

# ELEMENTELE CONSTITUENTE ALE MODELELOR ȘI CLASIFICAREA ACESTORA

## I. Elementele constitutive ale modelelor

În formulare matematică un model este alcătuit din 5 elemente sau componente (după Jørgensen și Bendoricchio, 2001). Dar, aceasta nu înseamnă că elementele trebuie să fie toate prezente, atunci când construim, testăm, validăm sau utilizăm un model. La o extremă, un model verbal, care nu are expresie matematică, este format exclusiv din ... cuvinte. De exemplu, dacă afirmăm sau enunțăm: ”însușirile întregului nu sunt suma însușirilor părților componente”, sau că ”două specii nu pot coexista în exact aceeași nișă ecologică”, acestea sunt modele cu valoare de legitate, dar în cadrul cărora nu vom distinge direct și nemijlocit, unele sau altele dintre părțile componente pe care le vom prezenta mai jos. Dacă, dimpotrivă, scriem ecuația, și reprezentăm grafic, creșterea exponențială a propagării unei epidemii, în prima fază (timpurie), în populația umană, acest model va conține nu unul, sau două, ci toate cele cinci elemente, pe care le prezentăm în cele ce urmează.

### 1. Variabile și funcții externe

Sunt forțe externe (factori ai mediului, variabile independente etc.), care nu aparțin sistemului sau procesului analizat, dar care influențează sau determină starea și dinamica acestuia. Se studiază influența acestora asupra oricărui aspect (structură, funcții, dinamică) al subiectului investigat. Forțele externe supuse modificărilor antropogene se mai numesc și "funcții de control" (de exemplu poluanți, nutrienți, deversări de ape reziduale etc.). Multe altele nu sunt supuse controlului nostru (variabile climatice, radiații cosmice etc.).

### 2. Variabile de stare

Sunt mărimi care descriu sistemul sau procesul, relevând structura și funcțiile acestuia. Selectarea lor este extrem de importantă pentru acuratețea modelului.

### 3. Ecuații matematice

Sunt utilizate pentru reprezentarea proceselor, respectiv a modificării în timp și spațiu ale structurii și funcțiilor sistemelor vii. Ele descriu relațiile dintre funcțiile externe și variabilele de stare, precum și dintre acestea din urmă. Același tip de proces poate fi identificat în contexte diferite, motiv pentru care frecvent există posibilitatea utilizării aceleiași ecuații în mai multe categorii de modele, aplicate

altor sisteme. Alteori detalii sau relații diferite reclamă utilizarea unor ecuații alternative. Descrierea și formularea matematică a proceselor definesc submodelele.

#### 4. Parametrii

Sunt coeficienți utilizați în reprezentarea matematică a proceselor. Ei asigură legătura dintre ecuațiile modelului și datele reale. Uneori pot fi considerați constante pentru anumite părți ale sistemului viu. Alteori sunt redați printr-un domeniu de variație, a unei amplitudini, șir de probabilități, sau sunt deduși din ecuații empirice construite pe baza datelor reale (de exemplu ecuații de regresie).

#### 5. Constante universale

Sunt valori deduse din legi ale naturii, fixe, imuabile, care apar adesea și în multe modele. Amintim aici numărul  $\pi$ ,  $e$  (baza logaritmului natural, numărul lui Euler), constanta lui Avogadro, constanta solară, masele atomice ale elementelor chimice etc.

## II. Clasificarea modelelor

Modelele pot fi clasificate în funcție de abordare, alcătuire, scop și tipul rezultatelor obținute.

După natura funcției pentru care au fost create, distingem **modele cu scop științific**, respectiv **cu rol de management**.

Dacă rezultatele modelului depind de factori aleatori sau probabilistici, vorbim de **modele stocastice**, iar dacă rezultatele depind numai de valorile inițiale introduse, atunci ele sunt **modele deterministe**.

Modelele care includ detalii relevante asupra componentelor, sunt denumite **reducționiste**, pe când cele care lucrează cu însușirile emergente ale sistemelor, la nivelul întregului, se numesc **modele holiste**.

Dacă variabilele care definesc sistemul nu sunt dependente de timp vorbim de modele **statice**, iar dacă este analizată modificarea variabilelor în timp (eventual și/sau în spațiu), vorbim de modele **dinamice**.

Modificarea timpului se poate urmări printr-un șir discret de valori, caz în care vom utiliza cel mai frecvent **ecuații recurente (modele discrete)**, sau vom monitoriza dinamica unui fenomen în timp continuu, ecuațiile utilizate fiind de tip **diferențial**. Ultimele urmăresc transformarea permanentă, continuă, a sistemului în timp, pe când cele discrete compară starea sistemului sau valoarea procesului la un anumit moment, cu valorile înregistrate într-un număr de diviziuni anterioare.

Analiza transformării structurii sau a valorii funcțiilor în timp semnifică trasarea **traectoriei sistemului**. Aceste traectorii se pot modela prin ecuații, ele pot fi deterministe sau stocastice, existând prin urmare o gamă largă de categorii de

abordări. Unele sisteme tind către un **nivel staționar** (“*steady-state*” în engleză), dacă acesta nu se modifică într-un interval de timp considerat, dar aceasta nu implică o stare (sau traiectorie) de echilibru. În starea staționară toate ratele proceselor sau cele ale funcțiilor particulare sunt constante, spre deosebire de **starea de echilibru** în care acestea sunt egale cu zero.

Alte sisteme dinamice nu au nivel staționar, dar pot dezvolta **cicluri limită**.

Nu în ultimul rând, un model dinamic poate conține variabile care se modifică atât în timp cât și în spațiu, eventual și după alți gradienti (altitudine, salinitate, umiditate etc.), caz în care vorbim de **modele distributive**, care sunt definite frecvent prin ecuații diferențiale parțiale. Analiza dinamicii temporale nu trebuie neapărat realizată prin ecuații deterministe. De exemplu, există posibilitatea descrierii și caracterizării dinamicii fenomenelor prin **analiza seriilor de timp**, domeniu al statisticii matematice.

**Modelele integrate** urmăresc dinamica proceselor sau a sistemelor pe o perioadă mai lungă (de exemplu un an sau un deceniu), iar variabilele sunt reprezentate prin valori medii pe intervale finite de timp. Ele sunt utilizate în special la construirea de modele energetice, ale bugetului trofic, cele climatice, de productivitate și altele.

Dacă procesul se poate descrie sub forma unei ecuații de gradul I (polinom de gradul I), modelele se numesc **liniare**, iar dacă cel puțin o relație nu este în această formă, definim modele **neliniare**.

Modelele pot fi **cauzale** (sau de tip **cutie albă**) dacă datele de intrare, stările sistemului și rezultatele sunt relaționate prin legături de tip cauză - efect, sau pot fi modele de tip **cutie neagră (necauzale)** dacă se iau în considerare numai datele de intrare și cele de ieșire, fără a fi analizat mecanismul intim al sistemului.

Utilizând criteriul naturii componentelor definite ca variabile de stare, putem alcătui o altă clasificare. Astfel, dacă sistemul este descris în termeni de număr de indivizi conspecifici, modelul este de tip **populațional** (câteodată se utilizează și cuvântul **biodemografic**). Un model care descrie și caracterizează comunitatea sau ecosistemul va fi definit ca atare (**modele cenotice sau ecosistemice**), referitor la nivelul de organizare inclus în analiză, un model al fluxului energetic este considerat **bioenergetic**, iar dacă se referă la circulația materiei în natură, definim modele **biogeochimice**.

**Modele bazate pe indivizi (MBI)** implică o abordare diferită de cele expuse anterior. Acestea urmăresc dezvoltarea sau funcționarea sistemului prin analiza comportamentului indivizilor constituenți, și nu prin acordarea unor valori medii, care exprimă contribuția tuturor, așa cum o fac cele mai multe categorii. Se realizează simulări, care evaluează consecințele la nivelul întregului sistem a interacțiunilor locale ale elementelor constitutive. Elementele pot fi indivizi biologici (plante, animale), dar și autovehicule în trafic, populații sau specii care interacționează etc. Sunt tehnici de modelare care necesită mult calcul matematic, se realizează exclusiv pe calculator și se bazează pe teoria automatelor celulare. Asemenea modele sunt alcătuite din mediul în care se desfășoară interacțiunea, un

număr oarecare de indivizi în sens larg (nu în mod necesar biologici), care la rândul lor sunt definiți în termeni de comportament (reguli procedurale) și parametri caracteristici. Însușirile și efectele acțiunilor fiecărui individ sunt urmărite în timp. Unele MBI sunt explicit spațiale, în sensul că indivizii sunt asociați cu locații și deplasări în spațiul geometric. Alte modele sunt pur funcționale sau reflectă efectul interacțiunilor între grupuri de elemente definite după anumite criterii.

**Automatele celulare** sunt sisteme dinamice în care spațiul, timpul și variabilele de stare ale sistemului sunt discrete. Fiecare celulă a unei matrici sau a unei rețele rectangulare își modifică starea în timp după o anumită regulă, care este locală și deterministă.

Modelele tratează rar, asemenea categoriei precedente, elementele constitutive ale sistemului ca fiind individuale, în ceea ce privește aportul manifestării lor la explicarea funcțiilor întregului. De cele mai multe ori sistemele sunt considerate ansambluri de grupe de elemente, caracterizate printr-un grad de organizare (populații, niveluri trofice, categorii funcționale etc.). Această grupare, după diferite criterii, definește **modelele de tip agregativ**. Ele pot fi de tip sistematic (grupare pe specii, genuri, familii etc.), structural (sex, vârstă, structură genetică etc.), funcțional (trofice, categorii de folosințe etc.) sau altele. **Modelele spațiale** sunt cele care includ distribuția, agregarea și mișcarea în spațiu a elementelor componente ale sistemelor.

**Modelarea orientată pe obiecte** implică grupe de submodele (obiecte) care au un grad relativ de autonomie, în sensul că pot fi descrise o singură dată, și apoi asamblate în modele mai complexe în funcție de necesități. De exemplu, modelul creșterii logistice a unei populații poate fi definit o singură dată sub forma unei rutine scrise într-un program oarecare, după care aceasta este chemată în oricare model superior care implică date despre dinamica numerică a unor populații particulare. Datele și condițiile de intrare pot fi diferite, dar mecanismul de creștere logistică este același. Cele mai multe programe și limbaje moderne suportă acest tip de modelare, care este din ce în ce mai utilizat.

În tabelul 4.1 sunt redate sintetic principalele categorii de modele, grupate după diferitele criterii și caracterizate sumar, în scopul alcătuirii unei imagini de ansamblu asupra problematicii clasificării. Există și alte categorii de modele, care nu se pot prezenta sub formă dichotomică sau prin comparație, în mod special cele care s-au dezvoltat cu precădere în ultimele decenii. Dintre acestea amintim: modelele spațiale, modele fractale, cele bazate pe metode tip Monte-Carlo, modele de optimizare, cele bazate pe teoria jocurilor, pe teoria haosului sau a catastrofei, și altele.

**Tab.1. Clasificarea principalelor categorii de modele aplicate în biologie și ecologie  
(modificat după Jørgensen, 1988; W. Silvert, 2001)**

<b>Categoria de modele</b>	<b>Caracteristici</b>
Științifice Management	- scopul este legat de explicare și cunoaștere - scop de gestiune și control a unui proces sau sistem
Formale Informale	- (de obicei) exprimate prin ecuații matematice - nu sunt exprimate prin ecuații
Deterministe Stocastice	- depind numai de datele de intrare - rezultatele depind de distribuții probabilistice sau de factori aleatori
Reducționiste Holistice	- includ cât mai multe detalii și subsisteme - utilizează principii și funcții generale, emergente ale sistemului ca întreg
Statice Dinamice	- independente de timp - variabilele sunt funcții de timp, eventual și spațiu sau alți parametri independenți care variază
Dinamice în timp continuu Dinamic în timp discret	- urmăresc procesul fără întrerupere în timp, fiind modelate cel mai adesea prin ecuații diferențiale - sistemul se studiază la anumite momente de timp, care alcătuiesc un șir discret; ecuațiile utilizate de obicei fiind de tip recurent.
Dinamice distributive  Dinamice integrate	- definite prin modificarea graduală a mai multor variabile, adesea independente, exprimate prin ecuații diferențiale parțiale - definite la scară temporală lungă, exprimate prin valori medii ale variabilelor de stare și proces
Liniare Neliniare	- sunt considerate ecuații de gradul I - ecuații de grad superior sau funcții neliniare
Cauzale (cutie albă)  Necauzale (cutie neagră)	- datele de intrare și rezultatele sunt conectate prin relații de tip cauză - efect - sunt comparate intrările cu ieșirile, fără analiza mecanismului intim cauzal
Populaționale Suprapopulaționale (Cenotice) Ecosistemice (Holistice) Modele ale bio(eco)sferei	Modele care descriu structura și/sau funcționarea sistemelor supraindividuale la diferite niveluri de organizare (populație, comunitate sau asociație, biocenoză, ecosistem, biom, biosferă respectiv ecosferă etc., supra- și subdiviziuni ale acestora).
Bioenergetic Biogeochimic	- descriu și caracterizează fluxul energetic - circuitul materiei sau cicluri ale unor elemente și substanțe în natură
Modele bazate pe indivizi (MBI)  Agregative	- analizează comportamentele elementelor constitutive ca bază explicativă pentru funcționarea întregului; - grupează elementele constitutive după anumite criterii.