

CAPITOLUL 7

AUTOORGANIZARE ȘI EMERGENȚĂ ÎN SISTEMELE ADAPTIVE COMPLEXE

Unele din proprietățile cele mai uimitoare și, în același timp, cele mai puțin elucidate ale sistemelor adaptive complexe sunt auto-organizarea și emergența. Emergența și auto-organizarea spontană ale unor noi structuri sunt ușor de observat, de exemplu, în viața de zi cu zi sau în condiții de laborator. Poate cel mai citat exemplu îl reprezintă efectul de cristalizare a apei în fulgii de zăpadă, fulgi care au, fiecare, forme simetrice distincte, deși numărul lor este uriaș. Dar emergența este o proprietate universală în sistemele vii, organizații și sisteme economice și sociale, cărora le conferă calitatea de a manifesta caracteristici și comportamente cu totul noi, care nu se întâlnesc la nici unul dintre elementele componente. De asemenea, auto-organizarea poate fi definită ca „oarecare apariție spontană a unei noi structuri coerente globale a CAS plecând de la interacțiunile locale dintre agenți” (Heylighen, 2003). Altfel spus, apare o nouă structură sau patern, fără ca acestea să fie impuse de un agent exterior.

Un astfel de fenomen prin care se crează spontan, fără intervenții exterioare, ceva nou, distinct față de ceea ce a fost în sistem, contrazice viziunea mecanicistă prin care elementele componente pot fi aranjate, de fiecare dată, în aceeași ordine particulară, fără existența căreia sistemul însuși nu poate funcționa. Dar pentru sistemele complexe, aranjarea părților componente în structuri atât de diverse duce cu gândul la existența

a ceva necunoscut, la o forță inteligentă care să se ocupe de un astfel de proiect.

O astfel de forță, într-adevăr, există și ea este confirmată de cea de-a doua lege a termodinamicii (Clausius) care, în esență, spune că într-un sistem închis entropia poate doar să crească și nu se diminuează niciodată. Deci pentru a înțelege auto-organizarea, ar trebui să plecăm de la termodinamică.

Ilya Prigogine a început studierea a ceea ce a denumit structuri disipative încă din 1955. El și-a ales ca obiect de studiu celulele Bénard, care prezintă auto-organizare dinamică. El a observat că aceste structuri care sunt, în mod necesar, sisteme deschise deoarece energia și/sau materia le străbat continuu, generează entropie, dar această entropie este disipată, sau exportată în afara sistemului. Acest lucru duce la creșterea propriei organizări, cu costul creșterii dezordinii în mediul înconjurător. Un astfel de sistem respectă cea de-a doua lege a termodinamicii, dar reușește să-și mențină sau chiar să-și crească gradul de organizare transmitând în mediu (deci către alte sisteme) excesul de entropie. Un astfel de comportament este frecvent întâlnit la organismele vii care iau energie și materie din mediu sub forma luminii și hranei și o cedează apoi sub formă de produse reziduale care au o entropie mai mare decât cea primită inițial. În acest mod, aceste organisme își reduc entropia internă, contracarând, pentru o perioadă de timp, dezordinea care o împiedică acțiunea celei de-a doua legi a termodinamicii.

Cu toate acestea, exportul de entropie nu explică de ce și cum are loc auto-organizarea. Tot Prigogine a observat că auto-organizarea are loc, de regulă, în sistemele neliniare care funcționează departe-de-echilibru.

7.1 Ce sunt auto-organizarea și emergența

Marele cibernetician britanic **W. Ross Ashby** a fost preocupat în cel mai înalt grad de înțelegerea și definirea auto-organizării. El formulează un „un principiu al auto-organizării” (1954). Conform acestui principiu, un sistem dinamic, indiferent de structura acestuia, tinde întotdeauna să evolueze către o stare de echilibru, pe care astăzi o denumim atractor. Acest lucru este de natură să reducă incertitudinea privind starea sistemului și, în consecință, entropia asociată acestuia. Dar acest lucru înseamnă auto-organizare. Echilibrul care rezultă poate fi, atunci, interpretat ca o stare a sistemului în care diferitele părți componente ale acestuia (agenți, subsisteme ș.a.) sunt reciproc adaptate.

Un alt cibernetician cunoscut, **H. von Foerster**, formulează așa-numitul principiu al „ordinii apărută din zgomot”. El observă că, în mod paradoxal, cu cât perturbațiile aleatoare (zgomotele) din mediul înconjurător sunt mai mari, cu atât mai repede sistemul se auto-organizează (produce „ordine”). Explicația acestui lucru este simplă: cu cât un sistem se va deplasa mai dezordonat prin spațiul de stare, cu atât mai rapid el va tinde către un atractor. Dar mișcarea dezordonată a sistemului poate fi determinată prin inducerea de perturbații (zgomote) care reflectă influențele exercitate de mediul înconjurător asupra sistemului.

De la aceste principii s-a trecut, în anii '60 la elaborarea unor aplicații practice. Printre aceste aplicații se numără rețelele neuronale, care reprezintă modele ale modului în care neuronii din

creier interacționează. Ele pornesc de la modelul neuronului, construit de McCallum și Pitts în lucrarea lor „A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity”, apărută încă din 1943. În rețelele neuronale nu există un control centralizat al proceselor care sunt modelate, acestea evoluând doar pe baza conexiunilor directe și indirecte dintre neuronii și nivelele neuronale care le alcătuiesc. Rezultatul final poate fi reprezentat sub forma unor modele complexe de comportament.

O altă aplicație în care comportamentul colectiv spontan se produce ca urmare a interacțiunilor locale dintre agenți îl reprezintă lumea animală. Stolurile de păsări, bancurile de pești, roiurile de albine sau turmele de reni reacționează după principiul auto-organizării. Atunci când apare un pericol iminent sau mediul înconjurător se modifică dramatic, indivizii care alcătuiesc formațiunile de mai sus acționează într-un mod sincronizat care face ca pericolele implicate de modificarea condițiilor din mediu să fie reduse la minimum.

Simularea pe calculator a comportamentului roiurilor de albine sau stolurilor de păsări arată că indivizii ce le compun acționează după câteva reguli foarte simple, cum ar fi, de exemplu, păstrarea unei distanțe minime dintre indivizii și urmarea unei direcții medii, pornind de la mișcările vecinilor imediați. Pornind de la aceste reguli simple de comportament local, obținem un comportament emergent coerent la nivelul întregului sistem.

Studiile făcute asupra unor astfel de sisteme sunt extrem de utile pentru a înțelege și explica ceea ce se întâmplă în CAS din economie. De exemplu, efectul de imitație, observat în cazul mulțimilor de investitori de pe piețele financiare, este asemănător comportamentului de turmă (hoarding).

Prin simulare pe calculator se poate reproduce, de exemplu, comportamentul unui stol de păsări și înțelege mai bine cum acționează grupurile mari de oameni atunci când efectuează tranzacții financiare, merg la cumpărături în hipermarketuri, iau parte la o selecție pe piața forței de muncă ș.a.

Aceste simulări se realizează utilizând, de regulă, automate celulare care sunt, în esență, modalități de reprezentare a evoluției unei mulțimi finite de entități între care există interacțiuni și reguli de comportament foarte simple.

Astfel de simulări pot duce la obținerea unor comportamente extrem de complicate, care se apropie de cele întâlnite în sistemele biologice, în ecosisteme sau organizații.

7.2 Caracteristicile sistemelor complexe auto-organizatoare

Cercetările întreprinse asupra sistemelor adaptive complexe în ultimii ani au evidențiat un număr de trăsături caracteristice, care disting sistemele auto-organizatoare de sistemele mecanice tradiționale, studiate de fizică sau disciplinele ingineresti.

De-a lungul timpului, oameni de știință cunoscuți din domeniul științelor complexității au abordat problema auto-organizării, conturându-se ideea că sistemele complexe, pentru a putea fi și adaptive, trebuie neapărat să aibă și capacitatea (proprietatea) de auto-organizare.

Astfel, marele biolog și fondator al Științelor Complexității, **Stuart Kauffman**, a studiat dezvoltarea organismelor și ecosistemelor utilizând intensiv simularea pe calculator. El a încercat să înțeleagă în ce mod rețelele de gene, care se activează sau se inhibă reciproc, pot da naștere unor organe și țesuturi diferențiate în cursul evoluției embrionare. Aceste cercetări l-au condus, treptat, către abordarea tipurilor și numărului de atractori care se află în rețelele Booleene cu care se pot reprezenta rețelele de conexiuni dintre gene. El a arătat că auto-organizarea rezultată din aceste rețele este un factor esențial al evoluției, împreună cu selecția Darwiniană. De fapt, cele două mecanisme ale evoluției sunt complementare, unul asigurând diversificarea formelor de viață autonome, iar celălalt specializarea acestora în raport cu condițiile de mediu variabile.

John Holland, un alt om de știință cunoscut în domeniul Științelor Complexității, încercând să înțeleagă mai bine mecanismele prin care organismele biologice se adaptează la condițiile variabile de mediu, a fondat teoria algoritmilor genetici.

Aceștia, utilizând o serie de operații specifice geneticii, cum sunt selecția, mutația, recombinarea, a simulat pe calculator modul

în care pot să apară noi forme de organizare atât în organismele vii cât și în organizații.

Astăzi, algoritmi genetici sunt utilizați în multe domenii pentru a reprezenta modul în care evoluează sistemele ecologice, biologice, economice sau umane.

Lucrările lui Kauffman și Holland au prefigurat apariția unei noi discipline în cadrul Științelor Complexității, și anume Artificial Life. Această disciplină, al cărei inițiator a fost Chris Langton, are ca principal obiect de studiu dezvoltarea unor programe pe calculator care imită comportamente ale organismelor vii, cum ar fi reproducerea, sexualitatea, co-evoluția, competiția, confruntarea armată ș.a.

Treptat, studiile întreprinse au dus la conturarea acelor caracteristici fundamentale care definesc auto-organizarea și o deosebesc de alte proprietăți ale CAS.

Principalele caracteristici ale sistemelor auto-organizatoare sunt următoarele:

- 1) Ordinea globală rezultă din interacțiunile locale;
- 2) Controlul distribuit;
- 3) Robustețe (reziliență);
- 4) Neliniaritate;
- 5) Închidere organizațională;
- 6) Dinamică departe-de-echilibru;
- 7) Bifurcație și haos.

Să dăm, în continuare, câteva elemente care explică fiecare dintre aceste caracteristici.

7.2.1 Ordine globală rezultată din interacțiuni locale

Într-un sistem cu auto-organizare, organizarea întregului sistem rezultă în mod emergent din interacțiunile existente între componentele acestuia la nivel local.

Un exemplu simplu în acest sens îl reprezintă magnetizarea piliturii de fier. Atât timp cât câmpurile magnetice este suficient de îndepărat, particulele de fier sunt dispuse aleator.

Pe măsură ce câmpul magnetic se apropie, la început câteva particule, apoi acele particule aflate în vecinătatea imediată a primelor, ca la final toate particulele supuse câmpului magnetic vor fi orientate în același mod. Deci pilitura de fier a devenit magnetică în același fel, cu un singur Pol Nord și un singur Pol Sud.

Mecanismul descris mai sus poate fi generalizat după cum urmează. Între părțile componente ale unui sistem există, inițial, interacțiuni locale, determinate de natura sistemului respectiv. În cursul evoluției sistemului, acesta va fi perturbat de influențele care provin din mediu. Dacă presupunem că, la început, sistemul este magnetizat, diferitele componente acționând în mod aleator, orice influență care s-ar propaga în sistem va fi foarte repede dispersată și, eventual, anulată datorită comportamentului aleator al părților componente. Deoarece configurația dintr-o anumită parte a

sistemului nu oferă nici o informație privind configurația din orice altă parte, atunci aceste configurații au corelația egală cu zero.

În procesul de auto-organizare, diferitele părți ale sistemului încep să fie strâns corelate. De exemplu, în starea de magnetizare, corelația este 1. Acest lucru arată că coeficientul de corelație, în dinamica sa, poate măsura trecerea de la dezordine la ordine. Localizarea interacțiunilor implică faptul că configurațiile învecinate sunt puternic corelate, dar că această corelație se diminuează pe măsură ce distanța dintre configurații se mărește. De aceea, ar fi mai corect să se introducă lungimea de corelație care poate fi definită ca distanță maximă dintre două configurații pentru care corelația este semnificativă (Heylighen).

Se poate observa în exemplul simplu de mai sus că, în sistemele auto-organizatoare, apare o forță care menține și amplifică procesul prin care emerge noua ordine din interacțiunile locale. Această forță este constituită din cauzalitatea circulară, prin care o cauză produce un efect care reacționează asupra cauzelor sale. Acesta nu reprezintă, însă, altceva decât un mecanism feedback care poate fi pozitiv, dacă acționează pentru amplificarea procesului de formare a noii ordini, sau negativ, dacă acționează pentru inhibarea procesului respectiv.

Cauzalitatea circulară, împreună cu evoluția departe - de - echilibru, despre care vom discuta mai departe, reprezintă condiția sine qua non a auto-organizării. Acest lucru este confirmat de multe exemple de auto-organizare întâlnite în sistemele vii.

Câteva dintre proprietățile auto-organizării pot fi deduse din existența cauzalității circulare. Astfel:

- auto-organizarea, ca emergența ordinii din interacțiunile locale (dzordonate), este posibilă doar în sistemele deschise în care resursele provenind din mediu participă la dinamica circulară a auto-organizării;

- cauzalitatea circulară integrează atât amplificarea reciprocă a interacțiunilor locale și structurilor globale cât și stabilitatea reproducerii lor reciproce;

- fluctuația în cadrul dinamicii interne și perturbațiilor din mediu testează permanent stabilitatea acestei reproduceri reciproce. Dacă o formă specifică de reproducere devine instabilă, poate să apară o nouă formă. O structură specifică poate să devină instabilă și o nouă structură poate să apară. Auto-organizarea integrează în acest fel conceptele de supraviețuire și schimbare (evoluția adaptivă).

În figura 7.1 se reprezintă emergența structurii globale din interacțiuni locale.

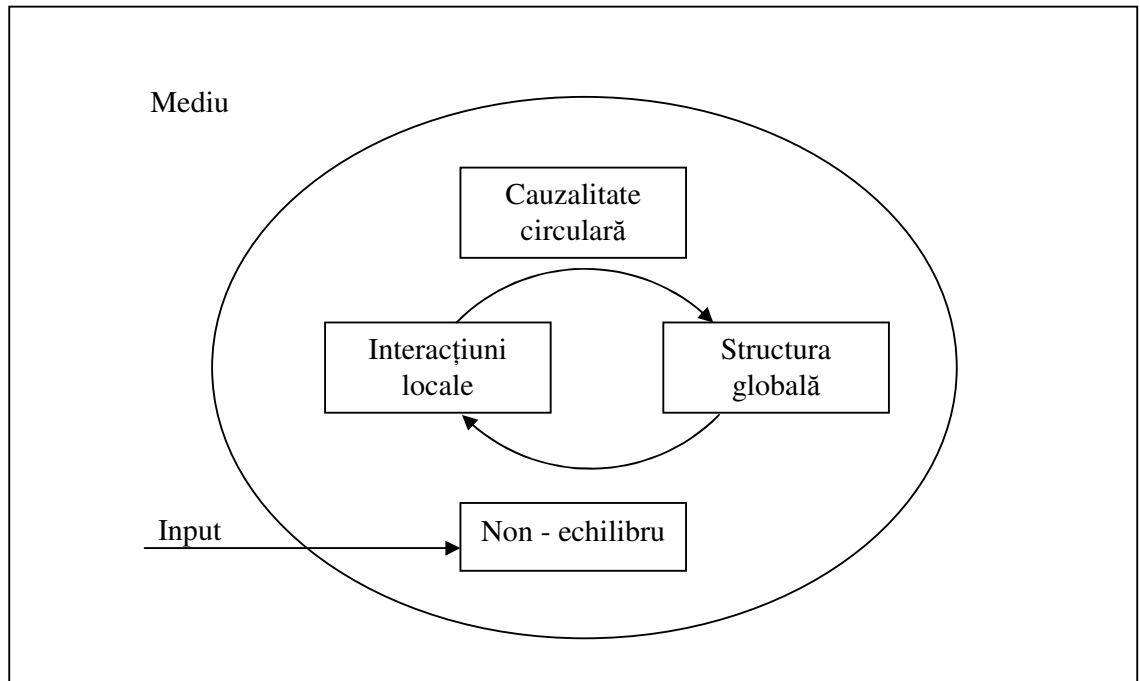


Figura 7.1

7.2.2 Controlul distribuit

În condițiile unui sistem având o organizare înaltă, de regulă, se presupune că există un agent intern sau extern care coordonează, orientează sau controlează sistemul respectiv. De exemplu, în sistemele economice există un președinte, un CEO sau un comitet de direcție care elaborează politicile și coordonează activitatea diferitelor departamente. Sistemele umane sunt coordonate și

conduse de către creier. Activitatea unei celule este determinată de informația stocată de cromozom.

În toate aceste situații, agentul care controlează sistemul poate fi privit separat de acesta, drept pentru care acest agent mai este denumit și controler sau sistem de control. Acest sistem de control își exercită funcțiile asupra sistemului în mod centralizat.

În sistemele auto-organizatoare, „controlul” organizației este distribuit în întreg sistemul. Fiecare dintre părțile componente ale acestuia contribuie, într-o măsură mai mare sau mai mică, la acest proces. De exemplu, în cazul piliturii de fier, nu există o parte care să inițieze și să dirijeze în continuare magnetizarea. Dimpotrivă, procesul de magnetizare poate să apară în orice parte a sistemului și să se răspândească, apoi, în întreg sistemul.

Studii recente asupra creierului uman au arătat că nici aceasta nu funcționează ca un controler în sensul centralizat dat acestuia.

A. Damasio, un neurolog american celebru, formulează „ipoteza markerului somatic”. Conform acestei ipoteze, *„markerii somatici sunt un exemplu particular de sentimente generate de emoții secundare. Aceste emoții și sentimente au fost legate, prin învățare, de rezultatele viitoare previzibile ale anumitor scenarii. În momentul suprapunerii unui marker somatic negativ pe un anumit rezultat viitor, combinația funcționează ca un semnal de alarmă. În schimb, când un marker somatic pozitiv e suprapus, ea devine un stimulent”* (A. R. Damasio, 2004, pag. 203).

Controlul distribuit este prezent și în organizații și sisteme economice. Cu cât aceste sisteme sunt mai complexe, cu atât ele dispun de rețele mai complicate de interacțiuni și interdependențe prin intermediul cărora fluxurile de decizii și informații se pot transmite în orice parte a sistemelor. Existența unor astfel de rețele nu constituie, însă, decât o condiție necesară a controlului distribuit. Pentru a se realiza un astfel de control, agenții aflați în diferitele părți ale sistemelor trebuie să fie capabili să coopereze și să negocieze pentru atingerea unor obiective sau scopuri comune. Acest lucru este însă specific sistemelor adaptive complexe.

7.2.3 Robustețe (reziliență)

Sistemele auto-organizatoare sunt robuste sau reziliente. Acest lucru presupune că ele sunt relativ puțin sensibile la perturbații sau erori și au o capacitate puternică de a se reface. De exemplu, un ecosistem care a suferit daune serioase, cum ar fi un foc, în general se va reface relativ rapid.

Un motiv al acestei toleranțe la erori, cum se mai numește caracteristica, este organizarea distribuită și redundantă: acele părți ale sistemului care nu au suferit daune contribuie și cooperează la refacerea celor afectate.

Un alt motiv al robusteții intrinseci a sistemelor auto-organizatoare poate fi găsit în fluctuații, mișcările aleatoare sau „zgomote”. Sistemele au tendința de a prezenta mișcări aleatoare

care determină, mai departe, o variabilitate și diversitate intrinsecă, ceea ce face auto-organizarea posibilă. O anumită cantitate de incertitudine, determinată de comportamentul fluctuant, aleator al sistemului va facilita mai degrabă decât va împiedica autoorganizarea.

Un al treilea motiv al robusteții este efectul stabilizator al buclilor și mecanismelor feedback pe care sistemele auto-organizatoare le conțin. Acest motiv este legat și de următoarea caracteristică a sistemelor auto-organizatoare.

7.2.4 Neliniaritatea

Mult timp, imaginea noastră despre lume a fost liniară. Acest lucru înseamnă, în esență, că efectele sunt proporționale cu cauzele. Dacă unei mingi i se aplică o lovitură de două ori mai puternică, ea va sări de două ori mai departe. Dar, în sistemele auto-organizatoare, acest lucru nu este adevărat. În primul rând, relația dintre cauză și efect este mult mai puțin evidentă: cauze mici pot avea efecte mari și, reciproc, cauze mari pot avea efecte mici.

Acest lucru poate fi observat în sistemele reale din economie. De exemplu, în cazul unei firme, prin combinarea factorilor de producție cum sunt munca, capacitatea de producție și cunoștințele tehnologice se obține o anumită cantitate de produse. În condițiile în care am crește proporțional resursele utilizate, ipoteza liniară spune că producția rezultată ar trebui să crească în aceeași proporție

(ipoteza economiei constante de scară). Dar se cunoaște de mult timp faptul că acest lucru nu este adevărat. Dacă producția se desfășoară la scară redusă, creșterea volumului factorilor utilizați conduce la o creștere mai mare a producției realizate (economie de scară crescătoare). În schimb, dacă producția se desfășoară la o scară mare, creșterea într-o anumită proporție a volumului factorilor de producție utilizați are ca efect o creștere într-o proporție mai redusă a volumului producției realizate (economie de scară descrescătoare).

Astfel de dependențe neliniare între cauze și efecte se regăsesc, de fapt, în aproape toate procesele și fenomenele ce au loc în organizații, ecosisteme, sisteme umane etc. Lumea în care trăim este neliniară și acest lucru are consecințe asupra modalităților de înțelegere și acțiune ale sistemelor auto-organizatoare.

Nelinaritatea nu poate fi înțeleasă în afara relațiilor feedback care au loc între elementele componente ale unui sistem adaptiv complex. Fiecare componentă afectează celelalte componente, iar acestea din urmă afectează, la rândul lor, prima componentă. Rezultă deci că relațiile cauză-efect în aceste sisteme sunt circulare. Drept urmare, orice schimbare care se produce în prima componentă se transmite de la o componentă la alta până când revine la prima componentă.

Știm că acest principiu corespunde existenței buclelor și mecanismelor feedback în sistemele auto-organizatoare. Având în vedere faptul că buclele feedback respective sunt fie pozitive, fie negative, prin combinarea lor se generează efecte de amplificare, de

creștere a schimbărilor inițiale, prin intermediul buclelor feedback pozitive, dar și efectele opuse de stabilizare a sistemului, care tind să-l aducă înapoi la starea inițială.

Procesele care au loc în sistemele auto-organizatoare de regulă încep cu o fază în care bucele și mecanismele feedback pozitive sunt dominante, lucru observat prin creșterea fluctuațiilor inițiale, a vitezei de creștere a mărimii unor variabile etc. Treptat, aceste efecte cuprind întregul sistem. Odată cu toate componentele se „aliniază” la configurația creată de fluctuațiile inițiale, sistemul se oprește din creștere, atingând un maxim al „utilizării” resurselor disponibile. În continuare, sistemul caută un nou echilibru (sau, cel puțin, o stare staționară). Deoarece o nouă creștere nu mai este posibilă în condițiile resurselor disponibile, pot să se producă schimbări necesare atingerii noului echilibru doar dacă se reduce configurația dominantă. Totuși, reducerea nu poate fi de mare amploare deoarece, în momentul în care anumite componente se abat de la acea configurație, aceleași forțe care au dus la noua configurație se vor opune reducerii, aducând sistemul înapoi către configurația stabilă. Aceasta din urmă este faza în care sunt dominante bucele și mecanismele feedback negative.

În cele mai multe sisteme auto-organizatoare, atingerea unui nou echilibru înseamnă parcurgerea unor faze alternative, în care dominanța buclelor pozitive și negative se schimbă până ce procesele auto-organizatoare încetează.

Acest lucru face atât de complicat și greu de previzionat comportamentul sistemelor adaptive complexe.

7.2.5 Închidere organizațională

Corelația sau coerența dintre părțile separate ale unui sistem auto-organizator determină o configurație ordonată a acestuia. Totuși, ordinea nu înseamnă încă organizare. Organizarea poate fi înțeleasă ca acea caracteristică a unui sistem de a fi ordonat sau structurat astfel încât să îndeplinească o funcție particulară. În sistemele auto-organizatoare, această funcție presupune menținerea unei configurații particulare, în ciuda perturbațiilor. Doar acea ordine care menține componentele unui sistem împreună va rezulta din auto-organizare și ea este auto-suficientă sistemului pentru a-și îndeplini funcția. Această caracteristică este denumită închidere organizațională.

Un proces causal poate fi, în general, descris ca un lanț sau șir $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow \dots$ de situații sau evenimente astfel încât un prim eveniment A determină următorul eveniment B ș.a.m.d. Prin acest lanț causal se produc modificările și schimbările ce au loc în diferitele părți componente ale sistemului. Totuși, este posibil ca unele lanțuri cauzale să se intersecteze și unele efecte să se transmită către cauze anterioare, formându-se cicluri cauzale. Aranjarea acestor lanțuri și cicluri cauzale în sistemele auto-organizatoare va fi continuu menținută sau reprodusă (autopoiesis). Dacă un ciclu

cauzal va corespunde unei bucle feedback negative, atunci el va fi relativ impenetrabil la perturbațiile externe, având tendința de a elimina din sistem efectele acestora. În acest fel, sistemul auto-organizator devine relativ independent de mediul său înconjurător.

Se spune, în acest caz, că el este „închis” pentru influențele din afară. Deși din punct de vedere al schimbului permanent de energie și materie cu mediul sistemul este deschis, organizarea sa internă se menține o perioadă de timp aceeași, sau aproape aceeași. Se spune, în acest caz, că sistemul este termodinamic deschis, dar organizațional închis.

Închiderea organizațională determină, în cazul sistemelor auto-organizatoare, o distincție clară între interior (componentele care participă la închidere) și exterior (cele care nu participă) și deci se poate delimita o margine sau graniță care separă sistemul de mediul său înconjurător.

Dar aceeași graniță poate fi determinată și pentru componentele sau părțile sistemului însuși. Rezultă deci că sistemul auto-organizator poate fi separat într-un număr de subsisteme relativ autonome, închise organizațional, dar aceste subsisteme vor interacționa continuu unele cu altele într-un mod indirect. Aceste interacțiuni vor tinde, de asemenea, să determine configurații auto-suficiente „închise”, determinând subsisteme de nivel ierarhic mai înalt, care conțin subsistemele inițiale ca și componente. Aceste sisteme de nivel mai înalt pot interacționa între ele, determinând un anumit model de interacțiuni, deci definind un sistem de ordin și

mai înalt. Acest lucru explică de ce sistemele adaptive complexe tind să aibă o arhitectură de tip ierarhic, de „cutii în alte cutii”, în care la fiecare nivel se pot distinge un număr de organizații relativ autonome închise.

De exemplu, o celulă este un sistem organizațional închis, incluzând o rețea complexă de cicluri chimice interactive în cadrul unei membrane care le protejează de perturbațiile mediului extern. Totuși, celulele sunt ele însele organizate în țesuturi care împreună formează un organism multicelular. Aceste organisme sunt, la rândul lor, conectate printr-o multitudine de circuite de hrană ciclice, a căror mulțime formează un ecosistem.

Închiderea organizațională este esențială pentru înțelegerea emergenței. Prin închiderea organizațională se formează, la fiecare nivel, un întreg ale cărui proprietăți nu pot fi reduse la proprietățile elementelor componente. Dar proprietățile emergente de la nivelele înalte restricționează comportamentul componentelor de pe nivelele inferioare.

Să considerăm cazul unei burse de valori. Societățile listate la bursă au comportamente diferite în funcție de mărime, profilul activității, înzestrarea tehnică și umană ș.a. Drept urmare, activitatea acestora se reflectă pe piața bursieră printr-o cotație a acțiunilor care se comportă în mod diferit de la o societate la alta.

Pe ansamblu, însă, bursa de valori are un comportament propriu care nu poate fi întâlnit la nici una dintre societățile amintite.

Acest comportament este reflectat de unul sau mai mulți indici bursieri.

Comportamentul emergent al bursei influențează, însă, comportamentul fiecărei societăți listate. După cum indicele bursier crește sau scade, este mai mult sau mai puțin volatil, și cotațiile la bursă ale societăților încep să se schimbe și aceasta deoarece proprietarii acestora precum și investitorii reacționează la informația referitoare la comportamentul de ansamblu al bursei.

Apar deci un circuit causal de jos în sus și de sus în jos care este denumit cauzalitate verticală sau „de sus în jos” (downward): nivelul mai înalt exercită o influență asupra nivelului mai scăzut, determinând componentele aflate pe acest nivel să acționeze într-un anumit mod.

Acest tip de cauzalitate este opusă cauzalității „de jos în sus” (upward), specifică metodei reduționiste, în care comportamentul întregului (sistemului) este complet determinat de comportamentul părților componente.

7.2.6 Evoluția departe-de-echilibru

Ilya Prigogine a reușit primul să explice una dintre cele mai intrigante probleme care s-au pus în știință și anume aceea a modului în care a doua lege a termodinamicii acționează în sistemele deschise. În termodinamică, echilibrul este caracterizat de absența producției de entropie sau, echivalent, de faptul că energia nu este

disipată. Un sistem aflat într-o stare de echilibru este, deci, caracterizat de o pierdere minimă de energie. Pentru a atinge această stare, sistemul a disipat tot „surplusul” de energie pe care îl conținea.

Dacă nu există nici un input de energie din mediul înconjurător, sistemul va rămâne veșnic în această stare de echilibru.

Totuși, o astfel de posibilitate există doar teoretic, și anume în sistemele închise. Dar cum, în realitate, astfel de sisteme nu există, rezultă că un sistem nu-și poate atinge niciodată starea de echilibru definită de a doua lege a termodinamicii. Prigogine și colaboratorii săi au sugerat ca această lege să fie înlocuită cu o **lege a producției de entropie maximă**: într-un sistem departe - de - echilibru disiparea de entropie către mediu atinge un maximum.

A doua lege a termodinamicii este, după expresia lui **Arthur Eddington**, „*legea supremă a Naturii*”. Ea a pornit de la o observație simplă: în orice proces microscopic mecanic, o parte sau toată energia este întotdeauna disipată sub formă de căldură. De exemplu, dacă ne frecăm mâinile una de alta, lucrul mecanic respectiv este disipat sub formă de căldură. În 1850, un fizician german, **Rudolf Clausius**, introduce conceptul de „*entropie*” ca măsură a unei cantități care crește necontenit datorită disipării căldurii. Deoarece, după cum se știe, căldura are drept cauză mișcarea aleatoare a particulelor microscopice care alcătuiesc orice obiect, entropia a început să fie interpretată ca o cantitate de dezordine pe care sistemul o conține. Ea constituie o modalitate de a conecta lumea microscopică, în care acționează legile mecanicii cuantice, cu lumea

macroscopică, în care sunt necesare legile termodinamicii. Pentru sistemele închise, care nu schimbă nici energie și nici materie cu mediul înconjurător, entropia continuă să crească până își atinge valoarea maximă pentru care este definit echilibrul termodinamic. Aceasta este starea finală a sistemului, în care nu mai apar schimbări în proprietățile macroscopice – densitate, presiune etc. – indiferent cât timp s-ar scurge.

În realitate, toate procesele și sistemele din natură sunt deschise. Deci aceste procese și sisteme nu vor atinge niciodată o stare de echilibru termodinamic, în care entropia să fie maximă.

„*Departee-echilibru*” înseamnă, în esență, că sistemele sunt departe de acel echilibru termodinamic ceea ce face ca, în evoluția lor, să nu mai poată fi aplicate relațiile liniare care descriu creșterea entropiei, ci legități și relații neliniare.

Dependența unui sistem deschis de surse externe de energie îl fac mai fragil și senzitiv la schimbările din mediul înconjurător, dar și mai dinamic și capabil să reacționeze. Fragilitatea este evidentă: dacă sursa de energie ar dispărea, structura disipativă se va dezintegra. Pe de altă parte, surplusul de energie permite sistemului să-și amplifice procesele interne, de exemplu contracarând micile perturbații prin reacții puternice, sau susținând ciclurile feedback pozitive o perioadă cât mai mare de timp. Aceasta face sistemul mult mai puternic în ceea ce privește dezvoltarea, creșterea sau adaptarea la modificări externe. În loc să reacționeze la toate perturbațiile prin bucle și mecanisme feedback negative pentru a aduce sistemul

înapoi la starea de echilibru, un sistem funcționând departe-de-echilibru este, în principiu, capabil să producă o mai mare varietate de acțiuni de reglare, conducând la multiple configurații stabile.

7.2.7 Bifurcațiile și apariția haosului

Pentru a menține o organizare anume în ciuda modificărilor mediului înconjurător, problema este de a utiliza anumite acțiuni în circumstanțele date. Acesta definește, în esență, problema adaptării.

Dar adaptarea, pentru a putea avea loc, necesită ca însăși sistemul să fie capabil să se schimbe și acest lucru nu poate avea loc decât la limitele haosului, unde sistemul ajunge printr-un proces de bifurcație.

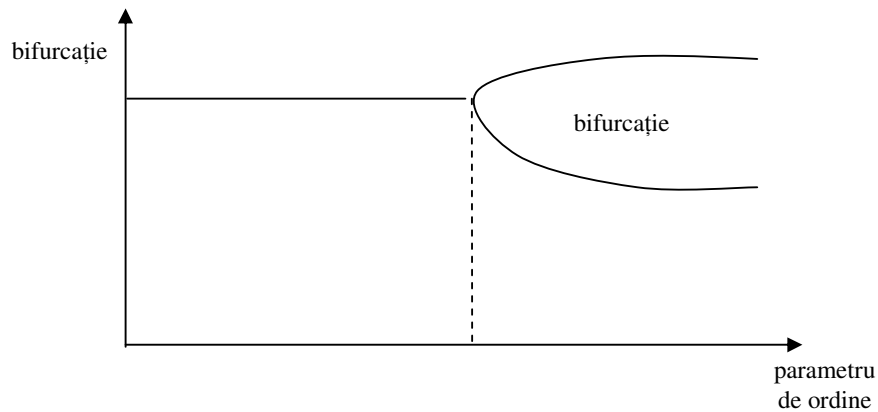


Figura 7.2

Bifurcația arată, pentru o anumită valoare a parametrului de ordine, care sunt stările posibile pe care o anumită configurație a sistemului le poate atinge. În figura 7.2 este reprezentat cazul cel mai simplu, în care o configurație stabilă (simetrică) este înlocuită cu două configurații, stabile sau instabile.

În realitate, bifurcații mult mai complicate pot să apară. În loc de două, pot fi trei, patru sau un număr infinit de configurații posibile care apar dintr-un punct de bifurcație, iar bifurcațiile pot fi aranjate într-o cascadă, în care două sau mai multe ramuri apar din puncte de bifurcație succesive, ce se obțin pe măsură ce parametrul de ordine se modifică.

În orice caz, bifurcațiile apar mult mai repede decât modificările ce au loc în parametrul de ordine, până ce numărul de ramuri devine infinit. Acest lucru corespunde intrării sistemului într-o stare (configurație) haotică, în care el sare constant și impredictibil de la o ramură (configurație) la alta.

Sistemul nu rămâne, totuși, mult timp într-o astfel de stare, ci, brusc, fără un motiv anume, el devine din nou ordonat. Totuși, noua configurație obținută după parcurgerea zonei de haos diferă de cea anterioară. Sistemul s-a auto-organizat.

Esențial este faptul că orice proces de auto-organizare necesită parcurgerea unui proces de bifurcație urmat de un comportament haotic (rută către haos).

7.3 Emergența sistemelor adaptive complexe din economie

Conceptul de emergență are încă un sens echivoc în știință. Uneori el este folosit ca o explicație a apariției unor proprietăți coerente globale în orice sistem care se compune din părți sau elemente având comportamente observabile la nivel local. Alteori el este utilizat pentru a denumi ceea ce nu poate fi explicat în comportamentul sau evoluția unui sistem. În Științele Complexității, emergența apare ca noțiunea ce denumește noile proprietăți coerente care nu sunt predictibile dacă analizăm proprietățile izolate ale părților unui sistem, proprietăți ce apar atunci când abordăm sistemul la nivel global.

Noutatea și coerența noilor proprietăți sunt condiții esențiale pentru a recunoaște emergența acestora într-un sistem adaptiv complex. În legătură cu acest aspect, se pun două întrebări esențiale, și anume:

- Cum se poate ca un nou lucru să apară, dacă el nu poate fi prevăzut din proprietățile componentelor din care este constituit sistemul?; și

- Ce conferă coerență unor proprietăți decurgând din comportamentul și funcționarea unui număr mare de părți, astfel încât acestea să se manifeste la nivelul întregului sistem?

Emergența este direct legată de auto-organizare, ea manifestându-se cu precădere în timpul sau ca o consecință a procesului de auto-organizare. Datorită acestui lucru, proprietățile

emergente sunt cele care determină auto-reglarea și menținerea coeziunii unui sistem auto-organizator în fața entropiei induse de acțiunea mediului înconjurător.

7.3.1 Tipurile principale de emergență

Searle (1992) distinge două tipuri de emergență: ontologică și reprezentativă. Emergența ontologică permite explicarea modului în care sistemele pot exista într-o lume dominată de cea de-a doua lege a termodinamicii și de o microfizică închisă causal. Emergența reprezentativă se referă la dezvoltarea teoriilor despre lucrurile pe care suntem în stare să le observăm și să le explicăm în lumea reală.

Cariani (1991, pag. 776) adaugă celor două tipuri și emergența computațională, în care *“forme globale complexe pot să apară din interacțiuni computaționale locale”*, deci modelând procese similare celor care, în sistemele reale, pot produce proprietățile emergente observate. De exemplu, în automatele celulare pot să apară forme complexe ca urmare a aplicării unor reguli de calcul simple, echivalente interacțiunilor locale din cadrul sistemelor reale.

Holland (1995, 1998) demonstrează proprietățile sistemelor adaptive complexe utilizând automatele celulare și arată că agregarea și auto-mentenanța sunt relevante pentru studiul emergenței în astfel de sisteme. Agregarea este definită ca o funcție ce depinde de ierarhia organizațională a sistemului, iar auto-mentenanța presupune menținerea unei coerențe continue a

sistemului obținut în urma agregării, în ciuda fluxurilor de resurse dintre părțile agregate, precum și a apariției și dispariției unora dintre ele.

Cele două proprietăți emergente de mai sus apar frecvent în cazul sistemelor complexe din economie. Agregarea apare atunci când din subsisteme și componente de natură diferită aflate la nivel microeconomic, cum ar fi firme, gospodării, bănci, piețe de natură diferită etc. se formează un sistem macroeconomic. Acesta are proprietăți și comportamente diferite de cele ale componentelor sale, oricare ar fi acestea. La fel, auto-mentenanța este prezentă în sistemul macroeconomic astfel obținut, întrucât coeziunea acestuia se păstrează, deși între firme, gospodării, bănci circulă fluxuri de materiale, produse, forță de muncă, bani ș.a., fluxuri ale căror intensități și direcții sunt determinate de piețe. De asemenea, unele firme dau faliment, altele intră în economie (sunt nou înființate), unele gospodării apar iar altele dispar, iar băncile sunt înființate și dau faliment fără ca coeziunea sistemului macroeconomic să fie afectată sau proprietățile emergente ale acestuia să se schimbe.

7.3.2 Caracteristicile sistemelor emergente

Intuitiv, emergența poate fi cel mai bine înțeleasă ca un salt care apare pe un nivel ierarhic al structurii organizaționale a unui sistem, salt ce determină ca subsistemele, părțile și componentele aflate pe acel nivel să devină coerent organizate și să poată fi

caracterizate ca fiind ceva nou, diferit de situația inițială. Studiul emergenței presupune, în acest context, elucidarea cel puțin a următoarelor probleme (Jones, 2002):

- cum se formează nivelele ierarhice noi într-un sistem pe baza unor componente aflate deja pe un anumit nivel ierarhic inferior;

- cum se pot stabili și descrie limitele care separă diferitele nivele ale unui sistem; și

- cum o mulțime de părți componente poate să capete coerență pentru a forma un nou nivel ierarhic.

Sistemele emergente pot fi definite ca acele sisteme adaptive complexe care:

- a) *produc noutate* – începând cu un moment de timp inițial, cel al emergenței, noua structură formată din constituenții unui sistem produce sau reprezintă ceva nou, care nu exista în forma respectivă înainte de emergență.

- b) *sunt impredictibile* – noile proprietăți sau comportamente obținute în urma emergenței nu puteau fi prevăzute înainte ca emergența să aibă loc.

- c) *asigură coerență, integritate* – obiectele și componentele sunt ținute împreună de interacțiuni cauzale ce asigură unitatea lor organică, ceea ce face ca noua formă organizațională apărută să acționeze coerent și să reziste la perturbații interne și externe.

d) *determină auto-mentenanța* – noua formă este stabilă în raport cu variațiile mediului înconjurător precum și cu modificările ce au loc în propria structură internă.

e) *sunt asimetric cauzale* – proprietățile noi care sunt revelate în urma emergenței sunt determinate doar “de jos în sus”, fără să se observe apariția unor noi proprietăți emergente “de sus în jos”.

Deci emergența reprezintă, în ultimă instanță, o problemă de organizare și, în consecință, taxonomia utilizată în descrierea relațiilor organizaționale este cea mai potrivită pentru a descrie drumul unei mulțimi de componente ale unui sistem către coerență și integritate, ceea ce le dă posibilitatea în continuare să se comporte ca un întreg.

7.3.3 Emergență și organizare în sistemele complexe

Organizarea părților sau constituenților unui sistem este rezultatul relațiilor care se creează între componentele lumii fizice (reale) sau virtuale. De exemplu, emergența sistemului macroeconomic se produce ca urmare a relațiilor materiale, energetice, informaționale, umane etc. care există între subsistemele componente ale sistemului respectiv și între acestea și alte componente aflate în mediul înconjurător. Proprietățile emergente ale sistemelor simulate pe calculator (de exemplu, în cazul automatelor celulare) derivă din regulile stabilite ca existând (virtuale) între componentele sistemelor respective.

Așadar, emergența depinde de aceste relații reale sau virtuale care există între părțile componente ale unui sistem și de modul în care acestea induc o anumită ordine în sistem. Trebuie spus, însă, că ordinea indusă în procesul de emergență diferă de ordinea preexistentă în sistemul emergent. Este necesar ca această ordine să determine sau să impună apariția unui nou nivel ierarhic care să se comporte coerent în continuare și care să fie clar delimitat de vechea structură a sistemului respectiv. De asemenea, acest nou nivel trebuie să aibă limite clar stabilite și să dezvolte regiuni de stabilitate în cadrul cărora perturbațiile care afectează elementele sau limitele să nu ducă la disoluția nivelului nou apărut.

Această stabilitate în integritate este cea care asigură sistemului condițiile de apariție a emergenței, altfel spus, o nouă ordine la un nivel ierarhic superior.

Relațiile organizatoare care apar în procesul de emergență reprezintă rețele complexe de interdependențe între părțile sau componentele sistemului, mergând de la relațiile care se stabilesc între entitățile bio-chimice (rețele din cadrul unei celule și până la raporturile complexe dintre indivizi din cadrul unei societăți (rețele sociale complexe). Studiul unor astfel de rețele, indiferent de locul în care apar și de natura lor fizică, poate duce la înțelegerea mai profundă a emergenței ca procesul fundamental prin care în natură, economie sau societate apar noi sisteme, având proprietăți și comportamente distincte, ceea ce conferă lumii în care trăim infinita sa varietate și diversitate.

