

ANÀLISI ECONÒMICA I RECURSOS NO RENOVABLES

Joaquim Solà i Solà

ISBN 978-84-9011-111-1
Dip. Econ. i Org. Ind. i Comerç
101-2011-0000

JOAQUIM SOLÀ I SOLÀ

ANÀLISI ECONÒMICA I RECURSOS NO RENOVABLES

Tesi doctoral dirigida pel Dr. Joan Hortalà i Arau

Departament de Teoria Econòmica

Facultat de Ciències Econòmiques

Universitat de Barcelona

Març de 1996

W.E.B. Societat Econòmica
Diagonal, 690, 08034 Barcelona
Tel. 402 19 00

Agraïments.

Com en qualsevol treball de recerca, la realització d'aquesta tesi ha comptat amb la col·laboració de diverses persones i institucions amb les que em sento obligat a compartir els resultats.

En l'àmbit acadèmic crec necessari esmentar el Dr. Joan Hortalà, pel compromís assumit en la direcció del treball i haver sabut compatibilitzar el necessari encoratjament amb l'elevat grau de llibertat de que he gaudit en la seva realització. També he rebut l'estímul constant dels meus companys de departament. Sense pretendre ser exhaustiu, voldria assenyalar en J.A. García-Durán, Juan Tugores, Eduard Berenguer i Alfons Barceló. Amb els tres primers he coincidit com a secretari del departament quan ells n'eren els directors i amb tots he mantingut una excel·lent relació personal i acadèmica que estic segur continuarà en el futur.

La realització d'aquest treball també ha tingut el suport de diverses institucions catalanes que l'han considerat d'interès dins dels seus programes d'ajut a la recerca. La fase inicial del projecte va comptar amb una beca de la Fundació Bofill per a la realització de tesis doctorals. La seva contribució fou important perquè va permetre acotar la temàtica i descartar alguns plantejaments que inicialment semblaven viables però que en la pràctica no ho eren.

El desenvolupament de la tesi s'ha dut a terme a la Universitat de Barcelona, però una part no menyspreable de la recerca ha tingut lloc en diverses estades com a "visitor scholar" a la Universitat de Stanford, aprofitant les possibilitats que ofereix el nou pla d'estudis pel que fa a la combinació de la investigació i la docència i els períodes no lectius de l'estiu. La primera estada (gener-març 93) va comptar amb un ajut de la Caixa de Manresa. Una posterior estada el mateix any (juliol-setembre) va gaudir d'una beca de la Comissió per a la Recerca i Innovació Tecnològica (CIRIT). Les dues darreres estades, quan la investigació ja es trobava en una fase més avançada (juny-setembre del 94 i juny-setembre del 95) van comptar amb sengles bosses de viatge de la Divisió II de la Universitat de Barcelona.

En els diferents períodes de treball a l'estranger vaig establir contactes amb diversos acadèmics als que és de justícia reconèixer la seva col·laboració. En primer lloc, Nathan Rosenberg, director del programa de Tecnologia i Creixement Econòmic del Center for Economic Policy Research (CEPR) de la Universitat de Stanford, per acceptar la supervisió del treball durant les dues primeres estades a aquella universitat i per la informació que hem va facilitar, especialment en els aspectes relacionats amb el canvi tecnològic. A Stanford també van ser útils els suggeriments de James Sweeney, professor del departament de Sistemes Econòmics i Energètics de l'Escola d'Enginyeria, i de Robert Lindblom, del departament de Recursos Petrolífers de la Facultat de Geologia. A la veïna Universitat de Berkeley, van ser igualment profitoses les indicacions del professor Anthony Fisher, del departament d'Agricultura i Recursos Naturals.

En les diverses estades a l'estranger ha estat essencial el suport logístic, imprescindible quan s'ha de treballar en una universitat externa. La tasca duta a terme a Stanford no hauria estat del tot possible sense la col·laboració de Donna Holm, de l'àrea administrativa del CEPR, que amb una inusual eficiència per resoldre tot tipus de problemes mundans va permetre que podés centrar la meua atenció en els aspectes estrictament acadèmics.

En el terreny més personal voldria destacar el suport que he rebut de manera continuada del meu entorn familiar i d'amistats, pels qui la realització d'una tesi constitueix una fita en la carrera acadèmica, i que per això han atorgat a aquest treball -i ben segur de manera justificada- una importància àdhuc superior a la que li donen els mateixos professionals del ram, començant per mi mateix. Finalment, haig de destacar l'esforç d'en Francesc, que ha tingut cura de convertir a una forma llegible els succesius esborranys que li he presentat. Sense comptar amb algú capaç de desxifrar els meus manuscrits i simbologia potser encara no hauria finalitzat el procés de producció d'aquest treball.

ÍNDEX

Introducció	1
1. Una visió retrospectiva del tractament dels recursos naturals en la ciència econòmica	10
1.1. Es pioners: Petty i els fisiòcrates	11
1.2. Els clàssics anglesos	13
1.3. L'escola neoclàssica	19
1.4. Els conservacionistes	22
1.5. Les anàlisi formals: Gray i Hotelling	25
1.6. Els recursos naturals en l'anàlisi macroeconòmica del creixement.	33
1.7. Els recursos naturals i el desenvolupament.	36
1.8. Un nou paradigma: l'enfocament integrador.	42
1.9. El debat actual.	49
2. Els recursos no renovables en la teoria econòmica convencional	62
2.1. L'eficiència en l'explotació dels recursos no renovables.	63
2.2. Fonts d'ineficiència	68
2.2.1. Estructures de mercat no competitives.	69
2.2.2. Altres imperfeccions (diferents de l'estructura de mercat).	72
• Incertesa i risc.	72
• Situacions de desequilibri	77
• Efectes externs	79
• Aspectes institucionals	82
2.3. L'optimalitat en l'explotació dels recursos no renovables	84
3. Algunes implicacions de la teoria econòmica convencional sobre l'explotació dels recursos no renovables	96
3.1. Les simulacions	97
3.2. Les contrastacions d'hipòtesi	108

4. L'escassetat física dels recursos no renovables. Indicadors i evidència empírica.	118
4.1. Eficiència i escassetat	119
4.2. Indicadors sobre l'escassetat dels recursos individuals.	123
4.2.1. Indicadors físics	124
4.2.2. Indicadors econòmics	128
• Preu del recurs	130
• Cost marginal d'extracció	134
• Renda d'escassetat	137
4.3. L'escassetat en funció del tipus de recurs	140
4.4. Treballs aplicats i resultats	142
4.4.1. Anàlisi generals de tipus tendencial en el marc de l'anàlisi convencional	145
4.4.2. Anàlisi generals de tipus tendencial des de la perspectiva biofísica	155
4.4.3. Anàlisi individuals a partir de trajectòries de variables econòmiques	164
5. Conseqüències l'escassetat física dels recursos no renovables per a l'activitat econòmica. Evidència empírica	166
5.1. La funció dels recursos no renovables en l'activitat econòmica	167
5.2. Indicadors de les possibilitats de substitució entre inputs	170
5.3. Tipus i característiques de les funcions de producció. Conseqüències per a l'anàlisi de la substitució entre inputs.	176
5.4. L'evidència empírica de la substitució de recursos no renovables (energia i materials) per factors produïts	181
5.4.1. Primeres controvèrsies	181
5.4.2. L'extensió de les anàlisi.	190
5.5. Síntesi de resultats	204

6. La determinació dels preus dels recursos no renovables en el curt termini	210
6.1. El procés d'oferta	212
6.2. Característiques de la demanda	218
6.3. La formació dels preus a curt termini.	224
6.4. La utilització de la capacitat	234
6.5. Els recursos no renovables i l'estructura de mercat	239
7. La determinació dels preus d'un recurs no renovable en el mig termini: el cas del petroli.	249
7.1. Els fets. El comportament del mercat del petroli	251
7.2. Les explicacions teòriques: plantejaments, resultats i limitacions	261
7.2.1. L'anàlisi convencional: la teoria de l'esgotament	261
7.2.2. Les aportacions de l'economia industrial	270
• Les aproximacions basades en el poder de mercat	271
• Les aproximacions de tipus competitiu	280
7.2.3. L'aproximació a partir dels enfocaments neoricardians	284
7.2.4. La integració dels factors econòmics i polítics en l'anàlisi	294
8. Resum i conclusions	308

INTRODUCCIÓ.

Aquesta tesi és el resultat d'una preocupació per la funció i la importància dels recursos naturals en l'activitat econòmica. En origen respon a aquelles inquietuds acadèmiques pròpies de qualsevol estudiant d'economia i de les que s'espera -sovint amb ingenuïtat- una resposta al llarg de la llicenciatura.

A les facultats s'ensenya el funcionament de l'activitat econòmica des de diferents perspectives -micro, macro-, posant l'èmfasi en la producció i el consum, i admetent de manera implícita que aquests processos es poden dur a terme de manera indefinida. S'atorga poca importància a la base material sobre la que es realitza l'activitat econòmica, i els recursos naturals, que constitueixen l'element imprescindible dels processos productius, sovint tenen un caràcter exogen. En aquest sentit, la definició de Robins, no ha arribat fins molt recentment allà on la seva manifestació és més directa: en els béns que proporciona el medi físic, que presenten una dotació limitada.

Amb el desenvolupament de la ciència econòmica s'han consolidat diferents aproximacions analítiques per explicar el funcionament dels mercats dels béns normals (reproduïbles) així com la determinació dels preus. L'enfocament neoclàssic és el que té més predicament, però també les contribucions des d'una perspectiva neoricardiana ofereixen alguns resultats interessants. Una pregunta rellevant, és, doncs, si aquests mateixos esquemes serveixen per explicar el funcionament dels mercats i la determinació dels preus en el cas dels recursos no renovables, i situant-nos un xic més enllà, si la pròpia ciència econòmica disposa d'instruments vàlids per afrontar l'anàlisi d'aquests recursos. No és superflu recordar al respecte que existeix una creença -cada cop més generalitzada- que considera que en allò que afecta el medi físic cal atorgar algun tipus de protagonisme a les ciències naturals. Aquesta és, sense dubte, una idea vàlida i està avalada pels avenços dels enfocaments interdisciplinaris que es consoliden els darrers 25 anys i que doten l'anàlisi d'una major versemblança. D'altra banda, també és indubtable que les aportacions de les ciències naturals poden ser molt útils per a l'establiment d'estratègies d'actuació (explotació, conservació) en l'àmbit dels recursos no renovables.

La meva idea, tanmateix, és que abans de passar al terreny de la intervenció és necessari tractar els recursos naturals (en aquest cas els recursos no renovables) com a béns econòmics. Si als economistes ens interessen els recursos naturals és precisament perquè són uns béns que acompleixen funcions econòmiques, i que per tant, són objecte de producció (els més heterodoxes dirien extracció) i intercanvi (encara que tinguin unes propietats físiques especials). Com aquests recursos tenen una dimensió econòmica es justifica la seva anàlisi en termes econòmics. Un dels objectius d'aquest treball és precisament mostrar que dins de la ciència econòmica existeixen enfocaments que permeten fer-ho amb garanties.

La manera com la ciència econòmica afronta l'anàlisi dels recursos no renovables està condicionada per les pròpies inèrcies en la seva evolució. Degut a l'hegemonia de l'enfocament neoclàssic, aquesta anàlisi ha adoptat una línia "normativa", amb l'extensió dels plantejaments basats en els conceptes d'equilibri i d'eficiència als recursos no renovables. Enfront de posicions globalment desqualificadores envers la teoria convencional dels recursos no renovables, crec que aquesta teoria és útil, ja que proporciona uns referents vàlids (l'equilibri, l'eficiència) per iniciar l'anàlisi. Però dit això cal reconèixer que poques vegades constitueix una bona aproximació als fets. Per les seves connotacions "normatives", presenta clares limitacions per explicar la realitat, i especialment el funcionament dels mercats.

En aquest punt convé recordar que com en qualsevol àrea de coneixement, la utilitat d'un paradigma científic està limitada pel seu àmbit d'aplicació. I identificar aquest àmbit és important abans d'acusar una teoria de no oferir respostes per a les que no ha estat concebuda. Un dels problemes que ha d'afrontar l'estudi dels recursos no renovables des d'una perspectiva econòmica és que degut al predomini dels plantejaments optimitzadors, el gruix de l'anàlisi es planteja com si aquest fos l'únic tema d'interès. Al meu entendre això només constitueix un primer pas, i cal incidir també en els aspectes positius: l'evolució de l'escassetat, les possibilitats de substitució i la formació dels preus, per citar-ne els més importants. Tanmateix, les inèrcies pesen i es difícil nedar contracorrent. La gran majoria de cursos que s'imparteixen arreu del món -i amb ells, els coneixements que es transmeten a

les noves generacions-, segueixen l'enfocament estàndard i les publicacions en aquesta línia (articles, llibres de text) mantenen una hegemonia aclaparadora.

La universitat espanyola no escapa a aquesta dinàmica, amb dificultats afegides. Una limitació per explicar l'economia dels recursos no renovables ha estat l'absència, fins fa pocs anys, d'aquesta matèria en els plans d'estudi, i també la inexistència de texts traduïts al castellà que fossin accessibles als estudiants de la llicenciatura. L'única excepció era el llibre de Pearce (1985) sobre economia ambiental, que dedica els quatre capítols finals a l'anàlisi dels recursos no renovables i a l'impacte de la seva disponibilitat sobre el creixement econòmic. Més recentment la gamma s'ha ampliat i apareixen noves versions en castellà de texts d'àmplia difusió a nivell internacional (Pearce i Turner, 1995), a l'hora que els universitaris espanyols comencen a publicar texts propis. És el cas d'Azqueta i Ferreiro (1994), Romero (1994) i Surís i Varela (1995). Aquests llibres abasten temàtiques diferents -dins d'un tronc comú- i presenten uns nivells de formalització desiguals, però tots ells es mantenen dins de la perspectiva optimitzadora de l'anàlisi convencional. Les qüestions aplicades es deixen de banda i el funcionament dels mercats no és objecte d'estudi.

Curiosament, a Espanya la iniciativa en l'anàlisi dels mercats de recursos no renovables correspon als enginyers, que s'han avançat als economistes. Recordem en aquest sentit les aportacions de Centeno (1979, 1982), i més recentment, de Vela (1995). Es tracta d'obres que són útils per conèixer la problemàtica dels mercats, però el seu enfocament és essencialment descriptiu i no incorporen esquemes teòrics que serveixin per a la comprensió de la realitat. Trobar els lligams entre la teoria i la realitat ha estat un altre dels objectius del treball.

Aquesta tesi ha tingut un període de maduració relativament llarg fins assolir la forma que finalment presenta. Els primers guions han canviat substancialment i diverses idees s'han quedat pel camí. Algunes, simplement perquè amb el decurs del temps s'han relativitzat i ja no semblen tan importants com en un primer moment. D'altres es mantenen per a futurs projectes de recerca, ja que es troben en el nucli de l'anàlisi sobre els recursos no renovables. És el que succeeix amb l'impacte del canvi tecnològic. En aquest sentit assumeixo

totalment l'afirmació de Rosenberg (1991) de que no es pot entendre la problemàtica dels recursos no renovables sense considerar explícitament la funció de les innovacions (i aquí l'anàlisi històrica juga un paper fonamental). Sobre la base d'aquest treball, la meva intenció és profunditzar en aquesta qüestió aprofitant els contactes i la documentació que he obtingut en les diferents estades a la Universitat de Stanford.

La configuració de la tesi té lloc amb dues aportacions meves sobre la importància dels recursos no renovables en l'activitat econòmica (Solà, 1992,1993) i es consolida quan assoleixo la responsabilitat (compartida amb Jordi Roca) de l'assignatura *Economia dels Recursos Naturals i del Medi Ambient* el curs 1993-94, en el marc del nou pla d'estudis de la nostra facultat. Els tres anys que he impartit aquesta matèria també han contribuït a perfilar la forma definitiva del treball. És un clar exemple dels efectes externs de la docència sobre la recerca.

La tesi s'estructura en set capítols. En el capítol primer es presenta una visió retrospectiva sobre el tractament que han rebut els recursos naturals dins de la ciència econòmica des dels seus orígens fins a l'actualitat. Crec que en l'anàlisi econòmica la millor manera d'introduir un tema és mitjançant una exposició històrica, ja que permet veure els problemes que es plantejen, com es resolen i quins són els principals motius pels que l'anàlisi adopta una línia determinada. Aquest enfocament permet obviar un capítol dedicat a les definicions -sempre farragoses, encara que imprescindibles- sobre els diversos tipus de recursos i la manera com evolucionen els diferents conceptes. També serveix per veure que algunes discussions actuals -per exemple, les que fan referència al desenvolupament sostenible- tenen uns antecedents llunyans i que, de vegades la ciència econòmica presenta una evolució circular: bastans dels plantejaments contemporanis recuperen idees que ja es trobaven en les primeres aportacions i que després, a l'ombra d'influències externes, quedaren diluïdes -o, simplement, desplaçades- de les noves corrents analítiques.

En el capítol segon s'exposen les principals contribucions de l'anàlisi neoclàssica dels recursos no renovables, que es desenvolupa amb les aportacions de Gray i Hotelling sobre la

teoria de l'esgotament. La raó per atorgar a aquest enfocament una atenció específica és essencialment pràctica (o "de quota", com es diria actualment en alguns sectors). Com en altres àmbits de la ciència econòmica, en el cas dels recursos no renovables la teoria neoclàssica també ha esdevingut dominant i, malgrat que el seu desenvolupament sistemàtic és bastant recent (s'inicia en la segona meitat dels 60 i es consolida en la dècada dels 70), és la que ha generat més contribucions i la que presenta un major grau de desenvolupament formal, pel que és necessari referir-s'hi de manera expressa. Val a dir, però, que en l'exposició he evitat la formalització -que entenc apleix una funció purament instrumental- i l'èmfasi es posa en els plantejaments analítics i en els resultats. Aquest capítol es desplega en dos grans blocs, que fan referència a les principals línies d'anàlisi de la teoria neoclàssica. D'una banda, l'anàlisi en termes d'eficiència, i que es basa en un criteri que podríem denominar de "normativitat feble". Aquí el que interessa determinar són les condicions que garanteixen un resultat eficient així com les conseqüències de les ineficiències. D'altra part, l'anàlisi en termes d'optimalitat, que comporta passar de la "normativitat feble" pròpia de l'eficiència a la "normativitat forta", amb la introducció expressa dels judicis de valor.

El tercer capítol es dedica a les implicacions pràctiques de la teoria econòmica neoclàssica dels recursos no renovables. El seu desenvolupament gira al voltant de dues qüestions. La primera d'elles és si l'explotació d'aquests recursos té lloc de manera eficient. I cas de no ser així, quines són les causes de les ineficiències i quina és la seva magnitud. Per respondre a aquesta qüestió cal recórrer als exercicis de simulació i en aquest capítol es comenten els resultats dels principals treballs. La segona qüestió afecta directament a la versemblança de la pròpia teoria i el que es planteja és si efectivament els models neoclàssics sobre l'explotació dels recursos no renovables constitueixen una bona aproximació a la realitat. És a dir, si els models que, amb diferents variants, s'han desenvolupat a partir del model simple de Hotelling són útils per explicar el funcionament dels mercats i la determinació dels preus. La resposta a aquest interrogant requereix contrastar estadísticament aquells models, i en la part final del capítol s'exposen els resultats més rellevants.

Una de les qüestions que més debat suscita sobre els recursos no renovables és la de la seva escassetat física. I més concretament, de quina manera evoluciona aquesta escassetat al llarg del temps, aspecte que es discuteix en el capítol quart. El problema de l'escassetat es pot analitzar amb independència de l'explotació eficient dels recursos, i per això en aquest punt el treball abandona el marc de l'anàlisi neoclàssica i se situa en un terreny més positiu. Ara el que es planteja és quines conseqüències pràctiques té l'explotació dels recursos per a la seva disponibilitat física. Aquí pot aparèixer una dicotomia entre eficiència i conservació, ja que sovint les ineficiències afavoreixen la preservació dels recursos, i per tant, contribueixen a una major abundància relativa. El que es discuteix en aquest capítol és precisament a partir de quins indicadors es pot mesurar la disponibilitat/escassetat dels recursos, tenint en compte les diferents circumstàncies en que té lloc la seva explotació. Primer es fa referència als indicadors físics, per passar a continuació als indicadors econòmics, tot posant l'èmfasi en els avantatges i inconvenients relatius d'aquests indicadors. En la part final del capítol es comenten els principals treballs empírics sobre l'escassetat dels recursos no renovables, per veure si efectivament aquests recursos han esdevingut més escassos (abundants) al llarg del temps. Aquesta qüestió es tracta a un doble nivell, la qual cosa permet comparar els resultats d'enfocaments/mètodes diferents. D'una banda, mitjançant anàlisi tendencials per grups de recursos. I d'altra part, a partir de les trajectòries de les variables rellevants (preus, costos, renda d'escassetat) per alguns recursos individuals.

En el capítol cinquè s'analitzen les conseqüències econòmiques de l'escassetat física dels recursos no renovables. La qüestió que es planteja és en quins casos la escassetat física afecta l'activitat econòmica (és a dir, al creixement i el benestar presents i futurs), i més concretament, quan els seus efectes tenen un caràcter irreversible. Això comporta passar de l'anàlisi dels recursos no renovables "en singular" a un plantejament més ampli en que s'han de considerar, d'una banda, les relacions que existeixen entre els diferents recursos no renovables, entre els recursos no renovables i la resta de recursos naturals, entre els recursos no renovables i els altres inputs productius, i d'altra part, les característiques dels béns i serveis que els recursos contribueixen a obtenir. En aquesta anàlisi l'elasticitat de

substitució acompanya una funció semblant a la dels diferents indicadors econòmics per mesurar l'escassetat física dels recursos individuals, ja que permet detectar quina és la capacitat d'una economia per adaptar-se a eventuais situacions d'escassetat dels recursos. Bona part del capítol es dedica a comentar els principals treballs empírics sobre la relació -de substituïbilitat o complementarietat- entre els recursos no renovables (principalment l'energia) i els factors produïts (sobretot el capital) per veure quines implicacions se'n deriven per l'activitat econòmica i les possibilitats de creixement.

En els dos darrers capítols el treball adopta un enfocament diferent i se centra plenament en els aspectes positius. L'objectiu és analitzar com funcionen els mercats dels recursos no renovables i quins són els principals elements que influeixen en els preus. Aquí una distinció essencial és la del curt, mig i llarg termini, ja que els factors determinants són diferents en cada cas.

L'anàlisi de la formació dels preus en el curt termini es du a terme en el capítol sisè, en el que s'aplica l'esquema marshallià a l'àmbit dels recursos no renovables amb les variants que són inherents a aquesta activitat. Primer es fa referència al procés d'oferta dels recursos no renovables i a les característiques de la seva demanda, i seguidament s'analitza com la interacció d'ambdues influeix en els preus en diferents formes de mercat. Es comença per les configuracions pures, cas de la competència perfecta i dels mercats de preus administrats, i a continuació s'introdueixen les configuracions mixtes, més habituals en la realitat, en les que coexisteixen empreses que formen part d'un grup oligopolístic amb d'altres que actuen com una oferta marginal competitiva. Com en aquestes configuracions l'excés de capacitat sembla ser un factor important en la formació dels preus, tot seguit es comenten alguns treballs empírics que es refereixen a aquesta qüestió, per veure si efectivament el manteniment d'una capacitat estratègica excedentària influeix en el resultat del mercat. Finalment, després d'exposar els diversos factors que poden influir individualment en el comportament dels preus, l'anàlisi se centra en les característiques bàsiques dels recursos no renovables i la forma com aquestes característiques modulen l'estructura del mercat a partir de les interaccions que tenen lloc entre els diferents agents (estats hostes,

empreses explotadores, països consumidors), i com les diversès estructures de mercat, al seu torn, també influeixen en el comportament dels preus a curt termini.

En el capítol setè i últim, s'analitza l'evolució dels preus d'un recurs no renovable en el mig termini a partir de les teories que proporciona la ciència econòmica, exercici que es du a terme pel cas concret del petroli. Per disposar d'un referent vàlid per valorar els diferents esquemes explicatius, primer s'exposa -de la manera més objectiva que ha estat possible- quin ha estat el comportament del mercat del petroli des de la dècada dels 60, posant l'èmfasi en els principals esdeveniments que han succeït al llarg d'aquests anys i que han marcat una inflexió en el seu funcionament. En la segona part del capítol la discussió gira al voltant dels diferents enfocaments existents per explicar la seva evolució: la teoria neoclàssica (de l'esgotament), les aportacions de l'economia industrial, tant les que es basen en el poder de mercat com les que consideren un entorn competitiu, els enfocaments basats en els plantejaments neoricardians i els esquemes que integren els factors econòmics i polítics en l'anàlisi. Per cadascun d'aquests enfocaments s'incideix en els seus plantejaments i limitacions, i mitjançant una anàlisi comparativa s'intenta avaluar la seva capacitat explicativa. La idea és que aquesta aproximació servís també -amb les degudes correccions- per estendre l'anàlisi a d'altres recursos no renovables.

Referències.

- Azqueta, D. i Ferreiro, A. (Eds) (1994). Análisis Económico y Gestión de Recursos Naturales, Alianza Editorial.
- Centeno, R. (1979). Economía del Petróleo y del Gas Natural, Tecnos.
- Centeno, R. (1982). El Petróleo y la Crisis Mundial, Alianza Universidad.
- Pearce, D.W. (1985). Economía Ambiental, Fondo de Cultura Económica.
- Pearce, D.W. i Turner, K. (1995). Economía de los Recursos Baturales y del Medio Ambiente, Celeste Ediciones.
- Romero, C. (1994). Economía de los Recursos Medioambientales y Naturales, Alianza Economía.
- Rosenberg, N. (1991). The Impact of Technological Changes on Resources for Growing Populations, Mimeo, Stanford University.
- Solà, J. (1992). "Algunas consideraciones sobre la asignación de los recursos no renovables", IV Congreso Nacional de Economía, Desarrollo Económico y Medio Ambiente, Sevilla, vol annex, pp. 49-52.
- Solà, J. (1993). Recensió del llibre La Ecología y La Economía, de J. Martínez Alier i K. Schlüpman (FCE), Recerques, vol 27, N° 1492, pp. 112-114.
- Surís, J.C. i Varela, M.M. (1995). Introducción a la Economía de los Recursos Naturales, Civitas.
- Vela, A. (1995). El Gas como Alternativa Energética, Alianza Editorial.

Capítol 1.

UNA VISIÓ RETROSPECTIVA DEL TRACTAMENT DELS RECURSOS NATURALS EN LA CIÈNCIA ECONÒMICA.

1. UNA VISIÓ RETROSPECTIVA DEL TRACTAMENT DELS RECURSOS NATURALS EN LA CIÈNCIA ECONÒMICA.

1.1. Els pioners: Petty i els fisiòcrates.

Les referències a la funció econòmica dels recursos naturals en un marc analític general es remunten al segle XVII amb les aportacions de William Petty ⁽¹⁾, qui també està considerat el principal precursor de l'economia política. En aquest sentit -i més si hom se situa en la perspectiva actual-, no deixa de ser significatiu que les primeres formulacions sobre el funcionament del sistema econòmic atorguessin un paper rellevant al medi natural.

Petty es refereix a dos elements, el treball i la naturalesa, com la font de la riquesa (o valor). L'agricultura és l'activitat clau en el funcionament del sistema (com havia de correspondre, d'altra banda, a l'etapa prèvia a la Revolució Industrial), i l'única que, degut a la generositat de la naturalesa, permet obtenir un excedent. Petty considera la renda de la terra la forma normal d'obtenció de l'excedent i introdueix la idea de la renda diferencial, que es deu tant a la desigual fertilitat de la terra com a la seva localització en relació al mercat. El concepte de renda diferencial serveix a Petty per explicar com augmenta al llarg del temps la remuneració d'un bé no produïble i limitat en quantitat quan ho fa la seva demanda, i al mateix temps palesa el paper estratègic que atorga a la terra en l'activitat econòmica.

En el context que acabem d'exposar, la producció passa a ser el nucli de l'anàlisi de Petty, que contempla aquesta activitat com un seguit de processos seqüencials. L'inici del procés té lloc amb l'extracció de materials i l'obtenció d'aliments del medi natural i la seva conclusió es du a terme amb la transformació d'aquests béns. Petty també distingeix els factors

(1) Una exposició acurada de la contribució de Petty es pot trobar a Brewer (1992).

que s'utilitzen en l'activitat productiva segons les seves característiques. D'una banda, la terra, que per les seves propietats naturals s'associa a la generació de l'excedent. I d'altra part, la maquinària emprada en la manufactura, que es dedica a la transformació de les primeres matèries. A partir d'aquestes consideracions de Petty, la diferenciació dels factors productius d'acord amb les seves funcions -que mantindrien posteriorment els fisiòcrates i economistes clàssics-, així com la identificació del tipus de relació que s'estableix entre ells constituirà una de les constants de l'anàlisi econòmica fins a mitjan del segle XIX.

Les aportacions de Petty tenen continuïtat en l'escola fisiòcrata francesa, de la qual el representant més destacat és François Quesnay. En el pensament fisiòcrata es reflecteixen les influències de la corrent intel·lectual que s'imposava en l'Edat Moderna i que tendeix a la recerca de les explicacions últimes dels fets en la Naturalesa: "Per a nosaltres, tot és físic. I lo físic, en l'ordre social, és senzillament l'econòmic" (2).

La generació del producte net (o excedent) en un marc reproductiu constitueix el centre d'interès dels fisiòcrates i el "Tableau Economique", desenvolupat inicialment per Quesnay, és l'instrument que utilitzen per explicar el funcionament de l'activitat econòmica (3). Aquesta es concebeix com un flux circular, amb una clara interdependència entre la producció i el consum al llarg d'un procés que es repeteix periodicament. La variable clau per determinar l'expansió o contracció de les dimensions del cercle -és a dir, el volum d'activitat- és el producte net generat per la terra: el remanent disponible sobre el cost necessari per a la reproducció del sistema. L'agricultura, per les seves característiques naturals, es converteix novament en l'única activitat capaç de proporcionar un excedent en termes físics, i per tant, es considera l'únic sector productiu. Pels fisiòcrates, la riquesa material se sustenta en les lleis físiques, que es concreten en la força productiva i reproductiva de la Naturalesa

(2) L'afirmació correspon a Quesnay, en una carta a Mirabeau (Meek, 1962).

(3) Un recull complet de la seva aportació, amb especial referència al "Tableau Economique" es troba a Quesnay (1974).

Aleshores, el nivell de riquesa generada pel sistema econòmic depèn de la capacitat de renovar i augmentar la producció agrícola en cada període a partir de llur infraestructura natural que és la terra, i d'una eficient gestió d'aquest recurs se'n derivarà un major benefici social.

1.2. Els clàssics anglesos

Com en els casos anteriors, les preocupacions dels economistes clàssics es troben mediatitzades per l'entorn socioeconòmic que varen conèixer, i en particular, per la transició d'una societat agrària a un altra d'industrial. Un dels principals punts d'interès dels economistes clàssics és determinar les causes de l'expansió econòmica i l'evolució a llarg termini del sistema. Tanmateix, l'explicació d'aquest fenomen requeria d'una anàlisi prèvia dels mecanismes de producció i distribució en termes dinàmics, i és en aquesta anàlisi on apareixen els recursos naturals, que per la seva funció en l'activitat econòmica juguen un paper instrumental de primer ordre. En el tractament dels recursos naturals la majoria d'economistes clàssics segueixen la mateixa línia dels pensadors anteriors i contempen la terra com un factor productiu amb dos atributs. D'una banda, es tracta d'un factor inesgotable, degut a la seva capacitat de regenerar-se després de cada cicle productiu. D'altra part, la terra també és un factor no produïble pel que presenta clares limitacions pel que fa a la seva disponibilitat, circumstància que es considera la causa última de les possibles restriccions al creixement. A partir d'aquest plantejament general les aportacions dels diferents economistes clàssics presenten unes singularitats que fan necessària una exposició individualitzada.

Fortament influït per l'escola fisiòcrata, A. Smith (1776) va destacar la importància de la terra en el procés econòmic, fins al punt de considerar que l'agricultura -degut a la generositat de la naturalesa- era l'única activitat capaç de produir un output per sobre dels inputs que utilitzava. Smith atribueix al sector agrari la capacitat de generar una renda absoluta

-en el sentit de permanent- que prové conjuntament de les propietats intrínseques del sòl i de la funció estratègica de la terra en l'activitat econòmica, i a la que contribueixen especialment les terres millor localitzades en relació al mercat, que són les que determinen els preus dels aliments. En canvi, considerarà que la resta d'activitats vinculades a l'explotació dels recursos naturals (boscos, mines, pedreres), al desenvolupar una funció secundària en la producció, només proporcionaven una renda de manera excepcional, i atribuï a aquesta renda un caràcter diferencial, en funció de la seva fertilitat i localització. Tot això explicava que la classe social més afavorida fossin els terratinents, perceptors de les rendes generades en el sector agrari, situació que s'accentuaria quan l'expansió de la demanda pressionés els preus agrícoles a l'alça.

En l'aportació de Smith es troben alguns indicis de l'evolució del sistema econòmic cap un estat estacionari, ja que si una part creixent del producte es redistribuïa a favor dels terratinents en detriment dels capitalistes, es limitava capacitat d'inversió del sistema, i per tant, les seves possibilitats d'expansió. Tanmateix, això només es contempla com una possibilitat llunyana. En el plantejament de Smith sobre el creixement les restriccions físiques es dil·luïxen, ja que el principal input productiu, la terra, es considera un recurs il·limitat. Serà amb els altres economistes clàssics, Ricardo, Malthus i Mill, quan aquesta qüestió es manifesti obertament.

D'altra banda, Smith també profunditza en la diferenciació dels factors reprenent el camí iniciat per Petty. En aquest sentit, la terra es considera novament un cas singular. D'altra part, estableix una distinció entre els diversos tipus de capital. Així, el capital fix s'associa a la maquinària mentre que el capital circulant inclou tant els aliments com les primeres matèries utilitzades en la producció. Aquesta distinció es troba en la base de la complementarietat entre les diverses formes de capital que els economistes clàssics posteriors extendran a la relació entre els diferents factors productius, i en particular, a la relació entre el treball i el capital, que se suposarà de proporcions fixes.

Si en Smith es manifesten especialment les influències de l'escola fisiòcrata, els plantejaments de Ricardo (1817) mostren una major continuïtat amb les aportacions de Petty, i els

recursos naturals passen al centre del seu esquema analític per explicar el comportament de la producció, la distribució de la renda, i a partir d'aquí, l'evolució del sistema econòmic.

L'agricultura continua al nucli de l'aparell productiu, però en la formulació de Ricardo el factor terra adopta unes altres característiques, ja que segons ell la mesquindesa de la naturalesa l'ha fet limitada en quantitat i, sobretot, de qualitat diversa. Aquesta darrera circumstància explica els rendiments decreixents extensius en l'agricultura, que són la causa última de l'estancament de l'activitat econòmica en el llarg termini. En la lògica ricardiana, les terres d'elevada fertilitat -o les millor situades en relació al mercat- són les primeres en conrear-se i generen una renda extraordinària de tipus diferencial. A mesura que la demanda s'expandeix, l'escassetat de terres d'elevada qualitat obliga a estendre el conreu de manera gradual a superfícies menys fèrtils, que exigeixen una major dotació de capital i treball per unitat d'output, i per tant, augmenten els costos de producció. Així, des de la perspectiva ricardiana els efectes de l'escassetat apareixen ràpidament. L'escassetat física esdevé escassetat econòmica i comença a produir els efectes de l'escassetat econòmica (augment dels preus, costos i rendes) tot just després de conrear-se el ventall de terres de qualitat superior. Però a l'hora, els efectes d'aquesta escassetat es manifesten de manera gradual en el temps, intensificant-se amb l'esgotament de les terres d'una determinada qualitat. Una de les conseqüències d'aquest procés és la disminució de la participació dels beneficis dels capitalistes en la distribució de l'excedent, mentre augmenta la part corresponent a la renda de la terra en el producte total.

L'escassetat de la terra permetia als seus propietaris mantenir una posició privilegiada en la distribució de l'output, però Ricardo descartà que els augments continuats en el valor dels productes agraris fossin una conseqüència directa de l'increment de les rendes que rebien els terratinents. La causa última es troba en les lleis físiques de la producció. Ricardo considerava la terra un recurs natural original i indestructible, però al tractar-se també d'un recurs no produïble, el flux de serveis derivat de la seva explotació tenia uns límits naturals. Això significa que en un procés d'expansió de l'activitat econòmica s'arribaria a un punt en que la totalitat de l'excedent quedaria absorbit per la renda de la terra. Al desaparèixer els beneficis extraordinaris, la inversió es redueix a la simple reposició del capital consumit en el període anterior i s'atura el creixement. La conclusió és que el sistema

econòmic, degut a la restricció imposada per la terra, queda confinat a llarg termini a l'estat estacionari.

Tanmateix, el propi Ricardo introduí alguns matisos a aquest raonament. D'una banda, reconegué la possibilitat de retardar l'arribada de l'estat estacionari mitjançant l'augment de la productivitat agrària degut als avenços científics i a la millora de l'equipament utilitzat, la qual cosa permetria disminuir la relació capital/producte i augmentar la taxa de beneficis. D'altra part, les importacions d'aliments podrien apaivagar els efectes dels rendiments decreixents, el que també incrementaria la participació dels capitalistes en l'output global. En el nou context, l'estat estacionari no seria el resultat inevitable de l'evolució econòmica a llarg termini a causa de les restriccions de la naturalesa, sino més aviat una possibilitat teòrica.

En una extensió de la seva anàlisi, Ricardo va considerar que els recursos no renovables i exhauribles per l'ús, com els minerals, presentaven una escassetat idèntica a la de la terra conreuable, pel que aquí també és aplicable el principi dels rendiments decreixents en el marge extensiu, de manera que la determinació de la renda en el sector miner segueix unes pautes similars a les de l'agricultura. En aquest sentit, Ricardo rebutjà la distinció de Smith entre la renda provinent de l'agricultura (absoluta) i la que s'obtenia de l'extracció dels recursos no renovables (excepcional i de caràcter diferencial). Les explotacions en el marge extensiu, que no generen renda, són les que determinen els preus tant dels productes agraris com dels minerals, ja que els mecanismes que provoquen l'escassetat són els mateixos en ambos casos. Pel que fa als minerals, Ricardo també es referí a la possibilitat de descobrir nous dipòsits i millorar les tècniques d'extracció, la qual cosa -al igual que succeïa amb la terra- retardaria els efectes de la seva escassetat natural.

De l'anàlisi ricardiana se'n deriven quatre aspectes essencials en els àmbits de la producció, de la determinació dels preus i de la distribució. (Quadrio Qurzio, 1986). En primer lloc, la renda de la terra varia amb la seva productivitat, i aquesta, al seu torn, està condicionada per l'escassetat relativa. En segon lloc, l'escassetat dels recursos naturals obliga a treballar en el marge extensiu, que és el que determina els preus dels productes generats a partir d'aquells recursos. En tercer lloc, la producció segueix unes pautes d'eficiència, de manera que els recursos naturals -i especialment la terra- s'utilitzen en ordre de qualitat

decreixent, condició imprescindible per formular el principi dels rendiments decreixents. I en quart lloc, existeix una interdependència entre les primeres matèries i els béns produïts que comporta restriccions en el procés de producció degudes a les limitacions en les substituintibilitats entre els factors, especialment pel que fa als inputs no produïbles.

L'anàlisi de Malthus (1798), també es fonamenta en les condicions de producció en l'agricultura, que combinades amb la dinàmica demogràfica serveixen per formular la seva aportació més coneguda, el principi de la població.

Enfront del plantejament de Ricardo, que es basa en la desigual qualitat de la terra i en la seva explotació extensiva, Malthus considera la terra homogènia i limitada en termes absoluts i posa l'èmfasi en el seu ús intensiu. Aleshores, les restriccions al creixement de la producció agrícola vindrien donades més per l'existència d'una superfície fixa de terra que per l'heterogeneïtat de la seva qualitat. És clar que Malthus era conscient que les diferents qualitats de la terra també afectarien a la seva productivitat, tanmateix el límit absolut és l'element singular de la seva anàlisi, pel que en aquest cas -a diferència del que succeïa en el plantejament ricardià- els rendiments decreixents operen en el marge intensiu. Això significa que en la versió malthussiana el cost del factor capital-treball per unitat d'output es manté constant fins que tota la terra està explotada. Però un cop s'ha arribat a aquest punt, els costos per unitat de producte augmenten degut a la intensificació en l'explotació de les terres ja conreuades. Per això en el cas malthussià la limitada disponibilitat física de recursos naturals només comporta una escassetat econòmica quan la seva explotació esdevé intensiva. Però mentre en la situació imaginada per Ricardo l'aproximació als límits físics és gradual, en la versió malthussiana l'escassetat física i econòmica apareixen de manera simultània i sobtada.

En aquest context, la formulació del principi de la població es basa en dos fenòmens que Malthus considerava naturals, i per tant, difícilment modificables. D'una banda, la limitació física dels recursos naturals imprescindibles pel manteniment de l'activitat econòmica, cas de la terra. I d'altra part, la tendència al creixement geomètric de la població (en absència de mesures reguladores o preventives). La interacció simultània d'aquests dos fenòmens

conduïx a una disminució progressiva de la producció per càpita i confina a la població a un nivell permanent de subsistència, arribant-se per un camí paral·lel al que havia utilitzat Ricardo a una situació d'estat estacionari. De fet, és en la formulació malthussiana quan per primera vegada apareix de forma explícita la idea de la capacitat de sosteniment de l'activitat econòmica, aspecte que recentment ha estat molt divulgat. Malthus també deixà una porta oberta -segurament sense massa confiança- a les conseqüències positives que se'n podrien derivar del canvi tecnològic (4), però això no canvia el seu missatge essencialment pessimista sobre el futur del sistema econòmic.

Després de les contribucions de Smith, Ricardo i Malthus, les aportacions dels darrers economistes clàssics completen el cos analític existent. És el cas de Senior, que amplia l'abast de la teoria de la producció, incorporant les noves fonts d'energia inanimada -cas del carbó- i es refereix explícitament a tres factors productius: el treball i les habilitats de les persones, els agents naturals, i l'abstinència, que considerava la font del capital (fix i circulant). Els recursos naturals s'inclouen en el capital fix, ja que no s'incorporen directament a l'output.

Per la seva part, la contribució de J.S. Mill és una continuació dels plantejaments de Ricardo, especialment pel que fa a l'evolució de l'activitat econòmica a llarg termini. En l'àmbit de la producció, Mill va mantenir la taxonomia de Senior en el tractament dels factors. Tanmateix, en el cas dels recursos naturals, després d'admetre l'existència de rendes diferencials degudes a la seva qualitat desigual o a la seva localització, Mill introdueix algunes qualificacions. Així, pel que fa als minerals contempla la possibilitat de descobrir nous jaciments de qualitat/localització superior, el que comportaria abandonar les explotacions marginals i invalidaria el principi de la utilització dels recursos naturals en ordre de qualitat de-

(4) En paraules del propi Malthus: "L'home està obligadament confinat a una habitació. Quan una hectàrea ha estat afegida a un altre fins que tota la terra fèrtil ha estat ocupada, l'increment en la quantitat d'aliments depèn de les millores que es facin a la terra existent".

creixent. Davant d'aquesta eventualitat, Mill planteja el problema de la determinació de la seqüència idònia de l'explotació d'un conjunt de dipòsits de qualitat variable, qüestió que no resolgué i que constituirà un dels punts d'interès de les anàlisi posteriors.

Com a conseqüència de l'enfocament que adopten els economistes clàssics, la discussió sobre els recursos naturals al llarg del segle XIX gira definitivament al voltant de la naturalesa de les rendes que es generen en la seva explotació. La principal modificació de les anàlisi posteriors és l'objecte d'estudi, que passa de ser la terra a centrar-se en els minerals així que s'avança en el procés industrialitzador. A nivell analític, la primera extensió post-clàssica correspon a Sorely que atribueix dos components a l'excedent obtingut en l'extracció dels minerals. El primer és el que correspon a la renda diferencial, mentre l'altra part s'associa a una compensació pel valor del recurs extret, idea que desenvoluparan més tard alguns economistes neoclàssics, cas de Marshall, i -introduint-hi algunes variacions- Taus-sing (5).

1.3. L'escola neoclàssica.

Amb la irrupció de l'escola neoclàssica té lloc un canvi d'enfocament. Es deixa de banda l'evolució a llarg termini del sistema econòmic i l'èmfasi es posa en l'anàlisi estàtica dels intercanvis de béns i serveis (Naredo, 1987). En el nou paradigma es considera que tots els

(5) Marshall va adoptar la idea de Sorely de distingir els dos components, la renda diferencial estricta i el cost associat a la seva explotació, i considerarà que aquest darrer era el que s'havia d'imputar en la determinació dels preus. Per la seva part, Taussig aprofundeix en aquesta idea al considerar que degut a les seves característiques, la renda que generen els recursos exhauribles, a més dels costos d'extracció també havia d'incloure els costos d'exploració. Una visió retrospectiva sobre el concepte de renda aplicat als recursos naturals es pot trobar a Amundsen (1992).

recursos són escassos, dil·luïnt-se la relativa autonomia que mantenen els béns no produïts, com els recursos naturals, en els esquemes clàssics. El que ara interessa és determinar l'assignació de qualsevol tipus de bé a partir del comportament maximitzador dels agents. Les preferències individuals es consideren donades i el mercat és el mecanisme que les canalitza (6).

Un aspecte remarcable és que malgrat la nova orientació de la ciència econòmica, en l'àmbit de la producció l'escola neoclàssica continua sent deutora de la teoria ricardiana. La principal raó és que l'escola neoclàssica es desenvolupa a partir de les aportacions dels economistes marginalistes, pels que l'anàlisi de la producció és essencialment un mitjà per explicar la distribució de l'output entre els factors (Christensen, 1989). Una idea fonamental dels economistes marginalistes és la contribució decreixent a l'output de cada factor individual, que serveix per generalitzar la teoria ricardiana de la renda diferencial de la terra a la resta d'inputs. Des d'aquesta perspectiva, els factors produïts, com el capital, reben la mateixa consideració que els recursos no produïbles, cas de la terra. Les productivitats marginals es consideren independents dels inputs individuals, pel que les complementarietats entre factors -dins d'una tècnica- desapareixen dels esquemes analítics, així com l'heterogeneïtat inherent a cada factor. En definitiva, heterogeneïtat i complementarietat se substitueixen per homogeneïtat i separabilitat.

D'acord amb Christensen, a aquesta visió de la producció s'hi arribà de manera gradual. Així, Jevons en el seu tractat sobre el capital del 1871 suprimeix la distinció entre capital fix i capital circulant, al considerar el primer com una versió de llarga durada del segon i obvia les diferents formes que el capital pot adoptar (equipaments, combustibles). Quasi al mateix temps, Menger du a terme una anàlisi més desagregada de la importància dels dife-

(6) Una qüestió interessant -bé que colateral en aquest treball- és per què va tenir lloc aquest canvi d'enfocament, que ha resultat transcendent per a la ciència econòmica. L'explicació més versemblant és la que es refereix als aspectes factuais. Com han assenyalat diversos historiadors (Landes, 1969), el segle XIX constitueix un període d'èxit en el procés de substitució de recursos, i a l'inrevés del que succeí en el segle XVIII, s'allunya el fantasma de l'escassetat. L'anàlisi econòmica, doncs, no havia de preocupar-se per situacions hipotètiques.

rents factors productius, i malgrat el reconeixement de les proporcions fixes entre inputs -es refereix a les reaccions químiques, per exemple-, universalitza les proporcions variables pròpies de l'agricultura. El pas decisiu sobre la contribució independent dels factors de producció individuals a l'output correspon a Walras el 1874 (en la formulació de la teoria de l'equilibri general): l'homogeneització del capital i la terra possibilita l'agregació vertical de l'agricultura i la indústria i consolida l'eliminació dels recursos naturals dels esquemes explicatius de l'activitat econòmica. Totes aquestes consideracions les recullen cap el 1890 Wicksted i Wicksell quan elaboraren la primera teoria neoclàssica de la producció, en la que la primacia correspon als aspectes distributius. Finalment, Marshall (1920) manté la distinció ricardiana entre els rendiments decreixents en l'agricultura i els rendiments creixents en la manufactura, però en la discussió sobre aquesta darrera activitat es refereix essencialment a l'àmbit organitzatiu, sense considerar els aspectes físics de la producció i sense distingir entre els diferents inputs, pel que els recursos naturals es dilueixen en el conjunt de "factors de producció".

El resultat de l'evolució conceptual i analítica que té lloc en el si de l'escola neoclàssica és que la producció esdevé un aspecte de l'assignació i determinació dels preus dels factors. L'atenció es posa en la distribució de l'output, que es considera regulat pel valor del producte marginal -decreixent- dels diferents inputs que han contribuït a la seva obtenció, és a dir, per la llei de proporcions variables que opera en el curt termini. I a partir d'aquest plantejament es construeix una teoria general de la substituïbilitat entre els inputs sense discutir expressament els trets físics rellevants de l'activitat productiva.

Robinson (1986) s'ha referit a la importància que varen tenir els rendiments decreixents de tipus ricardià (en el marge extensiu) en la corrent econòmica dominant a partir de la segona meitat del segle XIX, tant en els plantejaments dels mateixos economistes marginalistes com en les contribucions específiques sobre els recursos no renovables que es desenvoluparien poc després. En aquest sentit destaca l'escàs èxit dels pensadors que al llarg del segle XIX i començament del segle actual es referiren a la possibilitat que en les activitats vinculades a l'explotació dels recursos naturals poguessin existir rendiments creixents com a conseqüència del progrés tècnic (Carey), i també com a resultat de l'extensió de l'activitat econòmica a noves àrees (Courtney i Chapman). Només s'acceptà l'existència de rendi-

ments creixents en l'agricultura, però no en les activitats dedicades a l'extracció dels recursos minerals. Amb l'auge dels economistes marginalistes, els rendiments decreixents aplicats a l'explotació dels recursos naturals donen lloc a la idea que l'extracció d'aquests recursos té un cost d'oportunitat intertemporal, circumstància que afecta la determinació dels preus i de la que, a més, se'n derivaran conseqüències pel que fa a la distribució intergeneracional. En aquesta idea es troba la base de la teoria econòmica convencional sobre els recursos no renovables (la teoria de l'esgotament), que es configura de manera autònoma a començament de segle amb les aportacions de Gray. Com ja hem assenyalat, fins llavors, l'anàlisi econòmica dels recursos no renovables va ser essencialment un apèndix de la teoria de la renda.

1.4. Els conservacionistes.

En els plantejaments clàssics els recursos naturals -essencialment la terra- juguen un paper instrumental. Aquests recursos són imprescindibles en la producció però no constitueixen directament l'objecte de la seva anàlisi. L'explicació dels fenòmens econòmics té lloc a partir de l'entorn físic i són les seves limitacions -dotació fixa de terra en quantitat i qualitats- que condicionen els resultats de l'activitat econòmica, que es tradueixen en l'evolució cap un estat estacionari. D'altra banda, el canvi d'enfocament dels economistes marginalistes i neoclàssics dil·luí la funció dels recursos naturals, al associar-los a la resta d'inputs productius. Amb aquests antecedents, el moviment conservacionista que sorgí a finals del segle XIX als Estats Units constitueix una fita en l'anàlisi econòmica dels recursos naturals per la importància que atorga "per se" a aquests recursos (7).

El desenvolupament del moviment conservacionista té lloc -paradoxalment- en un país en el que la dotació de recursos per càpita era una de les més elevades del món però en el qual el ritme d'explotació de determinats actius naturals provocava incerteses sobre la viabilitat a llarg termini d'aquestes intervencions. Val a dir que la qüestió que plantejaven els conservacionistes no era nova. Pocs anys abans, Jevons (1864), ja s'havia formulat un

interrogant semblant sobre la disponibilitat de carbó per mantenir el creixement econòmic en el temps a la Gran Bretanya. La preocupació de Jevons estava motivada per les conseqüències que s'en derivarien de l'eventual carència d'aquell input per a l'expansió industrial i la seva aportació té una vessant essencialment empírica. En el cas del moviment conservacionista, tanmateix, no es tracta tant d'una reacció enfront de previsibles escassetats, sino d'un posicionament acadèmic -del que se'n deriven propostes d'actuació- davant la impossibilitat d'explotar indefinidament els recursos naturals (8).

Un aspecte remarcable és que els conservacionistes tenien una visió estàtica dels recursos naturals, que associaven a una disponibilitat fixa, mesurable en unitats físiques. Per això atorguen una atenció especial a les qüestions pràctiques, com la determinació de la taxa "adequada" d'explotació d'aquests recursos i l'establiment de mecanismes per garantir la seva preservació. És des d'aquesta perspectiva que hom pot considerar els conservacionistes els precursors immediats de l'anàlisi econòmica dels recursos no renovables i de la problemàtica derivada de la seva explotació.

(7) Abans dels conservacionistes, i de manera paral·lela a les grans corrents de pensament del segle XIX, també es desenvolupen algunes contribucions aïllades a l'anàlisi econòmica dels recursos naturals com a matèria específica, però les anàlisi se centren -per raons pràctiques- en els recursos renovables. Les principals aportacions corresponen als economistes alemanys, que en el marc de l'escola cameralista posen l'atenció en la gestió dels boscos, la qual cosa dona lloc al desenvolupament de diferents mètodes de càlcul (per determinar la seva valoració, rotació adequada, etc), aspecte en el que es beneficien de les teories de la renda de la terra de Smith i Ricardo. La contribució pionera correspon a Von Thünen (1826), qui establí com a criteri per a la gestió d'un bosc la igualació de l'increment relatiu del seu valor (capital) al tipus d'interès. Posteriorment, Faustmann va perfeccionar el mètode del valor esperat, i Köing i Pressler desenvolupen el mètode de la taxa interna de retorn amb aplicació als recursos forestals. És probable que els economistes alemanys del segle XIX també influïssin en els plantejaments dels conservacionistes americans. En aquest sentit, la principal novetat que introdueixen els conservacionistes és l'extensió de l'anàlisi als recursos no renovables.

(8) Això no significa que la situació dels recursos naturals als Estats Units no influís en l'aparició del moviment conservacionista. Un factor d'alerta important va ser l'explotació intensiva des boscos durant el segle XIX i el seu impacte sobre la disponibilitat futura dels recursos forestals. La consolidació del moviment conservacionista té lloc a començament del segle XX, quan aquesta preocupació s'esten als recursos no renovables.

Un dels capdavanters d'aquest moviment va ser Fernow, que va desenvolupar la seva tasca -acadèmica i aplicada- en l'àmbit dels recursos forestals i publicà un dels primers tractats sobre l'economia dels boscos (Fernow, 1902). A ell correspon la classificació dels recursos naturals en quatre grans grups: a) recursos inexhauribles; b) recursos exhauribles i no renovables; c) recursos renovables però que es deterioren amb la intensificació de l'activitat econòmica, i d) recursos renovables quina productivitat es pot augmentar al gestionar-los amb criteris científics.

Els conservacionistes duen a terme la seva anàlisi a partir de tres consideracions. En primer lloc, que els recursos naturals, per les seves característiques, són uns bens singulars i diferenciats en l'activitat econòmica. En segon lloc, que per les funcions que desenvolupen són imprescindibles en la societat industrial. I en tercer lloc, que molts d'aquests recursos són esgotables i difícilment substituïbles, almenys a curt termini. Un cop establertes les propietats diferencials dels recursos naturals, i en particular dels recursos no renovables, l'interès dels conservacionistes passa a ser la seva gestió: comença a discutir-se quins són els criteris que han de regir l'ús d'aquests recursos, la qual cosa comporta resoldre la possible dicotomia entre la seva preservació i la seva explotació eficient d'acord amb els plantejaments de la teoria econòmica basats en la maximització del valor actual. Amb els conservacionistes apareix obertament la problemàtica de la relació entre les generacions actuals i les generacions futures. Gray -al que ens referirem de manera individualitzada en el següent apartat- va ser el primer economista que va afrontar aquest problema d'una manera formal.

La dicotomia que acabem d'exposar entre preservació i eficiència constitueix la pedra de toc dels plantejaments conservacionistes pel que fa als recursos no renovables. Així, Ely va preconitzar la intervenció pública davant la possibilitat que la maximització del valor actual d'un recurs conduís a una explotació excessiva en detriment del benestar de les generacions futures. En la mateixa línia se situen les contribucions d'Ise, que vincula la conservació dels recursos amb el manteniment del nivell de vida a llarg termini (Ise, 1925). En aquest sentit, Ise va incidir especialment en la importància del petroli -que ja s'havia consolidat com el principal recurs no renovable de l'activitat econòmica-, amb uns plantejaments que recorden els de Jevons sobre el carbó 50 anys abans: "El sistema ha utilitzat

més petroli en els darrers 10/12 anys i més minerals en els darrers 25 anys dels que s'han utilitzat al llarg de tota la història" (Ise, 1926). I és la inviabilitat de mantenir en el temps aquesta situació el que justifica novament la intervenció pública per preservar uns inputs bàsics per a la societat moderna. Per Ise aquesta intervenció passava per la regulació dels preus: el sector públic havia de garantir mitjançant l'establiment d'un impost que els preus dels recursos no renovables cobrissin el cost d'obtenir recursos alternatius que fossin renovables per dur a terme la mateixa funció (9). Segons Ise, la fixació de preus d'acord amb aquest criteri desestimularia l'explotació intensiva dels recursos no renovables i afavoriria la recerca de substituïts renovables, contribuint a la resolució del problema sobre la disponibilitat d'aquells recursos en el llarg termini.

Aquesta idea va ser desenvolupada posteriorment -amb algunes variants- pels economistes institucionalistes, el principal representant dels quals és Ciriacy-Wantrup (1952). En la mateixa línia, diverses propostes actuals sobre la gestió dels recursos no renovables són clarament deutores d'aquest plantejament (10).

1.5. Les anàlisi formals: Gray i Hotelling.

La influència acadèmica dels plantejaments conservacionistes es palesa en les contribucions de Gray, a qui correspon la primera anàlisi de la gestió dels recursos no renovables des d'una òptica neoclàssica.

(9) Així, en el cas del petroli el preu hauria de cobrir el cost d'obtenir els seus serveis -o més concretament, els dels seus derivats- utilitzant un recurs alternatiu que fos renovable. Lògicament, el cost d'aquests serveis diferirà segons l'aplicació considerada. En l'aplicació del transport, per exemple, el preu dels derivats del petroli s'hauria d'establir en funció del cost d'obtenir un input substitutiu, com pot ser l'alcohol, a partir d'un recurs renovable, cas de la canya de sucre.

(10) És el cas de Daly (1979).

En un primer article Gray planteja la qüestió macroeconòmica de l'equidat intergeneracional i introdueix la relació entre els recursos no renovables i la teoria del capital (Gray, 1913). El seu objectiu és determinar una estratègia de conservació òptima que faci compatibles l'eficiència econòmica i l'equidat intergeneracional, la qual cosa requereix resoldre els conflictes d'interessos entre el present i el futur. Tanmateix, en aquesta primera anàlisi Gray només albira solucions temptatives.

L'enfrontament entre el present i el futur és una conseqüència dels plantejaments oposats entre la teoria econòmica i les idees conservacionistes. D'una banda, la utilització de la teoria neoclàssica comporta estendre a l'anàlisi dinàmica dels recursos no renovables els criteris assignatius d'eficiència estàtica, i d'això en resulta aplicar el principi de la maximització del valor actual per determinar l'ús d'aquests recursos, amb independència de les conseqüències redistributives que se'n derivin. En aquesta aproximació el tipus d'interès juga un paper crucial i Gray destaca la relació directa que existeix entre el seu nivell i la taxa "òptima" d'extracció del recurs. En aquest sentit, cap atribuir a Gray la paternitat d'introduir el tipus d'interès com a variable estratègica en l'anàlisi econòmica dels recursos no renovables. D'altra part, enfront del criteri "economicista" de la maximització del valor actual, es troben les posicions conservacionistes, que propugnen la preservació d'aquells recursos que es consideren imprescindibles per a l'activitat econòmica.

La presència d'aquests dos objectius aparentment oposats -la maximització del valor actual i la conservació dels recursos- dona lloc a la qüestió essencial: trobar el punt d'equilibri que els faci compatibles. Segons Gray, la conservació -basada en l'ètica igualitària- com a principi d'acció comporta atorgar una importància equivalent al present i al futur llunyà, però ell mateix considerarà que l'actuació a partir d'aquest principi no tindria massa sentit. L'homogeneïtzació dels interessos de la generació present i de les generacions futures -és a dir, la consideració d'una taxa de descompte nul·la- condueix a la preservació total del recurs, situació que planteja problemes pràctics, especialment si es tracta de béns insubstituïbles en l'activitat econòmica. D'altra banda, Gray tampoc es mostra partidari de centrar l'atenció únicament en la maximització del valor actual, doncs "màxima producció no necessàriament significa més progrés. No és segur que la màxima producció condueixi al desenvolupament

lupament social més elevat". I com exemple d'aquesta situació és refereix a les conseqüències negatives -que tècnicament es definirien com externalitats pocs anys més tard- associades a l'explotació de determinats recursos, cas dels residus derivats de la combustió del carbó per a la generació d'electricitat. La conclusió és, doncs, que cal estudiar les necessitats humanes de la manera més objectiva possible abans de donar una resposta definitiva a aquesta qüestió. Amb la irresolució en aquests termes del problema plantejat, Gray deixava una porta oberta a les aportacions de l'ecologia humana, algunes de les quals ja s'havien desenvolupat -o es formulaven llavors- d'una manera paral·lela (11).

Si en l'article de 1913 Gray es fa ressó del possible conflicte entre l'eficiència econòmica i l'equitat intergeneracional, un any després adopta una posició més pragmàtica (Gray, 1914) i a partir dels instruments que proporciona la teoria econòmica convencional desenvolupa la primera anàlisi microeconòmica a curt termini de l'explotació d'un recurs exhaustible (una mina de carbó) per part d'una empresa individual en una situació perfectament competitiva. Aquesta és l'aportació seminal sobre la determinació de les condicions òptimes d'explotació dels recursos no renovables, tant pels elements que introdueix com pels resultats assolits, que resolgueren els diferents problemes plantejats.

En concret, Gray fou pioner en el reconeixement de la validesa general de la llei de proporcions variables aplicada a l'explotació de les mines i modificà el criteri d'eficiència estàtica

(11) El desenvolupament de l'ecologia humana correspongué essencialment a químics, biòlegs i enginyers que consideraren la problemàtica relacionada amb la dotació i ús dels recursos naturals l'objecte essencial de les seves anàlisi, sovint a partir dels interrogants, estímuls i inquietuds que els hi provocava l'activitat en llurs respectives especialitats. Les ciències naturals foren pioneres en aquest àmbit i científics com Podolsky, Sacher, Clasius, Geddes, Soddy, Pfaundler i Adams, entre d'altres, obriren una línia de recerca que fins molt recentment -possiblement degut al desconeixement de les aportacions originals- no ha tingut continuïtat per part dels economistes. Avui sembla clar que aquest desconeixement va ser la conseqüència de plantejaments divergents, ja que enfront la visió més "material" de l'ecologia humana, els economistes neoclàssics estaven interesats únicament en la determinació de situacions d'equilibri -general o parcial- i d'eficiència a partir del comportament maximitzador dels agents econòmics mitjançant el mercat. Martínez Alier (1984) i Martínez Alier i Schlüpman (1991) han dut a terme una anàlisi exhaustiva de les principals aportacions de l'ecologia humana.

habitual (que iguala el preu al cost marginal) per determinar el marge intensiu dels recursos no renovables introduint el concepte de cost d'oportunitat intertemporal (que després es definiria com a renda d'escassetat), que passarà a ser l'element clau de l'anàlisi. Així, en el cas dels recursos no renovables, degut al cost d'oportunitat intertemporal, el nou criteri d'eficiència estàtica indica que el preu ha d'igualar el cost marginal d'extracció més el valor imputat a aquell cost d'oportunitat. A partir d'aquest plantejament i amb la utilització d'exemples aritmètics, Gray resol el problema de l'empresa maximitzadora de beneficis a curt termini en un horitzó temporal indeterminat. D'igual manera, Gray també determina la condició d'eficiència dinàmica (associada a la maximització del valor actual), que indica quin ha de ser l'evolució del rendiment net del recurs al llarg del temps.

En una primera aproximació Gray contempla la possibilitat que el recurs fos inesgotable, circumstància en la que preval el criteri d'optimització habitual (aplicable als béns reproduïbles) i la quantitat extreta és la que iguala els costos marginals amb el preu. A continuació considera la situació en que l'estoc del recurs és limitat però es fa abstracció del tipus d'interès. En aquest cas mostra que la quantitat que maximitza els beneficis és la que minimitza els costos mitjans. Finalment, amb la introducció del tipus d'interès el problema es planteja en termes dinàmics i Gray mostra que la maximització del valor actual comporta que el rendiment net del recurs augmenti precisament a una taxa equivalent al tipus d'interès (12). En la pràctica això requereix una disminució dels costos marginals, el que s'aconsegueix reduint de manera gradual el ritme d'explotació del dipòsit.

L'aportació de Gray -tant pel que fa al plantejament com als resultats- constitueix una fita en el desenvolupament de la teoria econòmica dels recursos no renovables. Com ha assenyalat Crabbé (1983), malgrat la simplicitat analítica, la seva contribució permeté per primera vegada establir proposicions de tipus general sobre l'explotació d'aquests recursos i definí clarament una línia per tractar aquesta qüestió. Les aportacions posteriors varen

(12) El rendiment net del recurs és la diferència entre el preu i el cost marginal d'extracció, diferència que reflecteix exactament el cost d'oportunitat intertemporal de diferir l'explotació del recurs.

Hotelling considera els recursos no renovables uns actius que generen unes rendes als seus propietaris mitjançant la revalorització (que es deu a la seva creixent escassetat), i el problema que enfronta és el de l'assignació eficient d'un estoc limitat i conegut d'aquests recursos al llarg del temps (el famós "eat cake problem"). En una primera aproximació Hotelling analitza una situació competitiva i amb costos d'extracció nuls, el que significa que el rendiment net o renda d'escassetat que reb el propietari del recurs és equivalent al seu preu (14). En aquestes condicions Hotelling mostra que per garantir l'equilibri en el mercat d'actius l'explotació del recurs s'ha de regir per una regla bàsica, segons la qual el preu del recurs natural ha d'augmentar a una taxa igual al tipus d'interès del mercat -que en la pràctica indica quin és el cost d'oportunitat de mantenir el recurs sense explotar al llarg del temps. En una situació competitiva, l'equilibri del mercat queda garantit per l'arbitratge entre l'actiu "recurs natural" i la resta d'actius.

Però això només és el primer pas. A més de la dimensió estoc, en la que els recursos naturals s'associen a una forma de capital que es revaloritza al llarg del temps degut a una escassetat creixent, aquests béns també tenen una dimensió flux, ja que s'utilitzen com a inputs productius en l'activitat econòmica. Això significa que s'enfronten a una corba de demanda convencional, amb pendent negativa, de manera que per preus molt baixos la quantitat demandada de recursos naturals per explotar serà elevada i es reduirà així que els preus augmentin, arribant-se a un punt en que la demanda és nul·la. Per garantir un resultat eficient, una condició necessària és que la demanda nul·la coincideixi amb l'exhauriment físic del recurs. Si el recurs s'esgota abans d'assolir el preu màxim, una part de la demanda resta per ser satisfeta, i si al arribar a aquest preu existeixen excedents, una part del recurs es malbarata ja que no ha estat utilitzat. Aleshores, el que cal identificar és el preu inicial que, amb un tipus d'interès fixat, determini una seqüència de preus futurs tals que la demanda acumulada fins que s'assoleixi el preu màxim coincideixi amb la quantitat

(14) Com ja hem vist al referir-nos a Gray, el rendiment net o renda d'escassetat equival al cost d'oportunitat intertemporal de mantenir el recurs, pel que quan no existeixen costos d'extracció el preu del recurs reflecteix únicament aquell cost d'oportunitat.

total disponible del recurs. A continuació Hotelling mostra que una situació competitiva determina un preu inicial -que té lloc en funció de l'oferta i demanda del recurs com a input productiu- que condueix a un resultat eficient, entès com el que maximitza el valor actual del recurs en termes socials. En aquest cas, doncs, serien innecessàries mesures reguladores, que només es justifiquen quan les trajectòries efectives dels preus es desvien de les ideals.

Aquesta eventualitat condueix Hotelling a analitzar les situacions de monopoli, més properes a la realitat, i mostra que amb la nova configuració es modifica la regla bàsica. Per mantenir l'equilibri en el mercat d'actius, la renda d'escassetat també ha d'augmentar a una taxa equivalent al tipus d'interès, però ara la maximització del valor actual del recurs exigeix que la renda d'escassetat s'iguali a l'ingrés marginal del monopolista. La conseqüència d'això és que la trajectòria de preus canvia, desviant-se de la solució eficient. En aquest sentit Hotelling mostra mitjançant un exemple numèric que els resultats de l'anàlisi estàtica són extensibles en l'àmbit dinàmic i que en una situació monopòlica en l'explotació dels recursos naturals, la maximització de beneficis no és compatible amb un resultat eficient: en monopoli els preus inicials són més elevats i es redueix la quantitat demandada, pel que per esgotar el recurs quan s'arribi al preu màxim els preus dels períodes finals han de ser més baixos que en el cas competitiu, el que significa que en algun moment del temps ambdues trajectòries es creuen. La nova trajectòria dels preus que maximitza els beneficis reflecteix que l'efecte d'una monopolització dels recursos naturals és ralentir la seva explotació, un resultat que, sens dubte, hauria satisfet els conservacionistes (15). Tanmateix, Hotelling no estava gaire preocupat per les qüestions d'equitat intergeneracional que havien centrat l'atenció d'aquells i es mostrà partidari de descomptar el futur. El seu interès era utilitzar les eines de l'anàlisi econòmica per determinar el valor màxim de l'explotació d'un recurs no renovable i identificar les trajectòries de preus (eficients) compatibles

(15) Com tots els resultats que s'obtenen a partir d'exemples numèrics, la seva validesa és únicament temptativa, sense que tingui caràcter general. Anàlisi posteriors mostren que en un monopoli també pot tenir lloc la situació contrària, amb una utilització del recurs més ràpida que en una situació competitiva.

amb aquest objectiu. Per això insistí en la reducció dels beneficis socials degut a les situacions monopòliques (16).

Amb l'aportació de Hotelling es configura l'anàlisi convencional dels recursos no renovables, tant pel que fa als seus plantejaments com al mètode emprat. Malgrat que el seu article no va tenir una continuïtat immediata en el temps, fixà les directrius pel futur i d'ell en són deutors tots els desenvolupaments posteriors dins de l'òptica maximitzadora (17).

Després de Hotelling l'interès pels recursos no renovables esdevé secundari en l'àmbit de la ciència econòmica, que centra l'atenció en les qüestions dinàmiques de tipus macroeconòmic. L'anàlisi microeconòmica dels recursos no renovables es reprèn en la dècada dels 50, però ho fa amb un caràcter puntual i esporàdic fins a començament dels 70. Les raons d'aquest ostracisme responen tant a factors de tipus intern -referits a la pròpia evolució de la ciència econòmica- com externs -relacionats amb la situació econòmica- bé que ambdós presenten interdependències. Així, en un primer moment va ser determinant el canvi d'enfocament de l'anàlisi, més orientat cap els problemes generals del creixement i el desenvolupament. Però a l'hora també va influir la creença -bastant generalitzada- que l'evolució de l'activitat econòmica a llarg termini, almenys en els països avançats, no estava condicionada per la disponibilitat de recursos naturals, pel que la qüestió sobre la seva assignació passa a un segon terme. El context econòmic dels anys 50 i 60 afavoreix aquest posicionament, ja que els preus baixos de la pràctica totalitat de primeres matèries en una situació d'expansió econòmica s'associa a una disponibilitat adequada de recursos i a un funcionament eficient dels mercats. Addicionalment, els primers treballs empírics que es duen a terme sobre l'escassetat dels recursos naturals reforcen aquestes impressions.

(16) En el seu article Hotelling també considera altres aspectes relacionats amb l'explotació dels recursos no renovables. És el cas dels costos d'extracció creixents així que l'explotació progressa, la influència de la producció acumulada sobre la demanda, la importància de la inversió i la incidència dels impostos. Una exposició sintètica de les principals contribucions de Hotelling es pot trobar a Devarajan i Fisher (1981)

(17) A títol indicatiu assenyalarem que Heal, un dels economistes neoclàssics que més ha contribuït a la teoria dels recursos no renovables, atribueix a Hotelling el 25% de l'aportació en aquesta àrea (Heal, 1993).

En el vessant teòric, les anàlisi dels anys 50 i 60 aprofundeixen en alguns dels aspectes que Hotelling ja va considerar però que no arribà a presentar de manera formal i comencen a desenvolupar-se els exercicis de dinàmica comparativa. Així, Scott (1955, 1967) reprèn l'anàlisi amb la discussió dels efectes dels canvis en el tipus d'interès sobre l'explo-tació del recurs i conclou que el resultat és indeterminat. La raó és que una elevació en el tipus d'interès es manifesta per una doble via. D'una banda, tendeix a desplaçar l'explo-tació cap el present, ja que, "ceteris paribus", augmenta el cost d'oportunitat de mantenir els recursos sense explotar. Però d'altra part, un tipus d'interès més alt també desincentiva la inversió, la qual cosa pot ralentitzar el ritme d'extracció. En una línia similar se situen les contribucions de Herfindahl (1967), Gordon (1967) i Smith (1968). Per la seva part, Cum-mings (1969) i Koopmans (1973) determinen les condicions d'optimització en un marc més general. A començament dels 70, un cop establertes les bases teòriques, i també per la in-fluència de factors externs (la publicació del primer informe del Club de Roma el 1972, l'im-pacte de la primera crisi del petroli), l'anàlisi formal experimenta una expansió que es manté fins a l'actualitat. En les dècades dels 70 i 80 es multipliquen els treballs en la línia iniciada per Gray i Hotelling i es completen els resultats que constitueixen el cos de la lite-ratura acadèmica convencional sobre els recursos no renovables.

1.6. Els recursos naturals en l'anàlisi macroeconòmica del creixement.

Les aportacions clàssiques al creixement, i en especial l'atenció atorgada a les restriccions imposades pel medi natural en l'evolució a llarg termini de l'activitat econòmica, s'esvaïren amb els pensadors que les havien desenvolupat. Kindleberger (1965) considera que això és una conseqüència de la situació econòmica a Europa i Amèrica del Nord a partir de mi-tjan del segle XIX, que semblava desmentir l'existència de limitacions insuperables per as-solir una expansió ininterrompuda. La batalla s'havia decantat a favor dels elements que apaïvagaven eventuais restriccions, com el progrés tecnològic, que continuament millorava

la productivitat i qualitat dels factors i feia possible una major eficiència en els processos de producció.

Després de la Gran Depressió la ciència econòmica recupera l'interès pels problemes macroeconòmics del llarg termini, i l'anàlisi dinàmica experimenta un impuls, retornant el protagonisme a algunes de les qüestions que havien preocupat els economistes clàssics. Així, un dels objectius de la dinàmica macroeconòmica és la determinació de les condicions necessàries pel creixement. Aquest canvi d'enfocament dona lloc a dues línies teòriques. Per un costat, les formulacions dinàmiques de tipus post-keynesià i post-clàssic, que són les que duen la iniciativa en el reposicionament acadèmic. Per altra banda, la línia neoclàssica, que es configura com una resposta als plantejaments post-keynesians i post-clàssics i que enfronta els problemes econòmics a llarg termini a partir del cos teòric convencional. En aquest cas l'anàlisi en termes d'equilibri i d'eficiència de tipus estàtic adopta un caire dinàmic.

Tanmateix, en el context econòmic que abans hem assenyalat, no és estrany que un cop descartada la importància del medi físic com un factor limitador de l'expansió de la producció, el retorn a l'interès pel llarg termini es tradueix en models de creixement en els que els inputs rellevants són el capital i el treball, excloent-hi explícitament els recursos naturals. I aquesta circumstància es palesa tant en la línia post-keynesiana i post-clàssica com en les aportacions neoclàssiques.

La influència keynesiana es manifesta en les contribucions de Harrod, Kalecki i Kaldor. La represa d'aquesta línia analítica correspon a Harrod (1939, 1948), amb el desenvolupament d'un model unisectorial de creixement en el que els únics factors de producció són el capital i el treball. Ambdós factors estan subjectes a rendiments constants a escala, però la seva utilització té lloc en proporcions fixes, recuperant així la idea de complementarietat dels economistes clàssics. A partir d'aquest plantejament, Harrod mostra que si la taxa d'acumulació del capital creix al mateix ritme que la mà d'obra, l'economia s'expandirà a una taxa de creixement constant. Aleshores, les restriccions al creixement econòmic no es troben tant en la dotació de recursos naturals -Harrod descartà explícitament la llei de rendiments decreixents com a factor limitador- sino més aviat en la dotació de capital.

Paral·lelament a l'aportació de Harrod té lloc una recuperació progressiva dels principis analítics dels economistes pre-clàssics i clàssics, i en particular, de les contribucions de Ricardo en l'àmbit de la producció, configurant-se les teories post-clàssiques. Així, Von Neumann (1945) i Leontief (1951) reconstrueixen en termes dinàmics i discrets esquemes multisectorials fonamentats en les aportacions de Quesnay i Ricardo que posen l'èmfasi en les interrelacions entre els mitjans de producció (mantenint la idea de complementarietat), els processos productius i els béns produïts, però sense considerar expressament la funció dels recursos naturals (béns no produïts). De manera implícita, doncs, se suposava que l'eventual escassetat d'aquests recursos naturals no alterava el funcionament del sistema. Sraffa (1960) dona un pas endavant i és el primer economista post-clàssic que integra en una teoria circular de la producció, els mitjans de producció, els béns produïts i els recursos no produïbles, al incorporar la terra en el seu marc analític. L'esquema sraffià permet obtenir els "preus de reproducció", que són aquells compatibles amb la continuïtat de l'activitat econòmica en el llarg termini. La determinació d'aquests preus està condicionada pels requeriments físics per substituir les mercaderies utilitzades en la producció. Però els factors no produïbles i exhauribles per l'ús (com els recursos energètics i els minerals no combustibles) continuen quedant al marge. Reprenent el plantejament de Sraffa, Quadrio Curzio (1967) publica un treball basat en les teories circulars de la producció que inclou tant les primeres matèries com els mitjans de producció no produïts i que serveix per determinar la renda i el preu de la terra, una línia d'anàlisi que continuarien poc després Metcalfe i Steedman (1972). Per la seva part, Parrinelo (1983) introdueix explícitament els recursos no renovables i exhauribles per l'ús en un esquema productiu multisectorial de tipus sraffià i considera les implicacions que se'n deriven en el conjunt del sistema, especialment pel que fa a la determinació dels preus i de les variables distributives (salari i taxa de benefici). Més recentment, Kurz i Salvadori (1995) han analitzat la mateixa qüestió d'una manera més formal.

La resposta als esquemes neokeynesianes i post-clàssics correspongué als economistes neoclàssics, que s'introdueixen en l'anàlisi del creixement amb la contribució de Solow (1956), a partir de la qual s'han desenvolupat nombroses extensions. Solow presenta un

model amb rendiments constants a escala en el que el capital i el treball són els únics inputs que contribueixen a la producció, es poden expandir tant ràpidament com sigui necessari, i a més, són perfectament substituïbles. Una situació molt allunyada de les idees clàssiques de rendiments decreixents i complementarietat entre els factors en la producció. Amb aquest plantejament no és sorprenent que els resultats també siguin totalment oposats als dels economistes clàssics. Així, una de les principals implicacions del model es que, amb el supòsit que la mà d'obra és una proporció constant de la població, el creixement econòmic es pot mantenir indefinidament a una taxa igual a la del creixement de la població. No seria fins quasi 20 anys més tard, després de la publicació del primer informe del Club de Roma i de la crisi energètica del 1973/74 quan Solow, i amb ell la resta d'economistes neoclàssics, varen introduir els recursos no renovables en l'anàlisi del creixement econòmic.

1.7. Els recursos naturals i el desenvolupament.

A diferència del que succeí en les anàlisi teòriques dels anys 40 i 50, en el terreny empíric les diferents contribucions sobre les causes del creixement econòmic consideren de manera expressa la funció dels recursos naturals, i el debat gira al voltant de la importància d'aquests recursos -juntament amb la de la resta de factors productius- en els processos de desenvolupament. En aquest sentit, un dels aspectes més discutits és precisament la relació entre la disponibilitat de recursos i el nivell de desenvolupament assolit per un país.

Una de les primeres aportacions empíriques sobre la importància dels recursos naturals en els processos de creixement correspon a Colin Clark (1943), que va construir un model per predir les conseqüències de la limitada disponibilitat de la terra agrícola sobre el creixement dels Estats Units fins el 1960. Clark parteix d'un plantejament que recorda el dels economistes clàssics, ja que també presuposava l'existència de rendiments decreixents de la terra. Per això no és sorprenent que els resultats se situessin en la mateixa direcció. El més destacable és la previsió d'un augment espectacular dels preus de la terra agrícola,

circumstància que es considerava extrapolable a d'altres recursos naturals degut a la seva dotació limitada. Aquesta predicció -bé que després es va manifestar incorrecte- durant un temps va sustentar la creença que una de les conseqüències dels processos de creixement era que els preus dels serveis dels recursos naturals havien d'augmentar en relació als dels factors reproduïbles.

La idea de Clark va ser desmentida posteriorment per Schultz (1951), que va mostrar que la contribució dels recursos naturals al creixement en els països desenvolupats disminuïa de manera continuada, situació que afectava especialment a la terra. En una nova anàlisi sobre l'agricultura, Schultz atribueix aquesta circumstància tant a factors d'oferta com de demanda. Pel costat de l'oferta la principal raó es troba en les millores de la tecnologia, que permeten augmentar ràpidament la productivitat dels recursos existents, i que en el cas de la terra es tradueixen en un seguit d'innovacions que economitzen el seu ús. Pel costat de la demanda, l'explicació rau en la baixa elasticitat-renda dels productes agrícoles (inferior a l'unitat), que fa que la contribució de la terra al PNB d'un país al llarg del temps creixi menys que la de la resta de factors, i per tant, disminueixi en termes percentuals.

En un estudi més general el propi Schultz (1962) aprofundeix sobre la contribució dels recursos naturals al creixement a partir de la doble dimensió, de flux i d'estoc, d'aquests recursos. La dimensió flux s'associa al valor econòmic dels serveis dels recursos naturals en relació al total, mentre que la dimensió estoc reflecteix la participació de l'actiu de recursos naturals en la riquesa d'un país. Schultz addueix que en qualsevol moment del temps la proporció recursos naturals/recursos totals utilitzats per generar el producte brut és més elevada en els països en vies de desenvolupament que en els països avançats i que la contribució relativa dels recursos naturals disminueix així que un país es desenvolupa. D'acord amb Schultz, això reflecteix la pèrdua d'importància de les activitats vinculades als recursos naturals en relació al PNB en els processos de desenvolupament, que es tradueix en una participació decreixent del flux de serveis provinents d'aquests recursos. I una de les conseqüències és que el valor inventariable dels recursos naturals en relació a la riquesa total d'un país també es redueix (la terra és el millor exemple d'aquesta situació).

Sobre la contribució específica dels recursos naturals al creixement Schultz matisa dues idees que induïen a la confusió. En primer lloc, que l'oferta fixa de treball i el seu ús intensiu comportés un rendiment marginal nul en l'agricultura, argument que s'utilitzava per afavorir la inversió en el sector industrial en els països en vies de desenvolupament. I en segon lloc, que desigualtats en la dotació de recursos naturals entre països impliquessin diferències en les possibilitats de creixement, afirmació que considerava sense suport empíric.

Pel que fa a la primera qüestió, Schultz atribueix la confusió a la manca de distinció entre la taxa de retorn deguda al capital físic addicional en les formes ja existents i la taxa de retorn que es pot obtenir de noves i millors formes de capital físic, ja que les propietats tècniques d'aquestes dues formes de capital són distintes i també ho són els seus atributs econòmics. Així, si les noves formes de capital -que presenten una rendibilitat més elevada que les formes existents- s'apliquen als sectors de recursos naturals, aquests es revaloritzen i una menor dotació absoluta de recursos naturals no necessàriament és un obstacle pel desenvolupament d'un país. Segons Schultz, la relació entre recursos naturals, capital físic i treball canvia al llarg del temps com a conseqüència del creixement econòmic, que genera unes situacions de desequilibri dinàmic degudes a la introducció de nous i superiors recursos -en sentit ampli- que substitueixen als existents, i el cas més clar era, novament, l'agricultura (18).

L'aprofitament d'aquestes possibilitats obria unes favorables perspectives als països en vies de desenvolupament. Però, a més, el fet que en els països avançats els recursos naturals mesurats en costos dels factors haguessin disminuït al llarg del temps en relació al valor del conjunt de factors productius, i també que els preus dels serveis dels recursos naturals no augmentessin en relació als preus dels serveis d'altres recursos, indicava que la

(18) En aquesta activitat els estudis de Griliches indicaven que la maquinària substituïa el treball, però també la terra. Les llavors millorades substituïen igualment la terra, i les noves formes de capital en la producció de fertilitzants disminuïen el seu preu. Tot això, al seu torn, comportava una reducció dels preus dels serveis de la terra.

contribució marginal dels recursos naturals al llarg del temps no s'havia incrementat. I aquesta era una raó addicional per concloure que en els països en vies de desenvolupament les possibilitats de creixement no estaven limitades per la dotació de recursos naturals.

Davant de l'optimisme de Schultz, Abramovitz (1962) adopta una posició més cauta i es mostra escèptic sobre la idea que la pèrdua d'importància dels recursos naturals en els processos de desenvolupament respongui a una tendència que reflecteix els efectes de forces estables. En concret, considera que la disminució de la importància dels recursos naturals en relació a l'output -en termes de la part de la renda necessària per obtenir els seus serveis- pot ser consistent amb els fets de manera general, però no necessàriament s'acompleix per tots els recursos naturals i en totes les fases del procés de desenvolupament.

Per analitzar aquesta qüestió, Abramovitz distingeix la terra de la resta de recursos naturals, i en particular, dels recursos no renovables. La situació de la terra és consistent amb la tendència general, ja que la part de la renda necessària per obtenir els seus serveis disminueix quan el nivell de desenvolupament -mesurat per la renda per càpita- augmenta. En canvi, pels recursos no renovables, encara que la tendència general sigui decreixent, durant períodes llargs de temps les forces poden operar en sentit contrari (com havia succeït als Estats Units després de 1870 amb els combustibles fòssils).

Feta aquesta qualificació, Abramovitz passa a discutir si, com havia suggerit Schultz, la forta disminució en la part del PIB que correspon als recursos naturals en els països desenvolupats es pot utilitzar per calibrar la possible evolució dels fets en els països enrederits així que aquests es desenvolupin. Segons Abramovitz, la pèrdua d'importància dels recursos naturals en l'output pot haver estat un fenomen específic d'uns pocs països i en un context històric determinat. L'evidència disponible -a partir dels treballs de Chenery- assenyalava que aquest fet era característic dels països desenvolupats involucrats en el comerç internacional, i per tant, la disminució de l'aportació dels recursos naturals al PIB reflectiria -almenys parcialment- un canvi en l'avantatge comparatiu simultani al creixement

en l'output. Un aspecte crucial en aquest sentit podia haver estat la ràpida expansió del sector industrial, que era el que contribuïa en major proporció al creixement del producte brut. Això suggeria que en el passat el model de desenvolupament s'havia fonamentat en la industrialització dels actuals països avançats i el desplaçament als nous territoris de les activitats vinculades a l'explotació dels recursos naturals, però aquesta situació difícilment es podria mantenir ja que cada cop és més difícil descobrir nous recursos naturals i noves àrees per a l'agricultura en regions no explotades. Abramovitz sembla indicar, doncs, que a nivell mundial l'activitat econòmica ja es trobava en l'esgraó superior del marge extensiu pel que fa a l'explotació dels recursos naturals, la qual cosa planteja reserves sobre la disminució al llarg del temps de la importància d'aquells recursos i questiona que es pugui utilitzar directament l'experiència passada, com indicava Schultz, per predir l'evolució econòmica dels països en vies de desenvolupament.

D'acord amb Abramovitz, la mesura de la contribució dels recursos naturals al creixement s'ha de plantejar en altres termes. El que cal determinar és la importància de la dotació d'aquests recursos en les diferències de les taxes de creixement entre països. I en aquest punt convé distingir dues formes per les que la disponibilitat de recursos naturals pot afectar la taxa de creixement.

En primer lloc, mitjançant la incidència de la dotació de recursos en el nivell de renda, i a través de la influència en la renda, en la d'aquells factors que contribueixen al creixement, com la taxa d'estalvi. Abramovitz argumenta que, tot i que aquesta és una connexió indirecta -i en general, feble- entre recursos naturals i creixement, la vinculació sembla confirmar-se per determinats grups de països amb institucions polítiques i econòmiques similars, com els països del Nord i Oest d'Europa i les noves nacions d'inmigrants que procedien d'aquells països (19).

El segon mecanisme pel que els recursos naturals poden influir en el creixement és mitjançant els efectes diferencials de la tecnologia sobre les seves potencialitats. En aquest sentit Abramovitz destaca dos aspectes. D'una banda, que els recursos naturals estan desigualment distribuïts, i d'altra part, que el canvi tecnològic té un caràcter específic al llarg

del temps, de manera que en cada moment hi haurà un grup de països amb un millor potencial de creixement degut al desigual impacte de la tecnologia sobre la valorització dels seus recursos. Aquest és el tipus d'impacte que segons Abramovitz s'ha manifestat històricament, però per aprofitar-ho cal un entorn institucional adequat que permeti engegar un procés de creixement, com havia succeït en el segle XIX en els territoris de l'hemisferi occidental i del Pacífic, ocupats per emigrants europeus i sota la influència de les institucions i cultura europees. L'evidència històrica condueix Abramovitz a concloure que en el passat els recursos naturals han contribuït de manera més decisiva al creixement de la renda en els països en que l'entorn institucional predisposava a utilitzar de manera eficient aquells recursos, mentre que la seva incidència va ser molt limitada en els territoris en que les institucions eren menys favorables al creixement. Per això, en la pràctica, sense un entorn institucional que estimuli la utilització dels coneixements i la tecnologia disponible de manera eficient és difícil determinar amb claredat la influència dels recursos naturals sobre el creixement dels països en vies de desenvolupament.

A partir de l'experiència històrica Kuznets (1964) també relativitza la importància dels recursos naturals en els processos de desenvolupament i considera que difícilment un creixement continuat pot tenir lloc únicament sobre avantatges de tipus natural. Amb un plantejament que presenta notòries coincidències amb el d'Abramovitz, Kuznets atribueix a aquests avantatges un caràcter variable, al estar modulats per factors externs, i a més

(19) En aquests casos, una millor dotació de recursos naturals havia comportat un nivell més elevat de renda per càpita, cas dels Estats Units, Canadà, Austràlia i Nova Zelanda. En canvi, en països amb altres característiques (per exemple, amb una tecnologia diferent) era més dubtós que les diferències en la renda poguessin explicar per la desigual disponibilitat de recursos naturals. El cas d'Amèrica Llatina serveix per il·lustrar aquesta situació. Així, els països amb una dotació més favorable de recursos (Argentina, Xile, Veneçuela) tenien una renda per càpita considerablement inferior a la del grup anterior de països. D'altra part, és cert que la seva renda per càpita era superior a la de la resta de països d'Amèrica Llatina, però els estudis de Chenery indicaven que no era la carència de recursos naturals el que explicava els nivells més baixos de la renda per càpita d'aquests països. I en sentit contrari, d'altres països amb una feble dotació de recursos gaudien d'una elevada renda per càpita.

transitori. Una favorable dotació de recursos naturals pot impulsar un creixement puntual, com havia succeït en alguns països amb la transició de la fase pre-industrial a la fase industrial. Però el creixement sostingut només és possible amb unes institucions que permetin l'adaptació a noves circumstàncies quan factors exògens (per exemple, canvis en la tecnologia, descobriment de nous recursos) modifiquin la posició d'aquest país -en el sentit d'alterar avantatges comparatius- pel que fa a la seva dotació inicial de recursos naturals.

De les aportacions prèvies sobre la relació entre els recursos naturals i el creixement econòmic se'n deriven dos resultats amb caràcter general que trascendeixen les discrepàncies que puguin existir entre els diferents plantejaments. D'una banda, que la contribució d'aquests recursos varia inversament amb el nivell de renda per càpita d'un país. I d'altra part, que la seva capacitat per impulsar processos de desenvolupament depèn de l'entorn institucional, pel que la favorable dotació de recursos naturals no és, per ella mateixa, una condició suficient. Al relativitzar-se la importància de la disponibilitat de recursos en els treballs empírics que es duen a terme després de la Segona Guerra Mundial, no és estrany que els models de desenvolupament que apareixen durant la dècada dels 60 atorguessin un paper secundari a la funció dels recursos naturals, a l'igual que havia succeït amb anterioritat amb les anàlisi teòriques del creixement.

1.8. Un nou paradigma: l'enfocament integrador.

Després de dues dècades d'expansió econòmica als països desenvolupats, a mitjan dels 60 apareixen diversos treballs en els que es qüestiona la viabilitat del creixement ininterromput, i, àdhuc, la desitjabilitat del propi creixement com a fita última de l'activitat productiva. D'una banda, s'incideix en els efectes negatius sobre el medi ambient de l'expansió incontrolada, i d'altra part, en les limitacions de la dotació de recursos per sostenir un ritme continuat de creixement. L'èmfasi en l'entorn natural com a suport i condicionant del sistema econòmic dona lloc a un nou enfocament que es consolida en la dècada dels 70 i que

es basa en la integració en un únic esquema analític de les diferents relacions entre l'activitat econòmica i el medi físic. Fins llavors, la ciència econòmica convencional havia considerat l'explotació dels recursos no renovables i l'impacte mediambiental com dos àmbits independents. Així, l'economia dels recursos no renovables es desenvolupava a partir de les aportacions de Gray i Hotelling i l'economia del medi ambient ho feia de manera paral·lela amb la continuïtat dels plantejaments de Pigou sobre les externalitats.

Les contribucions que apareixen en els anys 60 a banda de la corrent dominant situen l'anàlisi més en el terreny conceptual que en el formal i constitueixen la base d'una nova línia de pensament, crítica amb les propostes convencionals, que preconitza la necessitat d'un enfocament globalitzador. L'activitat econòmica s'ubica en un marc més ampli, que ve definit per l'entorn natural, enfront els plantejaments internalistes i optimitzadors de la teoria neoclàssica. Amb el nou enfocament, el sistema econòmic passa a ser un subconjunt del sistema natural i l'atenció es desplaça cap a les interrelacions entre l'activitat econòmica i el medi físic, car es considera que només si es tenen en compte aquestes interrelacions es pot dur a terme una anàlisi completa de problemes com la disponibilitat de recursos naturals o l'impacte mediambiental. A partir d'aquestes premisses, la interdisciplinarietat constituirà un dels eixos del nou paradigma.

Un dels antecedents immediats en aquesta línia es troba en l'aportació de Kapp, que el 1950 publica "Els costos socials de l'empresa privada", un llibre que en aquell moment va passar gairebé desapercebut. I una edició corregida i revisada el 1963 tampoc no va tenir excessiu impacte entre la professió. Com ha assenyalat Hueting (1980), no va ser fins el 1967, amb la publicació de "Els costos del creixement econòmic" de Mishan, quan la degradació del medi natural esdevé una matèria d'interès sistemàtic per a la ciència econòmica. D'altra banda, tampoc és del tot segur que l'aportació de Kapp influís en el desenvolupament de la nova corrent, ja que la seva anàlisi -al igual que el cas de Mishan- se situa estrictament en l'àmbit econòmic, però té el mèrit d'anticipar diversos problemes que constituïran el nucli de la discussió 20 anys més tard.

Kapp es refereix, en primera instància, a les conseqüències de l'expansió continuada de la producció i alerta sobre la degradació del medi ambient i el possible esgotament dels recursos naturals (renovables i no renovables). En aquest sentit, un primer efecte del creixement ininterromput és la intensificació de la competència per l'ús d'uns béns cada cop més escassos. En el treball de Kapp, tanmateix, els efectes de l'activitat econòmica sobre l'entorn natural (degradació de la qualitat ambiental, esgotament dels recursos) es consideren de manera independent, sense arribar a sistematitzar les relacions que existeixen entre ambdós fenòmens mitjançant els processos productius. Després d'identificar les conseqüències de l'activitat econòmica moderna, el pas següent consisteix en avaluar els seus costos. En aquest punt Kapp qüestiona els conceptes de la teoria convencional, que considera excessivament restrictius. Així, Kapp atorga als costos socials un sentit més ampli que el concepte habitual d'externalitats, i associa aquests costos a totes les pèrdues directes i indirectes suportades per tercers. Això significa que en el cas dels recursos no renovables els costos s'extenen també a les generacions futures, que veurien limitades les seves possibilitats de creixement (i per tant, experimenten una pèrdua de benestar com a conseqüència d'una producció excessiva en el present), una idea amb la que Kapp reprèn el plantejament dels conservacionistes.

Tot i la dimensió crítica de la seva aportació, convé remarcar que Kapp no es refereix a les limitacions de l'entorn natural sobre el creixement, sino a les conseqüències de l'expansió incontrolada, i considera que la minimització d'aquests efectes requereix d'una regulació adequada dels costos socials. En aquest sentit, la solució proposada se situa en l'esfera econòmica, però per a la seva implementació Kapp advoca pel suport de les ciències naturals.

Boulding (1967) avança en la línia dels plantejaments crítics i du a terme una anàlisi dels processos que configuren l'activitat econòmica i la seva relació amb el medi físic. Aquesta anàlisi serveix per destacar les interrelacions entre els recursos naturals i la degradació ambiental i d'ella se'n deriva una reconsideració dels conceptes de producte nacional brut (PNB) i creixement econòmic.

Segons Boulding el sistema econòmic tradicionalment s'ha associat a un sistema obert, en el que l'activitat productiva i consumptiva té lloc a partir d'una suposada dotació il·limitada de recursos, mentre els residus que es generen es poden abocar sense restricció a l'entorn natural. Al no considerar les limitacions físiques, l'anàlisi convencional centra l'atenció en els fluxes de producció i de consum, que s'utilitzen com una aproximació al nivell d'activitat econòmica i serveixen per mesurar l'eficiència del sistema. Tanmateix, en la pràctica, degut a la dependència del medi natural, l'activitat econòmica troba límits a la seva expansió. La quantitat de recursos que es poden utilitzar com a inputs ve donada per la dotació existent i la capacitat d'absorció de residus per part de l'entorn físic presenta un nivell de saturació. Així, el sistema econòmic no és un sistema obert que pot funcionar al marge del medi natural, sino un subconjunt d'aquest, en el que es troba integrat i del qual només reb un input inexhaurible, l'energia solar. La resta d'inputs, contràriament a la creença habitual, no són lliures. Això fa necessari redefinir el procés econòmic, que s'ha d'entendre com un procés circular que comença i acaba en el medi natural. En la simbologia de Boulding es tracta d'un procés que té lloc en una nau espacial -la terra- amb una dotació finita de recursos i una limitada capacitat d'absorció de residus. Una part dels inputs utilitzats es poden reincorporar al circuit mitjançant el reciclatge, però això només afecta la matèria. Els inputs energètics estan subjectes a una degradació entròpica, i per tant són irrecuperables. Addicionalment, la degradació entròpica també afecta la capacitat de recuperació de la matèria, que només és factible amb una despesa energètica creixent. En aquest context, els conceptes de producte brut i creixement perden la seva significabilitat habitual. L'objectiu del sistema econòmic deixa de ser la maximització dels fluxes de producció i de consum i guanya importància la conservació de l'estoc de capital (en sentit ampli). Aleshores, l'eficiència del sistema econòmic depèn de la seva capacitat per reproduir-se amb la depreciació mínima del capital existent, és a dir, amb la menor utilització possible dels inputs que proporciona el sistema natural.

La idea de Boulding de concebir el sistema econòmic com un sistema tancat en el que alguns inputs essencials s'obtenen de l'entorn natural i els residus que es generen en les activitats de producció i consum s'aboquen al mateix medi, es pot precisar més amb el recurs

a les ciències físiques, i en particular a la primera llei de la termodinàmica, segons la qual l'energia no es crea ni es destrueix, simplement es transforma. La traslació d'aquesta llei al món econòmic significa que en els processos de producció i consum només tenen lloc canvis qualitatiu, que es manifesten en la transformació d'inputs en outputs i en la generació de residus en les diferents fases del procés, mantenint-se la igualtat entre les entrades i les sortides en termes físics (de massa o de materials). L'extensió de la primera llei de la termodinàmica a l'anàlisi econòmica es concreta en el balanç de materials, introduït per Ayres i Kneese (1969). El balanç de materials permet identificar, en unitats físiques, els fluxes d'entrades (recursos naturals en forma d'inputs) i sortides (béns econòmics de valor zero en forma de residus) del procés econòmic, així com la interrelació existent entre la utilització dels recursos naturals i els efectes mediambientals, i és l'instrument bàsic per analitzar de manera sistemàtica les relacions entre l'activitat econòmica i el medi físic.

La consolidació del paradigma integrador reb un nou impuls amb les aportacions de Georgescu-Roegen, qui reprenent uns plantejaments que amb anterioritat ja havia desenvolupat ell mateix (Georgescu-Roegen, 1966), el 1971 publica "La llei de l'entropia i el procés econòmic", treball en el que completa l'anàlisi de les relacions entre l'activitat productiva i el medi natural a partir de les lleis físiques que la mediatitzen. En aquest sentit, l'element clau és la segona llei de la termodinàmica, que fa del procés econòmic un procés entròpic, és a dir, un procés que es desenvolupa de manera unidireccional. Si la primera llei de la termodinàmica reflecteix l'equivalència entre inputs materials i residus generats en el procés econòmic, la segona llei alerta sobre la degradació qualitativa d'aquests inputs degut a les activitats productiva i consumptiva, que converteixen inputs de baixa entropia en outputs d'alta entropia sense possibilitat de retornar-los al seu estat original per reiniciar el procés en les mateixes condicions. Dit d'altra manera, el flux d'inputs naturals (matèria i energia) que sustenten l'activitat econòmica té un caràcter irreversible. Com la dotació natural de matèria i energia en un estat de baixa entropia és limitada, el procés econòmic és "per se", un procés finit, sense possibilitat d'expandir-se de manera continuada. Aquesta idea suggereix que la causa última de l'escassetat natural és la segona llei de la termodinàmica, que comporta una degradació inevitable i irreversible dels recursos que

s'incorporen en el procés de transformació. Segons Georgescu-Roegen, negligir les lleis físiques que condicionen l'activitat econòmica té com a conseqüència formular models que condueixen a resultats lògicament impossibles, models de "paper i llapis" (Georgescu-Roegen, 1979), dels que se'n deriva un creixement continuat i una utilització il·limitada de recursos i que desafien els principis bàsics que regulen el medi natural.

La visió de l'activitat productiva com un procés totalment integrat en el medi natural i regulat per lleis físiques conduí a qüestionar els mateixos fonaments de la ciència econòmica convencional, i en particular, la funció assignativa dels preus. En el nou enfocament s'accepta que els preus són indicadors de les escassetats relatives dels béns (en el sentit que els hi atorgà Robbins), però deixen de funcionar en presència d'escassetats absolutes. D'acord amb Daly (1977), com el medi físic presenta una escassetat absoluta, els inputs que proporciona no es poden assignar de manera adequada mitjançant els preus, pel que la resposta als problemes assignatius dels inputs provinents de l'entorn natural (recursos, capacitat d'absorció) s'han de buscar en els indicadors físics que proporciona l'ecologia. Sobre aquesta premisa, Daly planteja la necessitat de desenvolupar l'ecologia humana, que concebeix l'activitat econòmica i el funcionament del medi natural com dues realitats inseparables i recupera la idea, expressada pocs anys abans (Daly, 1968), de l'economia com una ciència vital, que presenta nombrosos paral·lelismes amb la biologia. D'aquesta manera, Daly reprén la línia -perduda pels economistes- de la bioeconomia, que els científics naturals havien començat a desenvolupar fa més de 100 anys.

Un tret destacable d'aquest ventall de plantejaments crítics és que el seu abast no es limita a les formulacions conceptuals, sino que d'ells se'n deriven igualment diferents propostes d'actuació. La més radical correspon a Georgescu-Roegen, en consonància amb la pròpia percepció de la relació entre activitat econòmica i medi natural. Degut a la preeminència de la llei de l'entropia, Georgescu-Roegen (1975) considera que per mantenir indefinidament el funcionament d'ambdós sistemes és imprescindible reduir la població i l'activitat econòmica a aquells nivells que serien compatibles amb la utilització exclusiva de recursos

renovables. En el cas de l'agricultura, per exemple, això significaria limitar-la a les activitats estrictament orgàniques. La justificació d'aquest posicionament és que ni un progrés tècnic continuat podria compensar els efectes de la segona llei de la termodinàmica, pel que la única solució viable a llarg termini és l'adaptació de l'activitat humana als cicles naturals.

Enfront d'aquesta proposta, Daly (1979, 1980) recupera la visió clàssica de l'estat estacionari i el completa amb la idea de l'estat estacionari en sentit físic desenvolupant una proposta inicial de Boulding. Daly defineix tres magnituds bàsiques en aquest context d'estat estacionari. En primer lloc, l'estoc, que és el conjunt d'actius materials i humans del sistema econòmic. En segon lloc el servei, que és la satisfacció experimentada per la utilització de l'estoc. I en tercer lloc el "throughput", que és el flux físic de matèria i energia del sistema natural cap el sistema econòmic, i que en la terminologia de Boulding s'associa a la capacitat productiva i s'aproxima pel producte brut. La relació entre les tres magnituds és del tipus:

$$\frac{\text{Servei}}{\text{Throughput}} = \frac{\text{Servei}}{\text{Estoc}} \times \frac{\text{Estoc}}{\text{Throughput}}$$

i l'estat estacionari s'assoleix quan, mantenint l'estoc constant a un nivell suficient, es maximitza el servei i es minimitzen els fluxes físics del medi natural cap el sistema econòmic. Una idea molt semblant a la que suggereix Boulding quan planteja la necessitat de passar d'una economia de fluxes a una economia d'estocs.

La conservació de l'estoc és essencial en el plantejament de Daly, però a diferència de Georgescu-Roegen, la seva aproximació no és absolutista i contempla les possibilitats de substitució entre recursos naturals, que constitueixen la base última de l'estoc. En aquest sentit, Daly proposa que la intervenció pública garanteixi, mitjançant el sistema impositiu, que el valor de cada unitat consumida d'un recurs no renovable iguali el valor del recurs renovable que el pot substituir, condició indispensable per mantenir l'estoc qualitativament constant. Amb aquest plantejament Daly recupera les propostes que els conservacionistes havien presentat 50 anys enrera i introdueix un dels principals elements de controvèrsia en l'incipient debat sobre el desenvolupament sostenible.