

CAPITOLUL 1

APARIȚIA ȘI DEZVOLTAREA CIBERNETICII. OBIECTUL ȘI METODELE CIBERNETICII ECONOMICE

1.1 Precursorii (înainte de 1948)

Unii termeni și multe idei care au constituit limbajul cibernetic și cel sistemic apar cu mult înainte de momentul considerat de istoria științei ca fiind cel al întemeierii ciberneticii.

Se consemnează, astfel, faptul că termenul „*kybernetes*” înseamnă în limba greacă veche „cârmaci”, iar Platon îl utilizează într-unul dintre dialogurile sale în sensul abstract de „pilotaj unei entități politice”. Din cuvântul *kybernetes* se pare că provine, în limba română, „a chivernisi”, dar, printr-o filieră slavă, un „guvernator” însemna conducătorul unei provincii (gubernie). „Guvern” provine din guvernator, gubernie, deci și din *kybernetes*.

Conceptul de sistem (*sustemo* în latină însemnând mulțime, adunare, reuniune) în știința modernă este utilizat în mod sistematic începând cu secolul al XVII-lea, însemnând un set de concepte organizate, clasificate, mai ales în sens filozofic. Astfel, R. Descartes în al său „*Discurs asupra metodei*”, introduce un set coordonat de reguli care să fie utilizat într-un anumit context. După Descartes, aproape fiecare filozof important și-a construit un sistem filozofic propriu, plecând de la anumite postulate de bază. Leibnitz, de exemplu, a formulat „*principiul armoniei prestabilite*” între substanțe, conform căruia orice schimbare într-o substanță necesită să fie corelată cu o schimbare în alte substanțe. Până la sfârșitul secolului al XVIII-lea, noțiunea filozofică de sistem era bine stabilită, fiind considerată ca o mulțime de practici și metode utilizabilă în studiul lumii reale.

Deja, la începutul sec. XX, oamenii de știință realizaseră importanța stabilirii de interdependențe reciproce și corelații între fenomene și procese, ceea ce a condus la cauzabilitatea complexă în explicarea științifică a acestora, deci și la conceptul de sistem. N. Hartmann dezvoltă o teorie a stratificării, bazată pe introducerea unor nivele ale realității, fiecare nivel fiind descris utilizând categorii comune, în timp ce între nivele există corelații cauzale.

Termenul de „*cibernetică*” îl regăsim în Enciclopedia Franceză, operă colectivă, care încerca să cuprindă toate cunoștințele acumulate de omenire până în sec. XIX. Într-un articol scris de Ampère privind clasificarea științelor, este inclusă și știința ciberneticii, reprezentând „*arta guvernării*”.

Între 1854 – 1878, psihologul francez Bernard, în mai multe lucrări, stabilește existența unui „*mediu intern*” în ființele vii, stabilind o diferență clară între ceea ce se întâmplă înăuntru și ceea ce se întâmplă în afara organismului. Cam în același timp, este descoperit și primul dispozitiv de reglare biologic: acțiunea nervilor care se află pe cord și care determină accelerarea și moderarea bătăilor inimii. Deja, atunci, era cunoscut dispozitivul de reglare a presiunii aburului al lui Watt care, se pare, a fost primul dispozitiv tehnic de acest tip.

Concomitent cu aceste acumulări în domeniul tehnic și biologic, sitemica și cibernetica începeau să fie prezente și în științele matematice și fizice. Matematicianul francez Poincaré începea studiile legate de instabilitatea sistemelor într-o epocă în care gândirea mecanicistă și concepția privind echilibrul imuabil erau dominante. Lucrările sale, care au revoluționat matematica sfârșitului de secol XIX și începutul de secol XX, au condus, ulterior, la apariția și dezvoltarea teoriei sistemelor dinamice.

Un alt fapt important este apariția, în 1936, a teoriei grafelor, în urma publicării de către germanul König a unei lucrări în care rezolva o celebră problemă pusă în urmă cu două secole de către Euler, și anume problema podurilor din Königsberg.

Russell și Whitehead publică în 1925 „*Principia Mathematica*” în care stabilesc condițiile în care un set de reguli logice este noncontradictoriu.

În domeniul fizicii, francezul Bénard făcuse, în 1908, o descoperire curioasă privind celulele hexagonale care se formează într-un vas de apă încălzit. Era prima observație privind structurile disipative pe care, ulterior, Prigogine, avea să le explice și să le formalizeze într-o teorie a sistemelor funcționând departe-de-echilibru.

Treptat, metoda sistemică își face simțită prezența în științele umaniste. Brentano începe cercetările de psihologie experimentală, care l-au condus la definirea sistemică a relației dintre subiect și obiect, Wertheimer stabilește principiile organizării perceptuale care-l conduc apoi la formularea psihologiei Gestaltiste, adică a psihologiei percepției formelor, dezvoltată ulterior de Kohler și Koffka.

În științele istorice, românul A. D. Xenopol are o viziune sistemică asupra evoluției civilizațiilor, fără însă a nega influența unor fenomene sau evenimente unice asupra istoriei. Ulterior, concepția sa privind existența unui „sistem de principii privind știința istoriei” a fost preluată și dezvoltată de istorici precum Toynbee și Brandel, preocupați de mărirea și decăderea civilizațiilor și culturilor care arată existența, implicită sau explicită, a unor linii comune de forță.

În 1932, Cannon introduce în biologie conceptul de homeostază care anticipează cu 20 de ani viziunea marelui cibernetician Ross Ashby privind tendința generală a sistemelor cibernetice de a-și prezerva echilibrul dinamic.

În 1938, medicul român Odobleja publică la Paris „*Psihologia Consonantistă*”, un tratat de înalt nivel științific privind concepția sistemică și cibernetică asupra lumii vii și nevii care, din nefericire, a fost neglijată de o lume științifică bulversată de iminența izbucnirii celui de-al Doilea Război Mondial. Opera sa, aflată în curs de recuperare, constituie una dintre cele mai solide contribuții la apariția teoriei generale a sistemelor și ciberneticii.

1.2 Întemeietorii (1948 – 1960)

Vedem că, deja, încă înainte de 1940, condițiile de apariție a ciberneticii și teoriei generale a sistemelor erau îndeplinite. În tot mai multe discipline științifice metoda sistemică tindea să fie dominantă, iar diferite exemple de sisteme cibernetice (paradigme în sensul lui Kuhn) preocupau cele mai strălucite minți ale omenirii. A urmat perioada anilor de război care, trecând peste efectele dezastruoase pe plan material și uman, a avut rolul de factor declanșator al unor descoperiri științifice majore. Pe lângă descoperirile din fizică, matematică, chimie, medicină, ș.a., perioada menționată a contribuit major și la apariția ciberneticii.

Norbert Wiener, considerat aproape unanim fondatorul ciberneticii, era încă înainte de război, un strălucit profesor de matematică la MIT din S.U.A. Provenea

dintr-o familie evreiască germană, tatăl său fiind, de asemenea, profesor la Pinceton, dar de limbi slave. Se spune că acesta cunoștea bine peste 30 de limbi străine.

Norbert Wiener însă a avut talent de matematician, fiind declarat de contemporanii săi chiar un geniu matematic (vezi lucrarea autobiografică „*Sunt matematician*”).



Norbert Wiener

În perioada războiului, N. Wiener face parte din grupul oamenilor de știință americani pe care guvernul îi chemase să contribuie, prin ideile în descoperirile lor, la efortul de război al S.U.A. Wiener s-a ocupat de dispozitivele de ochire ale tunurilor antiaeriene, domeniu în care el credea că are mai multă experiență, deja fiind recunoscut ca matematicianul care elaborase o relație de descriere a mișcării browniene (mișcare perfect aleatoare, observată de biologul Brown la grăunțele fine de polen aflate pe suprafața apei). Procesul aleator Wiener constituie și astăzi un model util al mișcării aleatoare, utilizat, de exemplu, în finanțe.

În studiile sale legate de dispozitivele de ochire și apoi de pilotajul navelor, el descoperă că condiția de bază a unei ochiri corecte este reglarea printr-o buclă feedback, dar, spre deosebire de controlul ingineresc, el se orientează nu pe mijloacele tehnice și electrice necesare, ci asupra noțiunii fundamentale de „*mesaj*”, sau „*informație*”, cum am spune astăzi, și a modului în care aceasta este transmisă de la obiectul observat (avion) la observator (dispozitivul de ochire).

Înțelegând rolul esențial al informației în sisteme, începând cu cele tehnice și până la organizațiile umane, Wiener formulează pentru prima oară un principiu care stă la baza ciberneticii și definește legăturile profunde ale acesteia cu informația: „*cantitatea de informație dintr-un sistem este o măsură a gradului său de organizare,*

astfel că entropia unui sistem este o măsură a gradului său de dezorganizare” (1948).

Deja, la acel moment, Wiener era informat privind lucrările lui McCulloch și Pitts referitoare la rolul conexiunilor nervoase în transmiterea impulsurilor de la creier către restul organelor și a înțeles că informația reprezintă un element esențial al controlului și comunicării, indiferent de tipul de sistem avut în vedere.

Un rol important în definirea acestor idei și concepții noi l-au jucat doi colaboratori ai lui N. Wiener, **Arturo Rosenblueth** și **Julian Bigelow**, cu care acesta colaborează intens încă înainte de război. Arturo Rosenblueth, profesor de psihologie la Harvard Medical School, era interesat de transmiterea impulsurilor nervoase și de inhibiția cerebrală determinată pe această cale. Julian Bigelow, matematician ca și N. Wiener, colabora cu acesta din urmă la dezvoltarea unei teorii a predicției și la proiectarea unui calculator care să poată fi utilizat în controlul dispozitivelor de ochire ale tunurilor. O problemă cu care cei doi s-au confruntat era aceea a etapei în care în procesul de ochire se interfera omul, reprezentat de tunar, pe de o parte, și de pilotul avionului țintă, pe de altă parte. Deși foarte bine informați asupra funcțiilor de predicție, sistemelor de control și mecanismelor de ochire, cei doi s-au confruntat cu problema comportamentului voluntar al operatorilor umani. Ei ajung la concluzia că feedbackul privind erorile joacă un rol tot atât de important ca și servomecanismele care asigură ghidarea dispozitivelor de ochire. Atunci și-au pus problema dacă există bucle feedback și în sistemul nervos al omului și cum aceste bucle pot fi utilizate pentru a corecta eventualele erori înregistrate în procesul de ochire. Wiener și Bigelow îl consultă, în această privință, pe Rosenblueth.

Din colaborarea celor trei rezultă o lucrare publicată în 1943 în revista „*Philosophy of Science*”, sub titlul: „*Behaviour, purpose, and teleology*”. Principala temă dezvoltată în lucrare era o clasificare a tipurilor de comportament al sistemelor cu referire specială la conceptul de scop. Ei defineau comportamentul ca pe „*orice schimbare a unei entități în raport cu mediul său înconjurător*”, înțelegând că orice modificare a unui obiect, detectabilă extern, poate fi considerată ca și comportament. De aici apare „*metoda comportamentală*” care, aplicată unui obiect sau sistem, presupune examinarea outputului acestuia și a relației outputului cu inputul. Această metodă era opusă „*metodei analitice*”, dominantă la acea vreme în știință, prin care erau studiate cu precădere structura, proprietățile și organizarea intrinsecă a obiectului sau sistemului, și nu relațiile acestora cu mediul înconjurător.

Conform clasificării introduse în lucrarea menționată mai sus, comportamentul poate fi „*activ*”, deci obiectul însuși este sursa activității observate și „*inactiv*”, în care obiectul suportă influența mediului, iar outputul său provine doar din input. Comportamentul activ, la rândul său, se împarte în „*orientat către scop*” și „*neorientat către scop*” sau „*aleator*”. Ei consideră că o mașină este „*orientată către scop*” doar dacă are anumite condiții finale precizate către care activitatea acesteia este orientată.

Comportamentul orientat către scop era, la rândul său, clasificat în „*feedback*” sau „*teleologic*”, și „*non-feedback*” sau „*non-teleologic*”. Sistemele feedback sunt definite ca acele sisteme în care inputul este modificat de către output într-o direcție necesară pentru a reduce diferența dintre situația curentă și situația scop.

Unele mașini includ un feedback continuu al erorii de acest tip, remarcă ei. Transmiterea semnalelor de la output la input necesită timp, astfel că, uneori, direcția feedbackului se inversează (deci de la input la output) și astfel apar în comportamentul sistemului oscilații. Acesta este fenomenul care intervine frecvent atunci când în dispozitivele de ochire se interpune sistemul nervos al omului, care constituie un sistem feedback de control al erorii.

O altă distincție făcută de cei trei oameni de știință este între comportament feedback de tip „*extrapolativ*” sau „*predictiv*” și „*non-extrapolativ*” sau „*non-predictiv*”. În comportamentul extrapolativ, traiectoria țintei este anticipată și scopul este definit în raport cu poziția viitoare a acesteia. Predicția poate fi de ordinul întâi, ordinul doi sau de ordin superior. În dispozitivele de ochire, spun ei, este necesară o predicție de ordinul doi, deoarece trebuie prevăzut atât comportamentul tunarului (ochitorului) cât și al pilotului avionului ochit.

După apariția lucrării menționate, Wiener și Rosenblueth au avut ideea lansării unui program științific în care diferiți oameni de știință să abordeze aceleași probleme din perspective diferite.

În 1945, Rosenblueth devine șeful laboratoarelor de psihologie la Institutul Național de Cardiologie din Mexico City. În vara anului 1945, Wiener i se alătură pentru o perioadă de două săptămâni și cei doi colaborează în problema formulării matematice a transmiterii impulsurilor într-o rețea de elemente excitabile conectate, așa cum este mușchiul cardiac. În lucrările lor, cei doi utilizează rezultatele obținute de Warren McCulloch și Walter Pitts și raportate în lucrarea „*A Logical Calculus of*

the Ideas Immanen in Nervous Activity”, apărută în 1943, care stă la baza teoriei actuale privind rețelele neuronale și și neurociberneticii.

În vara anului 1946, Norbert Wiener se reîntoarce în Mexic, cu un grant de la Fundația Rockefeller, pentru o nouă perioadă de colaborare cu Rosenblueth. Rezultatele obținute sunt raportate la cea de-a treia întâlnire în cadrul Grupului de Conferințe Josiah Macy sub numele de „*Teleological Mechanisms*” (1948).

Conferințele Josiah Macy, Jr. au avut un rol foarte important în dezvoltarea noii științe a ciberneticii, drept pentru care trebuie descrise, mai ales că reprezentau, pentru acel timp, o noutate. Ele încercau să pună în practică ideea că descoperirile dintr-un anumit domeniu științific pot fi stimulate de cunoașterea acumulată în alte domenii, astfel că, prin eliminarea izolării și granițelor stricte între diferite științe, se puteau crea canale prin care să se obțină o diseminare și schimb de informații între oameni de știință din diferite domenii științifice.

Fundația J. Macy Jr. a încercat să promoveze această idee organizând mai multe grupuri de conferințe pe diferite teme, printre care și cele despre impulsul nervos. Pentru fiecare temă era ales un mic număr de oameni de știință care să formeze un nucleu și care includea reprezentanți ai tuturor disciplinelor științifice relevante. Erau, de asemenea invitați să participe și alți oameni de știință interesați de tema respectivă.

Un alt principiu al Fundației J. Macy Jr. era acela că discuțiile nu trebuiau urmate de elaborarea unei lucrări, acest lucru creind impresia asumării unei autorități în domeniu de către grupul respectiv. Se încurajau, în schimb, discuțiile colegiale într-o atmosferă informală. Fiecare întâlnire dura două zile și se desfășura într-un loc retras. Pentru a asigura consistența discuțiilor, zilnic erau doar doi sau trei vorbitori, iar ascultătorii erau încurajați să îi întrerupă.

Nucleul grupului care se ocupa de inhibiția cerebrală era format din **W. McCulloch**, (chairman), A. Rosenblueth, **Gregory Bateson**, L. Kubic, **Margaret Mead**, precum și din directorul medical al Fundației, Frank Fremont-Smith. Ca invitați s-au alăturat grupului N. Wiener, J. von Neumann, W. Pitts, Lorente de No ș.a.



Gregory Bateson

Prima întâlnire a grupului a avut loc în martie 1946 și a avut drept temă: *„Mecanisme feedback și sisteme circulare cauzale în sistemele biologice și sociale”*. Două alte întâlniri au avut loc tot în 1946; prima, în septembrie, cu tema *„Mecanisme teleologice în societate”*, iar a doua în octombrie despre *„Mecanisme teleologice și sisteme circulare cauzale”*, în care Rosenblueth și Wiener au descris experimentele făcute începând cu 1944 asupra mușchilor și trăsmiterii impulsurilor nervoase.

Conferințele Macy au continuat în 1947 și s-au referit tot la mecanismele teleologice, în timp ce conferințele din 1948 au abordat problemele structurii limbajului.

Deja în 1947 se poate spune că noua știință a ciberneticii era conturată. Ceea ce lipsea era numele noii discipline științifice.

Iată cum descrie chiar Norbert Wiener momentul alegerii acestui nume: *„Cu mai bine de patru ani în urmă, grupul de oameni de știință din jurul Dr-lui Rosenblueth și al meu am devenit conștienți de unitatea esențială a setului de probleme centrate pe comunicare, control), și mecanica statistică, atât la mașină cât și în țesutul viu. Pe de altă parte, eram serios împiedicați de lipsa de unitate din literatura privind aceste probleme și de absența unei terminologii comune sau chiar de un singur nume pentru acest domeniu. După multe discuții, am ajuns la concluzia că toată terminologia existentă este inadecvată pentru a servi la dezvoltarea viitoare a doemniului așa cum trebuie; și, așa cum se întâmplă deseori penintre oamenii de știință, am fost obligați să alegem o expresie artificială în limba gracă pentru a umple acest gol. Am decis să denumim întregul domeniu al teoriei controlului și comunicării, atât la mașini cât și la animale prin denumirea „Cibernetica”, care l-am format pornind de la grecescul „kybernetes” sau „cârmaci” (Wiener, 1948, p.19).*

Cibernetica a fost imediat aleasă ca denumirea pentru următoarele conferințe ale Fundației J. Macy, care au continuat în fiecare an, din 1949 până în 1953. Conținutul conferințelor din anii 1950, 1951, 1952, 1953 și 1955 a fost transcris de Heinz von Foerster și publicat de Fundația Josiah Macy, Jr.

Deoarece participanții la aceste conferințe proveneau din domenii atât de diferite, era inevitabil ca întrei ei să apară controverse. Una dintre acestea a fost cea legată de unul dintre conceptele actuale fundamentale ale științei, și anume informația. O parte dintre oamenii de știință participanți la acele conferințe aveau convingerea că buclele feedback servesc la transmiterea energiei, în timp ce N. Wiener susținea primatul informației.

În acel timp, teoria informației era în curs de elaborare, **Claude Shannon** împreună cu Denis Weaver publicând, în 1948, lucrarea sa fundamentală „*The Mathematical Theory of Communication*”, care se ocupa de modalitățile de codificare a datelor pentru a îmbunătăți acuratețea transmisiei informației. Tot el introduce bitul ca unitate fundamentală e măsură a cantității de date transmise.

O temă importantă a conferințelor a fost modul în care pot fi utilizate conceptele din teoria informației în procesul de comunicare umană. Este introdusă analogia dintre bucla feedback și canalul de informație, iar legătura inversă de la output la input este considerată ca un mesaj purtător de informație care are un triplu sens: sintactic, semantic și pragmatic. Treptat a apărut și problema stocării informației în mașinile de calcul automate.

Toate aceste teme sunt sintetizate în mod strălucit de Norbert Wiener în prima sa carte dedicată noii științe: „**Cibernetica, sau știința comenzii și comunicării la ființe și mașini**”, care apare în 1948 la editura Wiley, New York.

Cu aceasta se poate spune că epoca întemeietorilor se încheia, și începea epoca pionierilor.

1.3 Pionierii (1948 – 1960)

Deși lucrările inițiale ale Norbert Wiener până în 1948 au avut un rol esențial în crearea ciberneticii, aceasta a devenit o adevărată disciplină științifică doar ca urmare a eforturilor conjugate ale unui șir de oameni de știință care au realizat necesarele conexiuni între conceptele fundamentale, au introdus metodele noii științe și au extins domeniile de aplicare ale acesteia. Se poate afirma că „*aceste minți*

enciclopedice au deschis căi și orizonturi atât de largi încât ar fi posibil ca ele să nu fie niciodată complet explorate” (C. François, 1999, p. 208).

În 1949, **Claude Shannon** și **Denis Weaver** publică celebra lucrare „*Mathematical Theory of Communication*” prin care impun definitiv știința informației. Autorii introduc conceptul de comunicație plecând de la componentele esențiale ale acesteia: sursa, codul, mesajul, transmitătorul, semnalul, canalul și receptorul. Abordată din punct de vedere tehnic, teoria informației în viziunea lui Shannon și Weaver accentua aspectele cantitative și entropice ale informației, fără să se refere explicit, însă, la aspectele de conținut (semantice și pragmatice).

În cibernetică, însă, aceste două aspecte legate de conținutul mesajului sau comunicării sunt cele mai importante, cu toate că ele depind, într-o oarecare măsură, de conținutul sintactic ale comunicării. Prin conjuncția cu teoriei informației, apare la adevărată sa valoare conceptul fundamental de informație și rolul acesteia în sistemele cibernetice.

Rolul informației în sistemele cibernetice și modul în care aceasta determină eficiența proceselor de reglare și control sunt dezvoltate de către **W. Ross Ashby** (1956) care în lucrarea sa fundamentală „*Introduction to Cybernetics*” formulează una dintre legalitățile fundamentale ale sistemelor cibernetice, și anume Legea varietății necesare, conform căreia pentru a obține o varietate dată la ieșirea unui sistem este necesar să se asigure la intrarea sistemului respectiv o varietate cel puțin la fel de mare.



W. Ross Ashby

În 1952 tot W. Ross Ashby publicase o lucrare considerată drept punct de reper în constituirea inteligenței artificiale, și anume „*Design for a Brain*”. Dar această lucrare are o importanță foarte mare și pentru dezvoltarea actuală a Științelor Complexității, constituind o dovadă certă a genezei acestor științe din cibernetică. Ideea principală în această carte (care are un substitutul sugestiv: Originea comportamentului adaptiv) este că orice mecanism adaptiv (de la organismele foarte simple și până la organizațiile complexe) trebuie să facă două lucruri: să-și rezolve problemele de zi cu zi și, periodic, să se restructureze. În cazul unei întreprinderi productive, de exemplu, aceasta trebuie să producă în mod curent produsele sale și, periodic, să dezvolte un nou produs sau să se reorganizeze în întregime.

O astfel de organizație, care produce cu succes produsele obișnuite, dar și dezvoltă o serie de noi produse care le impune pe piață este posibil să fie adaptivă. Această concepție îl duce pe Ashby la ideea de auto-organizare și chiar formulează o legitate referitor la aceasta: „*Orice sistem dinamic determinant supus unor legi neschimbate, ea dezvoltă „organe” care sunt adaptate la mediul său înconjurător*”.

Pentru acea vreme, această concepție era prea radicală, confirmarea deplină a teoriei lui Ross Ashby venind însă după ce Științele Complexității au început să se dezvolte, deci după anul 1982.

Atingerea acestui stadiu, însă, mai avea să întârzie aproximativ două decenii, timp în care conceptele și ideile novatoare ale întemeietorilor ciberneticii au continuat să se dezvolte. În paralel cu lucrările lui Wiener, Ashby, Weaver ș.a., teoria generală a sistemelor, inițiată de **Ludwig von Bertalanffy**, încearcă să facă din sistem paradigma centrală a științei. Acest lucru era deosebit de dificil după ce știința parcursese câteva mii de ani în care accentul se punea pe părțile componente ale sistemului, pe metoda analitică de abordare a proprietăților acestora. De multe ori, Bertalanffy este comparat cu Cristofor Columb pentru descoperirea sa într-un domeniu în care nu se descoperise nimic înainte. Având ambiția să descopere „*legile izomorfe ale științei*”, Bertalanffy vedea în teoria generală a sistemelor o modalitate de a determina „*unificarea științelor*”.



Ludwig von Bertalanffy

Keneth Boulding, unul dintre primii economiști care au privit în mod sceptic bazele destul de șubrede pe care era construită teoria economică a timpului său, a încercat să reformuleze aceste baze pornind de la legitățile și principiile teoriei generale a sistemelor. Din păcate, programul său de regenerare pe baze sistemice a economiei nu a putut fi dus până la capăt, lăsând în urmă un mare hiatus și producând, în prezent, un decalaj serios în ceea ce privește dezvoltarea pe baze sistemice a economiei în raport cu alte științe.

Boulding a fost, totodată, și unul dintre primii economiști care a înțeles în mod profund raporturile de interdependență dintre sistemul economic și sistemul ecologic, militând împotriva distrugerii naturii în scopuri mercantile. Din nefericire, nici aceste lecții nu au fost înțelese de contemporani, drept pentru care ne confruntăm, după mai bine de 40 de ani, cu primejdiile pe care el le anticipa atunci când spunea că *“distrugerea naturii înseamnă distrugerea planetei deci și a întregii civilizații umane”*.

O altă direcție importantă de dezvoltare a ciberneticii și sistemicii a fost stimulată de lucrările lui **John von Neumann**, creatorul teoriei automatelor, dar și a teoriei jocurilor, a programării matematice și a altor discipline științifice. Un adevărat geniu matematic, von Neumann a creat un număr considerabil de modele conținând elemente interactive care evoluau către configurații complexe pe baza unor reguli de transformare deosebit de simple. Automatele celulare, create de von Neumann împreună cu **S. Ulam** constituie încă un obiect important de studiu pentru specialiștii din domeniile Științelor Complexității.



John von Neumann

Von Neumann a creat și conceptul de automat capabil de reproducere care utilizează principiile ciberneticii și care, mai târziu, l-au inspirat pe Maturana și Varela în crearea teoriei autopoiesisului.

H. von Foerster, unul dintre cei mai entuziaști participanți la conferințele Macy, și-a continuat cercetările științifice, încercând să dezvolte o „*cibernetică a ciberneticii*”. Cuvântul de bază era „auto” căruia i se juxtapuneau principalele concepte cibernetice. Astfel, el a încercat să definească într-un limbaj sistemic auto-comportamentul, auto-elementul, auto-procesul, auto-organizarea ș.a., fapt ce a condus la un pas important înainte în cibernetică.

Acest avans este considerat de unii autori ca o nouă cibernetică, sau o cibernetică de ordinul doi.

Gordon Pask a fost unul dintre cei care au înțeles importanța principiilor și legităților generale ale ciberneticii pentru gândirea umană și, în special, pentru cunoaștere. Științele cognitive de astăzi sunt, în cea mai mare parte, dezvoltate pe baza lucrărilor lui Pask în domeniul cunoașterii și conștiinței de tip cibernetic. Pornind de la concepția lui Wiener, de care se apropie în timpul studiilor sale medicale la Cambridge, Pask dă conștiinței o semnificație generală care asigură unitatea dintre natură și om și care se formează printr-un feedback permanent între cele două entități ce determină adaptarea uneia la alta. Apare pentru prima oară ideea, reluată și dezvoltată în anii noștri, conform căreia natura are o inteligență proprie și răspunde în mod adecvat agresiunii omului asupra ei. Mașinile de învățat, proiectele

dezvoltate de Pask au constituit un imbold în dezvoltarea inteligenței artificiale și roboticii.

În 1958 Pask produce un sistem de învățare denumit SAKI, care era, după expresia sa, o „*mașină de învățare adaptivă*”. Interesul său pentru învățarea automată a fost continuat și dezvoltat până în zilele noastre, când învățarea virtuală se dezvoltă pe baza principiilor stabilite în lucrările sale.

Remarcabilă ca deschidere și conținut de idei, conferința lui Pask, „*Mecanizarea proceselor de gândire*”, ținută de acesta la Laboratorul Național de Fizică din Londra, a adunat oameni de știință și practicieni din domeniul ciberneticii și disciplinelor asociate din toată lumea, printre care Stafford Beer, H. Von Foerster, W. McCulloch, D. Mackay, Marvin Minsky, W. Ross Ashby ș.a. Pornind de la ideile și conceptele formulate de Pask în această conferință, în diferite laboratoare științifice din lume au început programe de cercetare în domeniile învățării umane, dezvoltării simulării pe calculator și a altor modele ale proceselor de învățare, studiul interacțiunilor în grupurile sociale mici și dezvoltarea sistemelor adaptive de control care, la rândul lor, au dus la importante progrese în comunicarea de grup, învățare și rezolvarea problemelor.

Pringle în 1951 stabilise deja analogia existentă între evoluție și specializare, pe de o parte, și învățarea umană și adaptare, pe de altă parte. El dăduse un model descriptiv al creierului ca un mediu pentru evoluția unor forme de organizare din ce în ce mai complexe. La rândul său, W. Ross Ashby (1956), din perspectiva ciberneticii abstracte, arătase că evoluția unor forme mai complexe este o consecință necesară pentru un sistem format dintr-un număr relativ mare de părți componente care inițial sunt slab cuplate și cărora li se aplică o restricție (sau regulă, sau principiu de selecție).

Pask, pentru care lucrările lui Ross Ashby au constituit o sursă permanentă de inspirație, a înțeles totuși că, pentru teoria acestuia, mediul de evoluție și natura entităților evolutive sunt irelevante. Acest lucru l-a condus către o viziune cu totul particulară privind organizarea creierului, concentrată pe ceea ce el a numit mai târziu „*evoluția simbolică*” a conceptelor mentale, concepție preluată astăzi în Științele Complexității și utilizată pentru a explica apariția, dezvoltarea și dispariția modelelor mentale ale agenților.

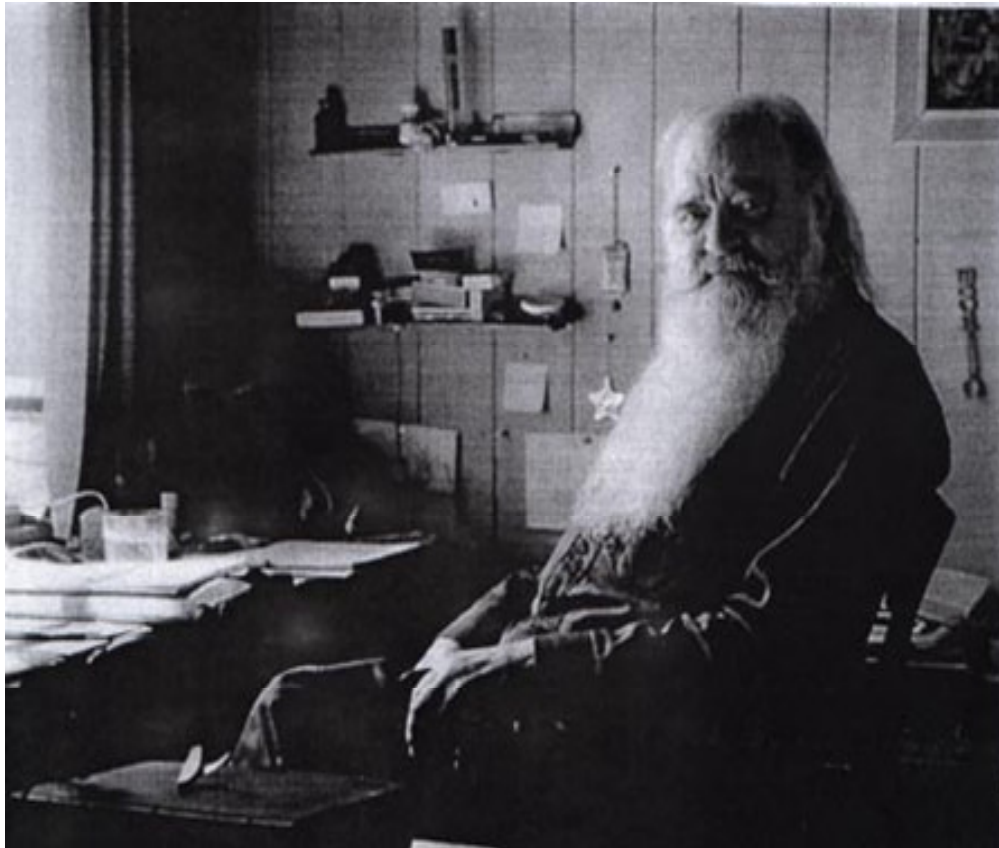
Conform acestei concepții, dezvoltată de **Stafford Beer**, părintele ciberneticii manageriale:

- există o limită a resurselor disponibile (ele pot fi conceptualizate ca „spațiu de stocare”, „energie liberă” sau „timp de prelucrare”);

- unitățile de bază sau părțile din care un sistem auto-organizator este construit sau modelat sunt ele însele chiar sisteme auto-organizatoare;

- sistemul și părțile sale sunt active.

Aceste principii se aplică oricărui tip de sistem complex, începând cu organismele vii cele mai simple și mergând până la creierul uman.



Stafford Beer

În sfârșit, un ultim nume de care vom aminti, ale cărui lucrări fac, de fapt, legătura între etapa pionierilor și cea a inovatorilor, este **Ilya Prigogine**. Opera sa are o importanță uriașă pentru înțelegerea rolului energiei și entropiei în sisteme, dar și pentru spargerea tiparelor gândirii mecaniciste, tributară modelului de dezvoltare științifică promovat în secolele XVIII și XIX. Asupra contribuțiilor sale ne vom opri mai în detaliu în capitolele următoare.



Ilya Prigogine

1.4 Inovatorii (1960 – 1985)

După contribuțiile inițiale, care au definit domeniul de studiu și metodele ciberneticii, a urmat o perioadă în care aceste metode au început să fie extinse și generalizate, tinzând treptat să înlocuiască metodele clasice utilizate în diferite științe. O dată cu acest proces de extindere, însăși cibernetica se perfecționa, înțelegându-se mai bine raporturile sale cu obiectul de studiu și rolul pe care îl are factorul uman în mecanismul feedback dintre observator și sistemul observat.

Este perioada în care se constituie cibernetica de ordinul doi, prima mare transformare pe care o suferă această știință în procesul permanent de auto-perfecționare.

În 1963 **Maruyama** introduce conceptul de „*proces causal amplificator*”, care se referă la rolul buclelor feedback pozitive în sistemele aflate în centre și competițiile cu alte sisteme din mediul înconjurător. Pentru a descrie procesul de creștere generat de buclele feedback pozitive, el folosește atât automatele celulare ale lui von Neumann cât și așa-numitul joc al vieții al lui Conway. Competiția generată între sistemele aflate în procesele de creștere pentru resursele disponibile din mediu este descrisă de Maruyama cu ajutorul ecuațiilor logistice, introduse încă din secolul al XIX-lea de Verhulst și utilizate de Lotka și Volterra în anii '20 ai secolului XX pentru a descrie competiția pradă-prădător în mediu cu resurse de hrană limitate.

Maruyama își dă seama că procesele de creștere având la bază mecanisme feedback pozitive pot fi distructive dacă nu sunt limitate, astfel încât să permită refacerea resurselor disponibile ale mediului înconjurător, drept pentru care propune încorporarea în model a unei a doua bucle feedback, bazată pe observarea stării mediului și care are rolul de a limita creșterea în condițiile în care resursele sunt pe cale de dispariție.

În 1962 apare o lucrare excepțională prin conținutul său de idei și prin consecințele pe care le-a avut asupra dezvoltării ciberneticii, dar și a altor științe. Este vorba despre „*The Architecture of Complexity*” a lui **Herbert A. Simon** (laureat al premiului Nobel pentru economie în 1978). Apare astfel în știință paradigma generală a complexității, care, douăzeci de ani mai târziu, va duce la dezvoltarea unui întreg ansamblu de discipline științifice care se ocupă de studiul complexității.



Herbert A. Simon

Ideile lui H. Simon erau, însă, prea revoluționare pentru timpul său, dar trebuie remarcat faptul că ele au încolțit tocmai în mediul creat de cibernetică și teoria sistemelor, iar intenția declarată a lui Simon a fost reformarea teoriei economice pornind de la principiile statuate de cele două științe. În lucrările sale ulterioare, Simon declară explicit că, prin introducerea complexității a încercat să teoretizeze sistemele economice percepute ca sisteme complexe, văzută de el ca o alternativă la paradigma neo-clasică a economiei.

A. Miller începe să publice în 1965 lucrările sale privind clasificarea sistemelor vii, lucrări ce s-au constituit ulterior într-o carte fundamentală pentru teoria sistemelor, și anume „*Living Systems*”, apărută în 1978. Clasificarea sa cuprinde sisteme începând de la celulă și mergând până la sistemul ecologic planetar. Fiecare dintre aceste sisteme (20 la număr) poate să aibă diferite nivele de complexitate, variind

între 1 și până la 8). Sisteme aflate pe nivele ierarhice diferite sunt, totuși, izomorfe, proprietățile sistemelor de pe nivelele superioare fiind emergente din cele ale sistemelor aflate pe nivele inferioare.

Această taxonomie generală a sistemelor introdusă de Miller este, deseori, comparată cu tabloul elementelor chimice al lui Mendeleev, poate și datorită faptului că unele dintre sistemele introduse în clasificarea lui Miller încă nu au fost descoperite, deși acest lucru ar fi posibil în viitor.

În cursul deceniului '80 al secolului trecut, **Herman Haken** a propus și dezvoltat „sinergetica”, o știință privind modul în care diferite sisteme sau părți ale acestora co-evoluază și cooperează pentru a crea o ordine nouă în aceste sisteme sau în procesele în care ele intervin. El a introdus așa-numitul „*principiu al sclaviei*”, conform căruia anumite elemente sau subsisteme devin dominante și impun celorlalte componente anumite restricții și limite în ceea ce privește funcționarea sau chiar obiectivele acestora.

Știința sinergeticii nu s-a dezvoltat pe măsura așteptărilor inițiale ale lui Haken. Sinergetica a fost totuși legătura necesară dintre termodinamică și teoria sistemelor haotice, care începea să se dezvolte puternic în anii '70 - '80.

Tot în Germania, **Eigen, Winkler și Schuster** încep, între anii 1973 – 1978, studiul comportamentelor ciclice ale sistemelor și proceselor care îi aduc relativ aproape de teoria autopoiesisului. Concepte precum hiperciclu, înțeles ca o ierarhie de procese care se includ unele pe altele, sunt puse în conexiune cu atractorii, condițiile la limită, disiparea, cataliza și autocataliza, stabilitatea structurală ș.a. Ei nu reușesc, însă, să explice suficient de bine rolul ciclicității în auto-reproducere, deci în autopoiesis.

Umberto Maturana a fost cel care a dat cea mai elaborată teorie a autopoiesisului și, împreună cu **Francesco Varela** și **Heinz von Foerster**, au determinat apariția ciberneticii de ordinul doi.



Francesco Varela

Autopoiesisul reprezintă un concept multidimensional, aplicabil tuturor categoriilor de sisteme vii, dar și celor care conțin sisteme vii (economice, sociale ș.a.). Ideea de autopoiesis apare în jurul anului 1967 ca urmare a colaborării, la Universitatea de Chile, dintre H. Maturana și F. Varela. Ei elaborează un proiect științific care urmărea să demonstreze că, la un anumit nivel și într-un anumit mod, toate sistemele vii au o organizare comună; și că aceasta este caracterizată de două proprietăți de închidere strâns dependente una de alta:

- închiderea în producție: sistemul este compus din componente care dau naștere la procese de producție care, la rândul lor, produc împreună mai mult decât acele componente luate separat.

- închiderea în spațiu: autoconstruirea unei limite între sine și ambianța în care este inclus, chiar și doar pentru a se distinge de ceilalți.

Principalul scop al teoriei autopoiesisul este să arate că organizarea autopoietică este necesară (dar nu și suficientă) pentru emergența vieții.

Însăși cibernetica a început să se transforme, apărând, la începutul anilor '70, cibernetica de ordinul doi a lui H. Maturana și F. Varela. Teoria acestora, denumită și autopoiesis, încearcă să explice esența care deosebește un organism viu de o entitate nevie. Ea sugerează că un organism viu poate fi considerat un proces circular, autocatalitic având drept scop principal propria supraviețuire. Ulterior, lucrările lui von Foerster (1995) și von Glasersfeld (1987) au evidențiat faptul că organismele vii răspund la influențele exercitate de mediul înconjurător în moduri

care determină propria lor autoorganizare internă. Deci aceste sisteme nu sunt doar autoorganizatoare, dar și autopoietice, altfel spus au capacitatea de a se reproduce. Într-un anumit sens, acest lucru duce la apariția unui feedback interior sistemului, acesta determinând organizarea și autoorganizarea, fără a fi necesar ca informația utilizată să fie furnizată din afara limitelor sistemului.

Momentul apariției autopoiesisului este foarte important deoarece la începutul anilor '70 ai secolului trecut deja din cibernetică se desprinseseră complet știința calculatoarelor și teoria controlului automat, astfel că cibernetică trebuia să-și definească un nou drum care să o deosebească de alte discipline științifice bazate mai mult pe principii și metode mecaniciste.

Mișcarea de idei care a fost declanșată de teoria autopoiesisului a lui Maturana și Varela a dus, în final, după cum am spus, la constituirea a ceea ce este astăzi denumit **cibernetica de ordinul doi**. Această concepție nouă începea de la recunoașterea faptului că cunoștințele noastre referitoare la sisteme sunt mediate de reprezentări simplificate sau modele ale acestora care nu cuprind, totuși, toate aspectele sistemului ci doar pe acelea considerate relevante pentru scopul în care este realizat acel model. Deci proprietățile sistemelor trebuie distinse de cele ale modelelor asociate lor, acestea din urmă depinzând de cei care au realizat modelele respective.

Dacă în cibernetică de ordinul întâi (a lui N. Wiener) un sistem reprezenta un obiect pasiv, datorită obiectivului care putea fi observat, studiat și pus apoi deoparte, cibernetică de ordinul doi a promovat ideea interacțiunii dintre sistemul observat și observator, deci modelul realizat de observator depinde, în ultimă instanță, de interacțiunea dintre sistem și observatorul acestuia. Observatorul ar putea fi și el un sistem cibernetic, încercând realizarea unui model al altui sistem cibernetic. Așa a apărut sintagma „*cibernetica ciberneticii*”, amintită mai sus și utilizată de H. von Foerster pentru a denumi noua cibernetică construită pornind de la ideile de mai sus.

Atunci când aceste idei teoretice s-au materializat în metode și tehnici de realizare a modelelor, s-a constatat că relația sistem-observator induce o complexitate ireductibilă atât de mare încât metodele formale, bazate pe matematică, sunt extrem de limitative.

Acesta a fost, poate, evenimentul care a declanșat dezvoltarea impetuoasă a Științelor Complexității, ale căror germeni existau deja în lucrările lui H. A. Simon încă din anii '60. Însuși Simon a fost acela care a supus unei analize critice evoluția teoriei

sistemelor și ciberneticii, dar și a inteligenței artificiale și economiei, arătând că în sistemele reale, complexitatea a fost considerată mult timp o barieră pe care cunoștințele noastre ar fi capabile să o împingă cât mai departe posibil. Această concepție este, însă, falsă deoarece complexitatea reprezintă o proprietate intrinsecă a acestor sisteme, ca orice altă proprietate. În acest context, este necesar să învățăm să operăm cu complexitatea și nu să o reducem la ceva mai simplu. „Modelarea este un mijloc principal – poate cel mai important – pentru studierea comportamentului sistemelor complexe Modelarea, atunci, necesită unele principii fundamentale pentru a opera cu această complexitate” spune H. A. Simon (1990).

Concepția sa privind complexitatea, elaborată încă din 1962 într-o lucrare considerată ca fiind actul de naștere al științelor complexității („*The Architecture of Complexity*”, apărută în *Proceedings of the American Philosophical Society* 106 (6), p. 467 – 482), se sprijinea pe patru concepte fundamentale: *ierarhie, evoluție, decompozabilitatea slabă și simplitate descriptivă*.

În concepția lui Simon, un sistem complex este format dintr-un număr mare de părți care interacționează într-un mod non-simplu, astfel că nu este posibilă reprezentarea proprietăților sistemului respectiv considerat ca un întreg. Sistemele complexe apar adeseori sub forma unei ierarhii (compuse din subsisteme care, la rândul lor, conțin alte subsisteme ș.a.m.d.) în care intensitatea interacțiunilor dintre părți poate fi corelată fie cu extinderea lor spațială, fie cu gradul de conectare comunicațională. Astfel de sisteme ierarhice pot evolua mai rapid decât o fac sistemele non-ierarhice de mărime comparabilă. (Simon utilizează un exemplu cu doi ceasornicari, dintre care unul assemblează ceasuri utilizând piesele disparate, în timp ce al doilea assemblează subansamble). Deci, existența unor forme intermediare stabile exercită o puternică influență asupra evoluției fenomenelor complexe.

Sistemele ierarhice complexe sunt aproape decompozabile (slab decompozabile) în sensul că interacțiunile dintre subsisteme sunt slabe dar nu neglijabile, fapt ce face ca comportamentul pe termen scurt al subsistemelor componente să fie aproximativ independent de comportamentul pe termen scurt al celorlalte componente. Pe termen lung, însă, comportamentul oricărei componente depinde de comportamentul celorlalte componente.

Faptul că sistemele complexe sunt ierarhice și slab decompozabile ne permite să le înțelegem mai bine, deci induce o simplificare a descrierii lor. El remarcă faptul că „*dacă o structură complexă este complet neredundantă – deci dacă nici un*

aspect al structurii sale nu trebuie să fie explicată plecând de la altele – atunci aceasta este cea mai simplă descriere posibilă” (Simon, 1962). O astfel de structură este greu de obținut, dar cele utilizate efectiv pot fi mai simple decât în cazul în care nu s-ar lua în considerare structura ierarhizată a sistemului și descompunerea slabă a acestuia. Astfel de descrieri pot fi reprezentate de modele ale sistemelor complexe bazate pe concepte cum ar fi: starea, procesul sau regulile de tranziție ale stărilor.

Această ultimă remarcă a lui H. Simon este făcută în contextul în care modelele bazate pe ecuații, în special ecuații diferențiale sau diferențe finite, căpătaseră o mare dezvoltare. Ulterior, s-a arătat că astfel de modele nu simplifică descrierea, ci înlocuiesc un tip de evoluție cu altul. De multe ori, o astfel de substituție este reduționistă, iar aceasta înseamnă că se renunța la reprezentarea unor proprietăți ale sistemelor complexe modelate, în schimbul obținerii unei simplități în reprezentare.

Începând cu anii '80, teoria sistemelor complexe, fondată pe lucrările lui Herbert Simon, s-a dezvoltat treptat, ducând la apariția Științelor Complexității.

1.5 Apariția și dezvoltarea Științelor Complexității

Atât conceptul de complexitate cât și Științele Complexității au o lungă și complicată istorie care trebuie cunoscută înainte de a putea decide dacă ele reprezintă o speranță certă pentru știința tradițională în general și științele economice în particular. Plexus înseamnă, în latină, împletit, încolăcit, din care derivă și cuvântul complexus, cu sensul de împletit împreună. Complexitatea presupune, deci, în primul rând, o multitudine de elemente, procese sau fenomene care sunt interdependente și interconectate în cadrul unui sistem sau între un sistem și mediul său înconjurător.

Într-un sistem complex, interdependența și conectivitatea apar în mod natural, fiind rezultatul scopului sau obiectivului comun al părților și elementelor sale, indiferent de nivelul la care acesta există (micro sau macro), de dimensiunile sale (sistem de dimensiuni mici sau mari) sau de orizontul de timp la care acesta se raportează (termen scurt, mediu sau lung).

Conectivitatea și interdependența, multidimensionalitatea și dinamismul sunt caracteristici „genetice” ale sistemelor complexe, indiferent de natura lor substanțială sau abstractă, de consistența sau inconsistența componentelor sale și de obiectivele sau funcțiile îndeplinite de acestea.

Dar ceea ce determină, după părerea noastră, interesul științific major pentru studiul sistemelor complexe constă mai mult în capacitatea acestora de a se adapta la mediu și a evolua până acolo încât să creeze o nouă coerență și ordine între componentele sale sau între sistem și mediu, proprietate denumită co-evoluție.

Un sistem complex capabil de adaptare și co-evoluție se mai numește Sistem Adaptiv Complex și reprezintă obiectul de studiu al Științelor Complexității sau, cel puțin, a unei mari părți a acestora.

Dacă până la jumătatea anilor 80 ai secolului XX, științele complexității și conceptul de bază al acestora, sistemul adaptiv complex erau privite cu rezervă de știința oficială, un șir de oameni și evenimente remarcabile au contribuit decisiv la afirmarea și dezvoltarea explozivă a unui domeniu științific considerat de către unii autori ca fiind definitorii pentru știința secolului XXI.

Unul dintre marii savanți ai zilelor noastre, Stuart Kauffman, co-fondator al științelor complexității, spunea: *“Știința secolului al XVIII-lea, urmând revoluției newtoniene, a fost caracterizată ca fiind dominată de conceptele simplității organizate, știința secolului XIX, via mecanica statică, s-a concentrat pe complexitatea dezorganizată, iar știința secolului XX și a secolului XXI se confruntă cu complexitatea organizată.”* (Kauffman, 1993).

Cu toată această evoluție spectaculoasă, nu putem spune astăzi cu certitudine că există o singură Știință a Complexității, ci mai multe teorii ce provin din zone diferite ale științei, dar care au în comun faptul că abordează, din unghiuri de vedere diferite și cu metode distincte, sistemul adaptiv complex.

Deși nu toți contributorii la această întreprindere științifică recunosc acest lucru în mod explicit, filiația Științelor Complexității se regăsește clar în Teoria Generală a Sistemelor, dezvoltată de Ludwig von Bertalanffy în anii '40 și în cibernetica de ordinul întâi a lui Norbert Wiener, apărută în anul 1948.

Von Bertalanffy descria Teoria Generală a Sistemelor ca pe o știință a întregului, în care *„întregul reprezintă mai mult decât suma părților sale”*. Tot el are, pentru acea vreme, o viziune științifică extrem de actuală: *„Entități de un nou tip esențial populează sfera gândirii științifice. Știința clasică, prin diversele sale discipline cum ar fi chimia, biologia, psihologia sau științele sociale, încearcă să izoleze elementele universului observat – componente chimice și enzime, celule, senzații elementare, indivizi concurând liber, și așteaptă ca, punându-le împreună din*

nou, conceptual sau experimental, întregul sau sistemul – celulă, organismul, societatea care rezultă – ar fi și inteligibil. Acum am învățat că pentru a înțelege sistemul nu doar elementele, dar și interacțiunile dintre ele trebuie studiate” (L. von Bertalanffy, 1968).

Oamenii de știință cum au fost James G. Miller, Anatol Rapoport, Keneth Boulding, John Platt., Richard L. Meier, Margaret Mead ș.a. au contribuit ulterior la dezvoltarea Teoriei Generale a Sistemelor.

Un impuls decisiv l-a dat acestei teorii apariția și dezvoltarea pe principii sistemice a ciberneticii de ordinul întâi a lui Norbert Wiener.

Cibernetica, așa cum s-a dezvoltat ea în faza inițială, care se întinde până prin anii '60 ai secolului trecut, se ocupă de sistemele cu bucle feedback, deci de acele sisteme care conțin mecanisme capabile să influențeze intrările în vederea atingerii unor ieșiri dorite. Desigur că astfel de sisteme pot fi atât simple, cât și complexe, dar existența buclilor feedback constituie astăzi, în unele concepții privind complexitatea, o condiție necesară a existenței sistemelor complexe.

Din Teoria Generală a Sistemelor și cibernetică s-au desprins ulterior unele dintre noile științe care au marcat decisiv drumul către apariția Științelor Complexității, cum ar fi: *inteligenta artificială* (Simon și Newell), *dinamica sistemelor* (Forrester), *sinergetica* (Haken), *teoria catastrofelor* (Thom), *teoria sistemelor vagi* (Zadeh) ș.a., fiecare dintre acestea dezvoltând cunoștințele despre sistemele complexe dintr-un anumit punct de vedere sau într-o anumită direcție.

Începând cu anii '80 începe constituirea Științelor Complexității pe baza științifică pusă deja de Teoria Generală a Sistemelor, cibernetică și de alte discipline științifice „sistemice”, care au abordat același obiect de studiu, și anume sistemul complex.

E. Milerton-Kelly (2003) distinge, într-o retrospectivă privind dezvoltarea Științelor Complexității, cel puțin cinci componente importante:

i) concepția despre sistemul adaptiv complex și complexitate dezvoltată la Institutul Santa Fe (S.U.A.) prin lucrările lui S. Kauffman (1993, 1995, 2000), J. Holland (1995, 1998), Chris Langton și Murray Gell-Mann (1994);

ii) concepția lui Axelrod privind complexitate și cooperare în procesele de adaptare și autoorganizare (Axelrod (1990, 1997), Axelrod și Cóhen (2000));

iii) modelarea și simularea pe calculator a complexității (Casti (1997), Bonabeau ș.a. (1999), Epstein și Axtel (1996), Ferber (1999));

iii) concepția privind structurile disipative și sistemele care funcționează departe de echilibru (Prigogine și Stengers (1985), Nicolis și Prigogine (1989)); sistemele autopoietice și cibernetica de ordinul doi (Maturana și Varela (1992), N. Luhman (1995));

iv) teoria haosului și sistemelor haotice (Gleick (1987)); și, în sfârșit,

v) complexitatea economică și profitul crescător (W.B. Arthur (1990, 1995, 2000)).

Un moment distinct îl reprezintă și prima încercare de unificare a diferitelor științe ale complexității, întreprinsă de St. Wolfram, care publică o lucrare voluminoasă, intitulată „*A New Kind of Science*”, în care se includ diferitele tendințe apărute până în anul 2000 în acest domeniu, fără însă a reuși până acum să creeze o teorie unificatoare acceptată de toți cei care, într-un fel sau altul, abordează sistemul adaptiv complex.

1.6 Ce implicații au Științele Complexității asupra teoriei economice

Pentru a putea face o evaluare corectă a progresului înregistrat în teoria economică în urma utilizării paradigmei complexității și conceptelor încorporate Științelor Complexității trebuie să pornim de la ipotezele și concepțiile neadecvate care stau la baza economiilor neoclasice.

Într-o lucrare a grupului de la Santa Fe, Arthur, Durlauf și Lane (1997) sintetizează cel puțin șase motive pentru care teoria economică actuală ar trebui schimbată. Aceste motive sunt formulate în mod pozitiv, în sensul că ele reprezintă proprietăți ale sistemelor economice care nu sunt luate în considerare de teoria economică actuală, dar care ar putea fi încorporate, în condițiile fundamentării acestora pe principiile sistemelor adaptive complexe. Aceste motive sunt următoarele:

1) Comportamentul economiei este determinat de interacțiunea și conectivitatea dintre o multitudine de agenți distribuiți și eterogeni (gospodării, firme, bănci, agenții ale statului ș.a.);

2) Economia nu are un organism de control global, ci este controlată prin mecanismele de competiție și cooperare care se creează între agenți;

3) Economia are o organizare de tip ierarhic încrucișat și chiar recursiv. Unitățile (elementele) de la un nivel includ agenți și interacțiuni care sunt componente (unități) ale nivelului următor;

4) Economia se află într-o stare de continuă adaptare, agenții modificându-și permanent comportamentul și produsele;

5) Există o noutate permanentă determinată de apariția de noi piețe, tehnologii, comportamente și instituții;

6) Acești factori produc dinamici departe-de-echilibru, datorită cărora economia nu se află niciodată la echilibru sau într-un optim global. Noi îmbunătățiri și oportunități sunt întotdeauna prezente.

Economia precum și diferite componente ale acesteia au toate caracteristicile unui sistem adaptiv complex. Este o concluzie care poate avea consecințe profunde asupra teoriei economice, dar care nu a fost și nu este acceptată cu prea multă ușurință. Dar știința economică nu se află la primul eveniment de acest fel. Trebuie reamintită opoziția îndârjită a economiștilor clasici, în frunte cu A. Marchall, atunci când a fost formulată concepția keynesiană, ce urma apoi să domine gândirea economică până la apariția monetarismului în anii '60 și care încă, în diverse forme, constituie o concepție economică dominantă. Numai succesul pe care l-au avut politicile macroeconomice intervenționiste, recomandate de Keynes pentru scoaterea economiilor țărilor dezvoltate din criza declanșată de consecințele primului război mondial, a reprezentat punctul critic al acceptării noii teorii.

Criza actuală din economie este, poate, mult mai profundă, deși cauzele sunt diferite. După cum atrage atenția pe bună dreptate Fritjof Capra: *„Câteva decenii după al II-lea Război Mondial, modelul keynesian al economiei capitaliste, bazat pe un contract social între capital și muncă și pe reglajul fin al ciclurilor de afaceri din economia națională prin măsuri centralizatoare-mărirea sau micșorarea ratei dobânzilor, reducerea sau sporirea impozitelor etc. a avut un succes remarcabil, aducând prosperitate economică și stabilitate socială pentru majoritatea țărilor având economii de piață mixte. În anii '70 însă, modelul și-a atins limitele conceptuale.”* (F. Capra, 2004).

Deși mulți economiști recunosc, explicit sau implicit, acest lucru, nu se poate spune că ideile și concepțiile despre o nouă economie sunt prea numeroase.

Întrebarea care se pune este dacă teoriile privind sistemul adaptiv complex, dezvoltate până în prezent, pot oferi un fundament teoretic solid pentru elaborarea

unei noi teorii economice, adecvată proceselor de rapidă schimbare a relațiilor de producție și sociale la care asistăm în prezent. Tot F. Capra spunea: *„Noua economie constă dintr-o meta-rețea globală de interacțiuni tehnologice și umane complexe, implicând multiple bucle de feed-back care operează departe de echilibru și produc o diversitate nesfârșită de fenomene emergente. Creativitatea, adaptabilitatea și capacitățile sale cognitive amintesc fără îndoială de rețelele vii, dar ea nu prezintă stabilitatea care este una dintre proprietățile cheie ale vieții. Circuitele de informație ale economiei globale operează la o asemenea viteză și folosesc o asemenea multitudine de surse încât trebuie să reacționeze constant la un torent de informații, iar sistemul ca întreg ajunge să scape de sub control.”* (F. Capra, op. cit.).

Nici nu se poate o descriere sintetică mai bună a economiei globale actuale, la care trebuie adăugate însă elementele de impredictibil și haos care pot oricând să se transforme în crize și catastrofe majore, cu efecte în lanț asupra tuturor economiilor naționale.

Din această perspectivă, concepțiile economice actuale, cu toate încercările de modernizare a lor, anunțate de prefixul „*neo*”, nu sunt decât palide încercări de a surprinde o realitate care este prea dinamică și complicată pentru a încăpea în niște scheme și modele rigide, de multe ori statice și complet lipsite de imaginație.

Cu toate acestea, nu putem afirma că Științele Complexității pot acum să-și asume pe deplin sarcina de a descrie și interpreta procesele și fenomenele economice. Ceea ce le lipsește este o metodologie unitară, acceptată în toate domeniile științifice care se ocupă de sistemul adaptiv complex, metodologie de la care să se înceapă adevărata reconstrucție a teoriei economice a viitorului. Încercări în acest sens au început să apară; vezi, de exemplu, lucrarea „*A New Kind of Science*” a lui Stephan Wolfram, apărută în 2002, dar, după cum am mai spus, aceasta încă nu a reușit să câștige o apreciere unanimă, cu toate eforturile întreprinse de autor.

O altă încercare o constituie elaborarea ciberneticii de ordinul trei, proces început după anul 2000 de o serie de oameni de știință (S. Umpleby, F. Heylighen, F. Geyer, C. Joslyn, ș.a.), care are ca principal obiectiv realizarea unei sinteze dintre principiile ciberneticii și noile teorii ale complexității, știind faptul că sistemele adaptive complexe sunt și sisteme cibernetice. S. Umpleby, unul dintre primii cercetători care au formulat clar deosebiriile dintre această cibernetică, denumită de el și cibernetica socială, și cibernetica de ordinul întâi (inginerească), respectiv

cibernetica de ordinul doi (biologică, evoluționistă) afirma: „Când teoriile despre fenomenele fizice se schimbă, presupunem că fenomenele însele nu se schimbă. De exemplu, când fizicienii își schimbă concepția trecând de la mecanica newtoniană clasică la mecanica cuantică, comportamentul atomilor nu se schimbă. Dar, când teoriile despre sistemele sociale se schimbă, sistemele sociale funcționează diferit. De exemplu, teoriile lui Adam Smith, Karl Marx, John Maynard Keynes și Milton Friedman au schimbat modul în care funcționează sistemele sociale. Deci, în sistemele sociale există o circularitate sau un dialog între teorii și fenomene.” (Umpleby, 2001).

Deci cibernetica de ordinul trei (sociocibernetica) creează cunoaștere pentru ca aceasta să poată fi utilizată în vederea atingerii unor scopuri umane. Teoriile și ideile sociale, care le includ și pe cele economice, nu reprezintă altceva decât instrumente și mijloace ale schimbării și transformării sociale. Dacă vrei să perfecționezi un sistem social, de exemplu o firmă, atunci elaborezi o teorie mai bună asupra modului în care ar trebui să funcționeze firma respectivă, după care transformi firma în concordanță cu teoria sau modelul respectiv.

Deși o astfel de întreprindere pare logică, noile teorii și idei elaborate sunt supuse unor restricții și limitări puternice (legale, materiale, umane, dar și inerțiale), care tind să preserveze vechea structură, vechile idei și concepte, chiar dacă acestea sunt, în mod evident, depășite. Din această cauză, apare o circularitate, un feedback între teorie și sistemul social, care duce la modificare treptată a teoriei, dar și a sistemului social, în acord cu teoria perfecționată. Treptat, prin acest proces circular, se ajunge la un nou sistem social care corespunde mai bine scopurilor urmărite.

În acest fel, nu numai realitatea economică, dar și teoriile și modelele care încearcă să interpreteze această realitate ar fi într-o continuă transformare și perfecționare. Am avea, de fapt, *două sisteme adaptive complexe, unul real iar celălalt conceptual (virtual)*, care se influențează și intercondiționează pe măsură ce evoluează într-un mediu complex. Evident că o astfel de evoluție a științelor complexității nu reprezintă decât o ipoteză ce poate sau nu să devină reală. Dezvoltarea sistemului adaptiv complex pe care îl reprezintă știința în general, și știința economică în particular va arăta, mai devreme sau mai târziu, dacă ipoteza formulată este adevărată.

1.7 Cibernetica și Științele Complexității – către o nouă sinteză

Se acceptă astăzi tot mai mult ideea că cibernetica nu este o singură știință, ci o metaștiință, din care a decurs grup de discipline științifice interdependente care au ca obiect comun de studiu sistemele complexe.

Stuart Kaufman a denumit această mulțime de discipline **științele complexității**, prevăzându-le totodată un rol dominant în evoluția științei secolului XXI. El afirma: “secolul XXI va fi secolul științelor despre complexitatea organizată” (S. Kaufman, 1993). Desigur că se referea la complexitatea organizată despre care vorbea Herbert Simon (1983), dezvoltând o idee a lui Denis Weaver introdusă în urmă cu 20 de ani.

Care sunt aceste științe ale complexității ce își revendică, explicit sau implicit, rădăcinile din cibernetică și Teoria Generală a Sistemelor a lui von Bertalanffy? O listă provizorie a lor este dată în Tabelul 1. De ce provizorie? Deoarece procesul de constituire a lor este în plină desfășurare și ne putem aștepta, an de an, la noi și noi intrări de discipline, la fenomene de grupare sau chiar de dispariție a unora dintre ele. Deci avem de-a face cu o listă deschisă și, chiar mai mult decât atât, cu o nouă sinteză a disciplinelor științifice derivând din cibernetică și TGS.

Tabelul 1.1

| Nr. Crt. | DENUMIREA DISCIPLINEI | CONTINUT ȘTIINȚIFIC | OAMENI DE ȘTIINȚĂ FONDATORI | SINTEZA MULTI- DISCIPLINAR Ă |
|---------------------|----------------------------------|--|--|--|
| 1. | Algoritmi Genetici | <i>Studiul utilizării unor programe de calcul bazate pe principiile adoptate din genetică (reproducere, mutație, selecție ș.a.) în vederea optimizării sau modelării sistemelor complexe</i> | <i>John Holland</i> | <i>-Teoria sistemelor adaptive.</i> |
| 2. | A-Life | <i>Studiul vieții ca patern utilizând automatele celulare în scopul construirii structurilor autoorganizatoare din cadrul sistemelor complexe</i> | <i>Chris Langton</i> | <i>-Inteligența artificială; -Rețele booleene.</i> |
| 3. | Autopoiesis | <i>Teoria asupra esenței care deosebește un organism viu de o entitate nevie. Ea sugerează că un organism viu poate fi interpretat ca un proces circular, autocatalitic având ca principal scop propria supraviețuire. Astfel, fenomenul de autoorganizare poate fi înțeles în termeni autopoietici. Teoria accentuează faptul că "închiderea" circulară a organismelor vii poate fi privită ca un "remediu" pentru accentul pus pe "deschidere" în teoria sistemelor deschise</i> | <i>H. Maturana F. Varela</i> | <i>-Biologia evoluționistă; -Teoria sistemelor adaptive.</i> |

Capitolul 1 – Apariția și dezvoltarea ciberneticii. Obiectul și metodele ciberneticii economice

| | | | | |
|----|--------------------------------------|--|---------------------------------------|---|
| 4. | Biologia evoluționistă | <i>Teoria biologică a evoluției dezvoltată inițial de Charles Darwin, care studiază evoluția speciilor (aparitia și disparitia acestora) prin mecanismul mutației aleatoare și selecției naturale. Ea a constituit baza pentru înțelegerea noastră privind modul în care schimbările în organismele vii conduc la adaptarea lor la mediu</i> | Ch. Darwin J. Monod St. Kaufman | -Algoritmi genetici; -Teoria sistemelor adaptive -Teoria haosului |
| 5. | Criticalitatea autoorganizată | <i>Teoria schimbărilor naturale abrupte care privește sistemele ca evoluând natural, într-o manieră autoorganizatoare, către o stare critică la care poate să apară o schimbare bruscă (de exemplu cutremure, avalanșe, crize financiare profunde ș.a.). Considerate ca fiind "slab haotice", astfel de sisteme au fost opuse unora denumite "puternic" haotice.</i> | Per Bak Chao Tang | -Teoria haosului |
| 6. | Dinamica Sistemelor | <i>Teorie și metodă de studiu a dinamicii sistemelor înțeleasă ca rezultatul unei rețele de bucle feedback pozitive și negative interconectate. Permițând reprezentarea prin diagrame a sistemelor dinamice de natură diferită (firme, piețe, sisteme ecologice ș.a.), ea ajută la identificare modului în care schimbări în anumite subsisteme sau părți ale acestora vor afecta alte subsisteme sau întregul sistem.</i> | J. Forrester | -Teoria sistemelor adaptive -Teoria sistemelor departe-de-echilibru. |
| 7. | Geometria fractală | <i>Teoria privind reprezentarea obiectelor având dimensiuni fracționare și nu întregi, ca în geometria euclidiană. Dimensiunea fractală este o modalitate de a măsura complexitatea unui sistem dinamic și de a reprezenta atractorii stranii din cadrul acestuia</i> | Benoit Mandelbrot | -Teoria haosului. |
| 8. | Inteligența artificială | <i>Teoria privind construirea de mașini dotate cu inteligență</i> | Marvin Minsky Herbert Simon | -Teoria Informației; |

Capitolul 1 – Apariția și dezvoltarea ciberneticii. Obiectul și metodele ciberneticii economice

| | | | | |
|-----|---|--|------------------------------------|--|
| | | | | -Teoria complexității algoritmice; -Teoria computațională |
| 9. | Rețelele booleene | <i>Teoria privind modul de construire și proprietățile unor rețele ale căror noduri sunt conectate cu alte noduri pe baza anumitor reguli logice sau booleene. Ele pot fi utilizate pentru a studia procesele autoorganizatoare și emergența acestora către structuri noi, neprevăzute. Modelele rețelelor booleene neuronale sunt utilizate pentru a genera așa-numitele "fitness landscapes" (peisaje fitness) care sunt reprezentări grafice ale valorilor unor funcții de fitness la diferite modificări ale mediului.</i> | Stuart Kaufman | -Rețele neuronale; -Algoritmi genetici. |
| 10. | Rețelele neuronale | <i>Teoria privind construirea de automate electronice și algoritmi care simulează funcționarea neuronilor. Schimbând regulile de interacțiune dintre neuroni într-o astfel de rețea se poate ajunge la comportamente emergente interesante care explică procesele de învățare și auto-organizare</i> | J.J. Hopfield | -Algoritmi genetici; -Inteligența artificială. |
| 11. | Sinergetica | <i>Studiul sistemelor și proceselor auto-organizatoare, care ia în considerare parametrii de ordine ai acestora, începând cu componentele de la nivelul de bază și până la cele aflate la nivelele superioare ale unor structuri emergente</i> | Herman Haken | -Teoria catastrofelor; -Teoria haosului. |
| 12. | Teoria calculului emergent | <i>Studiul capacității computaționale a structurilor emergente din cadrul sistemelor auto-organizatoare</i> | J. Crutchfield Melanie Mitchell | -Teoria computațională (calculului) |
| 13. | Teoria calculului (computațională) | <i>Studiul funcționării, capacităților și limitelor calculatoarelor. Abordează natura algoritmilor, limbajele de programare și aplicabilitatea diferitelor tipuri de calcul la rezolvarea unor probleme dificile din matematică, fizică și alte domenii științifice</i> | Alan Turing John von Neumann | -Inteligența artificială; -Algoritmi genetici. |

Capitolul 1 – Apariția și dezvoltarea ciberneticii. Obiectul și metodele ciberneticii economice

| | | | | |
|-----|---|---|---------------------------------|--|
| 14. | Teoria catastrofelor | <i>Teoria matematică a schimbărilor discontinue în evoluția unui sistem modelat prin ecuații structurale. Catastrofele apar ca fiind determinate de parametri de control a căror schimbare conduce de la schimbări lente pentru valori mici la schimbări abrupte la valori critice mari. Ele indică punctele de bifurcație din sistemele dinamice</i> | Rene Thom | -Teoria haosului; -Teoria sistemelor evolutive. |
| 15. | Teoria complexității algoritmice | <i>Studiul măsurării complexității unui algoritm de calcul sau program de calculator utilizând concepte ale teoriei informației</i> | G. Chaitin | -Teoria calculului; -Teoria calculului emergent. |
| 16. | Teoria haosului | <i>Studiul sistemelor dinamice caracterizate de sensibilitate la condițiile inițiale. Sistemele haotice sunt sisteme neliniare, interactive, având diferite tipuri de relații feedback între componente sau procese. Ele încep cu a fi deterministe, dar schimbări ale parametrilor lor de control conduc la apariția haosului</i> | Edward Lorenz | -Teoria catastrofelor; -Teoria sistemelor adaptive; -Teoria sistemelor dinamice; -Geometria fractală. |
| 17. | Teoria informației | <i>Teorie matematică privind măsurarea cantității de informație pe care canalele de comunicație o poate conține. Informația este privită ca varietatea opusă redundanței, capabilă să fie transmisă electronic. Multe dintre sistemele complexe pot fi interpretate ca mecanisme de prelucrare a informației</i> | Claude Shannon A. Kolmogorov | -Teoria calculului; -Teoria complexității algoritmice; -Inteligența |

Capitolul 1 – Apariția și dezvoltarea ciberneticii. Obiectul și metodele ciberneticii economice

| | | | | |
|-----|-----------------------------------|--|--|---|
| | | | | <p>artificială;</p> <p>-Rețelele booleene;</p> <p>-Rețelele neuronale.</p> |
| 18. | Teoria jocurilor | <p>Teorie matematică a rezultatelor care se pot obține când doi sau mai mulți jucători sunt angajați într-un comportament cooperativ sau necooperativ conform unor reguli stabilite</p> | <p>John von Neumann</p> <p>Oskar Morgenstern</p> | <p>-Teoria informației</p> |
| 19. | Teoria sistemelor adaptive | <p>Studiul sistemelor complexe, neliniare, interactive care au capacitatea de a se adapta la un mediu în schimbare. Sistemele adaptive sunt caracterizate de un anumit potențial de auto-organizare și pot exista în medii neechilibrate datorită transformărilor continue pe care le suferă modelele lor interne relative la mediu.</p> | <p>Murray Gellmann</p> <p>Brian Arthur</p> | <p>-Biologia evoluționistă;</p> <p>-Inteligența artificială;</p> <p>-Teoria sistemelor evolutive;</p> <p>-Criticalitatea auto-organizată.</p> |
| 20. | Teoria sistemelor dinamice | <p>Disciplină care studiază evoluția în timp a sistemelor descrise de ecuații diferențiale. Sistemele dinamice sunt, de obicei, considerate sisteme deterministe, deși pot fi influențate de evenimente aleatoare.</p> | <p>Henri Poincare</p> <p>Steve Smale</p> | <p>-Teoria haosului;</p> <p>-Teoria catastrofelor;</p> <p>-Teoria sistemelor adaptive;</p> |

Capitolul 1 – Apariția și dezvoltarea ciberneticii. Obiectul și metodele ciberneticii economice

| | | | | |
|-----|---|--|------------------------------------|--|
| | | | | -Sinergetica. |
| 21. | Teoria sistemelor evolutive | <i>Studiul sistemelor complexe utilizând principiile și legile biologiei evoluționiste</i> | Ervin Laszlo | -Teoria sistemelor adaptive; -Biologia evoluționistă; -Teoria sistemelor departe-de-echilibru. |
| 22. | Teoria sistemelor departe-de-echilibru | <i>Studiul proceselor și sistemelor auto-organizatoare dintr-o perspectivă termodinamică. Sistemele auto-organizatoare sunt denumite structuri disipative și ele au tendința de a se opune, prin modificări de structură sau prin schimbul informațional cu mediul, efectelor pe care le are creșterea entropiei</i> | Ilya Prigogine Gregoire Nicolis | -Teoria sistemelor dinamice; -Teoria sistemelor evolutive; -Teoria catastrofelor. |

Ceea ce unește aceste discipline, în afara originii lor comune, este obiectul de studiu, sistemul complex, abordat însă cu metode diferite, din unghiuri de vedere diferite, în scopuri diferite.

Nu știm cât va dura acest proces de sinteză și unde va ajunge el. Dar deja implicațiile pentru dezvoltarea în continuare a ciberneticii sunt imense. Atât de mari încât, poate, însăși definiția dată de Norbert Wiener ar trebui schimbată. Cu toate că, după aprecierea noastră, chiar și această definiție a fost incomplet înțeleasă și exploatată științific, mai ales partea a doua a ei referitoare la comunicarea la ființe și mașini.

1.8 Spre o cibernetică de ordinul trei

Stuart Umpleby (2001) vorbește despre “cibernetica de ordinul trei” ca despre o cibernetică societală (ce nu trebuie confundată cu cibernetica socială a lui Georg Klaus), sau o cibernetică a sistemelor conceptuale. Principala sa trăsătură distinctivă ar fi feedback-ul dintre teorie și organizarea socială, astfel încât, prin perfecționarea conceptelor teoretice, să ajungem la însăși schimbarea societății.

Saltul pe care l-ar realiza știința, în general, ar fi imens, cu consecințe greu de anticipat acum. Ea ar depăși starea descriptivă și interpretativă actuală și ar deveni într-adevăr ceea ce Marx anticipa: o forță de producție a societății, capabilă să se transforme pe sine, dar să transforme și societatea care îi dă naștere. În acest fel, cibernetica și-ar putea realiza pe deplin rolul său creator, întrevăzut deja de Norbert Wiener în “Dumnezeu și Golem”.

Pentru a ajunge la un astfel de rezultat este necesară însă parcurgerea unei etape de clarificare a raporturilor dintre diferitele științe ale complexității dintre care, probabil câteva vor dispărea, se vor adăuga altele, iar unele dintre ele se vor maturiza și vor rămâne stabile și în continuare.

Intrebarea care se pune imediat este dacă este posibilă acum apariția unei teorii generale a complexității. Cei mai mulți oameni de știință cred că nu este posibilă, cel puțin pe un termen previzibil, realizarea unei singure teorii care să explice și să anticipeze toate aspectele privind sistemele complexe din natură și societate. Cu

toate acestea, așa cum afirmă Melanie Mitchell (1997) este posibilă apariția unor noi teorii care să explice emergența structurilor de prelucrare a informației de la metanivel din componente interactive aflate la micronivel. Aceste ar putea explicita condițiile în care apar diferitele tipuri de structuri în sistemele complexe precum și rolul acestora în comportamentul global al sistemelor.

O primă concluzie care se impune este aceea că, în ceea ce privește sinteza dintre cibernetică și noile teorii ale complexității, nu ne aflăm la sfârșitul acestui proces ci abia la începutul său.

Dar este necesară oare o astfel de metaștiință a sistemelor complexe? Dacă analizăm atent conținutul și dezvoltarea actuală a științelor complexității, observăm că ele dervă, într-o măsură mai mare sau mai mică, din cibernetică și teoria generală a sistemelor. Evident că unele dintre ele au o filogenie mai complicată, trecând prin inteligența artificială, știința calculatoarelor sau chiar matematică. Acest lucru nu schimbă, însă, cu nimic originea lor comună, observabilă atât în obiectul de studiu, sistemul complex, cât și în ontologia fiecărei discipline.

Problema care se pune este dacă sistemele complexe sunt sisteme cibernetice, sau mai bine zis, sunt și sisteme cibernetice. O astfel de concluzie ar duce imediat la ideea că rolul de metaștiință l-au îndeplinit, în toată perioada lor de dezvoltare și probabil că îl vor mai îndeplini mult timp de acum înainte, cibernetică și teoria generală a sistemelor, structurate într-o nouă știință, deja denumită "cibernetică de ordinul trei".

Înainte de a încerca o tentativă de a rezolva o astfel de problemă, să precizăm că cibernetică de ordinul trei, dezvoltată practic în ultimul deceniu al secolului XX, este cibernetică cu impact social, sau cibernetică a sistemelor conceptuale. Plecând de la constatarea că sistemele sociale reprezintă ceva diferit de sistemele fizice, Umpleby, principalul promotor al unei astfel de concepții, spunea: "Când teoriile despre fenomenele fizice se schimbă, presupunem că fenomenele însele nu se schimbă. De exemplu, când fizicienii și-au schimbat concepția trecând de la mecanica newtoniană clasică la mecanica cuantică, comportamentul atomilor nu s-a schimbat. Dar, când teoriile despre sistemele sociale se schimbă, sistemele sociale funcționează diferit. De exemplu, teoriile lui Adam Smith, Karl Marx, John Maynard Keynes și Milton Friedman au schimbat modul în care funcționează sistemele sociale. Deci, în

sistemele sociale există o circularitate sau un dialog între teorii și fenomene” (Umpleby, 2001).

Dar să vedem mai concret în ce ar consta această nouă cibernetică socială. Cel mai bine se poate observa diferența dintre vechile concepții cibernetice (cibernetica de ordinul întâi și de ordinul doi) și această nouă cibernetică apelând la un tablou comparativ ca cel din Tabelul 2.

Tabelul 1.2

| | Cibernetica inginerească | Cibernetica biologică | Cibernetica socială |
|-----------------------------------|---|--|---|
| <i>Perspectiva epistemologică</i> | <i>O perspectivă epistemologică realistă: “cunoașterea este o imagine a realității”</i> | <i>O perspectivă epistemologică biologică: modul în care funcționează creierul</i> | <i>O perspectivă epistemologică pragmatică: “cunoașterea este un construct pentru atingerea unor scopuri umane”</i> |
| <i>Diferențiere fundamentală</i> | <i>Realitatea versus teoriile științifice</i> | <i>Realism versus constructivism</i> | <i>Biologia cunoașterii versus observatorul ca participant social</i> |
| <i>Ce trebuie rezolvat</i> | <i>Să se construiască teorii care explică fenomenele observate</i> | <i>Să includă pe observator în cadrul domeniului științific</i> | <i>Să explice relația dintre științele naturii și științele sociale</i> |
| <i>Ce trebuie explicat</i> | <i>Cum funcționează lumea</i> | <i>Cum un individ construiește o “realitate”</i> | <i>Cum oamenii crează, mențin și schimbă sisteme sociale prin limbaj și idei</i> |
| <i>Ipoteza cheie</i> | <i>Procesele naturale pot fi explicate de teoriile științifice</i> | <i>Ideile despre cunoaștere ar trebui căutate în neuropsihologie</i> | <i>Ideile sunt acceptate dacă ele servesc scopurilor observatorului ca un participant social</i> |
| <i>Consecință importantă</i> | <i>Cunoașterea științifică poate fi utilizată pentru a schimba procesele</i> | <i>Dacă oamenii acceptă constructivismul, ei vor fi mai</i> | <i>Transformând sistemele conceptuale (prin persuasiune și nu coerciție) vom putea schimba societatea</i> |

| | | | |
|--|---|------------------|--|
| | <i>naturale în beneficiul oamenilor</i> | <i>toleranți</i> | |
|--|---|------------------|--|

Dacă cibernetica de ordinul întâi este considerată cibernetica inginerescă, cibernetica de ordinul doi, cibernetica biologică, în schimb cibernetica de ordinul trei apare ca fiind cibernetica socială și având, din această perspectivă, proprietăți distincte față de cele premergătoare.

Astfel, la nivel epistemic, cibernetica de ordinul trei creează cunoaștere pentru ca aceasta să fie utilizată în vederea atingerii unor scopuri umane. Ideile și teoriile sociale nu sunt altceva decât instrumente și mijloace ale schimbării sociale. Dacă vrei să perfecționezi un sistem social, să spunem o firmă, atunci elaborezi o teorie mai bună asupra modului în care ar trebui să funcționeze această firmă, după care modifici firma în concordanță cu teoria respectivă. Deși o astfel de abordare pare logică, noile teorii și idei ce apar sunt supuse unor restricții puternice, deoarece organismul social din care face parte firma se opune unui astfel de demers (restricții legale, materiale, dar și inerțiale), tinzând să prezeve vechea structură. Din această cauză, se formează o circularitate între teorie și sistemul social care determină modificarea treptată a teoriei, dar și a sistemului în acord cu teoria perfecționată. Treptat, se ajunge la un nou sistem social care corespunde mai bine scopurilor urmărite.

1.9. O redefinire a ciberneticii. Obiectul și metodele ciberneticii economice

În acest context se pune întrebarea dacă însăși cibernetica nu ar trebui redefinită ținând cont de noile sale atribute de metaștiință. O astfel de definiție ar trebui să includă, dacă nu toate, cvasitotalitatea aspectelor tratate de noile științe ale complexității astfel încât să devină foarte clară filiația acestora din cibernetică precum și obiectul care este circumscris ariei mai largi abordate de cibernetică. O astfel de definiție ar putea fi următoarea: **Cibernetica este știința care studiază adaptarea sistemelor complexe la medii complexe.**

Prin introducerea unei noi definiții, cibernetica nu numai că nu-și pierde identitatea, dar contribuie și mai mult la noua sinteză ce se realizează între diferite științe preocupate de studiul sistemelor adaptive complexe din diferite unghiuri de vedere. Prin natura sa intrinsecă, sistemul cibernetic nu poate fi decât un sistem complex care se adaptează permanent la medii complexe, iar cunoașterea lui se poate face numai în măsura în care utilizăm toate metodele pe care diferitele științe ale complexității le pun la dispoziție în acest scop. Deci obiectul de studiu al ciberneticii îl constituie sistemul complex adaptiv iar metodele de studiu sunt constituite din acele metode pe care diferitele științe ale complexității le-au creat și dezvoltat în vederea abordării dintr-o perspectivă sau alta a sistemelor adaptive complexe.

Acesta este și motivul pentru care credem că într-un viitor apropiat ponderea metodelor de modelare utilizate de cibernetică va înclina în favoarea modelării-bazate-pe-agenți, reușindu-se astfel depășirea situației actuale în care majoritatea modelelor utilizate astăzi în cibernetică și nu numai sunt modele-bazate-pe-ecuații. O astfel de abordare ar fi benefică pentru multe dintre sistemele studiate de cibernetică sau de diferitele științe ale complexității.

Astfel, destul de recent s-a constituit un domeniu ce se ocupă exclusiv cu studiul aplicării agenților în rezolvarea diferitelor tipuri de probleme economice, domeniu denumit **Economia bazată pe agenți**. Scopul acesteia este crearea de economii artificiale(virtuale) cu ajutorul unor interacțiuni economice între agenți(sisteme, subsisteme) care, la început, nu au cunoștințe despre mediul înconjurător, dar au abilitatea de a învăța observându-se apoi ce tipuri de piețe, instituții și tehnologii dezvoltă agenții, cum ei își coordonează acțiunile și se organizează ei înșiși într-o economie.

Economiile de piață precum și diferitele componente ale acestora (firme, gospodării, bănci ș.a.) sunt privite în acest cadru ca sisteme cibernetice, constând dintr-un mare număr de agenți adaptivi întreținând interacțiuni paralele locale. Aceste interacțiuni locale dau naștere anumitor regularități macroeconomice cum ar fi protocoale de împărțire a pieței și norme de comportament care, la rândul lor, au o reacție inversă asupra determinării interacțiunilor locale. Rezultatul este un sistem dinamic complicat de lanțuri cauzale recurente conectând comportamente individuale, rețele de interacțiuni și rezultate sociale. Dar acesta este tocmai sistemul

cibernetice de care ne ocupăm în cadrul de față. Această carte o privim tocmai prin această perspectivă, și anume aceea a trecerii masive către utilizarea noilor tehnici și metode bazate pe agenți în cibernetică.

Economia bazată pe agenți, privită ca viitoare metodă de studiu a sistemelor adaptive și evolutive complexe formate din agenți autonomi interactivi, aduce sistemul economic în laboratoare, pentru a studia evoluția economiilor de piață descentralizate în condiții experimentale controlate. Două aspecte fundamentale decurg din aceste studii. Primul este unul descriptiv, axat pe explicarea constructivă a comportamentului global emergent. De ce apar regularități globale în aceste economii în ciuda unei planificări și a unui control de sus în jos? Cum aceste regularități globale sunt generate de jos în sus, prin interacțiunile locale repetate dintre agenți interacționând autonom? Și cum de apar aceste regularități și nu altele? Al doilea aspect este cel normativ, axat pe proiectarea de mecanisme de reglare și control. Dându-se o entitate economică particulară, existentă sau virtuală, care sunt implicațiile acestei entități pentru performanțele economiei ca un întreg? De exemplu, cum poate un protocol de piață anumit sau o reglementare guvernamentală afecta eficiența economică?

În cibernetică, trecerea la laboratorul experimental ar fi de importanță covârșitoare. Atunci s-ar putea efectiv începe cu construirea unei economii cu o populație inițială de agenți. Acești agenți pot include atât entități economice (de exemplu: investitori, bănci, consumatori ș.a) cât și entități reprezentând diferite fenomene sociale sau din mediu (de exemplu guvernul, pământul, vremea, tehnologia). Starea inițială a economiei este specificată prin precizarea atributelor inițiale ale agenților. Atributele inițiale ale unui agent pot include caracteristici asupra tipului de agent, norme comportamentale internalizate, moduri interne de comportament (inclusiv modul de comunicare și învățare) și informația stocată intern despre sine și despre ceilalți agenți din economie. Economia ar evolua apoi în timp, fără alte intervenții din afară. Toate evenimentele care pot să apară ulterior decurg din interacțiunile de tip agent – agent care au loc în timpul simulării evoluției sistemului cibernetic respectiv. Deja astfel de încercări sunt efectuate la scară de laborator în diferite țări (de exemplu Modelul ASPEN elaborat de Laboratoarele SANDIA din SUA).

BIBLIOGRAFIE

- [1] **Am, O.** – *Back to Basics. Introduction to Systems Theory and Complexity*, 2002, www.stud.his.no/~onar/Ess/
- [2] **Fotache, M.** – *Despre sistemică și cibernetică*, în: *Sisteme informaționale pentru afaceri*, Editura Polirom, Iași, 2002
- [3] **Foerster, H. von** - *Cybernetics of Cybernetics, 2nd edition*, Future Systems, Mineapolis, 1996
- [4] **Francois, C. (ed.)** - *International Encyclopedia of Systems and Cybernetics*, Saur, Munich, Germany, 1997
- [5] **Goldstein, J.** – *Scientific and Mathematical Roots of Complexity Science*, Working Paper, 2001
- [6] **Holland, J.H.** - *Hidden Order: How Adaptation builds complexity*, Addison-Wesley, 1996
- [7] **Kaufman, St.** – *The Origins of Order: Self-organization and Selection in Evolution*, Oxford University Press, Oxford, 1993
- [8] **Manuel-Navarrete, D.** – *Approaches and Implications of using Complexity Theory for dealing with Social Systems*, Working paper, 2001
- [9] **Mitchell, Melanie** – *Complexity and the Future of Science*, WP, Santa Fe Institute, 1997
- [10] **Parwani, R.** – *Complexity: An Introduction*, Paper, USP, Nat. Univ. of Singapore, 2002
- [11] **Plsek, P., Lindberg, K., Zimmerman, B.** – *Some Emerging Principles for Managing in Complex Adaptive Systems*, Working Paper, November 1997
- [12] **Prigogine, I., Stengers, I.** – *Noua alianță*, Editura politică, București, 1984
- [13] **Rocha, L.M.** – *Complex Systems Modeling: Using Metaphors from Nature in Simulation and Scientific Models*, BITS: Computer and Communications News, November 1999
- [14] **Scarlat, E., Mărăcine, Virginia** - *Dinamica Sistemelor I: Dinamica Sistemelor Haotice*, Editura MatrixRom, București, 2002
- [15] **Scarlat, E., Chiriță, Nora** – *Cibernetica Sistemelor Economice*, Editura ASE, București, 2002
- [16] **Simon, H.** - *The Science of the Artificial*, Simon&Schuster, 1983
- [17] **Stacey, R.D.** – *Managing the Unknowable: Strategic Boundaries Between Order and Chaos in Organizations*, Jossey-Bass Publishers, San Francisco, CA, 1992
- [18] **Stacey, R.D.** – *Strategic Management and Organizational Dynamics: The Challenge of Complexity*, Routledge, London, 1997
- [19] **Umpleby, St.** – *What Comes After Second Order Cybernetics?*, In: *Cybernetics and Human Knowing* (urmează să apară)
- [20] **Waldrop, M.M.** – *Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*, Simon&Schuster, New York, NY, 1992