

ANÀLISI ECONÒMICA I RECURSOS NO RENOVABLES

Joaquim Solà i Solà

ISBN 978-84-9011-111-1
Dip. Reg. Com. 1080/2010
10/2010

mentre que el gas natural és el recurs que experimenta el canvi de tendència en un període més curt: els preus disminueixen rapidament en els anys 1920-40 però a partir de 1950 registren un increment de la mateixa magnitud.

Mueller i Gorin (1985) relativitzen les conclusions de Slade pel que fa al comportament dels preus, car consideren que el seu model adoleix de dues limitacions: a) presenta un biaix considerable; i b) s'aplica incorrectament a les dades. Pel que fa al primer aspecte, el biaix del model es troba precisament en els seus supòsits: l'existència d'un canvi tecnològic progressiu i l'explotació dels recursos naturals en ordre de qualitat decreixent. D'altra banda, l'aplicació incorrecta es deu a la no consideració de la influència d'altres factors en els preus (poder de mercat, guerres, tarifes selectives, impostos i subsidis), situacions que, segons ells, han estat bastant habituals al llarg d'aquest període. Com en el model de Slade l'ajustament quadràtic té lloc per tot el període i no només per aquells anys en que els preus no estan subjectes a influències externes, Mueller i Gorin utilitzen variables "dummy" per incorporar els efectes d'aquests factors a les equacions del model de Slade, i apliquen el nou procediment per a l'anàlisi concreta del coure. En aquest cas la funció quadràtica modificada no s'ajusta bé i el millor ajustament són funcions lineals per subperíodes. Per això, segons Mueller i Gorin, la trajectòria dels preus en forma d'U resulta d'un error en l'especificació del model que desapareix amb l'especificació correcta. La interpretació d'aquests resultats és que en cada subperíode la tendència (creixent) dels preus reflecteix la intensificació de l'escassetat degut a la disminució de l'estoc i de la quantitat del recurs natural. I els diferents subperíodes vindrien determinats per les discontinuïtats en el canvi tecnològic. Això confirmaria l'existència d'una trajectòria discontinua compatible amb el model de Slade.

Com a conclusions Mueller i Gorin assenyalen tres aspectes. En primer lloc, que no es pot avaluar la capacitat dels preus com indicadors de l'escassetat sense considerar l'efecte dels factors externs. Així, el simple ajustament d'una equació a les dades disponibles és insuficient. I en segon lloc, que el canvi tecnològic ha d'endogeneitzar-se, doncs les innovacions -com palesa el cas del coure- no són graduals sino que presenten salts, pel que s'han de contemplar de manera discreta. En el mateix exemple del coure, això es reflecteix

en un canvi radical en la tecnologia utilitzada cap el 1920. Finalment, caldria incorporar la possibilitat de discontinuïtat en la qualitat dels recursos naturals, més enllà de la simple seqüència monòtona decreixent.

Slade (1985) respon a les crítiques de Mueller i Gorin centrant-se en tres aspectes: a) els factors que influeixen en els preus; b) els canvis en la tecnologia; i c) els errors en l'especificació de les influències exògenes.

Pel que fa a la primera qüestió, Slade assenyala que a més del progrés tècnic i de la disminució en la qualitat d'un recurs natural, en el preu d'aquest recurs influeixen tal diversitat de factors que a llarg termini actuen com si es tractés d'un "soroll blanc". Per això considera que la seva exclusió no altera els resultats, llevat que les variables excloses estiguin relacionades amb les incloses. Així, fenòmens com les inversions i els cicles d'activitat són importants en la determinació dels preus a mig termini (5-15 anys) però esdevenen irrelevantes en la tendència que reflecteix l'evolució a llarg termini.

En relació als canvis discrets en la tecnologia, Slade accepta que l'aparició d'un nou procés comporta una discontinuïtat, però el seu impacte no es manifesta fins que aquest procés és adoptat per les empreses. En aquest sentit, l'aspecte rellevant és que el procés d'adopció d'una nova tecnologia -a diferència del que succeeix amb un descobriment- sembla mantenir una continuïtat (70).

Finalment, per escatir possibles errors en l'especificació de les influències exògenes, Slade presenta una nova especificació amb variables "dummy" corregint temporalment alguns factors situats incorrectament per Mueller i Gorin (com l'efecte dels càrtels, les depressions, el canvi tecnològic). Amb l'equació corregida, degudament ajustada a les influències exògenes, la forma d'U en la trajectòria dels preus persisteix. S'observa que els càrtels i les

(70) En aquest punt Slade argumenta que en el cas del coure el canvi radical en la tecnologia tingué lloc a començament dels anys 20 amb la intensificació dels mètodes d'extracció "open pit", però això fou facilitat per un canvi gradual cap a les tècniques de processament no selectives a partir del 1900.

guerres augmenten els preus (llevat si existeix un control efectiu), mentre les depressions tendeixen a reduir-los. Llavors, la única influència exògena que és no significativa és el progrés tècnic, per la raó abans adduïda: la introducció de noves tècniques és gradual i la difusió de les innovacions té lloc de manera contínua.

D'acord amb les característiques atorgades als diferents indicadors econòmics, l'aproximació per la via de la renda és la que es considera idònia per mesurar l'escassetat dels recursos, però presenta les mateixes dificultats que en la contrastació de la teoria de l'esgotament: l'estimació dels valors d'aquesta variable. Per això els exercicis per avaluar la disponibilitat dels recursos a partir de la renda s'han reduït a uns pocs casos en que l'estimació ha estat possible, i en general, les sèries de dades que s'han obtingut corresponen a un període considerablement inferior al que abasten les estimacions dels preus. Si hom considera que l'anàlisi rellevant per detectar possibles escassetats en els recursos no renovables és el llarg termini, la restricció temporal fa que en aquest cas els resultats adoleixin de la significabilitat que poden tenir les trajectòries dels preus.

Cairns (1981) du a terme una estimació de la renda pels dipòsits de níquel del Canadà utilitzant dades de l'empresa Inco, primer productor mundial i que detenta una posició monopòlica en aquell país. Cairns conclou que per aquest recurs el "royalti" (part de la renda deguda a l'exhauriment del recurs) és nul, circumstància que atribueix a la gran dimensió de les reserves existents en relació a la demanda i a la possible aparició de tecnologies alternatives abans de l'esgotament físic del mineral. Aleshores, tota la renda correspon al "cost de degradació", és a dir, a la part imputable als efectes de l'extracció acumulada, que estima no superior al 5% del preu del recurs. La conclusió és clara: la renda no prové de l'exhauriment del recurs sino de la desigual qualitat dels dipòsits, pel que es tracta de rendes de tipus diferencial. Uns resultats en la mateixa línia obté Slade (1982b) pels dipòsits de coure dels Estats Units, conclouent que la major part de la renda també es deriva de les diferents qualitats dels dipòsits.

Una aproximació diferent és la que segueixen Devarajan i Fisher (1982b), que estimen la disponibilitat de petroli i gas als Estats Units pel període 1947-71 aproximant la renda

d'escassetat pels costos mitjans de descobrir nous dipòsits. Al seu torn, els costos mitjans s'utilitzen com una aproximació a l'indicador més idoni, els costos marginals. Els costos mitjans presenten una tendència creixent -bé que enmig d'oscil·lacions considerables- que es tradueix en un increment anual mig del 5,7%. Deixant de banda la representativitat de la mostra -que no permet extreure conclusions generals- el resultat és significatiu perquè evidencia la discrepància amb altres indicadors econòmics aplicats als mateixos recursos. Així, en el període de referència els preus reals es van mantenir pràcticament estabilitzats, mentre que els costos d'extracció es reduïren de manera continuada. Devarajan i Fisher conclouen que durant un període pel que les altres variables indiquen una disminució de l'escassetat d'aquests recursos, en realitat succeeix el contrari.

Un dels darrers treballs aplicats per avaluar la disponibilitat dels recursos no renovables per l'aproximació de la renda correspon a Halvorsen i Smith (1984), que utilitzen la teoria de la dualitat per resoldre el problema de l'estimació d'aquest indicador en les indústries verticalment integrades, situació freqüent en l'àmbit dels recursos no renovables i que, com ja hem assenyalat, és un dels principals obstacles per disposar de dades sobre la renda. Un cop resolt el problema de procediment, Halvorsen i Smith duen a terme l'anàlisi per a la indústria metallminera del Canadà pels anys 1956-1974. Els resultats que obtenen mostren que la renda (entesa en la seva totalitat, és a dir, com a preu ombra del recurs no extret) disminueix substancialment durant el període considerat. Tanmateix, a diferència dels treballs previs de Cairns i Slade, en aquest cas no s'avalua el comportament individual dels diferents components de la renda, pel que resta l'interrogant de la part que correspon a l'escassetat pura del recurs (efecte exhauribilitat) i aquella altra que es deu a l'efecte de l'extracció acumulada. Halvorsen i Smith també analitzen l'evolució dels preus reals dels materials transformats pel mateix període -que és la variable que normalment s'utilitza degut a la carència de dades més idònies- i els resultats obtinguts indiquen un lleuger increment. Això revela novament les discrepàncies entre diferents indicadors en la mesura de l'escassetat així com la importància de prendre com a referència per a la seva avaluació la primera fase del procés de transformació.

Bibliografia Capítol 4.

- Allais, M. (1957). "Method of appraising economics prospects of mining exploration over large territories", Management Science, vol 3, N° 4, pp. 285-347.
- Barnett, H.J. i Morse, C. (1963). Scarcity and Growth, Resources for the Future, Johns Hopkins University Press.
- Barnett, H.J. (1979). "Scarcity and growth revisited", en V.K. Smith (Ed), Scarcity and Growth Reconsidered, Resources for the Future, The Johns Hopkins University Press, pp. 163-217.
- Boserup, M. (1980). "Are there really depletable resources ?", en C. Bliss i M. Boserup, Economic Growth and Resources, vol 3, McMillan, pp. 49-63.
- Brobst, D.A. i Pratt, W. (1973), United States Mineral Resources, U.S. Geological Survey Professional Paper 820.
- Brobst, D.A. (1979). "Fundamental concepts for the analysis of resource availability", en V.K. Smith (Ed), Scarcity and Growth Reconsidered, Resources for the Future, The Johns Hopkins University Press, pp. 106-142.
- Brown, G.M. i Field, B.C. (1976). "The adequacy of measures for signalling the scarcity of natural resources", Forum on the Economics of Natural Resource Scarcity, Resources for the Future.
- Brown, G.M. i Field, B.C. (1978). "Implications of alternative measures of natural resource scarcity", Journal of Political Economy, vol 86, N° 2, pp. 228-243.
- Brown, G.M. i Field B.C. (1979). "The adequacy of measures for signaling the scarcity of natural resources", en V.K. Smith (Ed), Scarcity and Growth Reconsidered, Resources for the Future, The Johns Hopkins University Press.
- Cairns, R.D. (1981). "An application of depletion theory to a base metal: canadian nickel", Canadian Journal of Economics, vol 14. N° 4, pp. 635-647.
- Cleveland, C.J. (1992). "Natural resource scarcity and economic growth revisited: economic and biophysical perspectives", en R.Constanza (Ed), Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability, Columbia University Press, pp. 289- 317.
- Devarajan, S. i Fisher, A.C. (1982a). "Mesures of natural resource scarcity under uncertainty", en Pindyck, R.S. (Ed), Explorations in Natural Resource Economics, JAI Press.
- Devarajan, S. i Fisher, A.C. (1982b). "Exploration and scarcity", Journal of Political Economy, vol 91, N° 61, pp. 1279-1290.
- Fisher, A. C. (1977). On Measures of Natural Resource Scarcity, Research Report, Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.

- Fisher, A.C. (1979). "Mesures of natural resource scarcity", en V.K. Smith (Ed), Scarcity and Growth Reconsidered, Resources for the Future, The Johns Hopkins University Press, pp. 249-275.
- Fisher, A.C. (1981). Resources and Environmental Economics, Cambridge University Press.
- Gilbert, R.J. (1979). "Optimal depletion of an uncertain stock", Review of Economics Studies, vol 46, pp. 47-57.
- Halvorsen, R. i Smith, T.R. (1984). "Measuring natural resource scarcity", Journal of Political Economy, vol 92, N° 5, pp. 954-964.
- Hall, D.C. i Hall, J.V. (1984). "Concepts and measures of natural resource scarcity with a summary of recent trends", Journal of Environmental Economics and Management, vol 11, pp. 363-379.
- Hartwick, J.M. i Olewiler, N.D. (1986). The Economics of Natural Resource Use, Harper Collins.
- Heal, G.M. (1981). "Scarcity, efficiency and disequilibrium in resource markets", Scandinavian Journal of Economics, vol 82, N° 2, pp. 334-351.
- Herfindahl, O.C. (1959). Cooper Costs and Prices: 1870-1957, Johns Hopkins University Press.
- Howe, C.W. (1979). Natural Resource Economics: Issues, Analysis and Policy, John Wiley and Sons.
- Johnson, M.H. et al (1980). "Natural resource scarcity: empirical evidence and public policy", Journal of Environmental Economics and Management, vol 7, pp. 256-271.
- Kay, J.A. i Mirrlees, J.A. (1975). "The desirability of natural resource depletion", en D.W. Pearce i J.Rose (Eds), The Economics of Natural Resource Depletion, McMillan, pp. 140-176.
- Leontief, W. et al (1977). The Future of the World Economy, Oxford University Press. Existeix una ersió en castellà: El Futuro de la Economía Mundial, Siglo Veintiuno de España Editores.
- McKelvey, V.E. (1972). "Mineral resource estimates and public policy", American Scientist, vol 60, N° 1, pp. 32-40.
- Mueller, M.J. i Gorin, D.R. (1985). "Informative trends in natural resource commodity prices: a comment on Slade", Journal of Environmental Economics and Management, vol 12, pp. 89-95.
- Nordhaus, W.D. (1974). "Resources as a constraint on growth", The American Economic Review, vol 64, maig, pp. 22-26.

- Nordhaus, W.D. (1992). "Lethal model 2: the limits to growth revisited", Brookings Papers on Economic Activity, vol 2, pp. 1-59.
- Norgaard, R.B. (1975). "Resource scarcity and the new technology in U.S. petroleum development", Natural Resources Journal, vol 15, pp. 265-295.
- Norgaard, R.B. (1990). "Economic indicators of resource scarcity: a critical essay", Journal of Environmental Economics and Management, vol 19, pp. 19-25.
- Page, N.J. i Creasey, S.C. (1975). "Ore grade, metal production and energy", U.S. Geological Survey Journal of Research, vol 3, N° 1, pp. 9-13.
- Potter, N. i Christy, F.T. (1962). Trends in Natural Resource Commodities: Statistics of Prices, Output, Consumption, Foreign Trade and Employment in the United States 1870-1957, Johns Hopkins University Press.
- Skinner, B.J. (1976). "A second iron age ahead ?", American Scientist, vol 64, pp. 258-269.
- Slade, M.E. (1982a). "Trends in natural-resource commodity prices: an analysis of the time domain", Journal of Environmental Economics and Management, vol 9, pp. 122-137.
- Slade, M.E. (1982b). "Empirical tests of economic rent in the U.S. copper industry" en J.R. Moroney (Ed), Advances in the Economics of Energy and Resources, JAI Press Inc, vol 4, pp. 223-239.
- Slade, M.E. (1985). "Non informative trends in natural resource commodity prices: U-shaped price paths exonerated", Journal of Environmental Economics and Management, vol 12, pp. 181-192.
- Smith, V.K. (1978). "Measuring natural resource scarcity: theory and practice", Journal of Environmental Economics and Management, vol 5, pp. 150-171.
- Smith, V.K. (1979). "Natural resource scarcity: a statistical analysis", Review of Economics and Statistics, vol 61, N° 3, pp. 423-427.
- Smith, V.K. (1980). "The evaluation of non natural resources adequacy: elusive quest or frontier of economic analysis ?", Land Economics, vol 56, N° 3, pp. 257-298.
- Smith, V.K. i Krutilla, J. (1976). "The Economics of Natural Resource Scarcity", Forum on the Economics of Natural Resource Scarcity, Resources for the Future.
- 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.
- Tietenberg, T. (1992). Environmental and Natural Resource Economics, Harper Collins.
- Vickrey, W. (1967). "Economic criteria for optimum rates of depletion", en M. Gaffney (Ed), Extractive Resources and Taxation, University of Wisconsin Press.

Capítol 5.

**CONSEQÜÈNCIES DE L'ESCASSEDAT FÍSICA DELS RECURSOS NO
RENOVABLES PER A L'ACTIVITAT ECONÒMICA. EVIDÈNCIA EMPIRICA.**

5. CONSEQÜÈNCIES DE L'ESCASSEDAT FÍSICA DELS RECURSOS NO RENOVABLES PER A L'ACTIVITAT ECONÒMICA. EVIDÈNCIA EMPIRICA.

5.1. La funció dels recursos no renovables en l'activitat econòmica.

En el capítol anterior ens hem referit a l'escassetat física dels recursos no renovables i la manera d'identificar-la a partir de diferents indicadors econòmics. Aquest és un aspecte important si, com s'ha suggerit de vegades, els recursos naturals tenen alguna consideració de béns públics i per ells es postula una gestió que tingui en compte algun tipus d'equitat intergeneracional. En aquest cas, la detecció de l'escassetat dels recursos és una condició prèvia per a la implementació d'una estratègia que afavoreixi la seva conservació, més enllà del simple criteri de la gestió eficient i de les possibles implicacions de la seva escassetat sobre el creixement econòmic. En aquest sentit, els indicadors econòmics acompleixen una funció informativa essencial.

Tanmateix, el que ara ens interessa afrontar és una qüestió diferent (de l'equitat intergeneracional). Es tracta de determinar en quines situacions l'escassetat física dels recursos no renovables té conseqüències per a l'activitat econòmica, i més específicament, quan aquestes conseqüències tenen un caràcter irreversible. És a dir, quan l'escassetat física dels recursos constitueix, per ella mateixa, un problema econòmic. Per discutir aquesta qüestió els indicadors econòmics sobre l'escassetat també acompleixen una funció preventiva, ja que la restricció en la disponibilitat de recursos és un prerequisit per que l'escassetat física tingui implicacions econòmiques, però com ja hem assenyalat en el capítol previ, dista molt de ser una circumstància definitiva.

Això suggereix que per determinar en quines situacions l'escassetat física té conseqüències econòmiques de llarg abast l'anàlisi ha d'adoptar una perspectiva més àmplia i transcendir l'àmbit dels recursos naturals "en singular". Cal passar de l'enfocament parcial a un enfocament que consideri també les relacions que existeixen entre els diversos recursos no renovables, entre els recursos no renovables i la resta de recursos naturals, entre

els recursos no renovables i els altres factors productius i també entre el conjunt de béns que aquests recursos permeten obtenir. En definitiva, l'anàlisi ha de considerar la funció que acompleixen els recursos no renovables en l'activitat econòmica (71).

El punt de partida del nou plantejament és que els recursos no renovables són uns inputs bàsics en els processos productius, en la mesura en que contribueixen directament a l'obtenció de béns i serveis (72). Un aspecte fonamental és que la demanda de recursos no renovables és una demanda derivada dels béns i serveis que contribueixen a produir. Per això, per avaluar les implicacions econòmiques de l'escassetat física dels recursos naturals previament cal considerar dos aspectes. El primer fa referència a les característiques dels béns i serveis (intermitjos o finals) que els recursos no renovables permeten obtenir (tipus de béns i serveis, modificació al llarg del temps, etc). Cal identificar, a la vegada, quin funció duen a terme aquests béns i serveis en l'activitat econòmica i detectar possibles canvis en la seva evolució (73). La segona consideració afecta a la forma com s'obtenen aquells béns i serveis (intermitjos o finals), la qual cosa comporta identificar les combinacions - presents i previsibles - per dur a terme els processos de producció. Les possibles respostes a aquestes dues qüestions acotarien l'àmbit en el que l'escassetat física d'un recurs natural té conseqüències per a l'activitat econòmica.

(71) La distinció analítica entre els recursos naturals i les seves funcions correspon a Scott (1962). En una de les primeres aportacions sobre aquesta qüestió, Scott adueix que no es demanden recursos concrets sino propietats desertes que satisfan determinades necessitats. I aquestes propietats es poden obtenir de diverses maneres en funció de la tecnologia disponible en cada moment. Els recursos naturals són, simplement, uns instruments per assolir uns objectius econòmics.

(72) Com ja hem comentat, un altra possibilitat seria aquella en la que el recurs natural satisfés directament necessitats essencials "in situ", sense incorporar-se als processos de producció. Aquesta funció és important per alguns recursos renovables (cas de la terra i dels boscos, per exemple, que també acompleixen funcions ecològiques), però molt secundària pels recursos no renovables, que proporcionen uns fluxes de serveis vinculats a l'activitat directament productiva.

(73) Aquesta és una qüestió bastant complexa que requeriria d'una anàlisi individualitzada a nivell aplicat per tipus de recurs (o grups de recursos) i per països (o grups de països) per obtenir algunes conclusions significatives, pel que en aquest treball simplement ens limitem a fer-hi esment per mostrar la seva importància.

Per que l'escassetat física tingui conseqüències per a l'activitat econòmica cal que s'acompleixin dues condicions de manera simultània. En primer lloc, que els béns i serveis que s'obtenen a partir dels recursos no renovables presentin una demanda fortament inelàstica a curt termini -és a dir, que tinguin la consideració de béns i serveis essencials pels consumidors-, sense que existeixin possibilitats de substituir-los, i que la seva demanda no canviï al llarg del temps. Sembla, però, que aquesta és una situació excepcional ja que la demanda de molts recursos naturals varia així que ho fa la composició de l'output final de l'economia, i aquesta composició depèn d'una diversitat de circumstàncies, entre les que destaca el nivell de desenvolupament d'un país (74). En segon lloc, que aquests béns i serveis s'obtinguin a partir de combinacions fixes de factors productius, sense que existeixi la possibilitat de modificar-les quan alguns d'aquests factors esdevenen més escassos. En el cas dels recursos no renovables això significa que aquests recursos han de ser essencials -en el sentit estricte- en l'activitat econòmica, sense que es puguin substituir per altres inputs per dur a terme la mateixa funció.

Les implicacions de les restriccions imposades per la primera condició estan subordinades a que s'acompleixi la segona. Així, si els mateixos béns i serveis es poden obtenir amb diferents combinacions de recursos naturals (renovables i no renovables) o de recursos no renovables i altres inputs productius, àdhuc en el cas extrem que la demanda derivada de béns i serveis fos totalment inelàstica, l'economia podria satisfer sense problemes les seves necessitats. Aleshores, per procedir d'una manera seqüencial en el desenvolupament del plantejament que hem presentat, en aquest capítol farem referència essencialment a la segona qüestió, i ens centrarem en les possibilitats de substitució entre els diferents factors productius i en la identificació d'alguna mesura per avaluar el marge de maniobra d'una economia a l'hora de implementar aquesta substitució. Tanmateix, canvis en la dotació i en

(74) La demanda de minerals no energètics, per exemple, és més elevada en termes relatius en les etapes inicials del procés de desenvolupament, quan una economia constitueix el seu estoc de capital agregat (grans infraestructures,...). Després una part important de la demanda total correspon a la reposició, que és proporcionalment bastant inferior.

els preus dels factors també afecten la demanda final (és a dir, la composició de l'output), i això, al seu torn, incideix en la demanda dels inputs. Per això, malgrat la separació que hem introduït per raons de tipus pràctic, per aquesta via tornen a interrelacionar-se l'activitat econòmica general amb la dinàmica de substitució dels recursos no renovables.

L'exposició prèvia suggereix que en el nou context la significabilitat econòmica de l'escassetat depèn essencialment de les possibilitats de substitució dels recursos. Si aquestes possibilitats existeixen, l'eventual exhauriment d'un recurs (irreversibilitat física) és simplement un esdeveniment, però no tindria conseqüències per a l'activitat econòmica.

5.2. Indicadors de les possibilitats de substitució entre inputs.

En l'anàlisi econòmica convencional les possibilitats de substitució entre els inputs o factors productius venen donades per les isoquantes. En aquest plantejament inicial, i a fi de simplificar, reduïm els inputs a dues grans categories: els recursos naturals i els factors produïts. Diferents pendents -o graus de convexitat- de les isoquantes reflecteixen les opcions existents en la substitució dels inputs. Quan menor és el grau de convexitat d'una isoquanta més elevades són les possibilitats de substitució, és a dir, menor és la renúncia en la que incorre un factor en relació al que el substitueix per mantenir inalterada la producció. La situació extrema és aquella en que la isoquanta és una línia recta, el que indica que en el tram en que la substitució és possible aquesta té lloc a una taxa constant. En general, quanta menys corbatura presenti l'isoquanta més facilitat de substitució existeix entre ambdós inputs en aquell domini en que la substitució és factible. D'altra banda, si el recurs natural és un input essencial (sempre se n'ha d'utilitzar una part), la isoquanta mai tallarà l'eix que representa els factors produïts. Un cas extrem -que s'ha d'entendre únicament com una possibilitat teòrica- és aquell en que cap dels factors productius és essencial. Això significaria, per exemple, que la producció es podria dur a terme sense recursos naturals, amb una utilització suficientment elevada de factors produïts (capital i treball). Una isoquanta que tallés en algun punt ambdós eixos reflectiria aquesta possibilitat (75).

En una economia que utilitza diversos factors de producció, l'elasticitat de substitució, σ , és un dels indicadors que millor capta les possibilitats de substitució entre ells, ja que determina de quina manera canvia (en termes percentuals) la relació entre els factors com a resposta a una variació (percentual) en els seus preus relatius. Quan es consideren més de dos factors, les possibilitats de substitució es reflecteixen en les elasticitats parcials de substitució, que indiquen el grau amb que es poden substituir dos factors mantenint constant el valor dels altres factors (76). En principi, caldria esperar que els valors de les elasticitats parcials de substitució es modifiquin quan també ho fan els preus dels factors productius. En aquest sentit, si bé l'elasticitat de substitució no constitueix una mesura de l'escassetat dels inputs per ella mateixa, si permet detectar la capacitat d'una economia per adaptar-se a eventuais restriccions en la seva disponibilitat, que és el que ara ens interessa.

Els valors de l'elasticitat de substitució, se situen en l'interval $(-\infty, \infty)$. Així, si un canvi en els preus relatius dels inputs no té incidència sobre la seva utilització, $\sigma = 0$, el que indicaria que els inputs (en aquest cas recursos naturals i factors produïts) s'utilitzen en proporcions fixes (77). D'altra banda, si una variació en els preus relatius comporta no utilitzar més l'input que ha augmentat de preu, $\sigma = \infty$, i hi hauria una substituïbilitat perfecta entre els recursos

(75) La idea de dur a terme l'activitat productiva sense l'ús de recursos naturals ha estat criticada de manera repetida -i en ocasions, contundent- pels economistes que posen l'èmfasi en les bases físiques que regulen els processos de producció. Com ja hem exposat en el primer capítol, Georgescu-Roegen i Daly han abandonat aquesta polèmica. Per això convé recordar que des de l'òptica de l'anàlisi neoclàssica aquesta circumstància només representa una possibilitat teòrica -una més- dins de les diferents combinacions hipotètiques entre els inputs productius. L'anàlisi empírica serà l'encarregada d'establir allò que és realment factible.

(76) Algebraicament, l'elasticitat de substitució s'expressa de la següent manera:

$$\sigma = \frac{d\left(\frac{FP}{RN}\right) \frac{P_{FP}}{P_{RN}}}{d\left(\frac{P_{FP}}{P_{RN}}\right) \frac{FP}{RN}}$$

on P són els preus i FP i RN representen factors produïts i recursos naturals, respectivament.

(77) En aquest cas les isoquantes serien línies rectes que formen un angle de 90°.

naturals i els factors produïts (78). En general, quan els inputs presenten substituïbilitat entre ells, $\sigma > 0$ (79). Finalment, si una variació en els preus relatius dels inputs provoca un canvi de sentit contrari en el seu ús, la relació és de complementarietat i això ho reflectirà un valor negatiu de l'elasticitat de substitució. Convé remarcar, però que, més enllà de l'estricta relació de complementarietat o substituïbilitat entre els inputs, intervals i valors concrets de σ indiquen la magnitud dels ajustaments necessaris en una economia per afrontar possibles situacions d'escassetat. És clar que aquests ajustaments seran més fàcils quan $\sigma > 1$ que quan la substitució entre inputs és quelcom problemàtica ($\sigma < 1$).

En la pràctica, la mesura de l'elasticitat de substitució està subjecte a les mateixes dificultats i condicionants que apareixen quan s'utilitzen indicadors econòmics individuals per avaluar l'escassetat. Un aspecte important per la incidència que té en el valor de σ és la fase del procés de transformació dels recursos en que tenen lloc els càlculs. D'igual manera, el nivell d'agregació emprat en l'anàlisi també afecta els resultats. Addicionalment, l'heterogeneïtat de les circumstàncies en que es determina σ de vegades també impideix establir comparances sobre les possibilitats de substitució dels recursos naturals en diferents situacions. Al referir-nos als treballs empírics tornarem a considerar aquests aspectes, doncs incideixen directament en les conclusions que s'obtenen.

A nivell teòric la importància de l'elasticitat de substitució s'evidencia en els models neoclàssics de creixement que incorporen els recursos no renovables com a inputs productius. Com ja hem assenyalat en el segon capítol, en aquests models es determinen les condicions en que és possible mantenir el consum per càpita al llarg del temps amb una població constant. Dasgupta i Heal ho fan a partir d'una funció de producció CES i Stiglitz amb una funció del tipus Cobb-Douglas. En tots els casos es palesa que l'element clau és el valor de l'elasticitat de substitució entre els recursos naturals (RN) i el capital (K) en el límit, així que la quantitat de recurs natural disminueix. Si l'elasticitat de substitució és constant, un creixement sostingut és possible si $\sigma_{K,RN} > 1$, o alternativament, si $\sigma_{K,RN} = 1$ i

(78) És la situació a la que ens hem referit abans de la isoquanta que talla ambdós eixos: cap dels factors productius seria essencial.

l'elasticitat de l'output respecte el capital (és a dir, la participació del capital en el producte brut) és superior a l'elasticitat de l'output respecte els recursos no renovables (que indica la participació d'aquests recursos en el producte brut). Si l'elasticitat de substitució no és constant, el que interessa és determinar el seu comportament en termes asimptòtics, quan la quantitat utilitzada del recurs no renovable tendeix a zero. En aquesta situació caldria esperar que el preu del recurs augmentés en relació al preu del capital, pel que hi haurà un incentiu per substituir recursos per capital. Si com a conseqüència d'això té lloc un canvi tecnològic augmentador dels recursos no renovables que permet la seva substitució per capital a una velocitat superior a la que s'incrementa el preu d'aquests recursos, la creixent escassetat física dels recursos tampoc no tindria conseqüències econòmiques i el consum per càpita es podria mantenir al llarg del temps. Això s'acompleix àdhuc si els recursos no renovables són imprescindibles per l'activitat econòmica, de manera que sense aquests recursos el nivell de producció seria nul (80).

L'elasticitat de substitució fa referència a la relació entre factors en l'àmbit directament productiu, però en el cas dels recursos no renovables la substitució per altres inputs també pot tenir lloc de manera indirecta, impulsada per canvis en la demanda dels béns que aquests recursos contribueixen a fabricar. Com abans hem exposat, per que l'escassetat física d'un recurs no renovable tingui conseqüències importants per a l'activitat econòmica, a més d'una $\sigma_{RN,K}$ baixa, la demanda directa del recurs també ha de ser bastant inelàstica. Això

(79) Gràficament la isoquanta seria convexa respecte els eixos. I quan més gran sigui el valor de σ , menor serà la convexitat.

(80) En aquests models les possibilitats de substitució entre factors també es poden determinar a partir de les seves participacions relatives en l'output. Amb el supòsit addicional d'una situació competitiva, que iguala els preus dels factors al seu valor del producte marginal, hom esperaria que a mesura que el preu d'un factor augmentés en relació a l'altre, davant de dificultats -o simplement, la impossibilitat- de procedir a la seva substitució, la participació en l'output del factor que ha augmentat el preu també s'incrementés. És un altra manera d'indicar que l'elasticitat de substitució entre aquests dos factors és inferior a la unitat.

indicaria que a mesura que els recursos no renovables esdevenen escassos tampoc hi ha marge per a la substitució de les mercaderies molt intensives en aquests recursos per d'altres de menys intensives en el seu ús, ja sigui perquè es tracta de productes de primera necessitat, o simplement, per la impossibilitat d'adaptar les preferències dels consumidors a les noves circumstàncies (81).

Per determinar l'impacte d'aquestes dues possibilitats (o dos efectes) l'anàlisi teòrica s'ha de situar en el marc de l'equilibri general. Les primeres incursions en aquesta línia corresponen a Chichilnisky i Heal (1983) i Solow (1987). D'acord amb el seu plantejament un augment en el preu d'un recurs no renovable repercuteix en el conjunt de l'activitat econòmica per una doble via. D'una banda, a nivell microeconòmic, mitjançant la substitució del recurs per altres inputs (essencialment capital i treball) per part de l'empresa. L'abast d'aquesta substitució depèn de les possibilitats tècniques que permet el procés productiu. D'altra part, els efectes de l'augment del preu també es manifesten en l'àmbit macroeconòmic per la modificació de la demanda final. Si el preu dels recursos no renovables s'incrementa també ho farà el preu de les mercaderies intensives en aquests recursos en relació a la resta de béns finals, i per tant, desencadena un procés de substitucions en els béns finals que pot modificar ulteriorment la demanda d'aquell recurs. Ambdós efectes poden operar conjuntament en la mateixa direcció, amb el resultat d'una reducció de la demanda dels recursos no renovables per part de les empreses. Però l'aspecte rellevant és que aquests dos efectes no necessàriament s'han de manifestar de manera interrelacionada. Al tractar-se de fenòmens diferents -tot i tenir una causa comuna- poden actuar de manera independent: és factible que tingui lloc una substitució dels recursos naturals a nivell macro -via modificacions en la demanda final- encara que no s'alteri l'ús relatiu dels factors en l'àmbit microeconòmic (82). Això suggereix que les possibilitats de substitució en

(81) En sentit, invers, si l'elasticitat directa de la demanda dels béns i serveis és alta (per exemple, perquè es poden substituir productes finals intensius en recursos naturals per d'altres menys intensius en aquests inputs), l'escassetat física de recursos no renovables tampoc no estarà associada a problemes econòmics greus.