



Entenent el canvi.

L'ús de models integradors

Günther Fischer

Institut Internacional d'Anàlisi de Sistemes Aplicats (Laxenburg, Àustria)

Són molts els factors (biològics, climatològics, socials...) que influeixen en l'evolució dels canvis en l'ús i la coberta del sòl: LUCC (Land Use and Land Cover Change). Fins ara, la majoria d'estudis no tenien en compte tots aquests factors i, consegüentment, les prediccions no eren gaire fiables. És cert, no obstant això, que l'estudi d'aquests canvis i, tot especialment, la capacitat de predir la seva evolució i les seves conseqüències, encara no és un cas tancat des del punt de vista científic. L'ús de nous models d'integració pot modificar aquesta situació. Aquests models es desenvolupen en un estudi que s'està duent a terme a la Xina, un estudi basat en el "plantejament del benestar".

S'ha identificat que els canvis en l'ús i la coberta del sòl són importants per a tot un seguit de temàtiques i qüestions crucials per a l'estudi del canvi global en el medi ambient (Turner et al., 1995). Els canvis en la coberta del sòl estan directament relacionats amb les alteracions en el funcionament de la Terra en, com a mínim, quatre àrees d'interès:

- Tenen implicacions molt importants per a l'equilibri de la radiació global i els fluxos d'energia,
- Contribueixen als canvis dels cicles biogeoquímics,
- Modifiquen els cicles hidrològics, i
- Influeixen en la complexitat ecològica.

A causa d'aquests impactes en el medi ambient, tant a nivell local, regional com global, els canvis en l'ús i la coberta del sòl provocats per l'activitat humana poden repercutir de manera molt significativa en la garantia de disponibilitat d'aliments a llarg termini a nivell regional, en la sostenibilitat dels sistemes de subministrament de productes forestals i agrícoles a nivell mundial, i en un desenvolupament regional equilibrat i sostenible des del punt de vista del medi ambient.

Introducció

Les implicacions que té el canvi global per al sosteniment de la societat humana i el seu benestar han creat un sentit d'urgència pel que fa a la comprensió de les seves conseqüències. En els darrers anys s'ha avançat molt pel que fa a la interrelació i la síntesi de les disciplines tradicionals de les ciències naturals. No obstant això, en els primers programes de recerca

que es varen desenvolupar no es va reparar suficientment en l'estudi dels factors humans. L'èmfasi en les ciències socials del canvi global ha tractat els diferents impulsors humans com a qüestions relacionades i alhora separades. Hi ha, per exemple, diferents programes de recerca sobre el canvi demogràfic, el creixement de la renda i del consum energètic, etc. Ara bé, tots aquests processos tenen un únic efecte d'integració important, és a saber, el fet que influeixen en la superfície de la terra a causa dels canvis en l'ús i la coberta del sòl. Tot just ara es reconeix que cal una millor comprensió dels impulsors humans del canvi global per poder traçar projeccions significatives del futur estat del sistema de la Terra.

La comunitat científica que estudia el canvi global en el medi ambient és cada vegada més conscient de la importància dels canvis en l'ús i la coberta del sòl i de la necessitat d'un plantejament interdisciplinari de la recerca sobre aquest tema. A partir d'aquesta constatació es va crear el Programa Internacional de la Geosfera i la Biosfera (International Geosphere-Biosphere Programme, IGBP) i el Programa de les Dimensions Humanes del Canvi Global en el Medi Ambient (Human Dimensions of Global Environmental Change Programme, HDP) per tal d'establir un projecte/programa de recerca de cooperació amb l'objectiu general de millorar els nostres coneixements bàsics de la dinàmica dels canvis en l'ús i la coberta del sòl (LUCC) a nivell global, procurant millorar, especialment, la nostra capacitat de modelar i projectar aquests canvis (Turner *et al.*, 1995).

El modelatge dels canvis en l'ús i la coberta del sòl s'ha plantejat, com a mínim, de tres maneres diferents: mitjançant estudis casuístics de camp sobre l'ús del sòl; valoracions temàtiques dels patrons dels canvis en la coberta del sòl; i models pronòstics, regionals i globals. Els primers han mancat freqüentment de generalitat i comparabilitat per configurar models a nivell *macro*; els últims són criticats pels seus supòsits i per les seves simplificacions poc realistes que n'exclouen una utilitat en el món real. L'Objectiu de Recerca 3 del LUCC (Models Regionals i Globals – Marc per a valoracions d'integració) consisteix a la creació d'una nova estructura per a l'anàlisi interdisciplinària de qüestions relatives al sòl a nivell regional, amb una sòlida base teòrica i la capacitat d'integrar recerca i models procedents de disciplines pròpies de les ciències socials i naturals. La implementació d'exhaustius models de canvis en l'ús del sòl, capaços de simular períodes d'una duració d'uns 50 anys, planteja un seguit de reptes metodològics. Entre aquests aspectes cal esmentar la complexitat inherent de les qüestions a tractar i el gran nombre d'agents i factors que intervenen, com ara l'oferta i la demanda de productes i serveis de la terra, la importància dels aspectes intertemporals, l'enrevessament de les reaccions biofísiques, i el paper essencial de considerables incerteses en l'avaluació general de les estratègies.

Impulsors humans del canvi

L'ús del sòl és limitat majorment per factors ambientals com el clima, la topografia, i les característiques del sòl, d'una banda, i per les tradicions, els mercats i les polítiques, d'altra banda. El sòl és un recurs indispensable per a les activitats essencials dels éssers humans: l'agricultura, l'energia i la fabricació de fusta, la captació d'aigua, l'esbarjo, i la creació d'assentaments. Els conflictes relacionats amb el control del sòl i el seu ús constitueixen la constant essen-

cial de la història de la humanitat, des de les èpoques bíbliques fins a avui.

Són molts els processos que causen canvis en la coberta del sòl. Els processos naturals, com ara la dinàmica de la vegetació, modifiquen la coberta del sòl i són causats per canvis naturals del clima i dels sòls, o bé per incendis. No obstant això, els canvis en la coberta del sòl més importants i ràpids actualment són els motivats per factors antropogènics (Turner et al., 1990). Els esforços per projectar l'estat futur de la coberta del sòl han de tenir en compte els factors determinants dels requisits i de les activitats dels homes, com ara la demanda de productes de la terra (entre els quals cal incloure els aliments, la fibra, i el combustible), de recursos minerals i energètics, i l'ús del sòl per a l'esbarjo.

Des de l'època pre-industrial s'han produït conversions de la coberta del sòl molt importants com a conseqüència de la desforestació amb la finalitat d'adquirir sòl per a l'agricultura i la ramaderia; l'extracció de fusta per a combustible i fustam; l'alteració dels pantans; el desenvolupament d'infraestructures; la construcció industrial i residencial; i l'extracció de minerals. Aquestes conversions de la coberta del sòl induïdes pels éssers humans han produït una emissió neta de diòxid de carboni cap a l'atmosfera, canvis de les característiques de les superfícies del sòl, i una biodiversitat més reduïda. Per exemple, es calcula que els canvis provocats per l'home en l'ús del sòl al llarg dels darrers 150 anys han emès la mateixa quantitat de diòxid de carboni a l'atmosfera que la combustió de combustibles fòssils (Turner et al., 1995). Altres processos més subtils, anomenats modificacions de la coberta del sòl, influeixen en el caràcter de la coberta del sòl sense canviar la seva classificació global. Tot i que les modificacions de la coberta del sòl poden tenir un efecte petit a escala local, el seu impacte acumulatiu pot arribar a ser considerable (Houghton, 1991). Aquest és el cas de factors de l'ús del sòl com ara els camps d'arròs, el bestiar ruminant o l'ús de fertilitzants que no tenen cap importància a

nivell local pel que fa a les concentracions atmosfèriques de gasos d'hivernacle. No obstant això, si utilitzem el darrer exemple, en aplicar amb freqüència fertilitzant de nitrogen a molts conreus es pot contribuir de manera significativa a les emissions globals d'òxid nitrós.

A la majoria de països en desenvolupament, les necessitats socioeconòmiques d'unes poblacions que augmenten amb gran rapidesa són els principals factors determinants de l'assignació de recursos del sòl per a diferents finalitats, principalment per a elaborar aliments i combustible. Una gran pressió de la població i l'augment associat de la competència per part de diferents tipus d'usuaris del sòl han destacat la necessitat d'una planificació i de polítiques d'ús del sòl més efectives. Un ús del sòl racional, sostenible i la protecció del medi ambient són qüestions que preocupen els governs i els usuaris del sòl que desitgen preservar els recursos del sòl en benefici de poblacions actuals i futures.

Els investigadors han agrupat els impulsors antropogènics dels canvis en l'ús i la coberta del sòl en diferents categories generals: canvis de població; nivells de prosperitat en augment; canvis tecnològics; creixement econòmic i canvi d'estructures econòmiques; entorns polítics i institucionals canviants; i les tendències en les actituds i els valors públics (Stern *et al.*, 1992; Turner *et al.*, 1993).

A la majoria de països en desenvolupament, un factor decisiu per als canvis en l'ús i la coberta del sòl ha estat (i continuarà sent) l'augment de la demanda, per part dels consumidors, de productes agrícoles i forestals. La demanda dels consumidors està molt relacionada amb les dimensions de la població i els trens de vida personals. Aquests últims, al mateix temps, deriven principalment de nivells de renda sota la influència i especificitat local de factors culturals. D'acord amb la valoració més recent de l'ONU, la població mundial seguirà creixent pràcticament amb tota seguretat al llarg de diverses dècades fins arri-



bar a una població global d'uns 9,4 bilions de persones l'any 2050 (variant mitjana de l'ONU; Nacions Unides, 1997). L'augment actual anual de la població de 80 milions de persones seguirà sent, probablement, força constant fins l'any 2015. Entre avui i l'any 2050, la població mundial augmentarà amb tota probabilitat d'uns 3,2 bilions de persones, la pràctica totalitat de les quals hauran nascut a països en desenvolupament (Fischer & Heilig, 1997).

La urbanització ha estat un fenomen global en les darreres dècades. La demanda d'aliments, fibra, combustible, i fusta ve determinada per un nombre de consumidors urbans en ràpid augment. Per exemple, pel que fa a la República Popular de la Xina, aproximadament el 70 per cent de la seva ingent població d'1,2 bilions de persones va ser classificada com a rural l'any 1990. Els càlculs indiquen que aquest percentatge pot quedar reduït al 50 per cent durant les properes 2-3 dècades, amb la qual cosa la concentració de consumidors urbans pot arribar a ser d'uns 750 milions de persones. Una part significativa i creixent de la producció agrícola i forestal haurà de ser intercanviada a mercats nacionals i internacionals. Per tant, podem predir amb tota seguretat que el paper de la producció i dels mercats comercials esdevindrà més important en vist el paper dels productors rurals de subsistència. Conseqüentment, les oportunitats de comercialització, els preus de les mercaderies i els factors de producció, i les polítiques comercials tindran una influència més i més gran en les decisions dels consumidors i en l'assignació dels escassos recursos del sòl i hídrics per part de productors i d'administradors del sòl.

En les darreres dècades, els canvis tecnològics han estat crucials per poder satisfer la demanda creixent de productes de la terra. Fins al començament del segle XX, la major part dels augments de producció d'aliments a nivell mundial eren assolits en fer fèrtils noves terres. Atès que la terra disponible comença a

curtejar a causa d'un augment de la pressió relativa al medi ambient, i a causa de l'augment dels costos de recuperació del sòl, a la majoria de regions gairebé tots els augments necessaris de la producció d'aliments a nivell mundial hauran de procedir de rendiments o produccions superiors. Els avenços tecnològics en matèria de conreus han provocat una intensificació de l'espai i del temps. L'obtenció de llavors millorades, una aplicació creixent de fertilitzants, una millor protecció de les plantes, i l'existència de millors eines i processos de mecanització possibiliten rendiments o produccions més alts per hectàrea conreada. També ha augmentat la intensitat de conreu, és a dir, ha augmentat el nombre mitjà de dies que es conrea la terra per any; la causa d'aquest augment és la irrigació i la reducció dels períodes en guaret. Els principals agents econòmics (productors i consumidors) s'adapten als marcs legals i institucionals creats pels governs i les agències internacionals dins els quals treballen. Les subvencions i la tributació creen incentius i distorsions de caràcter econòmic que influeixen en l'assignació i els nivells d'ús dels recursos. A la majoria de regions desenvolupades, les estrictes normes sobre contaminants en el medi ambient i els instruments legals i econòmics per complir-les han suposat estímuls per a innovacions tecnològiques i per a l'ampliació de l'ús del sòl en àmbits d'especial importància per al medi ambient. En resum, les qüestions relatives a l'ús del sòl en l'àmbit rural i en l'àmbit periurbà deriven freqüentment de conflictes entre medi ambient i desenvolupament. Els encarregats de formular polítiques i els usuaris del sòl han de fer front a dos reptes bàsics: la necessitat d'invertir les tendències de degradació del sòl en àrees ja conreades millorant les condicions i restablint el seu nivell de fertilitat; i prevenir la degradació dels recursos de la terra en àrees de nou desen-

volupament mitjançant un ús adequat (FAO, 1995).

Alguns requisits de les eines de modelatge d'integració

Aquesta sinopsi general dels impulsors humans dels canvis en l'ús del sòl ens permeten de caracteritzar el modelatge mitjançant alguns trets succints. En primer lloc, el modelatge regional i global LUCC per al període de 30-50 anys previst i més enllà d'aquest període és un problema multiagent (és a dir, concerneix molts actors i interessos diferents, la majoria de les vegades oposats). La tasca a fer és, doncs, de tipus multifactorial, amb interrelacions complexes, tot i que inseparables, en l'àmbit social i l'àmbit natural. Els canvis en l'ús del sòl no es poden explicar a una única escala; abracen processos a escales diferents i temporals, la qual cosa converteix el modelatge en un esforç a múltiple escala. Les diverses relacions són complexes, i els decaltes i els efectes de desplaçament són la norma més que no pas una excepció. Si afegim incerteses molt importants i l'anticipació i l'adaptació humana, podem concloure que el sistema és imprevisible intrínsecament a mig i llarg termini.

Per tal de valorar els canvis en la coberta del sòl en condicions quasi-naturals es podrien projectar els canvis climàtics i la dinàmica de la vegetació. Tot i que aquest càlcul pot ser complex i incloure qüestions irresoltes, conceptualment és molt més senzill que no pas projectar la coberta del sòl administrada per agents humans.

El plantejament de l'anàlisi de sistemes requereix un marc interdisciplinari en què es considerin conjuntament els aspectes humans (impulsors socials, econòmics i polítics) i les condicions biològiques i biofísiques (ecosistemes, cicles biogeoquímics, sistema de clima global); destacant-ne les relacions i els mecanismes de reforç. Així mateix, un marc LUCC adequat ha de poder incorporar interaccions a diferents escales espacials i temporals. El repte consisteix a analitzar les dimensions globals,



mitjançant efectes acumulatius, de les decisions que prenen els individus a nivell *micro*; i projectar de quina manera influeix el canvi global en els fonaments (per exemple, econòmics, psicològics, institucionals) de les decisions individuals.

Encara es poden afegir altres requisits que es consideren indispensables per modelar els fenòmens del canvi global, concretament els canvis en l'ús i la coberta del sòl. Generalment hom està d'acord en el fet que un model per a l'estudi dels canvis en l'ús i la coberta del sòl ha de ser geogràficament explícit. La representació geogràfica ha de possibilitar una diferenciació suficient dels factors biofísics determinants de l'ús del sòl, com ara les condicions climàtiques, les característiques del sòl i la forma fisiogràfica. El model també ha de reflectir diferències espacials d'organització social, econòmica i política, com ara regions de conreu i regions pastorals, o límits administratius nacionals i regionals. Per consegüent, cal un sistema d'informació geogràfica (GIS) per organitzar, manipular i analitzar les dades. Els sistemes d'informació geogràfica es poden considerar una eina per predir els canvis en la coberta del sòl. L'anàlisi estadística de dades de sèries cronològiques espacials d'alta resolució, en principi, permet d'extrapolar tendències a curt termini. No obstant això, aquest plantejament amb prou feines és justificable per a projeccions a llarg termini de fenòmens de canvi global. Aquestes projeccions requereixen models que puguin tractar explícitament els agents del canvi, els seus objectius, els impulsors i les limitacions principals.

Generalment, estudiar el canvi global vol dir estudiar fenòmens a llarg termini, és a dir, fer projeccions per a la segona meitat del segle vinent. En aquestes condicions és absolutament imprescindible que es descriuïn els processos d'acumulació de recursos de manera explícita, ja que les reaccions i les respostes no lineals podrien ser essencials. Els termes 'recurs' i 'acumulació' s'utilitzen en el seu sentit general en aquest

context, i inclouen els recursos humans, naturals, biològics i econòmics. L'acumulació també inclou diversos processos de degradació, físics (com per exemple l'erosió del sòl, la degradació de l'estructura del sòl, el nivell freàtic) i químics (com per exemple l'acidificació, la salinització, la contaminació dels sòls; l'exhauriment de la capa d'ozó; la nitrificació de les aigües freàtiques).

Usar el sòl vol dir administrar-lo. Per tant, s'han de descriure els agents al capdavant de les unitats d'administració del sòl, els seus objectius, les limitacions amb què es troben i els senyals que els fan reaccionar. L'ús del sòl té moltes facetes. El sòl pot estar en estat quasi-natural o densament poblat; pot ser de propietat i utilització privada o bé col·lectiva. Evidentment, els objectius de l'agricultura de subsistència són diferents dels de l'agricultura comercial, probablement generen diferents cobertes del sòl, i reaccionen davant diferents senyals. Un model de canvis en l'ús i la coberta del sòl ha de tenir en compte ambdues situacions.

Els actors dels sistemes socioeconòmics (productors, consumidors, institucions i govern) actuen amb més o menys previsió, en funció de la seva flexibilitat, dependent de restriccions a curt termini, de la quantitat d'informació de què disposen, i de les seves prioritats d'acord amb diferents normes culturals i sistemes de valors. Per consegüent, és inevitable trobar-se amb incerteses; i això pot resultar especialment rellevant pel que fa als recursos de la terra, no només per raó de l'habitual variabilitat de les condicions climatològiques, sinó també, per exemple, per raó de la incertesa en el coneixement dels processos de degradació del medi ambient, la manca d'informació sobre els costos i beneficis futurs de les inversions, i incertesa pel que fa a la futura disponibilitat de recursos. Les decisions poden significar transformacions irreversibles del medi ambient o, si més no, es poden considerar extremadament costoses pel que fa a les opcions per invertir

el seu impacte, sovint amb una incertesa considerable en el moment en què s'ha de prendre una decisió, relacionada amb els futurs costos i beneficis econòmics així com els riscos per al medi ambient associats amb aquesta decisió irreversible. La previsió, la incertesa i el risc són importants, i sembla raonable i pràctic, a l'efecte de l'anàlisi numèrica, acceptar un plantejament dinàmic de dues etapes.

Modelatge dels impulsors

El Pla de Ciència IGBP-IHDP LUCC (Turner et al., 1995) inclou diversos requisits generals que es consideren crucials per reforçar els arguments teòrics i millorar l'adequació dels models per a la projecció de les dinàmiques regionals de l'ús i la coberta del sòl, per tal de:

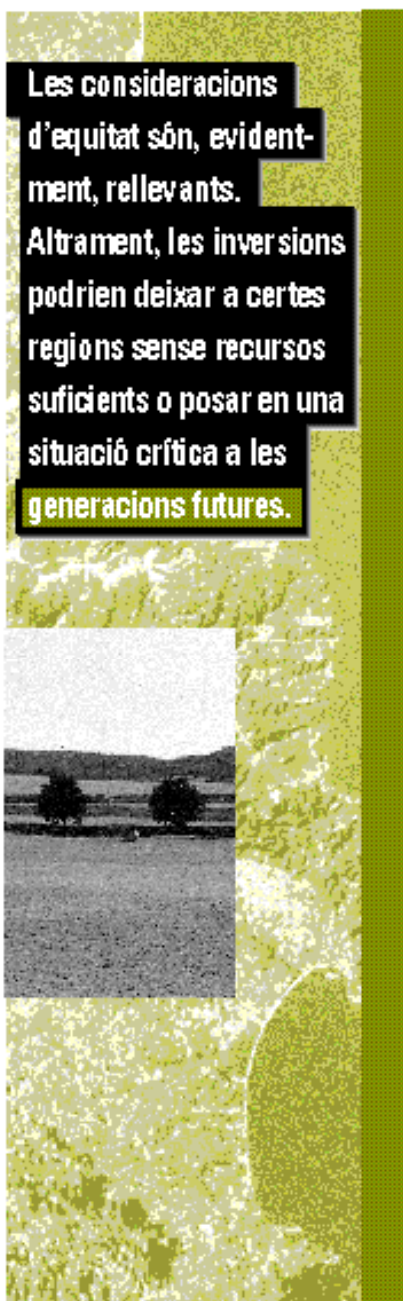
- Realitzar una anàlisi interdisciplinària de les qüestions relatives al sòl a nivell regional per a un període de 30 a 50 anys.
- Desenvolupar una sòlida base teòrica.
- Integrar i generalitzar la recerca mitjançant disciplines de ciències socials i naturals.
- Generar informació i resultats rellevants per a la formulació de polítiques.

A partir de la seva implicació en la recerca del canvi global i del reconeixement general que cal un plantejament innovador i interdisciplinari per estudiar la natura dels canvis en l'ús i la coberta del sòl, l'International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) va endegar un projecte de recerca molt important en aquest àmbit sobre el modelatge dels canvis en l'ús i la coberta del sòl a Europa i a l'Àsia septentrional (IIASA-LUC). La regió estudiada, Euràsia septentrional, té immenses reserves de recursos naturals i una importància demogràfica i econòmica crucial per analitzar tant els impulsors regionals com les implicacions regionals dels processos globals. En desenvolupar un paradigma de modelatge, el fet que és intrínsecament impossible preveure els sistemes socioeconòmics i naturals i, concretament, la multiplicitat de resultats possibles, varen

aconsellar un plantejament normatiu i una anàlisi comparativa de polítiques més que no pas una predicció exacta. Per consegüent, es va adoptar un plantejament en el projecte que possibilitava la representació explícita de diverses mesures i polítiques, oferint d'aquesta manera un mitjà per buscar 'futurs millors', és a dir, buscar vies de desenvolupament futur que puguin alleujar l'impacte sobre el medi ambient millorant alhora el benestar dels sers humans. El projecte subratlla la necessitat de realitzar estudis comparatius dels impactes a partir de diversos factors demogràfics, econòmics, i polítics sobre la dinàmica dels canvis en l'ús i la coberta del sòl, i destaca una especificació de model que introdueix de manera explícita polítiques i decisions d'agents econòmics.

El plantejament del benestar

En anteriors estudis, els mecanismes d'interacció entre els cicles biofísics i els processos econòmics han estat estudiats principalment mitjançant models de simulació dinàmica que segueixen cadenes recursives de causalitat en què els esdeveniments del passat i del present determinen el que passarà demà. Potser prou lògicament, molts d'aquests estudis han originat prediccions dramàtiques. En molts casos, això es pot atribuir a la rigidesa del paradigma de modelatge, atès que es suposa que els agents (o actors), la conducta dels quals es descriu en el model, no són capaços de preveure el futur. Per contrast, el punt de vista de la microeconomia consisteix generalment a suposar que els agents tenen la capacitat de realitzar prediccions i plans informats per tal d'allunyar la possibilitat que es produeixin desastres en el futur. Això pot no resultar suficient com a informació completa, i les opcions o decisions racionals individuals no sempre són una garantia per evitar un desastre. Els mecanismes de coordinació que prevalen entre els agents econòmics, el funcionament dels mercats



i l'entorn institucional, sovint solen tenir una importància decisiva.

En un model a llarg termini, projectar resultats alarmants i funests és relativament fàcil; generalment només cal una simple extrapolaració de tendències. Trobar una via de resultats futurs desitjables és, evidentment, més difícil, i també més desafiador. Explorar aquestes vies, l'anàlisi d'un programa de benestar intertemporal proporciona unes vies ideals (és a dir, el millor dels casos) de demanda, oferta, i d'assignació de sòl. Per contrast, s'especifica que a partir de les condicions actuals comença un escenari de manca total d'acció o de tipus 'aquí tot va com sempre', la qual cosa serveix per destacar algunes de les amenaces a les quals ha de fer front el sistema actualment. El fet de situar el futur entre les circumstàncies ideals i les circumstàncies més terribles s'anomena plantejament del benestar.

Des d'un punt de vista econòmic, les interaccions entre el clima, els recursos de la terra i la vegetació formen part de processos de transformació física de reserves de recursos i capital induïts per inversions humanes. Un aspecte important de l'anàlisi econòmica és que els tipus i les condicions de desenvolupament i d'inversió en recursos de la terra haurien de ser Pareto-eficients. Això vol dir que l'interès es centra en les solucions no dominades, és a dir, quan no pot quedar cap actor (o regió) en una situació molt millor sense que quedi un(a) altre(a) en una situació molt pitjor. En aquesta anàlisi, les consideracions d'equitat també són, evidentment, rellevants. Altrament, aquestes inversions podrien deixar a certes regions sense recursos suficients o posar en una situació crítica a les generacions futures. L'objectiu del projecte IIASA-LUC consisteix a descriure aquestes vies d'inversions i d'ús de recursos, desitjables des d'un punt de vista social i eficients des d'un punt de vista econòmic.

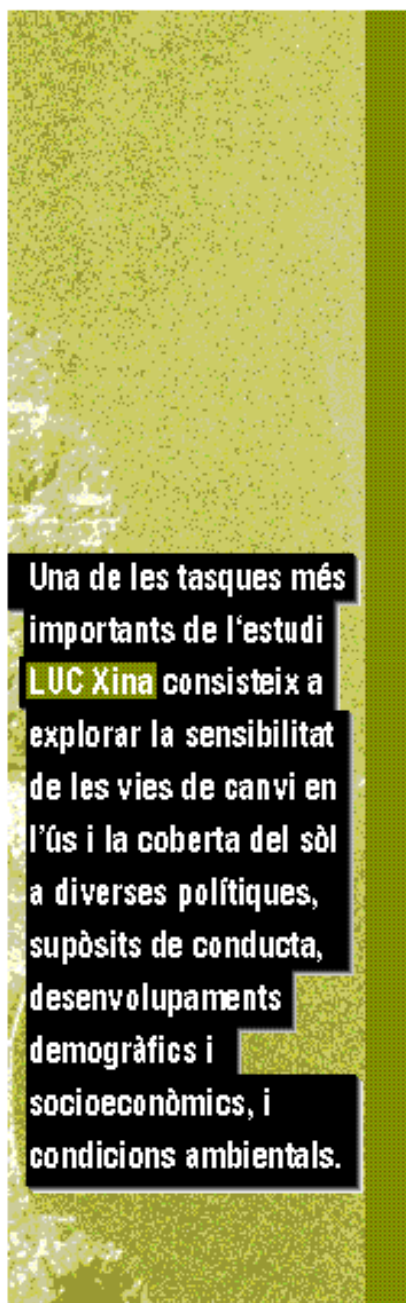
La formulació d'un programa del benestar és l'eix conceptual de les activitats de modelatge IIASA-LUC que s'estan implementant actualment per a la República

Popular de la Xina. El programa del benestar està redactat com un problema d'optimització el qual maximitza la suma ponderada dels serveis públics dels participants, és a dir, els consumidors de les vuit regions econòmiques que distingeix el model. Hi ha quatre tipus bàsics de restriccions que cal implementar en un programa del benestar:

1. La restricció de serveis públics especifica recursivament de quina manera el servei públic d'un grup determinat de consumidors en el període t depèn del consum en aquell període, així com del servei públic del grup en el proper període. Es tracta d'una caracterització de les preferències de cadascun dels grups i permet considerar compensacions o equilibris entre el consum actual i el consum futur.

2. Les restriccions de transformació descriuen les ofertes netes en el període t i els recursos en el període $t+1$ que són factibles al nivell de recursos determinat del període t . Aquestes restriccions ofereixen una caracterització de la tecnologia disponible en l'economia. Es determina la capacitat que tenen diversos agents de generar noves mercaderies amb mercaderies, mà d'obra i recursos naturals ja existents. La dinàmica dels recursos pot formar part d'aquest conjunt de restriccions. En qualsevol implementació pràctica dels estudis LUC s'ha de dedicar una part substancial de la recollida, l'anàlisi i el càlcul de les dades a especificar de manera adequada les restriccions de transformació que descriuen la dinàmica de la tecnologia i els recursos que regula els principals sectors de l'economia associats a l'ús del sòl (l'agricultura i la silvicultura). Per als economistes i per als científics naturalistes, és un repte trobar millors maneres d'incloure coneixements biofísics i espacialment explícits en l'especificació de restriccions de transformació.

3. Les restriccions de l'equilibri de mercaderies asseguren que la demanda dels consumidors no sigui superior a l'oferta neta factible en la restricció de transformació i per raó del comerç. Aquest equi-



llibre es determina per a cada mercaderia, i s'imposa per a cada regió. Les restriccions de l'equilibri de mercaderies permeten d'apropar-se a l'estructura del mercat regional, explicar les característiques específiques de la mercaderia, i implementar distorsions a les borses de mercaderies. En la solució òptima, les variables duals associades amb aquestes restriccions representen preus de compensació del mercat.

4. La restricció de la consistència de les reserves assegura que el nivell de recursos usats en el període $t+1$ no sigui superior al nivell que ha estat traslladat des del període t . La restricció de la consistència de les reserves ha d'aplicar-se a tots els recursos. Aquest conjunt genèric de restriccions enllaça diversos períodes de temps en el model mitjançant l'acumulació explícita de reserves de recursos.

L'anàlisi del benestar ha esdevingut una eina important per als estudis de modelatge aplicat. Ofereix l'oportunitat de simular impulsors socioeconòmics dels canvis en l'ús del sòl d'una manera metodològicament rigorosa. El fet de definir, d'una banda, una solució ideal de referència derivada del programa del benestar i, d'altra banda, d'examinar la seva sensibilitat a determinades normes de mires curtes i supòsits de conducta sembla ser un plantejament raonable i d'importància per a la formulació de polítiques per a l'estudi comparatiu de les possibles vies dels canvis en l'ús i la coberta del sòl.

Representació espacial

En l'estudi IIASA-LUC, la Xina es subdivideix en subregions a partir d'una organització jeràrquica. El nivell inferior (és a dir, el més detallat) es defineix mitjançant una quadrícula regular. En usar una projecció geogràfica d'àrees iguals, les cel·les de la quadrícula tenen una extensió regular de 5 per 5 km, és a dir, 25 km². El territori de la Xina ocupa uns 9,6 milions de km², la qual cosa genera més de 380.000 cel·les de quadrícula. Aquest nivell espacial força detallat s'utilitza per a valoracions del sòl

en relació a les seves característiques agroecològiques, hidrològiques, i biològiques. El següent nivell de diferenciació espacial es defineix per unes 2360 unitats administratives a nivell de comarca. Cada cel·la de quadrícula s'assigna únicament i precisa a una comarca. La identificació a nivell de comarca permet d'aprofitar el ric conjunt d'atributs estadístics recopilats per l'Oficina d'Estadístiques de l'Estat. La província s'utilitza com a tercer nivell de representació espacial. Els grups de províncies constitueixen el quart nivell, definit com a vuit regions econòmiques. Aquestes vuit regions formen els components bàsics geogràfics del model econòmic LUC (Fischer *et al.*, 1996). En la seva totalitat configuren el total nacional, el cinquè nivell de la jerarquia. Els agents del model s'identifiquen a nivell de regions econòmiques en les quals s'imposen equilibris de mercaderies i financers i es poden implementar diverses restriccions i possibles polítiques. Aquest tret permet d'introduir en el model elements específics per a regions. També es pot representar a aquest nivell, o compartir amb el nivell nacional, la presa de decisions. Els mercats locals, nacionals, i internacionals es poden simular separatament, i els fluxos nets d'entrada o sortida a/de regions es registren i distingeixen mitjançant requisits de tractament i transport. Aquesta estructura permet una gran flexibilitat a l'hora de modelar impulsors que funcionen a diferents escales espacials i organitzatives.

Aspectes temporals

Una de les tasques més importants de l'estudi LUC Xina consisteix a explorar la sensibilitat de les vies de canvi en l'ús i la coberta del sòl a diverses polítiques, supòsits de conducta, desenvolupaments demogràfics i socioeconòmics, i condicions ambientals. Per consegüent, la dinàmica és una qüestió crítica en l'esforç de modelatge. L'estudi es concentra en el període que comença l'any 1990 i acaba l'any 2030; no obstant això, l'extensió de

temps de l'anàlisi cobreix el període des de l'any 1990 fins a l'any 2050, període el qual es subdivideix en intervals de cinc anys. D'aquesta manera, el model és de temps discret amb tretze fases temporals, $t = 1, \dots, 13$. La fase inicial, $t = 1$, es refereix a l'any 1990 i la fase final, $t = 13$, es refereix al final del període en qüestió, és a dir, al començament de l'any 2050. Per comentar els aspectes temporals del modelatge de la conducta dels consumidors i dels productors en el plantejament del benestar cal distingir entre dinàmiques endògenes al model i exògenes al model. L'objectiu consisteix a descriure de quina manera canvien les variables d'interès al llarg del temps.

Entre els factors exògens dependents del temps cal incloure variables com ara paràmetres que descriuen el canvi de la tecnologia de les funcions de producció, canvis de les característiques dels agents, incloent canvis dels trens de vida expressats mitjançant canvis de paràmetres i formes funcionals del sistema de demanda, o canvis de les variables de les polítiques, com ara l'evolució dels nivells de tributació. Els factors dinàmics exògens s'implementen amb facilitat, permetent l'existència de funcions dependents del temps en el model. La seva introducció no implica complicacions metodològiques substancials i es pot tractar amb eficàcia, per exemple, mitjançant una simulació dinàmica recursiva. Això vol dir calcular una seqüència de solucions d'equilibri per a un únic període per a períodes relacionats mitjançant l'actualització d'alguns paràmetres i variables exògenes.

Entre els factors endògens del model cal incloure components com ara les decisions d'assignació dels consumidors (per exemple, l'assignació d'ingressos a estalvis i a consum) i dels productors (per exemple, decisions sobre inversions i sobre l'ús dels recursos). Una formulació estàtica del model resulta clarament insuficient quan la dinàmica depèn de factors endògens.

Estructura del model econòmic LUC

S'han definit vuit subregions per a la Xina tenint en compte condicions geogràfiques/naturals, trets demogràfics i econòmics, i subdivisions administratives a nivell de províncies. Les regions econòmiques (és a dir, els seus agents econòmics) interaccionen mitjançant el comerç de mercaderies, els fluxos financers, i els fluxos de recursos mòbils (per exemple la mà d'obra o, probablement, l'aigua). En el sistema del model LUC s'ha tingut en compte una representació adequada dels fluxos físics de mercaderies. Cal esmentar dos aspectes: la transformació de mercaderies mitjançant el seu tractament quan flueixen des del lloc de producció (per exemple, la granja) fins al consumidor; i els requisits de transport per cobrir les distàncies quan el flux és cap a mercats ubicats a diferents indrets.

Per tal que la implementació sigui manejable, cal adoptar algunes simplificacions per a ambdós elements. Un mètode comú per reduir la complexitat d'una matriu comercial completa i per evitar una possible vaguetat dels fluxos comercials consisteix a suposar una font o reserva comercial a la qual flueixen totes les exportacions i des de la qual s'originen totes les importacions. Aquest plantejament elimina els fluxos comercials bilaterals, tot i que conserva informació sobre els costos de transport, així com sobre restriccions de les vies d'accés a i des de la font o reserva. D'aquesta manera, el transport s'interpreta com un mitjà per homogeneïtzar mercaderies que, tot i ser produïdes a indrets diferents, tenen unes característiques físiques idèntiques (Ginsburgh & Keyzer, 1997). La compensació del mercat s'estableix a dos nivells, un mercat local a cadascuna de les vuit regions econòmiques, i un mercat a nivell nacional que interacciona amb economies fora de la Xina. La Figura 1 conté una il·lustració del

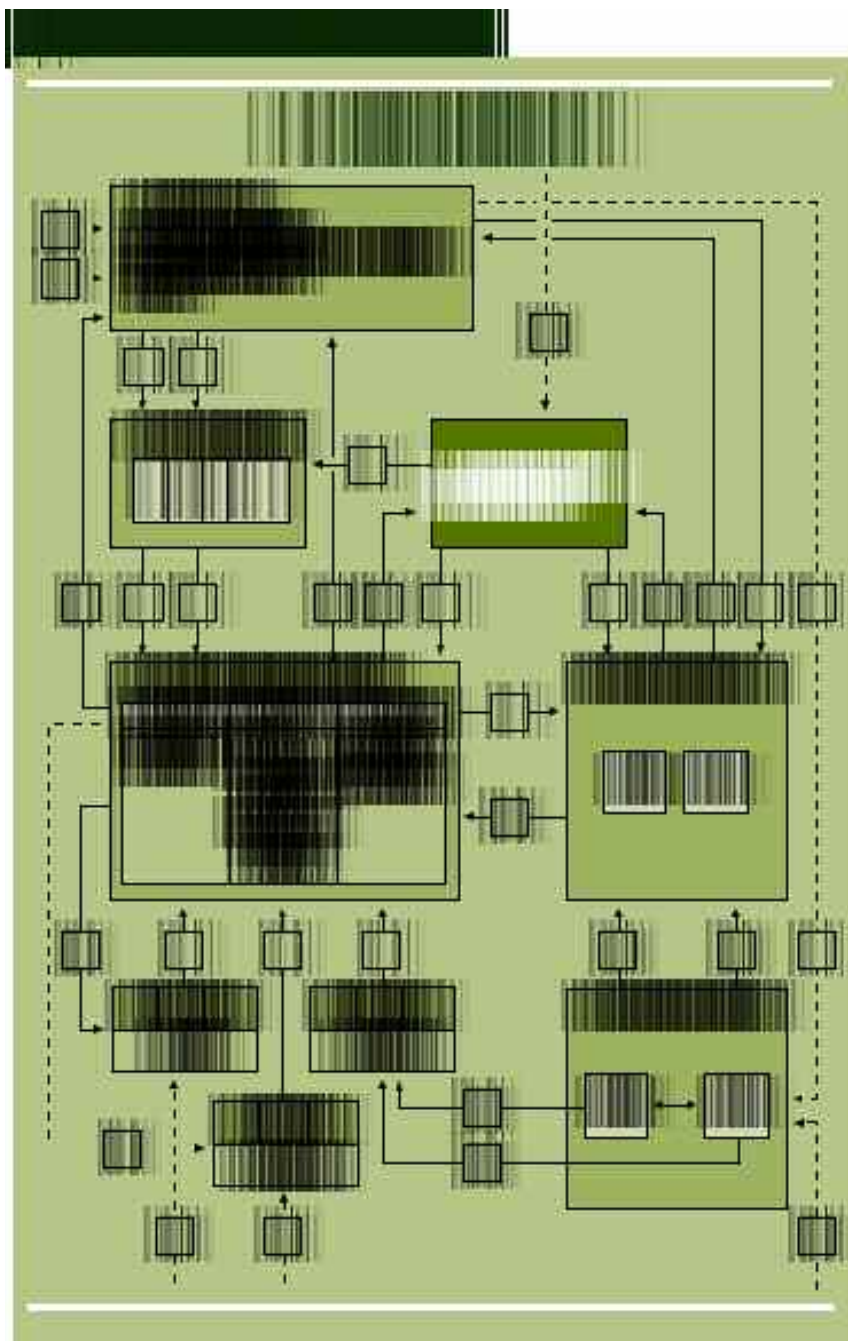


model econòmic IIASA-LUC per a l'anàlisi dels canvis en l'ús i la coberta del sòl. Aquest diagrama és una representació de l'estructura considerada per a cadascun dels components bàsics geogràfics del model de la Xina. Les regions estan relacionades mitjançant fluxos de recursos i mercaderies (que figuren com a variables Z de diferent tipus) tenint degudament en compte els equilibris entre mercaderies i reserves.

El model inclou un component de desenvolupament del sòl, arrelat al concepte biofísic que deriva de les bases de dades GIS de cel·les de quadrícules. El component de desenvolupament del sòl determina l'assignació del sòl a diverses activitats, com ara per a conreus i per al pasturatge de bestiar (que figuren com a ús del sòl A), silvicultura (ús del sòl F), sòl per a assentaments, infraestructura i indústries (ús del sòl N), i sòl per a esbarjo, reserves naturals o sòl sense usar (ús del sòl U). Inclou processos d'acumulació i degradació de recursos. El terme 'recurs' s'utilitza en el seu sentit general en aquest context. Dins els recursos s'inclouen els recursos humans (mà d'obra L), recursos hídrics (lletra E), recursos biològics (lletra R), i reserves de capital (lletra K).

En el model s'estableix una seqüència de períodes de temps. Les reserves de capital i ambientals del període actual s'utilitzen com a factors del procés de producció. Les ofertes netes de béns de consum i de nivells d'inventari al començament del període posterior són els resultats de la producció (com a factor comercialitzat QM i producció de subsistència Y) i d'activitats d'inversió (variable representada per la lletra D). D'aquesta manera s'introdueixen els recursos ambientals com a factors de producció, factors els quals, al mateix temps, reben la influència de la producció i del consum mitjançant processos de contaminació i degradació del medi ambient (designats com a fluxos XQ i XC).

Pel que fa al consumidor, a cada regió es distingeix entre segments de població rural



i urbana (variables PR i PU). Aquest tret permet de diferenciar entre estructures de preferència rurals i urbanes (és a dir, trens de vida dels consumidors), i explicitar en el model la migració rural-urbana. S'imposen equilibris de mercaderies i financers per a cada classe de consumidors i regió per tal d'assegurar que el consum (consum de subsistència CS i consum comprat en el mercat CM) no sigui superior a l'oferta procedent de la producció i de les importacions netes (definides per $Y + QM + ZQ$). Hi ha variables duals associades amb les condicions de compensació del mercat que representen preus (lletra P).

Conclusions

En les properes dècades es produiran canvis molt importants en les economies nacionals i en les societats humanes. Aquests canvis implicaran, sens dubte, canvis manifestos en l'ús i la coberta del sòl, i generaran una pressió més i més gran sobre els ecosistemes i la integritat del medi ambient. Per tal d'evitar caure en el parany que poden suposar respostes no desitjades del sistema i síndromes d'agreujament hem d'intentar millorar els nostres sistemes de dades i les bases teòriques de les eines de valoració.

La necessitat de dades es manifesta com a mínim en quatre àmbits: el seguiment i control de l'ús i la coberta del sòl, les dades econòmiques, socials, i del medi ambient. Per desenvolupar plantejaments a múltiple escala calen conjunts de dades a múltiple escala que siguin compatibles i consistents. El factor que limita la disponibilitat de les dades no és, principalment, la quantitat de dades generades, almenys a Europa i a altres regions desenvolupades, sinó més aviat la manca de compatibilitat pel que fa a la resolució, cobertura i definició espacial, la consistència i la freqüència temporal, i els trets institucionals que en limiten l'accessibilitat.

En una conferència electrònica organitzada recentment a Europa sobre els canvis en l'ús i la coberta del sòl, el debat sobre les

valoracions d'impacte va concloure que el nivell de desenvolupament d'unes eines adequades per analitzar les complexes interaccions entre diversos sectors i amb múltiples actors és encara insuficient. Tot i que es va reconèixer que la complexa realitat europea requereix una perspectiva més coordinada pel que fa a les tradicionals fronteres de l'agricultura, la silvicultura, el desenvolupament d'infraestructures i industrial, el turisme, i la protecció de la natura, es va reconèixer igualment que existeixen buits i punts dèbils força considerables (tant en les dades com en els mètodes disponibles) els quals limiten actualment qualsevol intent de realitzar valoracions d'impacte veritablement exhaustives. La creació de models de canvis en l'ús i la coberta del sòl dinàmics i integrats que estudiïn les principals reaccions del medi ambient i de la societat va ser considerada una tasca LUCC desafiadora però de crucial importància a Europa (Lambin *et al.*, 1998).

A la conferència electrònica es va debatre tot un seguit de qüestions metodològiques importants. A les aportacions fetes es varen identificar diverses àrees de recerca que cal examinar, incloent:

- Entendre millor els processos de presa de decisions relatius a l'administració del sòl.
- Relacions espacials biofísiques/geoquímiques i econòmiques a nivell de les conques dels rius.
- Els impactes dels canvis de paisatge en la complexitat ecològica i en els atributs de qualitat de les reserves de recursos del medi ambient.
- Descripció i avaluació de les funcions i serveis del sòl i de la coberta del sòl per al medi ambient.
- Incorporació a l'anàlisi econòmica de recerca utilitzant ciències naturals (biofísica, biologia, ecologia, etc.) espacialment explícites.
- Modelatge del sistema LUCC integrat, i
- Aspectes culturals, ètics i normatius de l'ús del sòl.

Els avenços en aquestes àrees de recerca determinaran fins a quin punt la ciència pot complir les promeses que es resumeixen en aquest article i que semblen ser d'importància crucial en el context d'un desenvolupament espacial europeu harmonitzat ●



Bibliografia

- FAO (1995): *Planning for sustainable use of land resources. Towards a new approach*. FAO Land and Water Bulletin 2. Roma.
- Fischer, G., Ermoliev, Y., Keyzer, M.A., and Rosenzweig, C. (1996): *Simulating the socio-economic and bio-geophysical driving forces of land-use and land-cover change: The IIASA land-use change model*. WP-96-010. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.
- Fischer, G., and Heilig, G.K. (1997): "Population momentum and the demand on land and water resources". The Royal Society. *Phil. Trans. R. Soc. Land B* (1997) **352**, 869-889.
- Ginsburgh, V., and Keyzer, M.A (1997): *The structure of applied general equilibrium models*. Cambridge MA: MIT Press.
- Houghton, R.A. (1991): "Releases of carbon to the atmosphere from degradation of forests in Tropical Asia". *Canadian Journal of Forestry Research*, 21: 132-142.
- Lambin, E., Fischer, G., Jäger, J., and Baulies, X. (eds.) (1998): *Electronic Conference on Land Use and Land Cover Change in Europe*. Organitzat per: the IGBP-IHDP Land Use and Land Cover Change (LUCC) Project, and the Environment and Climate RTD Programme (European Commission, Directorate General XII/D). LUCC Report Series N°. 2, Barcelona, Espanya.
- Stern, P. C., Young, O.R., and Druckman, D. (eds.) (1992): *Global environmental change: Understanding the human dimensions*. National Research Council Report, Washington D.C.
- Turner, B.L., II, Clark, W.C., Kates, R.W., Richards, J.F., Mathews, J.T. and Meyer, W.B. (eds.), (1990): *The Earth as transformed by Human Action: Global and Regional Changes in the Biosphere over the past 300 years*. Cambridge university Press, Cambridge. 725 pp.
- Turner, B.L., II, Moss, R.H. and Skole, D.L. (1993): "Relating Land Use and Global Land-Cover Change: A Proposal for an IGBP-HDP Core Project". IGBP Rep. No. 24 and HDP Rep. No. 5., International Geosphere-Biosphere Programme and the Human Dimensions of Global Environmental Change Programme, Estocolm, 65 pp.
- Turner II, B.L., Skole, D., Sanderson, S., Fischer, G., Fresco, L., and Leemans, R. (1995): *Land-use and Land-cover Change Science/Research Plan*, IGBP Report No 35, HDP Report No 7, Estocolm i Ginebra.
- Naciones Unides (1997): *World Population Prospects. The 1996 Revision*. UN Population Division. Nova York Washington