)}, f_t = \frac{EFS(t)}{EP(t)}, e_t = \frac{EP(t)}{EF(t)},$$

$$w_t = \frac{EF(t)}{PIB(t)}, y_t = \frac{PIB(t)}{POB(t)} \text{ i } n_t = POB(t)$$

L'expressió (1) es pot tornar a escriure de la manera següent:

$$(2) \quad C_t = c_t \times f_t \times e_t \times w_t \times y_t \times n_t$$

L'increment anual de les emissions de CO₂ (Ct) es pot descompondre de la següent forma:

(3)

$$\Delta C_t = L(C_p, C_{t-1}) \ln \frac{c_t}{c_{t-1}} + L(C_p, C_{t-1}) \ln \frac{f_t}{f_{t-1}} + L(C_p, C_{t-1}) \ln \frac{e_t}{e_{t-1}} + L(C_p, C_{t-1}) \ln \frac{w_t}{w_{t-1}} + L(C_p, C_{t-1}) \ln \frac{y_t}{y_{t-1}} + L(C_p, C_{t-1}) \ln \frac{n_t}{n_{t-1}}$$

Si es té en compte que

$$(4) \quad L(C_p, C_{t-1}) = \frac{C_t - C_{t-1}}{\ln(C_t / C_{t-1})}$$

la descomposició plantejada no és sinó la part de la variació atribuïble a cada factor atenent el pes que la seva taxa de creixement instantani té sobre la de les emissions totals. Essent (transformació de la funció original de Törnqvist) una funció que permet una descomposició exacta en efectes explicatius.

Si $t = 0$ és l'any que es pren com a base (en el text, 1986) i $C(F)$ la variació de les emissions degudes a un factor qualsevol F, el valor de l'índex en base 1 l'any t serà:

$$(5) \quad I_t = \frac{C_{t-1} + AC(F)}{C_0}$$

I així per a tots els factors.

En el cas de la següent expressió (2) del text:

$$(6) \quad \sum_i C_i(t) = \sum_i \frac{C_i(t)}{E_i(t)} \times \frac{E_i(t)}{Y_i(t)} \times \frac{Y_i(t)}{Y(t)} \times Y(t)$$

$i = 1, 2, \dots, n$ sectors

Si, per simplificar, s'operen els següents canvis:

$$c_{i,t} = \frac{C_i(t)}{E_i(t)}, \quad e_{i,t} = \frac{E_i(t)}{Y_i(t)}, \quad y_{i,t} = \frac{Y_i(t)}{Y(t)}$$

l'expressió (6) pot ser reescrita de la manera següent:

$$(7) \quad \sum_i C_{i,t} = \sum_i c_{i,t} \times e_{i,t} \times y_{i,t} \times Y_t$$

I pot establir-se la següent descomposició de la variació anual de les emissions:

$$\Delta C_t = \sum_i L(C_{i,t}, C_{i,t-1}) \ln \frac{c_{i,t}}{c_{i,t-1}} + \sum_i L(C_{i,t}, C_{i,t-1}) \ln \frac{e_{i,t}}{e_{i,t-1}} +$$

Expressió en la qual

$$\sum_i L(C_{i,t}, C_{i,t-1}) \ln \frac{y_{i,t}}{y_{i,t-1}} + \sum_i L(C_{i,t}, C_{i,t-1}) \ln \frac{Y_{i,t}}{Y_{i,t-1}}$$

La ponderació, doncs, ve ara donada pel creixement de les emissions totals de cada sector.

$$L(C_{i,t}, C_{i,t-1}) = \frac{C_{i,t} - C_{i,t-1}}{\ln(C_{i,t}/C_{i,t-1})}$$

tes

mics

nvi

tic a Espar



CAIXA CATALUNYA

www.caixacatalunya.es