

EVALUAREA ȘI UTILIZAREA MODELELOR

Se ridică problema semnificației rezultatelor obținute în urma construirii modelelor (statistice sau deterministe, statice sau dinamice etc.), altfel spus, dorim să obținem un ansamblu de criterii și proceduri care să verifice, testeze și evalueze modelul sub aspectul logicii interne, a potrivirii datelor prognozate cu cele reale, precum și a utilității rezultatelor.

Această fază este cea de evaluare a modelului în ceea ce privește utilitatea lui, de a servi unui anumit scop pentru care a fost creat. În general un model care este extrem de util pentru un anumit scop, devine inutil sau fals pentru alte condiții sau folosințe. În evaluarea modelelor se consideră o varietate de aspecte și trăsături calitative și cantitative ale acestora, atât în ceea ce privește structura, rezultatele, cât și comportamentul lor. Procesul poate începe cu verificarea faptului dacă modelul este rezonabil în privința relațiilor funcționale interne și a structurii, în contextul științific, managerial, economic, sau de altă natură, pentru care a fost creat. Apoi se poate evalua corespondența dintre comportamentul modelului și cel teoretic, așteptat din faza conceptuală a acestuia. Se pot compara în mod formal potrivirea dintre datele prognozate și cele reale, dacă acestea sunt disponibile. Se vor folosi teste statistice, dacă este cazul. În sfârșit se mai poate realiza o analiză de senzitivitate, care se face prin modificarea unui parametru, sau a mai multora, pentru a urmări și afla care dintre componente are un efect mai mare asupra rezultatului obținut, care este mai important, asupra cărui aspect să se concentreze cercetarea sau managementul viitor.

Disponem de o serie de principii și unelte care permit verificarea rezultatelor, a logicii și realismului datelor care decurg din modelare.

1. Aflarea și testarea soluției

După ce am transformat problema de biologie într-una formală, matematică, de multe ori construim ecuațiile corespunzătoare. Ecuațiile se rezolvă, după care testăm soluțiile.

Aflarea soluției se poate face prin utilizarea de softuri adecvate (cum este de exemplu R), sau, dacă modelul este numeric, putem afla soluția acestuia, în condiții simplificate.

Evident, cel mai simplu este să preluăm din literatură rezultatele modelelor cunoscute, consacrate, dacă acestea există. Generarea soluției numerice pentru valori inițiale cunoscute este adesea mult mai facilă decât cunoașterea și evaluarea soluției analitice; eventual o bună variantă este să le aflăm pe ambele, în condiții diferite, și să comparăm rezultatele.

O variantă este să nu lucrăm cu ecuații, ci cu reprezentări (de exemplu grafice) ale acestora. Această cale este mai des utilizată în modelarea statistică,

univariată sau - mai frecvent - multivariată, atunci când softurile alese și utilizate (de exemplu Canoco) ne permit să ometem o serie de etape intermediare clasice. Putem solicita diverse metode matematice, aplicarea, calcularea și testarea unor modele, fără să lucrăm direct cu ecuații, obținând rezultate care sunt testate prin diverse rutine incluse în program. Este o cale preferată de majoritatea utilizatorilor de softuri, care asistă cercetarea ipotetic-deductivă. Aceasta permite și celor care nu au pregătire matematică substanțială să elaboreze, să desfășoare și să obțină rezultate în studii și cercetări complexe și avansate.

2. Testarea logicii interne a modelului

Logica internă se referă la calitatea modelului de a fi pertinent, rezonabil. Pentru a verifica dacă modul de alcătuire a modelului este logic se pot desfășura mai multe verificări:

- Variabilele de stare sunt și rămân pozitive?

Cei mai mulți parametri biologici, ecologici, fizici și chimici nu au sens decât dacă prezintă valori pozitive, motiv pentru care atunci când modelul (respectiv calculatorul care rulează programul ce reprezintă modelul) produce rezultate negative, acestea nu pot fi luate în considerare, semn că ceva este fals.

- Modelul se comportă așa cum este de așteptat?

Este util să verificăm dacă modelul întrunește așteptările noastre, deși acest criteriu este subiectiv. În general un model este construit pentru a genera un anumit răspuns la o problemă sau la o întrebare, prin urmare putem să verificăm dacă răspunsul anticipat a fost oferit sau nu. De multe ori prognoza generală este așteptată cel puțin ca sens și semn, dacă nu chiar ca valoare. De exemplu ne putem ușor aștepta ca oxigenul dizolvat să fie mai redus într-o apă poluată organic, biodiversitatea edafică va fi mai redusă într-un sol contaminat cu metale grele etc., și ar fi de-a dreptul curios să descoperim relații inverse. Pe de altă parte, un rezultat neașteptat poate oferi o gamă diversă de noi idei și posibilități, dacă nu cumva am greșit; dacă eroarea ne aparține, acest proces ajută să descoperim sursa erorii.

3. Validarea modelului

În timpul validării testăm dacă modelul este capabil să reproducă datele obiective atât calitativ cât și cantitativ. Prin aceasta ne confruntăm cu consecințele modelului, adică verificăm dacă datele reale (observaționale, rezultatele investigațiilor de laborator, rezultatele din teren, obținute prin studiul procesului sau sistemului viu) sunt similare cu cele produse prin rularea modelului. Dacă

produsul acestuia este similar cu observațiile, înseamnă că el este validat pentru moment. Aceasta nu înseamnă că modelul este corect, ci doar că nu l-am dovedit a fi fals. În caz contrar trebuie să verificăm atât datele, observațiile, cât și modelul, deoarece erori s-au putut strecura la ambele abordări, și la oricare nivel. Trei categorii de acțiuni pot fi desfășurate atunci când există nepotriviri grave între model și date: suspectăm datele, modelul sau parametrii.

- În primul rând se verifică precizia și acuratețea datelor. Eroarea este o caracteristică fundamentală a celor mai multe măsurători în științele naturii. Aceasta poate fi testată prin tehnici de tip AC/CC (asigurarea calității și controlul calității datelor), metode standardizate de colectare și prelucrare statistică a datelor.
- În al doilea rând trebuie revizuit modelul, în ceea ce privește presupunerile, relațiile, complexitatea, ecuațiile. Dacă un singur proces esențial a fost neglijat, nu vom obține nici măcar potriviri calitative ale rezultatelor. Nepotrivirea dintre date și model poate releva goluri în înțelegerea noastră a procesului sau sistemului.
- În sfârșit poate ar trebui reconsiderate valorile parametrilor (a elementelor care fac legătura dintre datele reale și ecuațiile modelului). Acest lucru se poate realiza prin calibrare.

Chiar dacă aceste acțiuni trec proba, ne punem problema dacă domeniul de acțiune al modelului nu a fost depășit. De multe ori ecuațiile au valabilitate numai într-un anumit domeniu de variație al variabilelor independente; odată ce amplitudinea de aplicare este depășită, rezultatele și semnificațiile se pot răsturna dramatic. Modelele se bazează pe presupuneri și limitări, iar acestea sunt ușor de depășit în mediul de simulare. De exemplu un model al unei cenoze dintr-o apă polisaprobă foarte probabil nu va reuși să evalueze sau prognozeze corect o relație dintr-un sistem oligosaprob.

Este important ca datele reale, pe baza cărora se construiesc unele modele (în general cele statistice), să fie altele decât cele utilizate în evaluarea modelului, în caz contrar fiind imposibilă realizarea unei validări obiective. Ideea este de a utiliza modelul pentru a prognoza valori dintr-un nou set de date și să urmărim dacă valorile așteptate și cele reale coincid. Aici se pot intercala în mod judicios și teste statistice, care au scopul de a evalua semnificația diferențelor dintre cele două seturi de date.

4. Analiza de sensibilitate a modelului

În timpul analizei de sensibilitate sunt modificate valorile parametrilor, eventual sunt încercate ecuații alternative și diverse combinații de variabile,

pentru a estima și evalua comportamentul și eficiența modelului. Într-un anume sens este similar cu un joc pe calculator, o experimentare de tipul "ce-ar fi dacă...", dar una logică.

În practică, cel mai simplu este să modificăm valoarea unui parametru și să analizăm noul rezultat produs de către model. Analiza de sensibilitate se poate realiza în două feluri:

- Analiza de sensibilitate globală

Valorile parametrilor sunt modificate în cadrul unei amplitudini mari, dar plauzibile, și se evaluează efectul acestui demers asupra valorii uneia sau mai multor variabile. Aceasta ajută la sesizarea mai bună a relațiilor de tip cauză-efect.

- Analiza de sensibilitate locală

Se estimează efectul modificării într-o amplitudine restrânsă (frecvent foarte mică) a unuia sau mai multor parametri. Analiza se poate realiza prin funcțiile de sensibilitate. Acestea reprezintă schimbarea rezultatului unei variabile y_i a modelului, ca răspuns la modificarea unui parametru p_j . Formula generală a acestei funcții este:

$$S_{ij} = \frac{\Delta p_j}{\Delta y_i} \frac{\partial y_i}{\partial p_j}$$

Media sensibilității tuturor variabilelor modelului se poate calcula în funcție de fiecare parametru și această informație este utilizată pentru a ordona parametrii în funcție de efectul pe care îl au asupra rezultatului. Astfel, analiza este utilizată pentru a determina parametrii care au cea mai mare influență asupra unui model, respectiv cei care modifică cel mai mult rezultatul. Aceștia sunt cei asupra cărora trebuie acționat și care trebuie utilizați în procedurile de monitoring și management, precum și cei asupra cărora se vor concentra viitoarele priorități de cercetare.

În afara parametrilor, se mai poate modifica și numărul variabilelor de stare, al celor externe, precum și categoriile de ecuații care exprimă legăturile dintre acestea.

O altă variantă este de a modifica fiecare element constituent al modelului în mod sistematic, și de a analiza semnificația rezultatelor după un algoritm. Acest deziderat se poate însă realiza numai în cazul modelelor simple; pentru cele mai complexe se va apela la evaluarea și interpretarea funcțiilor de sensibilitate.

În sfârșit există posibilitatea de a include în analiză o doză de incertitudine, sub forma unor parametri aleatori, care pot lua orice valoare într-un interval astfel

definit încât să reflecte gradul de incertitudine pe care aceștia îl aduc în funcționarea sistemului.

Prin analiza de senzitivitate studiem mai detaliat, nivelul de încredere pe care îl putem avea în capacitatea modelului de a răspunde la o întrebare sau de a rezolva o problemă.

5. Utilizarea și aplicarea modelului

Scopul acestei etape este de a atinge obiectivele pe care le-am fixat la începutul activității de modelare. Uneori dorim ca modelul să simuleze dinamica sistemului sub diferite alternative de strategii manageriale, sau stări ale mediului, pentru a discerne între cele mai bune. Schema generală a utilizării modelului seamănă foarte mult cu cea a designului unei cercetări ipotetic-deductive. La început se dezvoltă și execută un design experimental pentru simulare. Apoi se interpretează rezultatele simulării, prin utilizarea aceluiași unelte analitice și interpretative, pe care le folosim și în evaluarea rezultatelor muncii de laborator sau de teren. În sfârșit, aceste rezultate trebuie comunicate, adică făcute cunoscute potențialilor interesați, beneficiari, sau comunității specialiștilor. Aplicarea include mai multe etape.

- **Dezvoltarea și executarea unui design experimental pentru simulări**

Principiile designului experimental pe care le aplicăm în orice cercetare, în teren sau laborator, le implementăm și la nivelul experimentării sau simulării, respectiv a utilizării modelului pe calculator. Presupunerile realizate a priori în faza de conceptualizare ar trebui să asigure un ghid pentru designul experimental, deoarece acestea (sau cel puțin unele) reprezintă ipotezele pe care le testăm. Nu trebuie confundate capacitățile unui calculator cu cele de evaluare, sesizare și interpretare a rezultatelor. Calculatoarele moderne pot procesa și returna cantități uriașe de date într-un timp foarte scurt, dar acestea, fără o analiză și procesare intelectuală adecvată, nu au nici un sens. Este extrem de simplu să ne pierdem într-un ocean de date lipsite de semnificație imediată, sau să trecem cu vederea semnificațiile ascunse ale acestora. Rezultatele și datele oferite de calculator, prin rularea și calcularea soluțiilor ecuațiilor, seamănă cu cele din teren sau laborator, având cea mai mare parte a caracteristicilor acestora, motiv pentru care realizarea unui program judicios de interogare a lor este absolut necesară.

În mod special, dacă modelul conține elemente stocastice, este utilă specificarea numărului de replicări (rulări, colectări de rezultate), care să permită obținerea unor rezultate statistic semnificative. În analize de senzitivitate, dar și de simulare, adesea rulăm modelul cu ceea ce știm despre sistem, sau în condiții care corespund la ceea ce am numi "probă martor", și apoi, în mod adecvat, vom simula diferitele tratamente, respectând toate regulile unui design experimental. Și aici vom modifica parametrii și valorile variabilelor de stare sau proces după

principii de tipul blocurilor, a designului factorial, serial etc. adecvat condițiilor de definire a problemei abordate. Vom calcula numărul necesar de replicări pentru fiecare analiză, ca și cum ar fi probe din mediul real.

- **Analiza și interpretarea rezultatelor simulărilor**

Vom compara rezultatele prin aceleași tehnici ANOVA care se pretează la designul experimental în cauză, ca și cum ar fi date experimentale obținute în mediu real. Prima comparație se va face între rezultatele simulării și așteptările sau prognozele noastre din faza conceptuală a modelului. Aceasta este totodată ultima șansă de a evalua intrinsec calitatea modelului obținut. Comparațiile seturilor de date dintre diferitele condiții de simulare se vor realiza prin teste adecvate categoriei de date și a strategiei de design experimental ales. Aceleași restricții și reguli care se aplică în testarea statistică a datelor experimentale sunt valabile și în analiza rezultatelor diverselor simulări.

- **Comunicarea rezultatelor și valorificarea modelului**

Modelele cel mai adesea nu sunt, și nu trebuie să fie, un scop în sine. Ele trebuie să folosească la ceva, și acel ceva trebuie valorificat. Valorificare înseamnă explicație științifică, rapoarte de cercetare, lucrări, propuneri de management, soluții economice etc. În toate cazurile aceste deziderate se ating prin comunicarea rezultatelor, deci prin informarea altor persoane (cercetători, beneficiari, factori de decizie, factori politici, manageri sau chiar publicul larg), asupra rezultatelor obținute prin modelare. Comunicarea nu diferă de nici una dintre etapele, principiile și algoritmiile care facilitează sau ghidează procesul de elaborare a lucrărilor de specialitate.

Și aici trebuie să descriem în mod explicit și clar problema, să o punem în context tematic și istoric, să specificăm obiectivele, baza informațională pe care construim studiul (modelul, lucrarea), metoda și tehnica folosită (aici se includ descrierea formală a modelului, aspecte conceptuale, matematice, informatice, softuri utilizate etc.), rezultatele procedurilor de evaluare și a experimentelor simulate, limitările și domeniul de valabilitate ale acestora, interpretări și discuții adecvate, precum și concluziile la care am ajuns.

Dacă modelul se adresează unor potențiali beneficiari, comunicarea este facilitată dacă aceștia au fost implicați sau măcar informați pe parcurs asupra dezvoltării și exploatării modelului în cauză. Frecvent este mult mai important să comunicăm și interpretăm tendințe ale fenomenelor sau proceselor analizate, mai degrabă decât valori prognozate ale acestora. Prea mulți biologi devotați cercetării au tendința de a intra prea mult în detalii tehnice, care sunt relevante doar pentru structura internă a modelului, respectiv sunt de interes doar pentru cei implicați în acest domeniu, în loc să se concentreze asupra rezultatelor și semnificației, precum și a prognozelor care decurg din utilizarea modelelor.