

ANÀLISI ECONÒMICA I RECURSOS NO RENOVABLES

Joaquim Solà i Solà

ISBN 978-84-293-1000-0
Dip. Econ. i Org. Ind. i Comerç
101-2011-0000

tre recursos no renovables i factors produïts no estan únicament determinades per la tecnologia, que és la possibilitat que contempla l'aproximació microeconòmica, sino que també són importants les preferències dels consumidors. En conseqüència, l'elasticitat de substitució varia a mesura que ho fa l'equilibri de l'economia pel mecanisme de la demanda en resposta a variacions en el preu dels inputs. Per aquest motiu l'elasticitat de substitució ha de considerar-se endògena i no el simple resultat de les opcions tècniques en la combinació dels factors en un moment determinat.

El que hem exposat fins ara sobre els efectes de l'escassetat dels recursos no renovables per l'activitat econòmica condueix a una conclusió important, i és que l'anàlisi s'ha de traslladar a l'àmbit empíric, ja que la pedra de toc és el valor que adopti l'elasticitat de substitució entre aquests recursos i els factors produïts, sobretot el capital. Per limitacions òbvies sobre la disponibilitat de les dades, no s'han dut a terme estimacions de l'elasticitat de substitució al nivell d'agregació dels models macroeconòmics a que ens acabem de referir, però si han tingut lloc diferents temptatives a uns nivells més limitats d'agregació que poden constituir una aproximació acceptable al que succeeix a nivell general. Tanmateix, determinar de quina manera operen els mecanismes de substitució en la realitat, fins i tot en un entorn bastant desagregat, no és senzill, ja que les anàlisi empíriques han d'afrontar considerables dificultats. D'una banda, pel que fa al seu àmbit d'aplicabilitat -temporal, espacial i sectorial. I d'altra part, per que qualsevol contrastació requereix previament l'especificació d'un model i aquí tornen a manifestar-se la diversitat d'alternatives existents. En concret, l'ús de diferents funcions de producció condiona els resultats que s'obtenen, pel que aquest és un altre aspecte rellevant de l'anàlisi. Per la seva importància i per les modificacions que ha experimentat és pertinent referir-s'hi amb un cert detall.

(82) Aquesta situació podria tenir lloc, per exemple, si els factors només es poden utilitzar en proporcions fixes (almenys a curt termini) i la demanda dels béns finals intensius en recursos naturals és molt elàstica.

5.3. Tipus i característiques de les funcions de producció. Conseqüències per a l'anàlisi de la substitució entre inputs.

Les funcions de producció indiquen les possibilitats existents en la combinació dels factors per obtenir una determinada quantitat d'output. A nivell teòric aquestes possibilitats van des de l'estricta complementarietat entre els inputs fins a la substituïbilitat perfecta, però en la pràctica un aspecte que acota els límits de la substitució és l'horitzó temporal que es considera. Així, hom pot raonablement acceptar que el marge de maniobra -en termes de substituïbilitat- a mig i llarg termini és més elevat que en un període curt de temps. En funció dels tipus de substituïbilitat que presuposen, les funcions de producció es poden classificar en tres grans grups.

En primer lloc, les funcions que admeten una substituïbilitat "ex-ante" (és a dir, abans de dur a terme la inversió) i "ex-post" (un cop la inversió s'ha materialitzat) entre els diversos factors de producció ⁽⁸³⁾. El prototipus correspon a la funció Cobb-Douglas (que es desenvolupa en els anys 20) i que presuposa una substituïbilitat perfecta entre factors, pel que la combinació d'aquests té lloc, en cada moment, en funció dels preus relatius. També la funció CES pertany a aquest grup.

Tanmateix, per diferents motius, els supòsits implícits en aquestes funcions no encaixen prou bé amb la realitat. Per exemple, admeten una perfecta divisibilitat dels factors, quan de fet les indivisibilitats condicionen l'ús d'alguns inputs, situació que afecta especialment al capital. D'altra banda, tampoc consideren les rigideses tecnològiques, que en la pràctica restringeixen les possibilitats de substitució. L'aspecte més important, però, és que postulen reversibilitat en les decisions assignatives, car se suposa que l'adaptació a les noves circumstàncies es pot dur a terme de manera instantània i sense incórrer en cap cost, men-

⁽⁸³⁾ En la terminologia anglosaxona són les anomenades funcions de producció "putty-putty"

tre l'experiència mostra que predominen les situacions d'irreversibilitat (canvis en els preus relatius en sentit contrari al que van modificar la situació inicial poques vegades comporten una decisió inversa a la que es va adoptar en un primer moment). En aquest sentit també cal tenir present el temps que transcorre per fer efectiva la substitució d'alguns inputs, com és el cas dels recursos no renovables, tant en forma d'energia com de materials. Degut precisament als costos de la reversibilitat, les empreses intentaran assegurar-se que la nova situació és estable abans de modificar la combinació dels factors, pel que la substitució només té lloc si el preu dels factors experimenta un augment considerable i després que hagi transcorregut un període de temps suficientment llarg per que el nou nivell de preus es consideri permanent.

En la pràctica les substitucions entre inputs (sobretot pel que fa als recursos no renovables) són consubstancials a la renovació dels equipaments, ja que els diferents factors productius no operen de manera independent: el seu ús es troba fortament mediatitzat per les característiques del capital existent (Rosenberg, 1994) (84). Sovint la substitució dels inputs exigeix modificar el tipus d'equipament utilitzat, i tampoc no és estrany que aquesta modificació requereixi d'alguna innovació, el que encara pot dilatar més la substitució. Al seu torn, en la renovació dels equipaments influeixen una diversitat d'elements, entre els que s'hi compten l'amortització de les instal·lacions (85), les circumstàncies específiques en que operen les empreses (per exemple, la necessitat d'ampliar la capacitat de la planta) així com factors externs (condicions de finançament, etc). Per això és difícil establir amb precisió si la renovació ha estat induïda (total o parcialment) per modificacions en els preus relatius dels inputs o, simplement, respon a d'altres causes. En qualsevol cas, el que no es pot obviar és que la relació entre la demanda d'inputs (i en particular, recursos no renova-

(84) En aquest sentit, serien com peces d'un trencaclosques o un mecano. L'entitat de cada peça li ve donada perquè forma part d'un conjunt complet.

(85) En aquest cas la seva renovació tindria lloc en el mig-llarg termini, un cop esgotada la vida útil dels equipaments.

bles) i el seu preu està fortament mediatitzada per les característiques dels equipaments amb els que funcionalment interactuen aquells inputs. Aleshores, la relació esdevé complexa i les funcions del tipus "putty-putty", per les hipòtesis que incorporen, no semblen les més aptes per capturar aquesta relació.

En segon lloc, situant-nos en l'altre extrem, tenim les funcions que postulen una complementarietat total entre els diferents factors, i per tant, rebutjen les substitucions "ex-ante" i "ex-post" (85). El prototipus és la funció de coeficients fixes, introduïda per Harrod i popularitzada per Leontief en la dècada dels 40. En una economia amb quatre factors productius, capital (K), treball (L), energia (E) i materials (M), són funcions del tipus

$$Y = \frac{K}{v} = \frac{L}{u} = \frac{E}{w} = \frac{M}{m}$$

on v , u , w , m són constants que representen la intensitat de la utilització de cada input. La formulació prèvia indica l'existència d'una rigidesa total en les combinacions dels factors, pel que es tracta d'unes funcions que només consideren relacions pròpies del curt termini, període en el que hom pot raonablement acceptar que aquests coeficients són estables. Per la seva construcció, en aquest tipus de funcions canvis en els preus relatius dels factors no modifiquen -no poden fer-ho- les seves combinacions, pel que l'elasticitat de substitució és nul·la. Però en realitat l'evolució del progrés tècnic augmenta el nombre de combinacions possibles entre factors al llarg del temps i això es tradueix precisament en una modificació dels coeficients tècnics.

Per relaxar la restricció imposada per l'estabilitat dels coeficients tècnics s'han desenvolupat les funcions de generacions de capital, en les que les proporcions fixes entre factors només es mantenen pels equips d'una generació, però poden variar entre generacions. La

(85) Funcions del tipus "clay-clay"

combinació entre factors es pot modificar en funció dels preus relatius així que els equipaments es renoven, de manera que els equipaments més recents estaran millor adaptats als preus relatius dels inputs. Un clar avantatge d'aquestes funcions en relació a les anteriors és que introdueixen de manera explícita l'estructura diversa del capital al considerar que aquest és un factor productiu heterogeni en qualsevol moment del temps. En sentit invers, al excloure la possibilitat de substitucions "ex-ante" a nivell de cada generació de capital, no permeten marge de maniobra a curt termini.

Finalment, cal considerar les funcions que admeten una substitució "ex-ante" entre factors però rebutgen o limiten les substitucions "ex-post", i que comencen a desenvolupar-se als anys 60 amb les aportacions de Salter (86). Aquí el marge de maniobra té lloc a l'inici de l'activitat i l'elecció de la tècnica depèn dels preus relatius dels factors i de les expectatives sobre la seva evolució. Però un cop presa la decisió no hi han possibilitats de substitució fins que s'introdueixi la nova generació d'equipaments. Prediccions o estimacions errònies dels preus relatius dels factors comporta suportar costos futurs elevats, ja que l'empresa opera en una situació d'ineficiència que no es pot modificar durant el període de vida útil de l'equipament.

Posteriorment Fuss va presentar una versió modificada d'aquest plantejament, en la que es permet una certa flexibilitat per variar la combinació de factors "ex-post", bé que el marge de maniobra és menor que en la situació "ex-ante" (87). En aquest cas les empreses decideixen abans de comprometre la inversió el grau de flexibilitat que desitgen -dins dels límits que permet la tecnologia disponible- en funció de la variació esperada dels preus relatius dels factors durant el període de vida útil dels equipaments. La situació que acabem d'exposar correspondria a funcions del tipus Cobb-Douglas o CES "ex-ante" que passarien a ser de coeficients fixes o amb algun grau de flexibilitat "ex-post".

(86) Funcions del tipus "putty-clay".

(87) Són les funcions del tipus "putty-semi putty".

Per superar les principals restriccions consubstancials als casos extrems (substituïbilitat perfecta en el cas de les funcions Cobb-Douglas i complementarietat rígida per les funcions de coeficients fixes) sembla que les funcions dels dos darrers tipus ("putty-clay" i "putty-semi putty") constitueixen una alternativa adequada. Tanmateix, encara persisteixen alguns factors limitatius. En les funcions del tipus Cobb-Douglas o CES compatibles amb funcions de generacions de capital una limitació important és que l'elasticitat de substitució es manté constant. La major restricció la imposen les funcions del tipus Cobb-Douglas, en les que l'elasticitat de substitució és igual a la unitat per qualsevol combinació de factors. Això significa que la substituïbilitat entre dos inputs productius sempre és directament proporcional a les variacions en els seus preus relatius, i per tant, la part dels costos dels factors en el total es manté constant, situació que difícilment encaixa amb la realitat.

Les funcions del tipus CES, per la seva part, incorporen un major grau de flexibilitat pel que fa a la substituïbilitat entre factors: l'elasticitat de substitució es manté constant però pot assolir qualsevol valor. Aquest plantejament permet corregir algunes de les limitacions de les funcions del tipus Cobb-Douglas i reflectir de manera més acurada els moviments en les combinacions dels factors productius. Així, en una funció del tipus CES les participacions dels factors en l'output estan mediatitzades pels canvis en els seus preus i pel comportament de l'elasticitat de substitució. En concret, es pot mostrar que si l'elasticitat de substitució és inferior a la unitat, quan augmenta el preu d'un input també ho fa la seva participació en els costos totals, degut a la dificultat per substituïr-lo. En canvi, si l'elasticitat de substitució és superior a la unitat, l'increment del preu es traduirà en una disminució de la seva participació, ja que l'input és fàcilment substituïble. I quan l'elasticitat de substitució és igual a la unitat, la situació seria la mateixa que en el cas d'una funció Cobb-Douglas.

En l'anàlisi de les substitucions entre inputs, i en particular, en relació als recursos no renovables, els desenvolupaments en la teoria de la producció i dels costos que tenen lloc en els anys 60 varen permetre superar algunes de les limitacions conceptuals i pràctiques que acabem de comentar, la qual cosa facilità les anàlisis empíriques que de manera sistemàtica tenen lloc a partir de la dècada dels 70. L'inici d'aquestes contribucions rau en una recerca de Nerlove al 1963 sobre les possibilitats de substituïr capital, treball i diferents tipus de

combustible en la generació d'electricitat als Estats Units. Per dur a terme l'estudi, Nerlove presentà una aportació teòrica, consistent en una funció de cost dual amb rendiments no constants a escala, que havia de substituir a una funció de producció convencional del tipus Cobb-Douglas degut a les excessives restriccions que aquesta presentava. Pocs anys després McFadden intensificà la investigació en la teoria i aplicacions de la dualitat en la producció amb l'objectiu de generar formes funcionals de tres o més inputs que fossin menys limitatives que les de la de Cobb-Douglas o la CES. Es tractava d'eliminar les restriccions "a priori" sobre l'elasticitat de substitució, i a l'hora, mantenir la consistència amb els supòsits de la teoria. Això exigia generalitzar les funcions del tipus CES i convertir-les en funcions del tipus VES (elasticitat de substitució variable), que no imposen cap condició prèvia a les elasticitats de substitució entre factors. És a dir, transformar formes funcionals rígides en formes funcionals flexibles. El pas decisiu en aquesta línia té lloc amb la introducció de les funcions translogarítmiques (un tipus especial de funcions VES) per Christensen, Jorgenson i Lau (1971). Les funcions "translog" tenen l'avantatge de no imposar restriccions "a priori" i són les que més s'han utilitzat per estimar les elasticitats de substitució entre inputs els darrers 25 anys.

5.4. L'evidència empírica de la substitució de recursos no renovables (energia i materials) per factors produïts.

5.4.1. Primeres controvèrsies.

Les anàlisi aplicades de la substitució entre recursos no renovables i factors produïts (sobretot capital) han estat marcades des dels seus inicis per un debat sobre la complementarietat o la substituïbilitat d'aquests inputs. Els primers treballs, realitzats als Estats Units, aporten evidències parcials i indirectes, però ja reflecteixen un posicionament sobre aquesta qüestió. És el cas dels exercicis que es duen a terme els anys 50 i 60 per detectar la importància dels recursos naturals en la composició del comerç exterior. Així, els estudis

desenvolupats primer per Leontief i després per Vanek, Weiser i Baldwin a partir de les taules input-output constaten que els productes més intensius en l'ús de recursos naturals també ho són en capital, amb una relació capital/output que supera la mitjana industrial, i conclouen que la relació entre els recursos naturals i el capital produït és de complementarietat.

En sentit contrari, en la mateixa època, Hagen i Adler troben indicis de la substitució de recursos naturals per capital en els sectors tecnològicament més avançats i de la importància de les innovacions en aquest procés de substitució. Però és a partir de l'estudi de Barnett i Morse quan pren força la idea de la substituïbilitat. La causa última s'atribueix a les millores en el coneixement, de les que se'n deriva un progrés tecnològic acumulatiu. Aplicat als recursos naturals, això s'expressa mitjançant una "funció de conversió" que reflecteix les possibilitats de transformar recursos de baixa qualitat en recursos de qualitat estandard amb un major ús dels factors produïts (capital i treball).

Durant els anys 70 s'inicien les anàlisi directes de la substitució entre factors de producció incloent-hi explícitament els recursos no renovables. S'incorporen els progressos teòrics sobre les funcions de producció i s'utilitzen tècniques econòmiques més avançades. Amb unes formulacions més elaborades els resultats semblen guanyar fiabilitat, però a l'hora també apareixen nous reptes, com és el cas de les especificacions dinàmiques.

Un dels primers treballs empírics per mesurar les possibilitats de substitució entre factors productius correspon a Binswanger (1974), que en una anàlisi de tall transversal estima les elasticitats parcials de substitució entre els diferents inputs de l'agricultura als Estats Units (terra, fertilitzants, maquinària i treball), però sense considerar l'energia un factor independent. Els anys de referència són el 1949, 1954, 1959 i 1964. Els resultats indiquen, d'una banda, una elevada substituïbilitat entre el treball i els fertilitzants. Segons Binswanger, aquesta relació s'explica -almenys parcialment- perquè en aquella època el control de la producció s'efectuava sobre el nombre d'hectàrees, i això hauria estimulat l'ús intensiu dels fertilitzants. D'altra part, en aquells anys també tingué lloc una substitució de la terra per la maquinària degut a la intensificació del conreu. En canvi, les relacions obtingudes entre els

fertilitzants i la maquinària i entre la maquinària i el treball són de complementarietat, circumstància que s'atribueix a la necessitat de combinar aquests inputs en proporcions relativament fixes. Així, doncs, en el període considerat, la dinàmica en la utilització dels inputs en l'agricultura consistí essencialment en la substitució d'un recurs natural existent en quantitat fixa, la terra, per factors produïts com la maquinària i els fertilitzants, el que en la pràctica equival a un augment en la superfície total conreuada.

Poc després del treball de Binswanger per a l'agricultura té lloc un dels primers exercicis per mesurar la substitució entre factors productius incloent-hi els recursos naturals en sentit ampli (Humphrey i Moroney, 1975). L'estudi se centra en 12 sectors de la indústria dels Estats Units, dels qual 6 són intensius en l'ús de recursos naturals. L'anàlisi es de tipus transversal, amb dades del 1963. Els recursos naturals tenen la forma d'un input agregat que en cada sector opera com un tercer factor de producció en una funció translogarítmica. Aquest input agregat està format per 19 recursos naturals, dels quals 12 són renovables i 7 no renovables ⁽⁸⁸⁾. Dels recursos no renovables 2 són combustibles fòssils i 5 minerals no combustibles. El principal resultat de Humphrey i Moroney és que els factors produïts presenten un cert grau de substitució amb els recursos naturals en la majoria d'activitats industrials. Atenent als valors de les elasticitats, les possibilitats de substituir els recursos naturals són majors pel treball que pel capital. Així, pels 6 sectors més intensius en la utilització de recursos naturals, l'elasticitat de substitució presenta valors bastant baixos (entre 0 i 1), llevat en la primera transformació metal·lúrgica. D'altra banda, a nivell global els resultats indiquen que els factors de producció es poden considerar funcionalment separables i per tant es relativitza la idea que els inputs operen en proporcions fixes, deguda sobretot a Leontief.

(88) Es tracta essencialment de les mateixes categories de recursos naturals emprades en els treballs previs sobre la importància dels recursos naturals en la composició del comerç exterior dels Estats Units per Leontief, Vanek, Weiser i Baldwin.

Moroney i Toevs (1977) duen a terme un altre estudi amb un objectiu similar, però en un àmbit més limitat i amb una metodologia diferent. L'anàlisi s'aplica a set sectors situats en les primeres fases de transformació industrial dels Estats Units i després s'extén al conjunt de la indústria manufacturera. De les activitats que consideren quatre són intensives en la utilització de recursos no renovables. Es tracta del refinat de petroli, producció de ciment hidràulic, fabricació primària del zinc i fabricació de "gypsum". Les estimacions es basen en dades d'una sèrie temporal que cobreix el període 1954-1971. Els resultats suggereixen l'existència d'un grau de substituïbilitat acceptable entre el capital i els recursos naturals per tots els sectors considerats, reforçant-se les conclusions del treball de Humphrey i Moroney.

Per la seva part, Brown i Field (1978) mesuren les possibilitats de substitució entre recursos naturals i factors produïts en quatre sectors de capçalera (i per tant, intensius en l'ús de recursos naturals) de la indústria dels Estats Units: la fabricació d'acer, alumini, coure i pasta de paper. L'anàlisi és de tipus transversal i les dades corresponen al 1967. Els resultats també indiquen una substituïbilitat entre factors produïts i recursos naturals, però l'elasticitat de substitució entre recursos naturals i capital presenta uns valors considerablement més elevats que en la majoria de sectors intensius en capital en el treball de Humphrey i Moroney. En aquest cas per a tots els sectors el valor de l'elasticitat de substitució entre recursos naturals i capital és superior a tres, el que indica l'existència d'un ampli ventall de possibilitats de substitució.

Quasi d'una manera simultània a aquests estudis es desenvolupen les anàlisi introduïnt l'energia. En un primer moment l'energia es considera un factor homogeni, fent abstracció de les diferències entre les seves diferents modalitats, i els treballs es limiten al sector industrial dels països avançats. Serà en la dècada dels 80 quan aquests exercicis s'extenguin als països en vies de desenvolupament i també al sector agrari. Els resultats que s'obtenen reflecteixen la polarització entre la substitució i la complementarietat. Pel que fa a les relacions entre el capital i el treball i entre el treball i l'energia les conclusions són

coincidents sobre la seva substituïbilitat. La polèmica sorgeix al escatir les implicacions de la substituïbilitat entre el treball i l'energia per a les relacions entre el capital i l'energia.

Les qüestions que es plantegen responen a tres consideracions. D'una banda, si la substitució de treball per capital comporta també un major consum d'energia (el que suggeriria una relació de complementarietat entre energia i capital). D'altra part, quins efectes té la progressiva substitució de l'energia animada (humana) per l'energia inanimada (mecànica) sobre la utilització del capital. I finalment, quin és l'abast de les possibilitats de substitució directes entre l'energia i el capital.

Berndt i Wood (1975) duen a terme una anàlisi de la substitució d'inputs pel conjunt del sector manufacturer dels Estats Units. Les estimacions s'obtenen a partir d'una sèrie temporal que abasta el període (1947-71), una fase de ràpid creixement industrial. El model que especifiquen es basa en una funció de producció translogarítmica amb quatre factors (capital, treball, energia i materials), rendiments constants a escala i progrés tècnic neutral en el sentit de Hicks. Els resultats indiquen una substituïbilitat entre el capital i el treball i entre el treball i l'energia, mentre el capital i l'energia presenten una forta complementarietat, amb un valor de l'elasticitat de substitució de -3,14. Això suggereix que en uns anys de forta expansió econòmica, la substitució del factor relativament més costós, el treball, pel capital, ha comportat també una major intensitat energètica en la producció. En aquest sentit, el fet que en el període de referència el preu de l'energia fos bastant baix -i no únicament en termes relatius, també en valors absoluts- podia haver accentuat la complementarietat entre l'energia i el capital, ja que les empreses no tenien massa incentius per dur a terme inversions addicionals que milloressin l'eficiència energètica dels equipaments, però en qualsevol cas, això només és una circumstància addicional. La principal conclusió de Berndt-Wood és que la relació natural -a banda d'aspectes conjunturals- entre el capital i l'energia és de complementarietat.

Per la seva part, Gregory i Griffin (1976) duen a terme un exercici similar per a 9 països de l'OCDE ⁽⁸⁹⁾. El treball també s'aplica al conjunt del sector industrial, però en aquest cas l'anàlisi és de tall transversal. Les dades corresponen a quatre anys (1955, 1960, 1965 i

1969), que representen un període bastant coincident amb el que havien considerat Berndt-Wood. A l'igual que aquests, Gregory-Griffin presenten un model amb una funció de producció translogarítmica, però amb tres factors, capital, treball i energia (els materials no s'inclouen per manca de dades). Pel que fa a les relacions entre el capital i el treball i el treball i l'energia, els resultats coincideixen amb els de Berndt i Wood, ja que aquests inputs apareixen com a substituïbles entre ells. La discrepància es refereix a la relació entre l'energia i el capital, doncs per tots els països es detecta una relació de substituïbilitat -bé que en sentit feble-, amb uns valors de σ propers a la unitat.

En un treball d'abast més limitat, Christensen i Greene (1976), avaluen les possibilitats de substituir l'energia per altres inputs en la generació d'electricitat als Estats Units. Les dades emprades provenen de les empreses del propi sector i l'anàlisi és de tipus transversal. Els dos anys pels que s'efectua l'estimació són el 1955 i el 1970. En aquest cas l'elasticitat de substitució presenta signe positiu, però amb uns valors molt baixos ($\sigma = 0,2$), el que indica que les possibilitats de substitució són bastants limitades.

A partir dels resultats divergents obtinguts per Berndt-Wood i Gregory-Griffin s'enceta un debat que s'ha mantingut fins l'actualitat sobre el tipus de relació existent entre l'energia i el capital i les possibles causes de les diferències.

Les explicacions d'aquestes discrepàncies han estat diverses. D'entrada, la controvèrsia incideix en tres àmbits. En primer lloc, en el tipus de funció que s'utilitza, amb tres factors de producció (Gregory-Griffin) o quatre (Berndt-Wood). En segon lloc, en el tipus d'anàlisi pel que fa a les dades de base, que poden ser de tipus transversal (Gregory-Griffin) o temporals (Berndt-Wood), aspecte que, al seu torn, condiciona l'especificació del model. I en tercer lloc, la mostra considerada: un país (Berndt-Wood) o a un conjunt de països (Gregory-Griffin).

(89) Es tracta de Bèlgica, Dinamarca, França, Alemanya Occidental, Itàlia, Holanda, Noruega, el Regne Unit i els Estats Units.

Per explicar les diferències en les conclusions, Griffin (1981a; 1981b) se centra en els aspectes operatius i assenyala que el resultat final (substituïbilitat o complementarietat) depèn essencialment de la relació que es mesura (a curt termini o llarg termini), la qual cosa està mediatitzada pel tipus de dades que s'utilitzen (temporals o transversals). A curt termini l'energia per unitat de capital és fix, de manera que si els altres inputs poden ser substituïts contra l'agregat capital-energia, aquests dos factors seran complementaris. Però res impedeix que a llarg termini la relació capital/energia varii i el capital i l'energia esdevinguin substituïts. En aquest sentit, Griffin assenyala que la rigidesa de la relació entre el capital i l'energia a curt termini fa inviables ajustaments instantanis -d'un any- a un equilibri de llarg termini, pel que els resultats que obtenen Berndt-Wood amb una especificació estàtica a partir de dades temporals reflecteixen una relació pròpia del curt termini: una combinació fixa del capital i energia amb els altres inputs variant contra aquest "factor agregat". Addicionalment, Griffin introdueix un altra consideració, i és que Berndt-Wood obtenen les elasticitats a partir d'una sèrie temporal pel període 1947-1971, que en els Estats Units es va caracteritzar per una considerable estabilitat -a nivells molt baixos- en el preu de l'energia. Això va fer que la tecnologia afavorís l'ús de capital poc eficient en termes energètics, reforçant-se la complementarietat entre ambdós factors.

Per que l'elasticitat de substitució capti les relacions entre els inputs a llarg termini -que són les que tenen interès econòmic-, cal que transcorri un període de temps suficientment llarg per que l'economia s'adapti a uns preus canviants, és a dir, per que l'estoc de capital -que és l'input menys maleable- s'ajusti als nous preus relatius. Una opció és introduir en els models retardaments que permetin aquesta adaptació, aspecte que deriva la discussió cap a les formes d'especificació (dinàmiques) i al que ens referirem tot seguit. Un altra alternativa seria calcular les elasticitats mitjançant variacions de tipus transversal en el conjunt de dades. Griffin considera que les anàlisi de tipus transversal són adequades per captar els efectes dels canvis en els preus en períodes dilatats de temps, ja que les dades provinents de diversos països i en diferents moments reflecteixen precisament les característiques estructurals de la producció a llarg termini i això és el que permet a les anàlisi de tall transversal, per exemple, capturar les conseqüències en el temps dels persistents preus baixos de l'energia als Estats Units en relació a Europa. En canvi, les elasticitats estimades a partir

de sèries cronològiques no tindrien la capacitat de captar els efectes a llarg termini dels canvis en els preus, degut a la magnitud temporal i a la variabilitat dels retardaments necessaris per dur a terme l'ajustament.

Enfront d'aquest raonament, Berndt-Wood (1979) posen l'èmfasi en els aspectes teòrics per explicar la divergència de resultats. Consideren que Gregory-Griffin han adoptat una visió excessivament tècnica de les relacions entre el capital i l'energia, la qual cosa fa aquestes relacions massa rígides. L'argument de Berndt-Wood és que una substituïbilitat tècnica bruta entre l'energia i el capital no és incompatible amb una complementarietat econòmica neta, que es deu a l'efecte d'escala en la utilització dels factors, és a dir, a un augment en la utilització simultània de capital i energia quan el preu del capital disminueix en relació al preu de l'energia. Així, pel capital l'efecte de substitució bruta i l'efecte d'escala es reforçen (la demanda de capital augmenta), però per l'energia ambdós efectes actuen en sentit invers (l'efecte substitució disminueix la demanda d'energia, mentre l'efecte d'escala l'augmenta). Si l'efecte d'escala supera l'efecte de substitució el resultat serà un augment net en la quantitat demandada d'energia: el capital i l'energia poden ser substituïts bruts en sentit tècnic però complementaris nets en sentit econòmic.

Berndt-Wood descomposen la funció de producció $Y = F(K, L, E, M)$ en dos subconjunts separables que corresponen respectivament a l'energia i el capital i als materials i el treball. La nova funció es pot expressar com $Y = f(K^*, L^*)$ on $K^* = g(K, E)$ i $L^* = h(L, M)$. A partir d'aquesta descomposició mostren que:

$$\sigma_{ij} = \eta_{ij} + e_{xx} N_{xj}$$

(elasticitat preu creuada neta)
(elasticitat preu creuada bruta)
(elasticitat preu d'escala)

Llavors, l'energia i el capital poden ser substituïts bruts en sentit tècnic si $\sigma_{ij} > 0$, però això no impedeix que siguin complements nets en sentit econòmic si $\sigma_{ij} < 0$, (és a dir, quan $|\sigma_{ij}| < |e_{xx} N_{xj}|$). Segons Berndt-Wood, Gregory-Giffin mesuren elasticitats creuades brutes associades a l'efecte substitució (que normalment és negatiu), però si es mesuren sin elasticitats creuades netes el resultat seria de complementarietat (90).

La controvèrsia sobre el tipus de relació entre el capital i l'energia, més enllà de contribuir a la clarificació de les causes per les quals aquests dos inputs poden aparèixer com a

substitutius o complementaris, també serveix per evidenciar algunes limitacions de les formulacions proposades i marca les pautes sobre les noves línies d'anàlisi que es desenvolupen tot seguit. Stapelton (1981) considera que la principal raó de les divergències en els valors de les elasticitats de substitució entre l'energia i el capital no es troba ni el tipus d'anàlisi (transversal, temporal) ni té un origen conceptual, i situa el debat en l'àmbit analític: l'obtenció d'elasticitats de substitució fiables depèn, essencialment, de l'especificació que es presenta, i sobretot, de modelar correctament el factor temporal d'ajustament. Així, el supòsit que els inputs productius es poden ajustar gairebé de manera instantània -en un període inferior a un any- als nivells d'equilibri de llarg termini en resposta a canvis en els paràmetres de cost-minimització del model és clarament irreal per la demanda d'energia, al tractar-se d'un factor quina utilització està molt vinculada a la renovació dels equípaments. Aquesta circumstància afecta sobretot les anàlisi que es basen en sèries temporals, però l'adopció d'un enfocament de tipus transversal no necessàriament resol la dificultat, ja que la seva consistència per captar relacions a llarg termini depèn de l'estabilitat en el temps dels preus relatius dels factors. A partir d'aquí es planteja la conveniència d'especificar models dinàmics en els que es restringeixi la capacitat dels inputs d'ajustar-se de manera instantània. Una alternativa per obtenir elasticitats a curt i llarg termini és especificar models en els que només un subconjunt d'inputs s'ajusti automàticament, mentre la resta es manté fix per un cert període de temps ⁽⁹¹⁾. Durant els anys 80 els models dinàmics també s'utilitzaran -bé que de manera esporàdica- per identificar les relacions entre els diferents inputs productius.

D'altres carències de les primeres anàlisi sobre la relació entre l'energia i el capital se situen en el pròpi àmbit d'aplicació dels treballs empírics. Així, una de les principals febleses

(90) Reprenent la polèmica, Gibbons (1984) mostra que aquest resultat depèn, en darrera instància, de l'elasticitat de la demanda d'energia. Així, si la demanda d'energia és inelàstica, l'efecte substitució predomina sobre l'efecte d'escala i el capital i l'energia serien substituïts nets.

(91) Una primera temptativa en aquesta direcció la dugueren a terme Berndt, Fuss i Waverman que van especificar un model dinàmic per estimar la demanda d'energia als Estats Units en el que la taxa d'ajustament era endògena al propi model.