

## CAPITOLUL 3

### **SISTEMUL ADAPTIV COMPLEX ÎN ECONOMIE**

*Obiectul de studiu al ciberneticii actuale reprezintă sistemul adaptiv complex (în engleză Complex Adaptive System sau, prescurtat, CAS). În ultimii 20 de ani, studiul CAS a atras o serie de oameni de știință celebri, incluzând câțiva laureați ai premiilor Nobel, printre care Murray Gell-Man, Phillip Anderson, Keyneth Arrow, Ilya Prigogine, Thomas Schelling ș.a., provenind din diferite domenii științifice, cum ar fi: fizica, chimia, economia, matematica, ingineria, științele calculatoarelor etc.*

*Pașii care au condus la Științele Complexității și la formarea legăturilor acestora cu Cibernetica, în particular cu Cibernetica de ordinul trei, sunt deja cunoscuți.*

*În continuare, vom încerca să dăm răspunsuri la câteva întrebări esențiale, cum ar fi: Ce este un CAS? Cum apare el în economie? Ce metode pot fi utilizate pentru a studia un CAS? Ce implicații are CAS asupra ciberneticii și aplicațiilor acesteia în economie? Care sunt avantajele și dezavantajele utilizării paradigmei CAS și metodelor legate de aceasta pentru cunoaștere în general, și cunoașterea economică în particular?*

*Toate aceste întrebări le vom aborda cu intenția declarată de a demonstra că putem transforma cadrul teoretic al studierii CAS într-un arsenal de tehnici și metode cu ajutorul cărora diferitele CAS existente în economie să poată fi înțelese și, mai ales, să poată fi transformate atunci când acest lucru este necesar.*

#### **3.1 Definiții ale Sistemului Adaptiv Complex (CAS)**

Ca în orice domeniu științific în plină formare, și în Științele Complexității, definițiile date CAS sunt extrem de diferite. Enumerând, totuși, câteva dintre cele mai importante definiții date până acum, putem determina acele proprietăți care conferă specificitate CAS în raport cu alte sisteme.

Sistemele adaptive complexe se găsesc peste tot în jurul nostru, iar științele complexității confirmă faptul că marea majoritate a sistemelor reale sunt complexe. Ecosistemele naturale, sistemul atmosferic, traficul rutier, organizațiile sociale, grupurile teroriste, piețele ș.a. sunt toate sisteme adaptive complexe. Datorită abundenței excepționale de astfel de sisteme, a diversității lor devine destul de dificil să le definești și, poate și mai dificil, să încerci să stabilești acele principii și/sau proprietăți generale care le conferă specificitate în categoria mai largă a sistemelor complexe.

**K. Dooley** (2002) se referă la trei principii care trebuie să stea la baza definirii unui sistem adaptiv complex. Primul principiu afirmă că **ordinea și controlul** în astfel de sisteme sunt proprietăți emergente și nu predeterminate. Al doilea principiu specifică faptul că **istoria** lor este ireversibilă, iar al treilea principiu este acela că **viitorul** în aceste sisteme este incert. De exemplu, economiile de piață pot fi considerate sisteme adaptive complexe în raport cu principiile lui Dooley. Astfel, agenții care alcătuiesc aceste economii (firme, gospodării, bănci comerciale, agenții guvernamentale ș.a.) dezvoltă propriile lor reguli ale jocului pentru a efectua și controla tranzacțiile ce au loc între ei. Aceste reguli ale jocului nu sunt stabilite în prealabil, dar ele sunt respectate de către noii agenți care intră în economie. Evident că aceste reguli emerg din faptul că ele sunt acceptate de către toți agenții. Controlul respectării regulilor existente se face, de asemenea, prin eliminarea de pe piață a agenților care nu le respectă. În al doilea rând, în economiile de piață, nu se pot anula tranzacțiile deja efectuate. Istoria acestor tranzacții este, deci, ireversibilă. De aceea, în mediul de afaceri al acestor economii persistă lecțiile deja învățate de agenți în urma tranzacțiilor efectuate, nu numai de către ei, dar și de către ceilalți agenți în decursul timpului. În sfârșit, indiferent de prognozele care sunt făcute privind evoluția viitoare posibilă, agenții sunt supuși unor riscuri care sunt imposibil de prevăzut în orice economie de piață, chiar și într-una foarte bine organizată sau consolidată.

**S. A. Levin** (2002) definește sistemul adaptiv complex pornind tot de la trei proprietăți ale acestuia:

- (1) diversitatea și individualitatea componentelor;

(2) interacțiuni localizate între aceste componente; și

(3) existența unui proces autonom care utilizează rezultatele acestor interacțiuni pentru a selecta o submulțime a acestor componente pentru replicare sau consolidare (mecanism de adaptare).

Dacă primele două proprietăți sunt ușor de înțeles și acceptat, cea de-a treia proprietate implică nenumărate discuții, ea fiind însă cea care asigură unitatea de vederi în ceea ce privește sistemele adaptive complexe. După cum arată Levin, este esențial să se facă distincție privind nivelul sau nivelele la care selecția are loc. Procesul de dezvoltare animală, de exemplu, este unul în care formele macroscopice emerg din interacțiuni microscopice, astfel că un număr de celule stem se diferențiază printr-un proces oriatat de interacțiunile locale, până când se obțin organele și celelalte componente ale organismului animal. Selecția naturală este bazată pe reguli locale de interacțiune, în concordanță cu consecințele pe care diferitele reguli le au pentru fitness-ul organismului ca un întreg. În economie, un exemplu de mecanism de selecție îl reprezintă „mâna invizibilă” a lui Adam Smith, care determină „o ordine socială binefăcătoare care emerge din consecințele neintenționale ale acțiunilor umane individuale” (Levin, 1999).

**Axelrod și Cohen** (1999), într-o lucrare ce a marcat în mod decisiv impunerea Științelor Complexității ca un domeniu științific major al științelor secolului XXI, propun o definiție a sistemelor adaptive complexe utilizând trei teme: **varietate**, **interacțiune** și **selecție**.

Toate CAS sunt alcătuite dintr-un număr mare de agenți care interacționează. Într-o economie, de exemplu, acești agenți reprezintă unitățile de bază, începând cu firmele, gospodăriile, băncile comerciale ș.a. Acești agenți sunt diferiți între ei, deci există o varietate mare de agenți, dată de proprietățile și comportamentele lor diferite. În consecință, agenții vor reacționa în mod diferit la stimulii aplicați de către alți agenți sau de mediul înconjurător.

Agenții interacționează unul cu altul, formând o rețea complexă de conexiuni și dependențe, care reprezintă, de fapt, mediul în care aceștia evoluează. Nici un agent nu poate exista în afara acestei rețele de interacțiuni, care poate fi reprezentată de interdependențe materiale, energetice, informaționale, juridice, umane ș.a. Într-o

economie de piață, tranzacțiile dintre agenți pe diferite piețe, reglementarea activității diferitelor instituții (Banca Centrală, CNVM ș.a.), activitatea desfășurată de băncile comerciale pentru creditarea firmelor etc., sunt exemple de astfel de interacțiuni. Inerent, prin apariția acestor interacțiuni, se formează bucle feedback pozitive, care determină creșterea, amplificarea proceselor în care sunt angrenați agenții, dar și bucle feedback negative, care le asigură acestora stabilitatea în fața multitudinii de influențe exercitate prin intermediul interacțiunilor din cadrul rețelei. Utilizând aceste bucle feedback, agenții își pot defini anumite strategii de evoluție și dezvoltare, care să le asigure un succes în raport cu ceilalți agenți, succes ce poate să meargă de la simpla supraviețuire și până la obținerea de profit.

Unii agenți întreprind o operație de selecție a acestor strategii pentru a se adapta mai bine la mediu, deci la influențele exercitate de către ceilalți agenți. Aceasta constituie, după Axelrod și Cohen, ideea fundamentală a sistemelor adaptive complexe. Selecția celei mai bune strategii are la bază anumite criterii. Ea poate sau nu să fie un act conștient. De exemplu, selecția darwiniană și mână invizibilă a lui Adam Smith sunt mecanisme de selecție fără intervenția conștientă a agenților. Agenți cum ar fi firmele, guvernele, organizațiile economice internaționale ș.a. încearcă să selecteze strategii pentru a-și atinge scopurile proprii utilizând, în mod conștient, analize, prognoze, modele, informații de cea mai diversă natură. Astfel de sisteme se adaptează în mod permanent, proces în care însăși agenții și natura interacțiunilor dintre aceștia se modifică.

**Leigh Tesfatsion** (2005) definește sistemul adaptiv complex pornind de la o definiție mai veche dată sistemului complex de către Flake (1998). Astfel, conform acestuia, sistemul complex are două proprietăți:

- sistemul este compus din unități interdependente;
- sistemul are proprietăți emergente, deci proprietăți apărând din interacțiunile unităților care nu sunt proprietăți ale unităților individuale însele.

Arătând că introducerea unei singure definiții a sistemului adaptiv complex este dificilă, Tesfatsion propune mai multe variante, și anume:

*Definiția 1:* Un sistem adaptiv complex este un sistem complex care include unități reactive, deci unități capabile să prezinte sistematic răspunsuri diferite ca reacție la condițiile de mediu schimbate.

*Definiția 2:* Un sistem adaptiv complex este un sistem complex care include unități orientate către un scop, deci unități care sunt reactive și care orientează cel puțin unele dintre reacțiile lor către atingerea scopurilor.

*Definiția 3:* Un sistem adaptiv complex este un sistem complex care include unități planificatoare, deci unități care sunt orientate către atingerea unor scopuri care încearcă să exercite un anumit grad de control asupra mediului său înconjurător pentru a facilita atingerea acestor scopuri (Tefatrion, 2005, pag.5).

O definiție mai scurtă, dar de o mare claritate dau **Plsek, Lindberg și Zimmerman** (1997): „*Un Sistem Adaptiv Complex este un sistem compus din agenți individuali, care au libertatea de a acționa în moduri care nu sunt total predictibile și ale căror acțiuni sunt interconectate, astfel încât acțiunile unui agent schimbă contextul pentru alți agenți*”. (Plsek ș.a.,1997, pag.2).

O astfel de definiție se poate aplica unei mari varietăți de sisteme adaptive complexe cum ar fi: piața de capital, o colonie de termite, sistemul imunitar al organismului uman, oricărei organizații umane, începând cu o întreprindere, o afacere, o echipă, un departament într-o organizație, o familie etc.

Așadar, într-un CAS, agenții operează conform propriilor reguli interne sau unor modele mentale, (scheme, roluri) diferite de la agent la agent. Altfel spus, fiecare agent poate avea propriile sale reguli privind modul în care răspunde acțiunilor pe care le exercită modul înconjurător asupra lui; fiecare agent poate, de asemenea, să aibă propria interpretare asupra evenimentelor care se petrec în mediul său înconjurător. Regulile, schemele și modelele mentale nu este necesar să fie explicite, de multe ori agenții nefiind conștienți de existența lor. De asemenea, nu este necesar ca atitudinea lor în raport cu ceilalți agenți sau cu mediul să fie rațională, logică sau conștientizată. Se observă că aceste aspecte caracterizează comportamentul uman în aproape toate sistemele sociale.

Agenții unui sistem adaptiv complex pot să împărtășească același model mental sau să aibă, fiecare dintre ei, propriul său model. De asemenea, agenții pot să-

și modifice aceste modele mentale în raport cu acțiunile pe care le exercită asupra celorlalți agenți și/sau mediului.

Deoarece agenții pot să-și schimbe și, în același timp, să împărtășească același model mental, ei sunt deci capabili să învețe; comportamentul lor se poate atunci adapta în timp, atât în raport cu ceilalți agenți cât și în funcție de mediul în care evoluează.

Adaptarea înseamnă deci, în esență, că agenții și sistemele în care ei sunt încorporații co-evoluează.

Comportamentul unui CAS este emergent și acesta reprezintă un punct cheie în înțelegerea unor astfel de sisteme. Așadar, un sistem adaptiv complex reprezintă mai mult decât suma părților sale componente (sinergie). În plus, fiecare agent și fiecare CAS este inclus într-un alt sistem adaptiv complex ș.a.m.d. (ierarhie). De exemplu, un individ este un CAS; el aparține unei echipe, echipa este inclusă într-un departament al unei firme, care aparține unei industrii ș.a.m.d.; toate acestea fiind, la rândul lor, CAS între care există interacțiuni.

Un sistem adaptiv complex poate dobândi și, de regulă, și dobândește comportamente noi, care decurg din aceste interacțiuni. Deoarece interacțiunile determină apariția unor rețele, comportamentul sistemului este neliniar, ceea ce înseamnă, în esență, că modificări mici în anumite puncte ale rețelei pot determina schimbări majore în comportamentul sistemului, dar și că schimbări mari pot să nu aibă nici un efect. Datorită acestor lucruri, atunci când într-un sistem adaptiv complex se întâmplă anumite lucruri, suntem surprinși și multe dintre evenimentele care au loc în astfel de sisteme nu pot fi anticipate.

Datorită noutății și neliniarității introduse de aceste interacțiuni în comportamentele agenților care îl compun, un CAS are un comportament general care este, de regulă, impredictibil. Acest lucru presupune, în esență, că nu se poate cunoaște suficient de bine comportamentul agenților, modelele lor mentale sau rețeaua de interacțiuni care se stabilește între aceștia. Impredictibilitatea reprezintă pur și simplu, imposibilitatea de a obține o descriere detaliată a comportamentului unui sistem adaptiv complex doar pe baza analizei acestuia, sau a părților sale

componente. Trebuie lăsat sistemul să funcționeze pentru a vedea ceea ce se întâmplă cu el și cu componentele sale, mai ales pe termen mediu și lung.

Totuși, în ciuda acestei impredictibilități pe termen mediu și lung, este posibil să se obțină anumite predicții asupra comportamentului sistemului adaptiv complex pe intervale mai scurte de timp, care au șansa să fie, uneori corecte.

Un CAS este inerent auto-organizator. Ordinea, creativitatea și progresul pot emerge în mod natural din interacțiunile unui CAS; ele nu trebuie impuse din afară. Mai mult, într-un CAS, controlul este distribuit prin intermediul interacțiunilor dintre agenți; nu este deci necesară existența unui agent care să efectueze un control centralizat. Acest lucru intră în contradicție cu concepția clasică privind managementul organizațiilor, conform căreia organizarea și controlul sunt funcții de bază ale oricărui sistem de conducere, iar acesta trebuie să exercite permanent acțiuni care să mențină sau să restabilească ordinea și controlul în toate compartamentele sau părțile organizației. O astfel de concepție este tributară în mod evident concepției mecaniciste conform căreia organizația ar trebui să se comporte ca un mecanism și orice perturbație în funcționarea acestui mecanism se datorează unei defecțiuni a uneia sau mai multor componente care trebuie „reparate” prin intervenția unui organism sau subsistem însărcinat cu acest lucru.

În contrast cu această concepție, controlul distribuit nu necesită un astfel de organism de control centralizat. De exemplu, în cazul coloniilor de termite, acestea sunt cei mai desăvârșiți constructori de pe Terra. Ele înalță cele mai mari structuri de pe planetă, comparativ cu mărimea unei termită. Dacă omul ar fi capabil să contruiască clădiri asemănătoare cu cele ale termitelor, acestea ar trebui să aibă zeci de kilometri înălțime și ar fi capabile să adăpostească zeci de milioane de oameni. Pentru a face acest lucru, termita nu ascultă de o conducere centrală, nu există arhitecți, constructori, transportatori sau alte meserii necesare în realizarea de construcții umane. Fiecare termită acționează local, într-un context în care celelalte termita acționează, de asemenea, local. Cooperarea dintre termita emerge dintr-un proces de auto-organizare. Dimpotrivă, multe din teoriile tradiționale despre management spun că prin acțiunea unui singur om sau a câtorva oameni se poate organiza și conduce un sistem complex.

Chris Langton denușește mulțimea de circumstanțe în care apare această emergență creativă „*limita haosului*”. Aceasta este un loc în care nu este destul de mult acord și certitudine pentru a alege următorul pas în mod obișnuit, dar nici nu există destul dezacord și incertitudine astfel încât sistemul să cadă într-o dezorganizare completă.

Evident că aceste proprietăți definitorii pot avea, în cazurile concrete ale unor sisteme adaptive complexe din realitate, o multitudine de forme de manifestare, ceea ce dă, de fapt, varietatea infinită de sisteme care alcătuiesc această realitate.

O ultimă definiție pe care o vom aminti este cea dată de **E. Mitleton-Kelly** (2003). Acesta consideră că un CAS este definit de zece caracteristici generice, și anume:

- conectivitate;
- interdependența;
- co-evoluția;
- istoricitatea;
- dependența de traiectorie;
- funcționarea departe-de-echilibru;
- explorarea spațiului posibilităților;
- feedbackul;
- auto - organizarea;
- emergența.

Putem, acum, pornind de la diferitele definiții date CAS, sintetiza principalele caracteristici și proprietăți definitorii ale acestor sisteme:

- a) sistemele de acest tip sunt compuse din agenți individuali;
- b) agenții au interpretări și desfășoară acțiuni bazate pe propriile lor modele mentale;
- c) agenții pot avea, fiecare, propriul său model mental sau îl pot împărtăși cu ceilalți agenți;
- d) modelele mentale se pot schimba; drept urmare, învățarea, adaptarea și co-evoluția sunt posibile în aceste sisteme;

- e) interacțiunile dintre agenți și dintre sisteme sunt încorporate altor sisteme;
- f) comportamentul sistemului în ansamblul său emerge din interacțiunile dintre agenți;
- g) acțiunile unui agent schimbă contextul altor agenți;
- h) sistemul poate învăța noi comportamente;
- i) sistemul este neliniar; adică mici modificări pot conduce la schimbări majore în sistem;
- j) comportamentul sistemului este, în general, impredictibil la nivel de detaliu;
- k) predicțiile pe termen scurt asupra comportamentului sistemului sunt, uneori, posibile;
- l) ordinea este o proprietate inerentă sistemului și nu trebuie impusă din afară;
- m) creativitatea și noutatea emerg din comportamentul de ansamblu al sistemului;
- n) sistemele sunt capabile de auto-organizare.

Să facem, în continuare, câteva considerații privind aceste caracteristici pe care le vom și utiliza pe măsură ce vom prezenta metodele și tehnicile prin care sunt abordate diferitele sisteme adaptive complexe din natură, economie sau societate.

## **3.2 Proprietățile Sistemelor Adaptive Complexe din economie**

### **3.2.1. Conectivitatea și interdependența**

Conectivitatea și interdependența reprezintă un prim aspect al modului în care apare comportamentul complex. Comportamentul complex în CAS apare din interdependența, interacțiunea și conectivitatea elementelor din cadrul sistemului și dintre sistem și mediul său înconjurător.

Într-un sistem social, de exemplu, conectivitatea și interdependența înseamnă că o decizie sau acțiune ale unui individ (grup, organizație, instituție sau chiar a sistemului uman în ansamblul său) pot afecta alți indivizi și sisteme. Aceste efecte nu au un impact uniform și egal, deci vor putea varia în raport cu „starea” fiecărui individ și sistem la acel moment de timp. „Starea” unui individ sau a unui sistem va include istoria sa și reprezentarea actuală a acesteia, care, la rândul ei, se referă la organizarea și structura sa.

Conectivitatea se aplică inter-relațiilor dintre indivizi în cadrul unui sistem, dar și relațiilor dintre sisteme sociale umane, care pot fi reprezentate ca și sisteme de artefacte cum ar fi sistemul tehnologiei informaționale (IT) și sistemul intelectual de idei.

Un alt aspect important și strâns legat de cel anterior este că CAS sunt **multidimensionale** și toate dimensiunile interacționează și se influențează una pe alta. Acest lucru înseamnă că interacțiunile și interdependențele se formează între componente care se află pe nivele diferite, iar în cadrul fiecărui nivel, conexiunile pot fi orizontale și verticale. Un sistem multidimensional poate fi abordat din multiple puncte de vedere, aceste dimensiuni suprapunându-se și interferându-se reciproc, pentru a revela o anumită fațetă, corespunzătoare uneia dintre dimensiuni. Odată modificat punctul de vedere din care abordăm sistemul respectiv, se va evidenția o altă fațetă care poate să ofere noi și noi informații și cunoștințe relative la sistemul respectiv.

Dar caracteristica definitorie a conectivității din cadrul unui CAS este că îl face capabil să se adapteze și să evolueze și, în acest fel, să creeze o nouă ordine și coerență. Această creare a unei noi ordini și coerențe reprezintă un factor determinant al complexității. Indivizii acționând aleator sau conform unei anumite agende niciodată nu pot să lucreze eficient ca un grup sau o organizație fără a crea o coerență în ce privește un nou mod de a lucra, noi structuri și relații diferite, în care ierarhiile pot fi răsturnate sau ignorate. Acest lucru, se pare că este influențat de viteza și intensitatea cu care se propagă influențele între agenții din cadrul CAS.

Propagarea influenței într-un CAS depinde, evident, de gradul de conectivitate și interdependență. De exemplu, ecosistemele biologice nu sunt total

conectate. De regulă, fiecare specie interacționează cu o anumită submulțime din numărul total de specii existente în mediul său înconjurător, deci sistemul are o anumită structură extinsă de tip rețea. În sistemele sociale acest lucru este asemănător. Există o **rețea** de legături cu diferite grade de conectivitate între diferitele componente ale sistemului respectiv (familii, orașe, popoare etc.)

Gradul de conectivitate, presupune, deci, luarea în considerare a forței de cuplare și de dependență, cunoscute sub numele de **interacțiuni epistatice** – iar acestea sunt funcții de măsură în care contribuția la fitness adusă de un individ depinde de alți indivizi. În procesele biologice, fitnessul unui organism sau specii depinde de caracteristicile altor organisme sau specii cu care ea interacționează, în timp ce ele toate se adaptează și se modifică simultan. Cu alte cuvinte, o singură entitate (allele, gene, organism sau specie) nu contribuie la fitnessul general independent de celelalte entități. Contribuția fitness a unei entități (individ) poate depinde de toți ceilalți indivizi din acel context. Aceasta este o măsură contextuală a dependenței, a influenței directe sau indirecte pe care fiecare entitate le are cu celelalte entități cu care aceasta este cuplată.

Într-un sistem social, fiecare individ aparține mai multor grupuri și unor contexte diferite și contribuția sa la fiecare context depinde parțial de alți indivizi din acel grup și de modul în care ei sunt legați de individul în cauză. Un exemplu este atunci când un nou membru se alătură unei echipe. Contribuția acelui individ va depinde de ceilalți membri ai echipei și de spațiul pe care ei îl creează pentru o astfel de contribuție, care este definit de coordonate cum ar fi îndemânarea, expertiza, cunoașterea etc. aduse de noul membru.

În sistemele adaptive complexe, conectivitatea dintre indivizi sau grupuri nu reprezintă o relație constantă sau uniformă, ci variază în timp și depinde de diversitatea, intensitatea și calitatea interacțiunilor dintre agenții umani. Conectivitatea poate fi, de asemenea, formală sau informală, desemnată sau nedeseșnată, implicită, cu conexiuni tacite, sau explicită.

Mai mult, gradul de conectivitate determină rețeaua de relații și transferul de informație și cunoaștere și constituie un element esențial în formarea proceselor feedback.

### 3.2.2. Co-evoluția

Conectivitatea se aplică nu numai în cadrul unui sistem, dar și sistemelor cu care acesta este conectat în cadrul unui sistem complex de nivel superior. De exemplu, un sistem biologic este conectat cu alte sisteme într-un ecosistem. Acest lucru înseamnă că „*fiecare tip de organism are, ca parte a mediului său înconjurător, alte organisme de același tip sau de tipuri diferite ... adaptarea la un tip de organism schimbă atât fitnessul cât și peisajul fitness al altor organisme*” (Kauffman, 1993, p. 242). Modul în care fiecare element influențează și, la rândul său, este influențat de celelalte elemente legate de el într-un ecosistem este partea a procesului de co-evoluție, pe care Kauffman îl definește ca „*un proces de peisaje cuplate, deformate, în care mișcările adaptive ale fiecărei entități schimbă peisajele vecinilor săi*” (Kauffman, 1993).

Un alt mod de a descrie co-evoluția este acela că evoluția unui domeniu sau entități este parțial dependentă de evoluția altor domenii sau entități legate cu acesta; sau că un domeniu sau entitate se schimbă în context cu altele. Noțiunea de co-evoluție se orientează pe evoluția interacțiunilor și pe evoluția reciprocă.

În sistemele umane, co-evoluția în sensul evoluției interacțiunilor se orientează către relația dintre entitățile co-evolutive.

Un punct important este că co-evoluția are loc în cadrul unui ecosistem și nu poate să aibă loc izolat. Într-un context social, un ecosistem include dimensiuni sociale, culturale, tehnice, geografice și economice și co-evoluția poate afecta atât forma instituțiilor cât și relațiile și interacțiunile dintre entitățile co-evolutive (termenul de entitate poate fi substituit cu oricare dintre termenii individ, agent, echipă, organizație, industrie, economie etc.).

O deosebire poate, de asemenea, să fie făcută între “*co-evoluția cu*” și “*adaptarea la*” un mediu în schimbare.

Deși se face o distincție între un „sistem” și „mediul” său, este important de notat că nu există o dihotomie sau o limită clară între aceste două, în sensul că un sistem este separat de și, totodată, se adaptează la un mediu în schimbare. Noțiunea la care se ajunge privește cât de mult un sistem este legat de alte sisteme în cadrul

unui ecosistem. Într-un astfel de context este necesar să considerăm sistemul în funcție de co-evoluția sa cu alte sisteme, decât ca o adaptare la un mediu distinct și separat.

Într-un ecosistem social co-evolutiv, fiecare organizație este un agent care influențează dar și este influențat de ecosistemul social. Acești agenți pot fi consumatori, producători, instituții economice, culturale, juridice ș.a. Strategiile acestora nu pot fi privite simplu ca un răspuns la un mediu în schimbare, care este separat de organizație, ci ca o mutare adaptivă, care va afecta atât pe inițiatorul acțiunii cât și pe toți ceilalți influențați de el. Noțiunea de co-evoluție este deci una de potențare, ceea ce sugerează că toate acțiunile și deciziile afectează ecosistemul social.

Nici un individ sau organizație nu este mai puțin puternică, dar fiecare acțiune a entităților reverberează printr-o rețea intricată de inter-relații și afectează ecosistemul social. Dar co-evoluția înseamnă și responsabilitate, deoarece ecosistemul care este influențat și afectat va afecta și influența la rândul său celelalte entități din cadrul său. Această noțiune nu este similară cu răspunsul pro-activ sau reactiv. Ea este „senzitivitatea” la acțiuni și privește atât schimbările mediului cât și posibilele consecințe ale acțiunilor.

Privită din această perspectivă, co-evoluția are loc atunci când entitățile legate între ele se schimbă în același timp.

Co-evoluția afectează deci atât indivizii cât și sistemele și este operațională la diferite nivele, scale și domenii. Co-evoluția are loc la toate nivelele și scalele și poate fi clasificată în *co-evoluție endogenă* când se aplică indivizii și grupurile din cadrul unei organizații și în *co-evoluție exogenă*, când organizația interacționează cu alte ecosisteme. Această clasificare este totuși o simplificare – atât procesele endogene cât și cele exogene sunt intercorelate și granițele dintre organizație și „mediul” său înconjurător nu pot fi clar definite și stabilite.

Mai mult, noțiunea de „ecosistem” se aplică atât organizației cât și mediului exterior al acesteia, care include organizația respectivă. Deci noțiunea de ecosistem complex co-evolutiv este una de interacțiuni și relații intricate și încrucișate și de influențe multidirecționale, atât directe cât și mediate.

Conectivitatea și interdependența propagă efectele acțiunilor, deciziilor și comportamentelor prin ecosistem, dar această propagare sau influență nu este uniformă și depinde de gradul de conectivitate.

### 3.2.3. Structuri disipative, funcționarea-departe-de-echilibru și istoria

Un alt concept cheie în definirea CAS este structura disipativă, care reprezintă modalitățile prin care sistemele deschise schimbă energie, materie sau informație cu mediile lor și care atunci când sunt împinse, departe-de-echilibru” creează noi structuri și o nouă ordine.

Ilya Prigogine a luat în 1977 Premiul Nobel pentru chimie pentru lucrările sale privind structurile disipative și termodinamica dezechilibrului. Prigogine a dat o interpretare nouă celei de-a doua legi a termodinamicii. Disoluția în entropie nu este o fatalitate absolută, ci *„în anumite condiții, entropia însăși devine generator de ordine”*. Pentru a fi mai precis *„în condiții de non-echilibru, cel puțin, entropia poate produce, în loc de degradare, ordine și organizare. Dacă este așa, atunci entropia, însăși, își pierde caracterul său disipativ. În timp ce anumite sisteme dispar, alte sisteme evoluează simultan și cresc cu mai multă coerență”* (Prigogine și Stengers, 1985).

În structurile disipative apare tendințe de a avea soluții alternative care se numesc *bifurcații*. Acest termen este nepotrivit, deoarece separarea poate să aibă loc între mai multe soluții posibile. O bifurcație poate conduce la mai multe traiectorii posibile, unele dintre ele stabile, altele instabile. Ea apare într-un punct critic ce nu poate fi, însă, prevăzut. De asemenea, nu se poate prevedea pe care dintre traiectoriile posibile, stabile sau instabile, va evolua în continuare sistemul. *„Doar șansa va decide, prin dinamica fluctuațiilor. Sistemul va încerca să aleagă calea și va face mai multe încercări, unele fără succes la început, pentru a se stabiliza. Apoi o fluctuație particulară va avea loc. Prin stabilizare, sistemul devine un obiect istoric, în sensul că evoluția lui ulterioară depinde de alegerea în punctul critic”* (Nicolis și Prigogine, 1989).

Într-un sistem social, printr-o serie de decizii critice fiecare individ alege din mai multe alternative posibile, ceea ce poate determina o traiectorie anumită de evoluție pentru fiecare individ. Alternativele disponibile, totuși, sunt restricționate

de starea curentă a persoanei și de starea peisajului (fitness landscape) pe care persoana îl ocupă. Deci comportamentul emergent al persoanei este nu o problemă de șansă, ci rezultatul alegerii făcute de persoana respectivă dintr-o mulțime finită de alternative posibile. Odată cu o alegere făcută, există o dimensiune istorică și o evoluție ulterioară care depind de alegerea critică; dar înainte ca decizia să fie finalizată, alternativele sunt surse de inovație și diversificare, deoarece ele deschid diferite posibilități pentru individ și noi soluții pentru sistem.

Când o entitate socială (individ, grup, organizație, industrie, economie ș.a.) este în fața unei restricții, ea găsește noi moduri de operare, deoarece sistemele-departe-echilibru (de norme stabilite) sunt obligate să experimenteze și să exploreze propriul lor spațiu al posibilităților și această explorare le ajută să descopere și să creeze noi paterne (modalități) de relații și structuri diferite.

#### **3.2.4. Explorarea-spațiului-posibilităților**

Complexitatea sugerează că pentru a supraviețui și a crește, o entitate are nevoie să exploreze spațiul său al posibilităților și să genereze varietate. Complexitatea sugerează, de asemenea, că o căutare pentru a determina o singură strategie „optimală” nu poate fi nici posibilă și nici decizională. Orice strategie poate fi optimă doar în anumite condiții și, când aceste condiții se schimbă, strategia nu mai rămâne mult timp optimă. Pentru a supraviețui, o organizație trebuie să verifice constant peisajul și să încerce diferite strategii. O organizație poate să aibă în loc de o singură strategie, mai multe micro-strategii care îi permit să evolueze. Aceasta reduce riscul de a obține o singură strategie prea târziu, care poate să nu fie chiar cea mai bună și să suporte co-evoluția senzitivă cu un ecosistem în schimbare. În esență, mediile instabile și piețele în rapidă schimbare necesită metode flexibile bazate pe varietatea necesară (Ashby, 1969).

Adaptarea flexibilă necesită, de asemenea, noi conexiuni sau noi moduri de a privi lucrurile. A introduce o nouă funcție pentru o parte a unei entități existente este numită **exapotare** (exapotion).

Când căutăm în spațiul posibilităților pentru un nou produs sau un mod diferit de a face lucrurile, nu este posibil să explorăm toate posibilitățile. Poate fi, totuși, posibil să considerăm schimbarea ca un pas înainte față de ceea ce există. În acest sens, exapotația poate fi considerată o explorare a ceva care este denumit „*posibilul adiacent*” (Kauffman 2000). Deci este explorare un pas înainte, utilizând „componente” întotdeauna disponibile, dar punându-le împreună într-un nou mod.

Conform lui Kauffman (2000, p.22) a încerca ceva nou în domeniul molecular, morfologic, comportamental, tehnologic și organizațional se face prin explorarea posibilului adiacent. Rata de descoperire sau mutație, totuși, este restricționată de selecție pentru a evita catastrofele posibile care pot distruge o comunitate. Virușii și bacteriile au o rată a mutației foarte apropiată de eroarea-catastrofă, care este tranziția la o fază care face o populație nesustenabilă. Se pare că există o balanță între descoperire și ceea ce ecosistemul poate susține efectiv. Atât biosfera cât și econosfera se pare că au „*mecanisme endogene care mijlocesc explorarea posibilului adiacent astfel încât, în medie, astfel de explorări conduc cu succes la găsirea de noi modalități de a susține viața*” (Kauffman, 2000, p.156). În biosferă, adaptările sunt alese prin selecția naturală, iar în econosferă de succesul sau eșecul economic, la o rată care este sustenabilă.

Deși rata cu care noutatea poate fi introdusă este restricționată, posibilul adiacent este extensibil nedefinit (Kauffman, 2000, p. 142). Odată descoperirile realizate în posibilul adiacent, un nou posibil adiacent, accesibil din prezentul lărgit care include noi descoperiri, devine accesibil. Deschiderea constantă de noi nișe pe piețe în domenii și produse despre care cu câțiva ani în urmă nici nu știam că există reprezintă un exemplu de posibilități extinse ale posibilului adiacent.

### **3.2.5. Procesul feedback**

Feedbackul reprezintă mecanismul de bază în formarea în cadrul sistemului adaptiv complex, a condițiilor de desfășurare a proceselor adaptive și de selecție. De regulă, vorbim despre feedback pozitiv și feedback negativ în funcție de influența exercitată de o buclă feedback asupra acțiunilor desfășurate de agenții care formează

bucla respectivă. Feedbackul pozitiv (amplificator) determină schimbări în sistem, în timp ce feedbackul negativ are rol de echilibrare, amortizare și stabilirea a sistemului.

În ultimul timp, se constată o trecere a limbajului specific descrierii mecanismelor feedback către înlocuirea termenului de „mecanism” prin cel de „proces” considerat mai apropiat de realitate în cazul CAS.

În condițiile în care sistemele adaptive complexe funcționează departe-de-echilibru, iar componentele acestor sisteme sunt interconectate printr-o rețea de legături și conexiuni neliniare, un sistem devine „*extrem de senzitiv la influențele externe. Mici intrări determină efecte mari, uneori destructive*” (Prigogine și Stengers, 1985) ceea ce poate duce la reorganizarea întregului sistem. Acest proces se datorează și feedbackului pozitiv. „*În aceste condiții departe-de-echilibru vedem că fluctuații sau perturbații foarte mici pot fi amplificate în unde gigantice, distrugătoare de structuri*” (Prigogine și Stengers, 1985).

În cazul sistemelor umane, condițiile de funcționare departe-de echilibru operează când un sistem este perturbat suficient de mult de la normele stabilite sau de la modalitățile obișnuite de lucru sau odihnă. Într-o organizație privită ca sistem, aceste condiții pot să determine atingerea unui punct critic care să ducă la dezordine sau la crearea unei noi ordini și organizări. În acest din urmă caz se spune că s-a creat o nouă coerență. Procesele feedback pozitive sau amplificatoare susțin această transformare și ele constituie un punct de plecare pentru înțelegerea mișcării constante între schimbare și stabilitate în sistemele adaptive complexe.

Pentru a înțelege de ce este necesar ca CAS să atingă condițiile departe-de-echilibru trebuie arătat că procesele feedback nu acționează continuu. De asemenea, în anumite perioade, buclele feedback pozitive pot fi dominante, impunând schimbări în sistem, după care să devină dominante buclele feedback negative, care determină stabilitatea sistemului în urma schimbărilor pe care le-a suferit. Acest ciclu de dominanță alternativă a feedbackului pozitiv și negativ se poate repeta și poate să apară fără să putem spune care sunt cauzele apariției sau schimbării dominanței.

De exemplu, într-o companie, dacă efortul de a îmbunătăți performanțele și poziția de piață eșuează în mod continuu și dacă creșterile nu sunt mult timp sustenabile, atunci managerii acesteia pot determina producerea unei schimbări

majore. Aceste intervenții pot, de asemenea, eșua și compania poate ajunge într-un ciclu constant de restructurări ineficiente. Un motiv pentru acest eșec este o supraestimare a efectelor „*mecanismelor adiacente*” bazate pe bucle feedback negative, care au lucrat în trecut.

Dar, într-un mediu turbulent, întregul ecosistem poate fi schimbat și nu putem întotdeauna extrapola succesul pe baza experienței trecute. Noi paterne de comportament și noi structuri pot să emeargă și acestea pot să depindă de sau se stabilesc prin noi procese feedback pozitive.

În sistemele umane, gradul de conectivitate (dependența sau interacțiunea epistemică) adeseori determină forța feedbackului. Feedbackul aplicat interacțiunilor umane înseamnă influența care schimbă acțiuni și comportamente potențiale. Mai mult, în cazul interacțiunilor umane, feedbackul este rareori o procedură foarte bine delimitată de tip input-proces-output, perfect predictibilă și cu rezultate bine determinate. Acțiunile și comportamentele pot să varieze în raport cu gradul de conectivitate dintre diferiți indivizi, ca și în raport cu timpul și contextul.

Co-evoluția poate, de asemenea, să depindă de influențele feedback reciproce dintre entități. O problemă importantă este, deci, cum gradul de conectivitate și feedbackul influențează co-evoluția. O primă întrebare legată de aceasta este modul în care structura unui ecosistem afectează co-evoluția. Kauffman afirmă că „*Am găsit evidența ... că structura unui ecosistem determină co-evoluția*” (Kauffman, 1993, p.279). Această afirmație, demonstrată prin simularea pe calculator, se poate aplica și ecosistemelor sociale. Procesele feedback au, deci, o strânsă legătură atât cu gradul de conectivitate (la toate nivelele), cât și cu structura ecosistemului, și deci și cu co-evoluția.

Mai mult, cele două concepte esențiale de feedback pozitiv și negativ trebuie să fie utilizate pentru a descrie procesele feedback integrate multiple din sistemele adaptive complexe și trebuie regândită însăși natura feedbackului în acest context, pentru a putea include ulterior influențele multi-nivel, multi-proces și neliniare.

### **3.2.6. Dependența de traiectorie, istoricitate și legea profitului crescător**

B. W. Arthur observă că teoria economică clasică este bazată pe ipoteza implicită conform căreia economia este dominată de bucle feedback negative, ceea ce conduce la dominanța unei concepții a legii profitului descrescător, care, la rândul ei, conduce la convingerea că în economie este posibilă obținerea unui echilibru economic stabil. Aceasta deoarece buclele feedback negative au un efect stabilizator și implică un singur punct de echilibru în care economia va revni după orice schimbare majoră pe care a suferit-o.

Exemplul utilizat de B. W. Arthur este creșterea prețului petrolului în anii 70 care a încurajat economisirea energiei și conservarea acesteia și a dus la creșterea numărului de exploatare petroliere, ceea ce a avut un efect asupra creșterii predictibile a ofertei și a rezultat într-o scădere a prețurilor spre sfârșitul anilor 80 ai secolului trecut.

Dar, după cum arată W. B. Arthur, astfel de forțe nu operează și domină întotdeauna. *„În loc de aceasta, buclele feedback pozitive măresc (amplifică) efectele micilor schimbări economice și cresc profiturile, făcând posibilă apariția mai multor puncte de echilibru, depinzând de buclele feedback negative care, pot, de asemenea, să opereze în sistem”* (Arthur, 1990).

Posibilitatea ca un sistem să aibă mai multe puncte de echilibru este dată de proprietățile structurilor disipative. În sistemele fizico-chimice această proprietate a unor substanțe de a se afla simultan în două sau mai multe stări stabile în anumite condiții la limită se numește **bistabilitate** și descrie *„posibilitatea de a evolua, pentru valori date ale parametrilor, către mai mult de o stare stabilă”* (Nicolis și Prigogine, 1989; p.24).

Mai mult, traiectoriile specifice pe care un sistem le urmează depind de istoria lor trecută. Ideea aici este că istoria trecută afectează dezvoltarea viitoare și pot exista mai multe traiectorii posibile sau paternuri pe care un sistem le poate urma. Acest lucru explică de ce comportamentul unui sistem este greu de prevăzut, chiar dacă menținem sistemul în cadrul anumitor limite.

### 3.2.7. Auto-organizarea, emergență și crearea unei noi ordini

Auto-organizarea, emergența și crearea unei noi ordini reprezintă caracteristici esențiale ale sistemelor adaptive complexe. Ordinea spontană care apare atunci când sistemul, pentru a răspunde la influențele exercitate de mediul înconjurător, trece la un nou mod de organizare se numește auto-organizare și reprezintă una dintre cele mai uimitoare proprietăți a sistemelor adaptive complexe, fie că este vorba despre sisteme umane, ecosisteme sau organizații.

Kauffman într-o carte a sa („Origins of Order: Self Organization and Selection” (1993)) arată că selecția nu este, așa cum afirmă concepția evoluționistă Darwiniană, singura forță care determină adaptarea. Există și o a doua forță care produce spontan ordine, și anume auto-organizarea, aceasta fiind, alături de selecția naturală, absolut necesară pentru evoluție.

Proprietățile emergente, calitățile noi, paternelle structurale apar în CAS din interacțiunea elementelor individuale, acestea reprezentând mai mult decât suma părților componente și sunt dificil de prevăzut studiind doar elementele considerate individual.

Emergența este procesul care determină apariția unei noi ordini împreună cu auto-organizarea. Francisco Varela, unul dintre creatorii ciberneticii de ordinul doi (autopoiesisului), atunci când se referă la emergență spunea că ea reprezintă tranziția de la regulile locale către principiile globale sau stările generale care însoțesc întreaga mulțime de agenți. De pildă, el afirmă că activitatea neuronală a creierului uman reprezintă o proprietate emergentă și de aici sunt posibile conștiința, gândirea și creația.

Relațiile reciproce dintre micro-evenimente și macro-structuri sunt bidirecționale și se crează astfel o influență reciprocă atunci când feedbackul funcționează „Una dintre cele mai importante probleme ale teoriei evoluționiste este feedbackul eventual dintre structurile macroscopice și evenimentele microscopice: structurile macroscopice emerg din evenimentele microscopice, dar, la rândul lor, vor conduce la o modificare a mecanismelor microscopice” (Prigogine și Stengers, 1989). Apare deci un proces co-evolutiv în care entitățile microscopice individuale și macro-structurile create prin interacțiunile dintre aceste se influențează una pe alta într-un proces iterativ continuu.

În sistemele sociale, auto-organizarea poate fi descrisă ca apariția spontană a unui grup care execută o sarcină sau are un anumit scop comun; grupul decide ce face, cum și când face și nu există o entitate exterioară grupului care să orienteze activitatea acestuia.

Emergența în cadrul sistemului uman tinde să creeze structuri ireversibile sau idei, relații și forme de organizare care devin parte a istoriei indivizilor și instituțiilor și, la rândul lor, afectează evoluția acestor entități. De exemplu, apariția de noi cunoștințe și idei în cadrul unei echipe, firme sau chiar la nivelul întregii societăți poate fi descris ca un proces emergent deoarece rezultă din interacțiunile dintre indivizi și nu este suma ideilor existente, ci ceva cu totul nou și posibil neașteptat. Odată ce ideile sunt articulate, ele formează o parte a istoriei fiecărui individ, dar și a istoriei comune a echipei, firmei sau societății – procesul nu este reversibil – și aceste noi idei și cunoștințe pot fi utilizate pentru a genera alte idei noi și noi cunoștințe. În această viziune, învățarea organizațională și socială reprezintă proprietăți emergente – nu sunt doar simple ajustări sau însumări de noi idei, ci un proces bazat pe interacțiunea dintre indivizii ce aparțin echipei, firmei sau societății care creează noi modele mentale, împărtășite de toți indivizii din cadrul sistemului respectiv. Atunci când învățarea conduce la noi comportamente, se poate spune că organizația s-a adaptat și a evoluat.

Noile cunoștințe, împărtășite de toți indivizii prin modele mentale comune, generează, la rândul lor, învățare și cunoaștere.

Apare, astfel, cu o deosebită claritate, legătura existentă între **conectivitate, interdependență, emergență și auto-organizare**. Acești piloni ai sistemelor adaptive complexe acționează împreună pentru a crea o nouă ordine și coerență, pentru a susține sistemul și a-i asigura supraviețuirea, în special atunci când mediul înconjurător se schimbă rapid.

### **3.3 Exemple de sisteme adaptive complexe în economie**

#### **3.3.1. Piața de capital ca sistem adaptiv complex**

Printre sistemele economice care au trezit un interes deosebit specialiștilor din domeniul Științelor Complexității, piața de capital ocupă un loc privilegiat. Acest lucru are o serie de explicații asupra cărora, însă, nu vom insista prea mult. După părerea noastră, acest lucru poate fi înțeles dacă ne referim la câteva caracteristici ale piețelor de capital: omogenitatea „produselor” tranzacționale, numărul mare de agenți de piață, istoricitatea acesteia și, nu în ultimul rând, atracția exercitată de această piață pentru cei care vor să câștige bani.

Teoria clasică privind piața de capital, dezvoltată pe baza concepției privind formarea echilibrelor de piață a lui Alfred Marshall, pornește de la ideea că se poate determina o legătură deterministă sau probabilistică între cauză și efect și că această legătură poate fi previzibilă. Când o piață este supusă unui șoc exogen, cum ar fi, de exemplu, noutățile privind evoluția economiei, sistemul de piață poate să absoarbă acest șoc și să revină, după un timp finit, la o stare de echilibru.

Cu toate că multe dintre teoriile ce au inspirat această concepție mecanicistă s-au modificat între timp, de exemplu principiul de nedeterminare al lui Heisenberg ce stă astăzi la baza fizicii cuantice, în economie acest progres nu s-a produs tot atât de repede. Multe dintre concepțiile care domină și astăzi economia își găsesc originea în ideile și metodele științifice bazate pe determinism și predictibilitatea relațiilor de tip cauză-efect.

În ultimii 50 de ani, teoria piețelor financiare s-a dezvoltat pe aceeași bază, astfel încât astăzi ea este încă tributară unor ipoteze discutabile cum ar fi eficiența piețelor și raționalitatea investitorilor.

Ipoteza eficienței piețelor afirmă că prețurile activelor financiare încorporează toată informația relevantă și că această informație este ușor disponibilă și larg răspândită, astfel că orice investitor are acces la ea și nu există posibilitate ca unul dintre ei să profite de anumite oportunități și să obțină rezultate superioare.

Altfel spus, câștigurile obținute pe piața de capital recompensează doar riscul pe care și-l asumă anumiți investitori față de alții care înregistrează pierderi fiindcă nu acceptă riscul respectiv. Ipoteza eficienței pieței nu afirmă că prețurile pe această piață ar fi corecte, ci faptul că nu există prețuri care ar fi determinate de anumite cauze sistematice, care nu ar putea fi cunoscute și utilizate de către toți investitorii.

Teoria privind formarea prețurilor, care este subsumată ipotezei eficienței pieței de capital, este construită pornind de la ipoteza că prețurile activelor financiare ar fi perfect independente unul față de celelalte. În consecință, schimbările prețurilor respective sunt determinate doar de apariția unor informații noi, neașteptate pe piață, lucru care este, de asemenea, aleator. Drept urmare, pe măsură ce investitorii primesc noi informații și le prelucrează, ei pot să anticipeze prețurile și să ia decizii care să ducă la obținerea unui profit dorit.

A doua ipoteză privește modalitatea în care investitorii iau deciziile respective și presupune că investitorii sunt decidenți raționali. Acest lucru înseamnă, în esență, că, în procesul continuu de a căuta oportunități de profit, ei rezolvă o problemă de alegere între risc și venit. Mai precis, investitorii raționali caută să obțină, din tranzacțiile de piață efectuate, cel mai mare venit pentru un anumit nivel de risc.

Testarea acestor ipoteze a demonstrat fără tăgadă faptul că ele sunt false. Cu toate acestea, teoria piețelor de capital continuă și astăzi să dezvolte modele și proceduri de lucru bazate pe aceste ipoteze. Un motiv ar fi inerția mare existentă în științele economice, iar un alt motiv l-ar constitui coerența matematică și logică a modelelor abstracte realizate, chiar dacă ele nu au multe puncte comune cu realitatea.

O alternativă la aceste teorii ar fi *considerarea pieții de capital ca un sistem adaptiv complex*. Pentru ca o astfel de schimbare de paradigmă să fie acceptabilă, trebuie demonstrat că, prin noua abordare, gradul nostru de înțelegere privind comportamentul acestor piețe crește, iar rezultatele obținute prin aplicarea metodelor și modelelor construite pe baza noii concepții sunt mai bune decât cele anterioare.

Piețele financiare, în particular piețele de capital, pot fi considerate sisteme adaptive complexe, ele fiind alcătuite dintr-o mulțime de agenți interdependenți și conectați care prezintă comportamente de grup emergente, dobândite în urma agregării comportamentelor individuale ale acestor agenți. Agregarea acestor comportamente individuale face ca sistemul să acționeze unitar în „punctele critice”, deci schimbările mari apar ca rezultat al acumulărilor unor stimuli reduși ca intensitate dar care, în momentul declanșării, se propagă sub formă de avalanșă.

Agenții dintr-un sistem adaptiv complex își culeg informația din mediul înconjurător, o combină cu propriile lor interacțiuni cu mediul și, de aici, rezultă propriile decizii și proceduri decizionale. Desigur că aceste decizii și proceduri vor concura unele cu altele, fiind comparate în raport cu un „fitness” și numai cele mai eficiente strategii de decizie vor supraviețui. Aceasta face ca, în timp, sistemul să se adapteze la schimbările din mediu și să răspundă în mod adecvat apariției unor „anomalii”.

Interacțiunile dintre agenți în sistemele adaptive complexe sunt neliniare. În cazul piețelor de capital acest lucru este demonstrat de faptul că, în cazul interacțiunilor cauză-efect, anumite modificări mici produc rezultate exagerat de mari. Apariția crizelor și crahurilor bursiere este o dovadă a acestui lucru.

În sfârșit, mecanismele feedback, care amplifică (pozitive) sau amortizează (negative) efectele ce apar pe piețele de capital sunt cele care determină tendințele speculative pe aceste piețe. În condițiile în care un investitor sau un grup restrâns de investitori, profitând de o schimbare de preț neașteptată, prin vânzarea sau cumpărarea de acțiuni, obțin câștiguri mai mari decât cele medii, este evidentă acțiunea unei bucle feedback pozitive. Acest proces, însă, nu poate continua mult timp deoarece alți investitori încep și ei să cumpere sau să vândă același tip de acțiune, fapt care duce, rapid, la eliminarea câștigurilor mai mari. Acționează, în acest caz, o buclă feedback negativă care stabilizează din nou piața.

Procesele feedback existente pe piețele de capital fac ca astfel de fenomene să aibă o viață scurtă, având succes, de regulă, acei investitori, care profită cel mai repede de oportunitățile care se ivesc datorită unor perturbații externe sau unor comportamente emergente neașteptate.

Considerând piața de capital ca un sistem adaptiv complex trebuie să reconsiderăm întreaga concepție privind comportamentul investitorilor pe astfel de piețe. Perioade de stabilitate, urmate de schimbări rapide, existența unor puncte critice, absența oricăror mișcări regulate în evoluția indicatorilor ce le caracterizează ș.a. fac din aceste piețe sisteme pentru care este greu, dacă nu imposibil de elaborat previziuni. Din această cauză, investitorii trebuie să apeleze la un cu totul alte metode pentru a decide asupra investițiilor făcute. Practic, întreaga teorie clasică,

începând cu modelele lui Markowitz, Sharpe ș.a., ar trebui reformulată, deoarece se bazează pe ipotezele probabilistice privind formarea prețurilor.

Deplasarea interesului de la modelele deductive către cele inductive în acest domeniu este crucială. În cele mai multe situații, se constată că raționamentul pe aceste piețe este colectiv, acționând spiritul de imitație și nu judecata rațională a agenților individuali.

Trecerea la metodele bazate pe sisteme adaptive complexe este, evident, un proces dificil și numai obținerea unor rezultate mai bune în acest din urmă caz ar fi de natură să determine schimbarea de paradigmă în acest domeniu.

Treptat, aceste rezultate se acumulează, mai ales datorită posibilității de a simula activitatea investitorilor utilizând, de exemplu, modele ale piețelor artificiale de capital.

### 3.3.2. Ecosistemele digitale pentru afaceri

În ultimii ani, un nou concept a apărut și s-a dezvoltat la granița dintre biologie, ecologie, economie și lumea afacerilor: **ecosistemul digital pentru afaceri** (EDA). Modul în care este acesta definit și utilizat arată faptul că EDA reprezintă, de fapt, un sistem adaptiv complex. Din perspectiva biologiei, un ecosistem natural este: „Un sistem de organisme ocupând un habitat, împreună cu acele aspecte ale mediului fizic cu care interacționează” (The New Shorter Oxford English Dictionary, 1993) sau „O comunitate de organisme vii cu aerul, apa și celelalte resurse” (The Merriam-Webster, Third New International Dictionary of the English Language, 1986).

Așadar, un ecosistem biologic este, în primul rând, un sistem care constă din diferite organisme vii din aceeași arie sau zonă. Există interacțiuni între organisme și mediul înconjurător, format din aer, apă și resurse de hrană. Aceste interacțiuni determină anumite limite în ce privește evoluția și dezvoltarea ecosistemului.

Hanon(1997) stabilește principalele caracteristici comune sistemelor ecologice și economice. El arată că amândouă sunt sisteme dinamice, construite (structurate) pe bază organică și care au metode de producție, schimb, stocare și dezvoltare asemănătoare. Hannon introduce chiar un output net al ecosistemului biologic,

analog cu produsul intern net al sistemului economic, care poate fi utilizat pentru a măsura performanțele ecosistemului în raport cu fluxurile de substanță și energie primite din mediu.

În concepția lui Lewin (1999), comunitățile ecologice din natură cuprind specii care sunt interconectate printr-o rețea densă de conexiuni. Aceste comunități formează, la rândul lor, ecosisteme locale care au proprietățile sistemelor complexe. Lewin găsește o analogie strânsă a acestora cu comunitățile de afaceri, ceea ce explică de ce companiile, ca și organismele biologice, funcționează în cadrul unei rețele dense de interacțiuni, începând de la economia locală și până la economia globală. Ecosistemele biologice și sistemele economice „sunt sisteme adaptive complexe și deci urmează aceleași legități profunde”. Cu toate acestea, există și o diferență fundamentală între aceste sisteme și anume capacitatea oamenilor de a adopta decizii conștiente în sistemele economice, în timp ce organismele biologice nu au o conștiință de același fel. În ciuda acestei diferențe, Lewin crede că „o înțelegere a acelor legități din natură va conduce la o mai mare înțelegere a modului de lucru al companiilor și a economiei din care ele fac parte”. (Lewin, 1999).

Sturat Kauffman a fost preocupat în mod special de ecosisteme care, după părerea sa, reprezintă „nișe în mijlocul unei anumite activități”. De exemplu, când transporturile erau dominate de căruțe trase de cai, existau multe afaceri complementare cum ar fi rotării, ceaprazării (producătoare de hamuri), potcovării etc. După ce automobilul a înlocuit căruța, noi forme de activități le-au înlocuit pe cele vechi: construcția de drumuri și autostrăzi, rețele de benzinării, moteluri etc. În acest fel, ecosistemul “căruță” a fost înlocuit cu ecosistemul “automobil”. Deci co-evoluția a impus dispariția unui sistem și apariția altui sistem. Procesul de co-evoluție va putea produce ecosisteme și mai complexe cum ar fi rețele economice formate din companii din lumea înaltei tehnologii (Lewin, 1999).

Observăm totuși că, în exemplele de mai sus, este vorba de ecosisteme de afaceri, care se deosebesc oarecum de ecosistemele naturale. Mai întâi, în ecosistemele digitale pentru afaceri, agenții sunt inteligenți și sunt capabili să planifice și să-și reprezinte viitorul cu o anumită acuratețe. În al doilea rând, ecosistemele de afaceri concurează pentru a câștiga noi membri. Un astfel de

comportament nu se observă în natură, ecosistemele naturale acționând uneori chiar împotriva admiterii de noi membri. În al treilea rând, ecosistemele de afaceri pot apela la anumite inovații, în timp ce ecosistemele naturale au ca scop doar supraviețuirea (Iansiti și Levien, 2004).

Așadar, între ecosisteme și sistemele economice există destule asemănări, dar și deosebiri care, însă, nu le separă ci, dimpotrivă, le pot reuni, așa cum încearcă ecosistemele digitale pentru afaceri să facă. „*Când vom înțelege că economia este un ecosistem – nu o mașină izolată și separată de mediul său înconjurător – vom înțelege adevărurile fundamentale despre ceea ce face economia să lucreze*” (Baden și Lewin, 1999).

Deci ecosistemele biologice și ecosistemele digitale pentru afaceri au o serie de proprietăți comune cum sunt: interacțiunea, interdependența, comportamentul emergent, auto-organizarea, feedbackul, neliniaritatea ș.a. De asemenea, trebuie subliniat că amândouă tipuri de sisteme funcționează ca niște organisme și nu ca o mașină. În plus, nici ecosistemele biologice și nici ecosistemele digitale pentru afaceri nu sunt optimizatoare ale propriului lor comportament. În ecosistemele pentru afaceri, firma reprezintă echivalentul organismelor din cadrul ecosistemului biologic.

Ecosistemul digital pentru afaceri s-a impus cu putere după ce Uniunea Europeană a lansat o serie de proiecte și un program care să anuleze decalajul dintre performanțele întreprinderilor mici și mijlocii din Europa și Statele Unite. Aceste ecosisteme constau din „*specii digitale*” care ocupă un „*mediu digital*”. Speciile digitale pot fi componente și programe soft, aplicații, servicii, cunoaștere, modele de afaceri, module de învățare, cadru conceptual, arhitecturi și legislație. Mediul de afaceri include specii care se comportă precum speciile din lumea naturală, deci interacționează, evoluează și chiar se sting (Nachira, 2002).

Mitleton-Kelly (2003) vorbește și el despre „ecosisteme sociale” atunci când se referă la organizații și corporații din lumea afacerilor. Organizațiile co-evoluiează în cadrul unui ecosistem social, deoarece co-evoluția nu poate să aibă loc în izolare. Drept urmare, un ecosistem social constă din organizații, și nu din indivizi, și de aici derivă calificativul „social”. Mitleton-Kelly demonstrează faptul că orice ecosistem social este un sistem evolutiv complex, deci un tip de sistem mai evoluat decât sistemul adaptiv complex.

Conceptul de ecosistem digital a fost definit de mai mulți autori, dar încă lipsește o definiție precisă și unanim acceptată. Astfel, Iansiti și Levien (2004) utilizează ecosistemul de afaceri ca pe o analogie care ajută să explicăm și să înțelegem anumite caracteristici ale lumii de afaceri moderne. *„Credem că poate mai mult decât orice alt tip de rețea, un ecosistem biologic constituie o analogie puternică pentru a înțelege rețeaua de afaceri”* (Iansiti și Levien, 2004). Acest lucru este posibil deoarece ecosistemele biologice, ca și ecosistemele pentru afaceri, sunt caracterizate de un număr mare de agenți interconectați care depind unul de altul în vederea asigurării eficienței și supraviețuirii. Speciile biologice din cadrul ecosistemelor naturale împart destinul lor cu celelalte specii în același mod ca firmele dintr-un ecosistem pentru afaceri.

După Moore (1993), agenții dintr-un ecosistem pentru afaceri *„lucrează cooperând și concurând pentru a susține noi produse, pentru a satisface nevoile consumatorilor și, eventual, pentru a încorpora următoarele inovații”*. Deci, ecosistemele digitale își asigură necesarul de resurse atât pe competiție cât și pe cooperare. Lewin (1999) spune că este dificil să afirmi, într-un ecosistem pentru afaceri, cine este prieten și cine este dușman. Dificultatea crește deoarece această situație se schimbă pe măsură ce mediul se schimbă. Tot Lewin adaugă că poate nu interacțiunile competitive sunt importante în aceste sisteme cât întregul complex de interacțiuni.

După Iansiti și Levien (2004) există trei factori care determină succesul unui ecosistem pentru afaceri. Primul, productivitatea este factorul fundamental care, la un anumit moment, va defini succesul oricărui tip de afacere. Al doilea, orice ecosistem pentru afaceri ar trebui să fie robust. Robustețea în ecosistemele naturale înseamnă capacitatea de supraviețuire când șocurile externe sau interne din ecosistem tind să-l distrugă. În domeniul afacerilor, acest lucru înseamnă acumularea de avantaje competitive din diferite surse și abilitatea de a se transforma când mediul se schimbă. În al treilea rând, un ecosistem pentru afaceri ar trebui să aibă abilitatea de a crea nișe și oportunități pentru noile firme.

Prin apartenența lor la rețelele interconectate de companii, firmele au beneficii, dar și înfruntă noi pericole. Beneficiile includ oportunitatea de a forma alianțe și de a evolua în rețea, protejate de invadatorii potențiali. Aceeași

interconectare, totuși, poate să conducă și la dezastru. „Când orice este conectat direct sau indirect la toate celelalte, schimbări într-o parte a sistemului se pot propaga prin interiorul sistemului și, uneori, organizațiile pot dispărea fără să greșească cu nimic. Acest tip de impredictibilitate este un aspect neplăcut al sistemelor complexe, dar dă o imagine realistă a mediului de afaceri” (Levin, 1999).

Moore definește ecosistemul digital ca „o comunitate economică” susținută de o bază formată din organizații și indivizi. Această comunitate economică produce bunuri și servicii de valoare pentru clienți, care sunt ei înșiși membri ai ecosistemului. Organismele membre includ, de asemenea, ofertanți, producători, competitori și alți asociați”.

Ecosistemul pentru afaceri a fost, de asemenea, definit în funcție de peisaj (landscape). Kauffman (1993) definește **fitnessul peisajului** ca o structură reprezentând fitnessul unui organism în mediul său înconjurător. Peisajul fitness poate fi imaginat ca un plan definit de două axe pe care se reprezintă diferiți factori de fitness, cum ar fi viteza, agilitatea, anduranța sau inteligența. Acest plan poate avea dealuri și văi în raport cu diferitele mărimi ale fitnessului asociate diferitelor valori ale factorilor de fitness reprezentați pe axe. Normal, pot fi mai mult de două axe, dar este mai ușor de reprezentat dacă această structură este gândită doar în trei dimensiuni.

Un organism sau o organizație se poate afla, la un moment dat, într-un anumit punct al peisajului fitness, dar acest lucru se poate schimba datorită schimbărilor din caracteristicile organismului sau datorită schimbărilor din mediu. Peisajul fitness reprezintă, deci, o structură dinamică pe care organismul sau organizația o parcurge neîncetat. Deși conceptul ca atare a fost dezvoltat mai întâi în biologie pentru analiza ecosistemelor biologice, el este astăzi folosit frecvent în ecosistemele de afaceri. Levin (1999) definește ecosistemul pentru afaceri ca fiind alcătuit din mai multe companii, fiecare având o anumite poziție în propriul său peisaj. Aceste peisaje se cuplează unele cu altele, astfel că schimbări într-un peisaj determină un efect asupra altor peisaje, și anume ale competitorilor, colaboratorilor și producătorilor complementari.

Iansiti și Levien (2004) văd patru roluri diferite îndeplinite de organizațiile care aparțin unui ecosistem pentru afaceri. Rolul principal îl joacă companiile care

servesc ca integratori și care au un mare impact asupra întregului sistem. Totuși, aceste companii sunt în număr mic. Jucătorii de nișă, pe de altă parte, constituie cea mai mare parte a ecosistemului de afaceri. Dominatorii și proprietarii de hub sunt tipuri de organizație care atrag resurse de la sistem, dar nu procedează la fel atunci când trebuie să le și cedeze către sistem.

În concluzie, ecosistemele pentru afaceri conțin un mare număr de agenți care pot fi firme și alte organizații. Ele sunt interconectate în sensul că se influențează unele pe altele. Această interconectare se realizează prin diferite tipuri de conexiuni dintre membri. Aceste interacțiuni pot fi atât competitive cât și cooperative. Aplicarea conceptelor și metodelor sistemelor adaptive complexe în domeniul ecosistemelor digitale pentru afaceri este o activitate aflată într-un stadiu de început dar cu mari perspective pentru a înțelege și a opera mai performant în mediile de afaceri.