

ANÀLISI ECONÒMICA I RECURSOS NO RENOVABLES

Joaquim Solà i Solà

IBERCA
IBERCA
IBERCA
IBERCA
IBERCA

• Aspectes institucionals.

Els mercats no funcionen en el buit o en les condicions ideals que pressuposen alguns models. Sovint estan subjectes a diferents intervencions administratives que modulen el seu resultat, i per tant, l'eficiència amb que duen a terme la funció assignativa. La intervenció externa és habitual en el cas dels sectors que exploten recursos no renovables, ja sigui mitjançant l'establiment d'impostos, la concessió de subsidis, la fixació de preus, o simplement, la regulació de la seva activitat (Mason, 1973).

L'impacte d'un impost sobre l'explotació dels recursos no renovables ha estat estudiat per Dasgupta, Heal i Stiglitz (1980), que estenen a un major nombre de situacions l'anàlisi inicial de Herfindahl sobre aquesta qüestió. El principal resultat que obtenen és que en l'explotació dels recursos no renovables els impostos actuen d'una manera similar a un augment dels costos mitjans: la nova trajectòria d'equilibri intertemporal es caracteritza per un preu inicial més elevat que sense intervenció i un preu final més baix, mentre que la renda d'escassetat inicial es redueix. En aquest cas el període necessari per assolir el preu màxim s'allarga i la producció es desplaça cap al futur, afavorint-se la conservació del recurs. En sentit invers, la concessió de subsidis a l'explotació -que actuaria com una disminució dels costos mitjans- tindria l'efecte contrari i acceleraria l'explotació del recurs.

La fixació de preus també té una incidència directa en l'ús dels recursos no renovables i pot conduir a resultats ineficients. Ja hem vist que en la situació més simple -que es pot utilitzar com a referència per escatir aquesta qüestió-, una trajectòria eficient comporta que la renda d'escassetat del recurs -que en aquest cas coincideix amb el preu-augment de manera monòtona quan l'extracció progressa, l'estoc disminueix i el recurs esdevé més escàs. Però la fixació de preus altera aquesta pauta, ja que anul·la la renda d'escassetat i converteix els recursos no renovables en béns normals. Així, els propietaris del recurs, davant la perspectiva de no obtenir una rendibilitat futura per la seva conservació, optaran per intensificar l'explotació, que tindrà lloc fins que els costos marginals d'extracció s'igualin al preu (Lewis i Slade, 1985).

La primera conseqüència de l'establiment de preus màxims és, doncs, l'abandonament de l'explotació abans de l'exhauriment de l'estoc, un resultat clarament ineficient. Però, a més,

això té conseqüències en el procés de transició. En el cas que la tecnologia alternativa ja estigui disponible en el moment d'interrompre's l'explotació, tindrà lloc un salt bruscat en la trajectòria dels preus, quina magnitud vindria donada per la diferència entre el preu de la tecnologia alternativa i el preu (regulat) del recurs no renovable. D'altra banda, si la tecnologia alternativa encara no està disponible, en la pràctica l'impacte de la ineficiència serà més elevat.

Resultats igualment ineficients poden ser una conseqüència d'altres tipus d'intervenció en el sector de recursos no renovables. La concessió de permisos per a l'explotació ha estat una de les formes habituals de regulació i sovint aquestes actuacions fan la inversió en prospecció de recursos més atractiva del que s'esdevindria sense la intervenció. Altres conseqüències de les concessions són la intensificació de l'extracció per damunt de la que seria eficient, especialment en situacions de poder de mercat, i un esforç d'exploració que també depassa l'òptim. En la mateixa línia, el tractament especial d'algunes activitats de recursos no renovables penalitza altres activitats que són més intensives en capital i comporten un risc més elevat (Stiglitz, 1975).

Un altre efecte de la intervenció administrativa és la possible alteració en l'ordre d'explotació requerida dels diferents dipòsits per assolir un resultat eficient. Com ha assenyalat Brannon (1975), de vegades la intervenció comporta que els jaciments d'un cost més elevat s'hagin de perforar -si més no, de manera parcial- abans que els dipòsits més favorables, vulnerant el principi de que els dipòsits haurien de ser explotats en ordre de qualitat decreixent (33).

(33) Una pràctica habitual d'intervenció administrativa (especialment als Estats Units) ha estat l'aplicació de l'anomenada "clàusula de diligència". Aquest mecanisme exigeix algun desenvolupament del dipòsit durant un període immediat a la concessió de l'explotació (normalment els primers cinc anys). Llavors, les empreses es veuen obligades a explotar un jaciments que d'altra manera potser romandrien inutilitzats a l'espera de futurs augments dels preus.

2.3. L'optimalitat en l'explotació dels recursos no renovables.

Fins ara hem analitzat la teoria neoclàssica per a l'explotació dels recursos no renovables des de l'òptica de l'eficiència. L'èmfasi s'ha posat en les condicions que garanteixen un resultat eficient i en les causes que desvien les trajectòries efectives de les ideals. La ineficiència en l'ús dels recursos comporta el seu malbaratament, i a partir d'aquí es justifica la necessitat de canviar a una senda eficient d'explotació. D'aquesta manera augmentaria el benestar obtingut amb una determinada dotació de recursos, i en conseqüència, es podria millorar la situació de la generació actual i les generacions futures.

Dintre de l'anàlisi convencional, la qüestió de l'optimalitat en l'ús dels recursos no renovables es planteja des d'una perspectiva diferent. Admetent que l'explotació té lloc d'una manera eficient, el que cal escatir és quina de les possibles trajectòries eficients s'esculleix. Dit d'un altra manera, com distribuir al llarg del temps l'output màxim produïble amb una determinada dotació de recursos. Això comporta decidir a quina generació es millora i a costa de quina altra, ja que admesa l'eficiència, tota millora en la generació actual es fa en detriment de les generacions futures (i el mateix es podria aplicar en sentit invers). Des d'aquesta perspectiva, per decidir sobre l'optimalitat en l'ús dels recursos no renovables és necessari considerar judicis de valor, i per tant, introduir en l'anàlisi elements normatius. Així, a mesura que es modifiquen els criteris ètics també ho fan les trajectòries "òptimes" que han estat generades precisament a partir d'aquests criteris.

Una qüestió prèvia objecte de debat és la utilitat del mercat per assolir una trajectòria òptima prefixada. En aquest punt, existeix un cert consens que el mercat, per ell mateix, no garanteix l'optimalitat. Això s'explica pel fet que les assignacions prèvies del mercat han determinat -almenys parcialment- la distribució de la renda actual i futura. I aquesta distribució, al seu torn, condiciona el resultat concret que assoleix el mercat en cada període (en el benentès que aquest resultat sigui, a la seva vegada, eficient). Com ha assenyalat Page (1977), el mercat només pot conduir a un resultat eficient acceptat com a òptim si la distribució de la renda és l'apropiada per aquesta finalitat. En la pràctica, doncs, no està garantit que sense la intervenció es pugui assolir un resultat òptim. En aquest context, la teoria

convencional s'ha centrat en les característiques de les trajectòries d'explotació òptimes dels recursos no renovables en diferents circumstàncies.

El primer aspecte que cal tenir en compte és que l'explotació eficient dels recursos no renovables és un objectiu intermedi que serveix a un altre de finalista: obtenir el major volum d'output produïble per maximitzar el benestar al llarg del temps. L'elecció de la trajectòria òptima comporta escollir de quina manera s'assoleix aquest objectiu final. Dues observacions són pertinents al respecte. La primera és que en els plantejaments neoclàssics el benestar d'una generació no es deriva directament de la seva disponibilitat de recursos no renovables -especialment si hom exclou la seva funció mediambiental o recreativa-, sino de les possibilitats de consum per càpita. I en la determinació de l'output, i per tant, del nivell de benestar, intervenen diversos factors productius. És clar que una major dotació de recursos naturals implica, "ceteris paribus", un major potencial de benestar; però aquest també es podria assolir amb un estoc de capital físic superior, una tecnologia més avançada i una menor població. En aquesta línia, Stiglitz (1979) descarta explícitament la divisió -que considera simplista- de l'assignació dels recursos naturals entre la generació actual i les generacions futures. Si el que es planteja és com distribuir (maximitzar) el benestar al llarg del temps, les opcions són diverses. Una possibilitat consisteix en utilitzar els recursos naturals per part de la generació present per accelerar l'acumulació de capital i afavorir la innovació tecnològica. En aquest cas el resultat seria una menor disponibilitat de recursos per a les generacions futures, però aquestes podrien gaudir d'una major dotació de capital físic i coneixements per augmentar el seu nivell de vida. Per això el centre d'atenció de l'anàlisi rau en les possibilitats de substitució entre diferents inputs productius, i és a partir d'aquí que adquireix rellevància el debat sobre el desenvolupament sostenible en el marc neoclàssic (34).

La segona consideració incideix en l'àmbit de l'ètica i és la ponderació del benestar atribuït a cada generació. Aquest és un aspecte consubstancial a totes les formulacions econòmiques d'optimització dinàmica des dels seus inicis. En termes pràctics, el principal problema és la determinació de la taxa de descompte, ja que diferents taxes de descompte comporten ponderacions diferents a la distribució intergeneracional del benestar. Llavors el que cal

escatir són els objectius normatius. Per exemple, si es pretén la igualtat del benestar de les diferents generacions, si la generació actual ha d'estalviar i invertir una part de l'output per millorar les generacions futures, com considerar el fet que la població augmenta al llarg del temps, etc.

Un cop formulada la qüestió en aquests termes, la determinació de la taxa òptima en l'ús dels recursos no renovables passa a formar part d'un objectiu més ampli, que és el del creixement òptim, entès com aquell que maximitza el benestar al llarg del temps. La primera incursió en aquest àmbit correspon a Ramsey (1928), i d'ella en són deutores les aportacions que apareixen els anys 70 i que introdueixen els recursos no renovables en els models convencionals de creixement. En aquests models l'objectiu és maximitzar per un determinat horitzó temporal (finit o infinit) el valor actual del consum (o més concretament, de la seva utilitat). En general, se suposa que la distribució intergeneracional del benestar segueix les mateixes pautes per totes les generacions, de manera que cada individu té idèntiques preferències i reb un percentatge similar de la renda corrent. Així es pot obtenir el "total de benestar" d'una generació, que es pondera pel factor de descompte aplicat a la susdita generació (35).

(34) Baumol (1986) va més enllà i argumenta que en realitat els recursos no renovables presenten al llarg del temps un creixement continuat. La raó és que degut a les innovacions, l'eficiència en l'ús d'aquests recursos es cada vegada més gran. Segons Baumol, la millora continuada de la contribució dels recursos naturals en termes dels serveis que proporcionen és el que permet la possibilitat d'un creixement indefinit malgrat la disminució en el seu estoc.

(35) Els criteris que s'utilitzen en aquesta ponderació reflecteixen els judicis de valor, però cal pensar que existeixen alguns elements que justifiquen la seva elecció, entre els que no són aliens les pròpies condicions econòmiques en el moment de prendre la decissió. Un argument general per justificar una taxa de descompte positiva -cas més habitual- és la rendibilitat esperada del capital invertit avui, que se suposa positiva. Com la generació present sacrifica per a les generacions futures la part de l'output que destina a inversió, es considera que la taxa de retorn del capital es pot utilitzar com a un referent de la taxa de descompte. I com en determinades circumstàncies (cas d'una situació d'equilibri en el mercat de capitals), la taxa de retorn del capital equival al tipus d'interès, aquest s'associa igualment a la taxa de descompte.

La maximització del valor actual del consum està subjecte a tres tipus de restriccions. En primer lloc, l'estoc existent del recurs -que se suposa conegut- acota l'output assolible, i per tant, el benestar (admés que el recurs és essencial, que és la situació més habitual). En segon lloc, l'output no es pot consumir en la seva totalitat: una part s'ha d'invertir per mantenir o augmentar l'estoc existent de capital. I en tercer lloc, els nivells de consum tenen un límit inferior i l'ús del recurs i l'estoc de capital no poden ser negatius. A partir d'aquest plantejament, els resultats varien segons determinades especificacions addicionals. En concret, l'evolució de la població (constant o creixent), l'horitzó temporal considerat (finit o infinit) i el valor de la taxa de descompte (positiu o nul). Els diferents models es distingeixen essencialment per l'ús que fan d'aquestes variables.

Dasgupta i Heal (1974) presenten un model formal de producció utilitzant funcions del tipus CES (elasticitat de substitució constant) amb població estable, una taxa de descompte positiva i l'horitzó temporal infinit. Els inputs són, d'una banda, els recursos no renovables, i d'altra part, els béns produïts en forma de capital. Llavors s'ha de determinar conjuntament la taxa òptima d'utilització dels recursos i la taxa òptima d'acumulació de capital, el que implícitament significa determinar la taxa òptima de substitució entre els recursos no renovables i el capital. D'aquesta manera el model de Dasgupta i Heal incorpora les restriccions en la dotació de recursos no renovables sobre el creixement, que dependran de les possibilitats de substitució entre aquests recursos i el capital.

Un dels resultats clau és que si l'elasticitat de substitució entre el capital i els recursos no renovables és superior a la unitat, l'economia podria mantenir un nivell de producció i consum constant al llarg del temps. I el mateix succeeix si l'elasticitat de substitució entre capital i recursos és igual a la unitat i l'elasticitat de l'output respecte al capital és major que l'elasticitat de l'output respecte dels recursos no renovables. Aquest resultat també és extensible als models que de manera pràcticament simultània desenvoluparen Stiglitz i Solow. En el cas concret que plantegen Dasgupta i Heal, es mostra que el consum per càpita generalment augmenta al començament per després disminuir de manera continuada. A més, si el recurs és essencial -insubstituïble en l'activitat econòmica-, el criteri òptim és explotar un percentatge constant de l'estoc en cada període, el que significa que en aquest

cas l'optimalitat comporta no esgotar el recurs. D'altra banda -i aquest és un aspecte crucial-, el percentatge que s'explota està directament relacionat amb la taxa de descompte, de manera que quan més elevada és aquesta (és a dir, menor ponderació s'atorga a les generacions futures), major és la part del recurs que s'extreu, més elevat el consum actual i menor el consum futur, que disminueix en relació inversa a la taxa de descompte. Així, si la taxa de descompte fos nul·la, la influència de la productivitat del capital possibilitaria que el consum per càpita augmentés continuament. Aquest resultat revela la importància de la taxa de descompte: l'economia es podria trobar en una ruta "òptima", però si la taxa de descompte és positiva -encara que la tecnologia i la dotació inicial de recursos permetessin un nivell constant de renda per càpita o un nivell de benestar creixent-, el consum per càpita a llarg termini disminuiria continuament degut a l'ús que es fa dels recursos no renovables. En canvi, si la taxa de descompte és nul·la, en una ruta òptima el consum per càpita és positiu i creixent al llarg del temps.

En la mateixa línia, Stiglitz (1974b) analitza un altre cas en el que el consum per càpita creix amb el temps al llarg de la trajectòria òptima. Stiglitz presenta un model amb una funció de producció del tipus Cobb-Douglas en el que la població augmenta de manera exponencial en un horitzó temporal infinit. En aquesta situació la condició necessària per mantenir un nivell no decreixent de consum al llarg del temps és que la suma dels efectes del progrés tècnic i les economies d'escala en la producció han de ser suficientment grans per compensar l'augment de la demanda de recursos naturals deguda a l'expansió de la població. A l'igual que Dasgupta i Heal, Stiglitz mostra com l'elecció de la taxa de descompte afecta la trajectòria òptima. Així, si la taxa de descompte és elevada en relació a la taxa de progrés tècnic, llavors més elàstica és la utilitat marginal del consum i menor és la taxa òptima d'explotació del recurs. És interessant observar que aquest resultat contradiu la lògica que una taxa de descompte més elevada implica una major utilització del recurs.

Per la seva part, Solow (1974b) parteix d'un model que incorpora una funció de producció Cobb-Douglas sense canvi tecnològic, amb població constant i considera un horitzó temporal infinit. El principal element diferencial és que introdueix el criteri ètic rawlsià convencional "max-min" en l'àmbit intertemporal, que significa maximitzar el benestar de la generació més pobre (equidat intergeneracional). Això implica que el consum per càpita de cada

generació sigui el mateix perquè ningú estigui afavorit respecte dels altres. En aquestes circumstàncies, Solow mostra que el nivell màxim assolible de consum per càpita que es pot mantenir constant depèn directament de la grandària de l'estoc de capital inicial. Cada generació inverteix la quantitat necessària de l'output per generar l'estoc de capital requerit per substituir els recursos que han estat utilitzats, i això és suficient per mantenir la producció estable al llarg del temps, ja que en una funció del tipus Cobb-Douglas l'elasticitat de substitució entre capital i recursos naturals és igual a la unitat. Aquest resultat contrasta amb els del model de Dasgupta i Heal, en que amb una taxa de descompte nul·la el consum per càpita podia augmentar indefinidament. En aquest cas la taxa d'utilització dels recursos no renovables era més lenta, doncs no s'establien límits a l'acumulació de capital per part de cap generació. En conseqüència, en les primeres generacions podrien empitjorar relativament si decidissin invertir una part considerable de llur producció, la qual cosa permetria augmentar el nivell de vida de les generacions posteriors.

Els diferents models de creixement amb recursos no renovables que hem considerat determinen les trajectòries òptimes en diferents situacions -com reflecteixen els supòsits de cada model- consistents amb un entorn d'eficiència. Tanmateix, abans ja hem vist que les circumstàncies que garanteixen un resultat eficient són bastant restrictives i que difícilment tenen lloc en la realitat. Així, doncs, la presència d'imperficcions modifica els resultats inicials i el que ara interessa determinar són les condicions que garanteixen l'optimalitat en la nova situació.

Des d'aquesta perspectiva, l'aspecte més rellevant és la incertesa sobre la disponibilitat de recursos no renovables, doncs aquesta disponibilitat afecta directament el seu ús, i a través d'ell, a les possibilitats de creixement d'una economia. La incertesa sobre la dotació de recursos es manifesta de diverses formes, que a efectes pràctics es poden reduir al desco-
neixement sobre l'evolució futura de la tecnologia. El model de Dasgupta i Heal solventa aquesta eventualitat introduint una tecnologia alternativa en un futur indeterminat. Stiglitz, per la seva part, també elimina el factor d'incertesa al especificar una funció de producció amb progrés tècnic exogen. En canvi, Solow adopta una posició més cauta i considera el progrés tècnic nul. Suzuki (1976) relaxa aquest supòsit i explora directament les

implicacions del progrés tècnic sobre les possibilitats de creixement. Amb un model similar al de Solow, la qüestió que planteja és si mitjançant un programa de RiD és possible generar un progrés tècnic prou ràpid que estalviï l'ús de recursos naturals per permetre el creixement en el sentit de Solow. En aquest cas Suzuki mostra que el creixement sostingut és possible si l'elasticitat de l'output amb relació a la inversió acumulada en RiD és superior a la suma de l'elasticitat de l'output respecte al capital i el recurs natural.

La idea que el progrés tècnic permet augmentar la dotació de recursos naturals està associat a l'esforç en RiD permet plantejar la qüestió en termes probabilístics, defugint el caràcter exogen de les innovacions. Dasgupta, Heal i Majudmar (1976) avancen en aquesta línia i presenten un model en el que es determina de manera simultània la taxa òptima d'utilització del recurs natural, d'acumulació de capital i de les despeses de RiD.

En aquest model s'incorpora l'esforç incremental en la RiD. L'activitat de RiD, al seu torn, és consumidora de recursos, pel que disminueix la quantia de l'output disponible tant pel consum com per a la inversió. Però al mateix temps, l'esforç esmerçat en RiD augmenta la probabilitat d'èxit en l'obtenció d'una tecnologia alternativa que esmorteixi la dependència de l'activitat econòmica d'un estoc fix de recursos no renovables (36). En aquestes circumstàncies, la solució òptima presenta alguns trets singulars. Un tret rellevant és que quan una part de l'output agregat s'inverteix en RiD, el valor marginal esperat d'utilitzar l'output per a RiD ha d'ésser igual al valor marginal esperat en el seu ús alternatiu, és a dir, en la inversió directament productiva.

D'altra banda, l'esforç en RiD no necessàriament ha de començar en el moment d'iniciar-se l'explotació del recurs, ni tampoc ha de seguir un ritme creixent fins que s'obtingui la tecnologia alternativa o el substitut. L'element clau per determinar l'inici de la RiD i el moment en

(36) Convé assenyalar que en aquest model se suposa implícitament que la RiD no pot generar resultats imprevisibles, és a dir, que les característiques dels desenvolupaments tecnològics futurs es poden anticipar. Això també implica que no es consideren els beneficis més generals que es poden deure a la recerca bàsica i a l'aprenentatge per l'ús.

que aquesta assoleix el valor màxim és la grandària inicial del recurs. Intuitivament, la raó és clara. Com la inversió actual en RiD comporta un sacrifici per a la generació present en termes del consum de l'output no realitzat, si l'estoc inicial del recurs és suficientment gran, una estratègia òptima demoraria l'inici de la RiD per evitar un cost innecessari a les generacions actuals. En aquest sentit, Kamien i Schwartz (1978) obtenen un resultat complementari al de Dasgupta, Heal i Majudmar, i mostren que l'estratègia òptima consisteix en ajornar la RiD per obtenir una tecnologia alternativa fins el moment en que l'estoc de capital sigui prou gran i l'estoc del recurs natural hagi disminuït suficientment per que s'iguali el valor marginal esperat de l'esforç en la RiD amb el valor marginal d'utilitzacions alternatives de l'output agregat.

Acabem de veure que per assolir una trajectòria òptima de creixement en presència de recursos no renovables cal superar les mateixes restriccions que poden conduir a resultats ineficients, i que aquestes trajectòries es modifiquen quan existeixen imperfeccions. Tanmateix, la determinació d'una solució òptima està subjecta, "per se", a una "irregularitat", que ve donada per la impossibilitat que totes les generacions afectades puguin expressar les seves preferències: com les generacions futures no ho poden fer són les generacions actuals les que decideixen per elles. Aquesta circumstància reflecteix el caràcter intrínsecament normatiu dels plantejaments basats en l'optimalitat i connecta amb una qüestió directament relacionada amb la del creixement òptim: la sostenibilitat del creixement. Com ja hem exposat en el capítol anterior la introducció de la idea de sostenibilitat és precisament una temptativa per incorporar les preferències de les generacions futures en l'anàlisi econòmica.

Un resultat general dels models de creixement en els que els recursos no renovables són inputs productius és que existeix un nivell de consum per càpita que es pot mantenir indefinidament. La raó és que l'acumulació de capital al llarg del temps permet compensar els efectes negatius de la disminució de l'estoc de recursos sobre el consum. Però els resultats d'aquests models també assenyalen la possibilitat que el consum per càpita disminueixi en el llarg termini si la taxa de descompte és positiva degut a l'ús que es fa dels recursos naturals. I per diferents motius en una economia de mercat cal esperar que la taxa de

descompte sigui superior a zero ⁽³⁶⁾. Clarament, en aquest cas la maximització del benestar agregat és incompatible amb el manteniment del consum intergeneracional, i per tant, es presenta un conflicte entre l'optimalitat i la sostenibilitat. Això significa que l'assoliment de la sostenibilitat precisa d'algun criteri normatiu addicional que la faci compatible amb l'optimalitat. En aquest sentit s'albiren diverses opcions. Una d'elles és simplement considerar una taxa de descompte nul·la. Però pels recursos no renovables això és simplement inviable, ja que aquests recursos són inputs essencials en l'activitat econòmica, pel que els processos productius no es poden dur a terme sense consumir-ne una part. Existeix una segona possibilitat: mantenir un estoc agregat de capital (capital produït més recursos naturals) constant, de manera que l'explotació dels recursos es compensi amb una major dotació de capital físic perquè el benestar per càpita no disminueixi. Hartwick (1977) mostra que una taxa de descompte positiva és compatible amb un nivell de consum per càpita constant sempre que la totalitat de la renda d'escassetat del recurs es dediqui a la inversió, i aquesta estratègia condueix precisament a un estoc de capital agregat constant. En la pràctica, però, això depèn de les possibilitats de substitució entre capital i recursos no renovables (Gómez, 1993), pel que novament el tipus de relació entre els inputs productius apareix determinant per assolir una optimalitat sostenible. Aquesta és una qüestió essencialment empírica que es considera en el capítol cinquè.

(37) La principal raó és l'existència d'un tipus d'interès positiu (veure nota 35).

Bibliografia Capítol 2.

- Baumol, W.J. (1986). "On the possibility of continuing expansion of finite resources", *Kyklos*, vol 39, fasc 2, pp. 167-179.
- Branon, G.M. (Ed) (1975). *Studies in Tax Energy Policy*, Ballinger. Publishing Co.
- Dasgupta, P.S. (1991). "Exhaustible resources", en L. Friday i R. Laskey (Eds), *The Fragile Environment. New Approaches to Global Problems*, Cambridge University Press, pp. 107-126..
- Dasgupta, P.S. i Heal, G.M. (1974). "The optimal depletion of exhaustible resources", *Review of Economic Studies*, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, vol 42, pp. 3-28.
- Dasgupta, P.S. i Heal, G.M. (1979). *Economic Theory and Exhaustible Resources*, Cambridge University Press.
- Dasgupta, P.S., Heal, G.M. i Majumdar, M. (1976), "Resource depletion and research and development", en M. Intriligator (Ed), *Frontiers of Quantitative Economics*, III B, North-Holland Publishing Co, pp. 483-505.
- Dasgupta, P.S., Heal, G.M. i Stiglitz, J.E. (1980). "The taxation of exhaustible resources", en G.A. Hughes i G.M. Heal (Eds), *Public Policy and the Tax System: Essays in Honour of James Meade*, George Allen & Unwin, pp. 150-172.
- Dasgupta, P.S. i Stiglitz, J.E. (1976). *Uncertainty and the Rate of Extraction Under Alternative Institutional Arrangements*, Technical Report N° 178. Economic Series, Institute for Mathematical Studies in the Social Sciences, Stanford University.
- Farzin, Y.H. (1992). "The time path of scarcity rent in the theory of exhaustible resources", *Economic Journal*, vol 102, pp. 813-830.
- Gilbert, J.R. (1976a). *Search Strategies for Non-Renewable Resource Deposits*, Technical Report N° 178. Economic Series, Institute for Mathematical Studies in the Social Sciences, Stanford University.
- Gilbert, J.R. (1976b). *Optimal Depletion of an Uncertain Stock*, Technical Report N° 207. Economic Series, Institute for Mathematical Studies in the Social Sciences, Stanford University.
- Gilbert, R.J. (1978). "Dominant firm pricing policy in a market for an exhaustible resource", *Bell Journal of Economics*, vol 9, N° 1, pp. 385-395.
- Gómez, C.M. (1993). "Desarrollo sostenible y gestión eficiente de los recursos naturales", en D. Azqueta (Ed), *Análisis Económico y Gestión de Recursos Naturales*, Alianza Editorial, pp. 73-100.

- Hartwick, J.M. (1977). "Intergenerational equity and the investing rents from exhaustible resources", *The American Economic Review*, vol 67, pp. 972-974.
- Heal, G.M. (1976). "The relationship between price and extraction cost for a resource with a backstop technology", *Bell Journal of Economics*, vol 7, pp. 371-378.
- Heal, G.M. (1978). "Resource prices and resource scarcity", en *Proceedings of the Wisconsin Seminar on Natural Resource Policies in Relation to Economic Development and International Cooperation*, vol 1. Madison: Institute for Environmental Studies, University of Wisconsin.
- Heal, G.M. (1984). "Interaction between economy and climate: a framework for policy design under uncertainty", en V. Smith i A. White (Eds), *Advances in Applied Microeconomics*, JAI Press, pp. 151-168.
- Heal, G.M. (1991). "Economy and climate: a preliminary framework for microeconomic analysis", en R.E. Just i N. Bockstael (Eds), *Commodity and Resource Policies in Agricultural Systems*, Springer-Verlag, pp. 196-212.
- Kamien, N.I. i Schwartz, N.L. (1978). "Optimal exhaustible resource depletion with endogenous technical change", *Review of Economic Studies*, vol 45, pp. 179-196.
- Krautkraemer, J.A. (1985). "Optimal growth, resource amenities and the preservation of natural environments", *Review of Economic Studies*, vol 52, Nº 1, pp. 153-170.
- Lewis, T.R. i Slade, M (1985). "The effects of price controls, taxes and subsidies on exhaustible resource production", en A.D. Scott (Ed), *Progress in Natural Resource Economics*, Clarendon Press, pp. 203-227.
- Mason, E.S. (1973). "Competitive prices and natural resources", en D.S. Watson (Ed), *Price Theory in Action*, Houghton Mifflin Co, pp. 132-142.
- Page, T.R. (1977). *Conservation and Economic Efficiency: An Approach to Materials Policy*, Johns Hopkins University Press.
- Pindyck, R.S. (1978). "Optimal exploration and production of a non renewable resource", *Journal of Political Economy*, vol 86, pp. 841-862.
- Ramsey, F.P. (1928). "A mathematical theory of saving", *Economic Journal*, vol 38, pp. 543-559.
- Robson, A. (1979). "Sequential exploitation of uncertain deposits of a depletable natural resource", *Journal of Economic Theory*, vol 21, pp. 88-110.
- Roca, J. (1991). "La teoria econòmica sobre el precio de los recursos no renovables: un comentario crítico", *Cuadernos de Economía*, vol 19, Nº 54, pp. 111-124
- Smith, V.L. (1968). "Economics of production from natural resources", *The American Economic Review*, vol 58, Nº 3, pp. 408-431.

- Solow, R.M. (1974a). "The economics of resources or the resources of economics", *The American Economic Review*, vol 64, N° 2, pp. 1-14. Existeix una versió en castellà: *El Trimestre Económico*, vol 42, N° 2 (1975).
- Solow, R.M. (1974b). "Intergenerational equity and exhaustible resources", *Review of Economic Studies*, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, vol 42, pp. 29-45.
- Solow, R.M. i Wan, F.Y. (1976). "Extraction costs in the theory of exhaustible resources", *Bell Journal of Economics*, vol 7, pp. 359-370.
- Stiglitz, J.E. (1974a). "Growth with exhaustible natural resources: the competitive economy", *Review of Economic Studies*, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, vol 42, pp. 139-152.
- Stiglitz, J.E. (1974b). "Growth with exhaustible natural resources: efficient and optimal growth paths", *Review of Economic Studies*, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources, vol 42, pp. 123-137.
- Stiglitz, J.E. (1975). "The efficiency of market prices in long-run allocations in the oil industry", en G.M. Branon (Ed), *Studies in Energy Tax Policy*, Ballinger, pp. 55-99.
- Stiglitz, J.E. (1976). "Monopoly and the rate of extraction of exhaustible resources", *The American Economic Review*, vol 64, N° 4, pp. 655-661.
- Stiglitz, J.E. (1979). "A neoclassical analysis of the economics of natural resources", en V.K. Smith (Ed), *Scarcity and Growth Reconsidered*, Resources for the Future, The Johns Hopkins University Press, pp. 36-66.
- Suzuki, H. (1976). "On the possibility of steadily growing per capita consumption in an economy with a wasting and non-replenishable resource", *Review of Economic Studies*, vol 43, pp. 527-535.
- Sweeney, J.L. (1977). "Economics of depletable resources: market forces and intertemporal bias", *Review of Economic Studies*, vol 44, N° 1, pp. 125-141.
- Weinstein, M.C. i Zeckhauser, R.J. (1975). "The optimal consumption of depletable natural resources", *Quarterly Journal of Economics*, vol 89, pp. 371-392.
- Withagen, C. (1994). "Pollution and exhaustibility of fossil fuels", *Resource and Energy Economics*, vol 16, pp. 235-242.

Capítol 3.

**ALGUNES IMPLICACIONS DE LA TEORIA ECONÒMICA CONVENCIONAL
SOBRE L'EXPLOTACIÓ DELS RECURSOS NO RENOVABLES.**

3. ALGUNES IMPLICACIONS DE LA TEORIA ECONÒMICA CONVENCIONAL SOBRE L'EXPLOTACIÓ DELS RECURSOS NO RENOVABLES.

3.1. Les simulacions.

Un dels objectius de l'anàlisi convencional sobre els recursos no renovables és determinar les condicions que garanteixen l'eficiència en la seva explotació. Des d'aquesta perspectiva, la teoria té un caràcter prescriptiu, ja que permet establir quin és el ritme d'extracció adequat per assolir un resultat eficient, a l'hora que determina els preus i quantitats corresponents. D'altra banda, l'evidència empírica indica que sovint -gairebé sempre- els dipòsits de recursos naturals s'abandonen abans del seu esgotament físic (38). Aquesta circumstància revela alguns punts d'interès. En primer lloc, relativitza la importància del concepte de reserves i corrobora la necessitat de discernir entre els àmbits físic i econòmic dels recursos no renovables, aspecte que es considera en el següent capítol. En segon lloc, i aquest és potser l'aspecte més rellevant pel que ara ens ocupa, la discrepància entre l'abandonament de l'activitat i l'exhauriment geològic indica que en la pràctica els recursos no renovables no s'exploten de manera eficient. Abans ja hem vist alguns dels motius que poden conduir a resultats ineficients i les possibles implicacions d'aquests factors "distorcionadors" des de l'òptica teòrica. Tanmateix, també caldria considerar altres circumstàncies, algunes de les quals tenen una dimensió més àmplia i fan referència a les situacions concretes en que té lloc l'explotació i l'ús dels recursos no renovables, és a dir, al funcionament dels mercats, aspecte que per la seva importància mereix una anàlisi més detallada en els capítols 6 i 7.

(38) Per a la majoria de jaciments de petroli, per exemple, la quantitat efectivament extreta no supera el 60% de l'estoc geològic que s'havia identificat inicialment en forma de reserves.

En el capítol anterior hem vist que les ineficiències es tradueixen en una excessiva conservació del recurs o, alternativament, en una extracció a un ritme massa ràpid en relació a la taxa ideal. La qüestió que cal escatir és, doncs, si l'explotació està esbiaixada cap el futur o si, en sentit contrari, prima la preferència pel present. Per respondre a aquesta qüestió cal passar del terreny conceptual a l'àmbit aplicat amb el suport dels exercicis de simulació.

L'objectiu de les simulacions no és verificar directament la teoria, sino inferir les seves conseqüències en el cas que -o suposat que- aquesta teoria sigui una bona aproximació a la realitat. Els models teòrics es prenen com a donats, s'assignen formes concretes a les funcions, valors específics als paràmetres (que de vegades requereixen una estimació econòmica prèvia) i les prediccions s'obtenen de manera automàtica. Amb aquest procediment, admetre les prediccions del model comporta l'acceptació de tota l'estructura que el sustenta, i especialment les formes funcionals i els paràmetres utilitzats. És clar que la versemblança dels resultats dependrà sobretot del realisme dels supòsits de la teoria que serveix de base per a la simulació, per això unes prediccions acurades poden validar, indirectament, l'esquema teòric. Addicionalment, les simulacions tenen l'avantatge que permeten identificar escenaris alternatius a partir de diferents models.

Pels recursos no renovables els estudis de simulació s'inicien en la dècada dels 70 i continuen fins a mitjan dels 80, coincidint amb l'època de major impacte de la crisi energètica. El treball pioner correspon a Nordhaus (1973), que obté les implicacions numèriques de la regla de Hotelling amb referència al mercat mundial de l'energia en un context de competència perfecta. Els resultats indiquen una evolució monòtona creixent dels preus dels diferents combustibles fòssils, però amb uns preus eficients bastant inferiors als preus efectius. El cas del petroli reflecteix clarament aquesta situació. Amb una taxa de descompte del 10% el preu simulat del petroli durant la dècada dels 70 se situava en l'interval 1.5\$ - 2,5\$ per barril, entre quatre i cinc vegades per sota del preu efectiu a partir de 1973.

La desviació dels resultats de la simulació de Nordhaus respecte del comportament efectiu del mercat cal atribuir-la, en primer lloc, a la pròpia especificació del model i els supòsits

subjacents. En aquest sentit sembla important la presència d'imperficcions pel costat de l'oferta, que en la dècada dels 70 tendia cap una estructura clarament oligopolística, bastant allunyada de l'entorn competitiu que pressuposava aquell model. Però aquesta no és l'única causa possible de les desviacions. Els resultats que s'obtenen també estan determinats per altres supòsits més singulars. Així, Nordhaus presenta un model en el que la demanda de combustibles fòssils es manté invariable, el que implica que l'elasticitat de la demanda és nul·la. Tampoc s'inclou l'impacte de l'explotació acumulada sobre els costos d'extracció. Finalment, estableix la condició terminal de l'esgotament del recurs quan apareix una alternativa, el reactor de fusió, l'any 2020, pel que es descarta qualsevol tipus d'incertesa sobre l'evolució futura de la tecnologia. Retrospectivament, és clar que els supòsits que sustenten el model adoleixen de falta de realisme, pel que els resultats s'han d'entendre únicament de manera temptativa: en aquest cas servirien com una aproximació per quantificar els costos de no disposar d'una estructura de mercat competitiva. Tanmateix, l'existència de diferents possibles "anomalies" dificulta ponderar la importància de cadascuna d'elles en la desviació dels resultats, i al capdavall, la seva contribució en termes dels costos de l'eficiència.

Els exercicis de simulació s'intensifiquen durant la segona meitat dels 70, quan en el mercat del petroli es consolida una nova configuració amb el paper hegemònic de l'Organització de Països Exportadors de Petroli (OPEP). En aquells anys, amb unes reserves provades abundants en relació al consum, els preus varen passar de 3 a 13\$/barril el 1973 i arribaren als 32\$/barril el 1980, mentre els costos d'extracció dels jaciments de l'OPEP eren inferiors a 1\$/barril. Això semblava confirmar la forta divergència entre els preus efectius i els preus eficients, que malgrat les limitacions que hem comentat, ja havien anticipat els primers estudis. En aquest context, per reflectir de manera més acurada la nova situació, els models de simulació consideren essencialment estructures oligopolístiques.

Pindyck (1976) presenta dos models per computar els preus del petroli a nivell mundial en situacions de competència perfecta i en presència d'un càrtel -que hom pot associar amb l'OPEP- amb una oferta marginal competitiva. Distingeix entre les elasticitats de la demanda a curt i llarg termini i suposa que els costos variables mitjans augmenten amb

l'explotació del recurs. Pel que fa a la simulació en condicions competitives, malgrat les diferències en l'especificació en relació al treball de Nordhaus, els valors que obté Pindyck amb una taxa de descompte del 10% són bastant semblants, el que suggereix que la configuració de l'oferta és la principal responsable dels resultats "ineficients" que s'assoleixen en el mercat del petroli.

Per la seva part, la simulació en condicions d'oligopoli amb una oferta marginal competitiva permet determinar la trajectòria dels preus que maximitza els beneficis en la nova situació així com els guanys de la cartelització. Pindyck suposa que els productors competitius prenen com a donat el preu que fixa el càrtel en cada període, mentre que el càrtel té en compte l'oferta marginal a l'hora d'establir els preus. Un altre supòsit crucial és que els productors marginals s'ajusten a les condicions del mercat amb un retardament temporal. En aquest cas els resultats indiquen una trajectòria dels preus en forma d'U -a diferència del que succeïa en condicions competitives, en que la trajectòria simulada presentava una tendència monòtona creixent-, amb un preu inicial superior al de competència perfecta. Els preus en situació d'oligopoli es troben per sobre dels preus competitius durant la major part del període considerat i només són depassats per aquells en l'etapa final.

En aquest punt són pertinents dues qualificacions. En primer lloc, en presència d'un oligopoli són possibles trajectòries "òptimes" (en el sentit de maximitzadores) de preus que experimenten davallades i augments, un resultat que contrasta amb l'evolució monòtona creixent tant de la competència perfecta com del monopoli. En segon lloc, l'elevat preu inicial s'explica perquè el càrtel aprofita el retardament dels productors marginals en el seu ajustament. Quan aquest es du a terme, els preus experimenten una davallada, i després del progressiu esgotament de les reserves dels productors marginals els preus tornen a augmentar. En conseqüència, la part de la producció que correspon al càrtel s'incrementa de manera continuada. La comparació de les dues trajectòries permet avaluar els guanys de la cartelització, que Pindyck estima en el 55% del valor actual dels beneficis del càrtel. Aquest resultat indica un fort incentiu per la cartelització, malgrat la pèrdua d'eficiència que comporta.

Crémer i Weitzman (1976) i Dasgupta i Heal (1979) duen a terme dues simulacions basades en especificacions diferents i obtenen uns resultats bastant coincidents amb els de

pindyck, però introduïnt-hi algunes qualificacions. En aquests casos l'estructura de l'oferta ve donada per un càrtel -que hom pot associar novament a l'OPEP- i uns productors marginals competitius que operen a plena capacitat, però no distingeixen entre corbes de demanda a curt i llarg termini. Tampoc es preveu una tecnologia alternativa dins d'un horitzó temporal raonable i l'estimació que es fa de les reserves és més elevada. Els costos d'extracció augmenten així que ho fa l'explotació del recurs i els costos de capital -que són una part dels costos d'extracció- es consideren inversament proporcionals a les reserves que resten per explotar. A partir d'aquests supòsits es determinen les trajectòries dels preus en una situació d'equilibri d'oligopoli del tipus de Von Stackelberg.

Els valors que s'obtenen indiquen que els preus gairebé no creixen en el període 1975-95 però en el darrer any s'inicia un sensible augment. A l'hora, la participació de l'OPEP en el mercat mundial se situa en una tercera part fins el 1995 i a partir d'aquesta data experimenta un fort increment fins el punt que l'OPEP esdevé pràcticament un monopoli. Un resultat interessant és que durant els primers vint anys el preu del petroli és relativament elevat donada l'estructura de l'oferta, ja que se situa per damunt del preu òptim del càrtel a curt termini. En aquest sentit, hom esperaria que els preus inicials fossin més baixos perquè els productors marginals esgotessin ràpidament les reserves, tanmateix ho impedeix la seva restricció de capacitat. Fent el mateix exercici suprimint el supòsit de restricció de capacitat en el sector marginal s'obtenen els resultats previstos: els preus són més baixos en els primers anys -bé que continuen mantenint-se per sobre dels preus competitius- en els que els productors marginals dominen el mercat, -explotant-se primer els jaciments de menor qualitat (més costosos). Això fa que els productors marginals esgotin abans les seves reserves i el càrtel controli el mercat més ràpidament. En la nova situació la ineficiència té lloc per una doble via. D'una banda, en el sentit habitual, amb uns preus més elevats que en situacions competitives, i d'altra part, per l'explotació dels dipòsits de manera inversa als seus costos.

En un treball d'abast més ampli, Pindyck (1978) realitza una simulació extenent la cartelització a d'altres recursos no renovables i a més del petroli considera també la bauxita i el coure. En aquest cas l'objectiu és determinar directament els possibles guanys de la cartelització per cada recurs, pel que compara les trajectòries òptimes dels preus en la situació

de competència perfecta i d'oligopoli. En el cas del petroli els resultats confirmen els que havia obtingut en l'exercici anterior. Amb uns productors marginals competitius que prenen com a donat el preu que fixa el càrtel i que ajusten la producció amb retardament, la trajectòria de preus que maximitza els beneficis pel càrtel presenta una forma d'U. Amb una taxa de descompte del 10% els preus en dòlars constants del 1975 davallen de 14 \$/barril aquell any fins a 10 \$/barril el 1980, i a partir de llavors augmenten de manera suau però ininterrompuda. Pel 1990 la previsió va ser de 12\$/barril, 14\$/barril el 1995 i 15\$ l'any 2000. Aquesta predicció presenta una certa similitud -si més no en la tendència dels preus a llarg termini- amb la trajectòria observada, però és clar que no s'ajusta de manera acceptable a la realitat. Els guanys de la cartelització s'estimaren en un trilió de dòlars, confirmant-se el fort incentiu existent per restringir l'output i augmentar els preus per sobre dels nivells competitius.

En els altres dos recursos analitzats els resultats presenten discrepàncies. Així, els guanys de la cartelització -i per tant, l'incentiu- són significatius en el cas de la bauxita, però no pel coure. Pindyck observa que aquesta diferència no té res a veure amb l'exhauribilitat dels recursos, sino que s'explica per les condicions concretes de la seva oferta i demanda, circumstància que també es pot fer extensible al petroli.

Pel que fa a l'oferta, una primera condició necessària per obtenir guanys de la cartelització és el control d'una part significativa de la producció. En aquella època l'OPEP controlava dues terceres parts de la producció (exclosos els països socialistes) i disposava d'una proporció semblant de les reserves totals. En canvi, els països de la CIPEC (Consell Intergovernamental de Països Exportadors del Coure), que intentaven actuar com un càrtel en el mercat d'aquest recurs, només controlaven una tercera part de la producció (sense compatibilitzar els països socialistes). El segon aspecte determinant en els guanys de la cartelització és la capacitat de resposta de la resta de productors. En el cas del petroli, la capacitat de reacció dels productors marginals se suposava feble -i això és precisament el que reflecteix el retardament en el seu ajustament a les condicions del mercat. Pindyck va considerar que a curt termini la producció exterior a l'OPEP no es podia expandir de manera significativa, malgrat els augments dels preus. En canvi pels països de la CIPEC la situació és diferent, ja que l'oferta del coure secundari, obtingut a partir de materials de

desús, és bastant sensible al preu a curt termini. Addicionalment, això il·lustra les diferents condicions en que poden operar els mercats de recursos no renovables depenent de la possibilitat del reciclatge i la seva capacitat per influir en l'oferta total a curt termini. El tercer aspecte amb una influència directa en els guanys de la cartelització és l'elasticitat de la demanda. En aquest sentit, mentre la demanda del petroli i l'alumini és fortament inelàstica a curt termini, la demanda de coure presenta una considerable sensibilitat al preu degut a l'existència de substituïts en nombroses aplicacions.

Diversos estudis corroboren la importància dels factors que acabem d'esmentar en l'èxit de la cartelització per diferents recursos no renovables, i per aquesta via, en el nivell dels preus. Quan aquelles condicions es van donar la cartelització va ser efectiva i del poder de mercat en resultaren uns preus més elevats -amb independència de la disponibilitat física del recurs. És el cas de la bauxita (Pindyck, 1977) i del mercuri i del sulfur (McKie-Mason i Pindyck, 1987). En canvi, quan aquells factors estaven absents, els intents de cartelització conduïren al fracàs i els preus experimentaren davallades en termes reals, com succeí amb el plom (Clarfield et al, 1975) i el coure (Figuerola, 1982). Tot això confirma, doncs, que l'estructura de l'oferta incideix directament en l'evolució dels preus dels recursos no renovables, bé que falta determinar amb precisió quina és la seva contribució als resultats ineficients -en termes d'un excessiu conservacionisme- quan ha estat possible exercir el poder de mercat. Una anàlisi més microscòpica de les condicions en que té lloc l'explotació pot ajudar a aclarir aquesta qüestió, aspecte al que ens referim més endavant.

Retrospectivament, la valoració de les simulacions que es varen dur a terme quasi vint anys enrera es pot fer des d'una doble perspectiva. Si hom pren com a referència les solucions eficients del mercat, aquests exercicis són útils perquè en comparar escenaris alternatius permeten captar la magnitud de les desviacions i constitueixen una aproximació al cost de situacions ineficients. Plantejades així les coses, les possibles omissions en l'especificació dels models no tindrien una importància decisiva en el resultat, ja que hom pot acceptar que es distribueixen proporcionalment en cada especificació. Si de cas, l'error estarà en l'ordre de la magnitud, en la dimensió absoluta, però no en la relativa, que és la que interessa. Aleshores, la coincidència de resultats en les diferents simulacions sobre la discrepància existent entre els preus reals i els preus eficients indueix a escatir el perquè

d'aquesta ineficiència, que es tradueix en una gestió dels recursos naturals esbiaixada cap el futur. Ja hem vist que els principals models situen la resposta en l'estructura del mercat. Però com es comenta després, aquesta explicació no esgota les possibilitats.

Una qüestió diferent és la capacitat predictiva dels models, doncs en aquest cas les implicacions es poden comparar directament amb la realitat. Amb l'avantatge del temps a favor, des de la perspectiva actual hom pot constatar que les prediccions dels diferents models presenten desviacions significatives del que ha estat l'evolució real dels mercats. I aquesta situació es manifesta àdhuc en les simulacions més completes, com és el cas de la simulació de Pindyck del 1978.

Les explicacions a aquestes discrepàncies són de dos tipus. D'una banda, la pròpia estructura dels models. Les hipòtesis que s'incorporen i les formes funcionals són crucials, ja que són les que determinen els resultats. Abans ja ens hem referit a les limitacions del primer model que es va presentar (Nordhaus). Algunes d'aquestes limitacions es corregiren en les formulacions posteriors en dos àmbits fonamentals: la configuració del mercat i l'efecte de l'explotació sobre els costos d'extracció. Tanmateix, la impossibilitat d'incorporar tots els factors rellevants en l'especificació d'un model obliga a acceptar un cert grau de desviació respecte la realitat. La qüestió rau en la magnitud de la desviació. En l'àmbit de les simulacions hom pot defensar que els principals models que s'han construït assoleixen un grau acceptable d'acompliment del que Koreisha i Stobaugh (1983), referint-se als models macroenergètics mundials, han anomenant "banderes vermelles", és a dir, elements crítics que poden provocar errors importants en les prediccions (39). En aquest sentit, la formulació presentada per Pindyck el 1978 és la que sembla tenir un major grau de consistència interna.

Fent abstracció de possibles limitacions en les especificacions dels models, es manté l'interrogant sobre la causa de les desviacions entre les prediccions i la realitat. Un argument que s'utilitza sovint és que la capacitat predictiva dels models és acceptable en circumstàncies "normals", però que en els mercats de recursos no renovables tenen lloc esdeveniments que s'escapen del regne de l'economia (Fisher, 1981). En el cas de petroli, per exemple, fets que poden haver tingut un impacte directe en els preus com la revolució iraniana, la guerra entre Irak i Iran i la invasió de Kuwait serien difícilment analitzables -i per