

INTRODUCERE

APARIȚIA ȘI DEZVOLTAREA CIBERNETICII

Ca orice știință modernă, cibernetica a parcurs un drum lung de la realitate la generalizarea teoretică și de aici la aplicabilitatea practică. Acest drum poate fi împărțit în mai multe etape, începând cu etapa premergătoare apariției ciberneticii, care a pregătit prin diferite concepte și idei, momentul important din anul 1948 când se consideră că ar fi apărut în mod oficial știința ciberneticii și până în prezent când cibernetica și disciplinele derivate din aceasta domină o mare parte din cunoașterea științifică a începutului de secol XXI. În această introducere vom parcurge principalele etape ale drumului apariției și dezvoltării ciberneticii, accentuând în cadrul fiecărei etape pe acele descoperiri și momente care au dus treptat la actualul statut de știință al ciberneticii.

Evident că multe dintre aceste descoperiri sunt legate intrinsec de numele unor mari oameni de știință care, prin contribuțiile lor excepționale, au determinat progrese însemnate în știința secolului XX și au prefigurat marile transformări ce vor fi înregistrate în gândirea științifică a secolului XXI. Pe primul loc trebuie menționate numele celor care au contribuit decisiv la apariția și dezvoltarea ciberneticii, cum sunt cele ale lui Norbert Wiener, Arturo Rosenblueth și Julian Bigelow, cei care au realizat pentru prima oară faptul că ideile legate de mecanismele feedback de reglare pot fi ușor extinse de la ființe la mașini, punând astfel bazele unor discipline științifice noi, determinante pentru dezvoltarea în continuare a ideilor care s-au structurat mai târziu în știința ciberneticii, dar și în alte științe emblematice pentru secolul XX, cum ar fi inteligența artificială, teoria generală a sistemelor, știința calculatoarelor, ș.a.

Trebuie menționate aici contribuțiile excepționale ale unor premergători care, prin geniul lor științific, au intuit ideile de bază ale ciberneticii și le-au expus în lucrări editate, dar care nu au stârnit atunci interesul contemporanilor, probabil din cauza faptului că ele erau prea noi și originale pentru a fi înțelese de contemporanii lor mai în profunzime. Printre aceștia se cuvine mereu amintit numele marelui savant, medicului român Ștefan Odobleja care, în 1938, publica o lucrare în care regăsim multe dintre ideile și conceptele de bază ale ciberneticii și științei generale a sistemelor, apărute mai târziu dar care nu se deosebesc în mod fundamental de ideile întemeietorilor ciberneticii. Din nefericire, izbucnirea celui de-al doilea război mondial a împiedicat comunitatea științifică să cunoască și să recunoască această contribuție excepțională, ce a premers apariția lucrării lui Norbert Wiener cu zece ani și care, fără îndoială, în alte condiții, ar fi fost considerată adevărata piatră de temelie a ciberneticii.

După cum arată C. Francois în „International Encyclopedia of Systems and Cybernetics” (1997), apariția și dezvoltarea ciberneticii poate fi împărțită în patru mari perioade: Precursorii; Întemeietorii; Pionierii și Inovatorii. Fiecare dintre aceste perioade a fost marcată de contribuțiile unor personalități într-adevăr excepționale care au dus la progresul accelerat al științei ciberneticii, dar și la apariția unor domenii științifice noi, care au apărut și s-au dezvoltat în perioada extrem de fertilă pentru cunoașterea științifică imediat următoare celui de-al doilea război mondial. Vom respecta această periodizare, dar vom adăuga o nouă perioadă, începută după 1985 și care continuă și în prezent, ce se dovedește decisivă pentru progresul ciberneticii, dar și a unui întreg ansamblu de noi discipline științifice corelate cu aceasta, cunoscute sub numele generic de Științele Complexității.

0.1 Precursorii (înainte de 1948)

Unii termeni și multe idei care au constituit mai târziu limbajul cibernetic și cel sistemic apar cu mult înainte de momentul

considerat de istoria științei ca fiind cel al întemeierii oficiale a științei ciberneticii.

Se consemnează, astfel, faptul că termenul „*kybernetos*” înseamnă în limba greacă veche „cârmaci”, iar Platon utilizează într-unul dintre dialogurile sale (Legile) cuvântul „*Kibernetike*” în sensul abstract de „conducere a unei entități politice sau a unei cetăți”. Din cuvântul grecesc „*kybernetos*” provine, în limba română „a chivernisi”, iar, printr-o filieră slavă, un „guvernator” însemna conducătorul unei provincii (gubernie). „Guvern” provine din guvernator, gubernie, deci are rădăcina primară în *kybernetos*.

Conceptul de sistem (*sustemo* în latină însemnând mulțime, adunare, reuniune) în știința modernă este utilizat în mod sistematic începând cu secolul al XVII-lea, și desemna la acel moment un set de concepte organizate, clasificate, mai ales în sens filozofic. Astfel, **Rene Descartes** în al său „*Discurs asupra metodei*” (1637), introduce un set coordonat de reguli care trebuie să fie utilizat într-un anumit context (regulile gândirii raționale). 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 deja bine înrădăcinată în concepția filozofică, fiind înțeleasă îndeobște ca o mulțime de principii, practici și metode utilizabilă pentru studiul obiectelor și fenomenelor din lumea reală.

Într-un articol scris în 1834, un alt mare savant francez, fizicianul și matematicianul **Andre Marie Ampère (1775-1836)** care se referea la clasificarea generală a științelor (*Essai sur la philosophie des sciences, ou exposition analytique d'une classification naturelle de toutes les connaissances humaines*), este inclusă și știința ciberneticii, reprezentând după expresia lui Ampere, „*arta guvernării*”. Ea apare într-un capitol denumit *Politica*, în coloana cu numărul 83 și, după autorul studiului, noua știință a ciberneticii (*Kybernetike*, cum o

denumeste el) ar trebui să se ocupe de „*studiul metodelor de comandă și conducere ale societății*”. Ampere alege pentru fiecare știință un motto compus dintr-un vers în latinește. Pentru cibernetică al utilizează ca și motto „*Et secura cives ut paces fruuntur*” (Și cetățenii neglijăți se vor bucura ei înșiși de pace).



Andre-Marie Ampere (1775- 1836)

Între 1854 – 1878, psihologul francez **Claude Bernard (1813-1878)**, în mai multe dintre operele sale, afirmă existența unui „*mediu intern*” al ființelor 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, apăruse în Anglia, aflată în plină revoluție industrială, cunoscutul dispozitiv de reglare a presiunii aburului într-un cazan, conceput de **James Watt** care, se pare, a fost și primul dispozitiv tehnic modern de tip cibernetic.



Claude Bernard (1813 – 1878)

Concomitent cu aceste acumulări în domeniul tehnic și biologic, concepția sistemică și cibernetică începeau să fie prezente și în științele matematice și fizice. Matematicianul francez **Henry Poincaré (1854 – 1912)** începea studiile legate de instabilitatea sistemelor într-o epocă în care gândirea mecanicistă și concepția privind echilibrul imuabil al sistemului solar erau dominante. Lucrările sale, care au revoluționat matematica sfârșitului de secol

XIX și începutului de secol XX, au condus, ulterior, la apariția și dezvoltarea teoriei moderne a sistemelor dinamice.



Henry Poincaré (1854 – 1912)

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.

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

Treptat, metoda sistemică își face simțită prezența în științele umaniste. Brentano începe cercetările de psihologie experimentală,

care l-au condus la definirea pe baze sistemice 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.

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 apariția ideii de cauzalitate complexă în explicarea științifică a realității înconjurătoare, deci la conceptul de interdependență. **Nicolai Hartmann (1882-1950)**, un celebru filozof german, 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 (interdependențe) cauzale.



Nicolai Hartmann (1882-1950)

În lucrarea sa *"Construction of the Real World"*, Hartmann formulează patru legi generale, pe care le denumește nivele ale realității: 1) *Legea Recurenței*: Categoriile inferioare se regăresc la nivelele superioare ca subcomponente ale categoriilor superioare, dar niciodată invers; 2) *Legea Modificării*: Elementele categoriale se modifică în cursul recurenței către nivelele superioare (ele sunt influențate de caracteristicile nivelelor

superioare); 3) *Legea emergenței* (descoperită de Hartmann și denumită de el *novum*): O categorie superioară, compusă dintr-o diversitate de elemente inferioare, conține un novum specific care nu este inclus în nivelele inferioare; și 4) *Legea Distanței dintre Nivele*: Nivelele diferite nu se dezvoltă continuu, ci în salturi. Cu alte cuvinte, nivelele pot fi clar diferențiate. Cele patru nivele ale realității considerate de Hartmann sunt: i) inorganic; ii) organic; iii) emoțional; și iv) intelectual.

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 Gibson, Toynbee și Brandel, preocupați de mărirea și decăderea civilizațiilor și culturilor care arată existența, implicită sau explicită, a unor linii comune de forță ce determină evoluția omenirii.

În 1932, în cartea sa „*The Wisdom of the Body*”, **Walter Bradford Cannon (1871-1945)**, profesor de fiziologie la Harvard Medical School, introduce în știință conceptul de homeostază care anticipează cu 20 de ani viziunea modernă a marelui cibernetician englez William Ross Ashby privind tendința generală a sistemelor cibernetice de a-și prezerva echilibrul dinamic. Acest concept, ce dezvoltă ideea mai veche a lui Claude Bernard privind mediul interior, este prezentat de Cannon sub forma a patru propoziții, fiecare dintre acestea dând o caracteristică a homeostazei:

1) Constanța într-un sistem deschis, așa cum este, de exemplu, corpul uman, necesită mecanisme care acționează pentru a menține această constanță. Astfel de mecanisme sunt cele care determină concentrația de glucoză în sânge, temperatura corpului, echilibrul acid-bază etc. care, dacă funcționează defectuos pot duce la boli grave care determină în final dereglarea întregului organism:

2) Condițiile staționare care au tendință de a se modifica automat se întâlnesc cu factori care rezisă schimbării. De exemplu, o

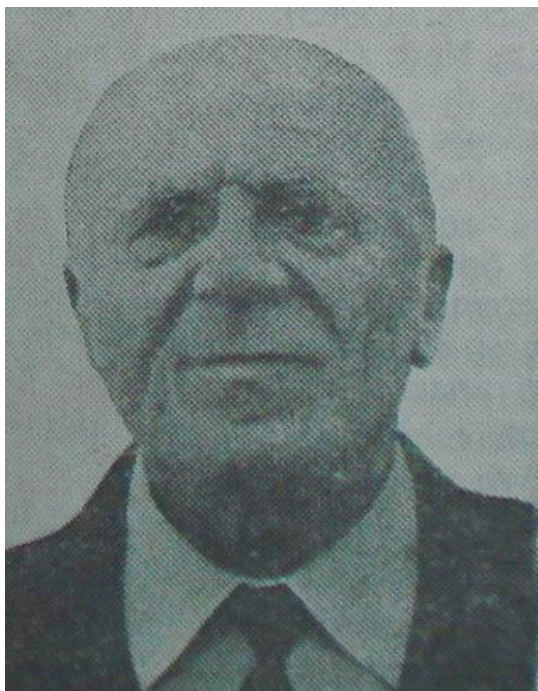
creștere a zahărului din sânge duce la sete care încearcă să dilueze concentrația de zahăr din fluidul extracelular;

3) Sistemul de reglare care determină starea staționară constă dintr-un număr de mecanisme care cooperează acționând simultan sau succesiv. Zahărul din sânge este reglat de insulină, glucagon și alți hormoni care controlează depozitarea sa în ficat sau trecerea în diferite țesuturi;

4) Homeostaza nu apare ca o întâmplare ci este rezultatul unui proces de auto-guvernare organizată.

În 1938, medicul român **Ștefan Odobleja (1902-1978)** 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 aproape total neglijat de o lume științifică bulversată de iminența izbucnirii celui de-al Doilea Război Mondial. Opera sa, aflată în curs de recuperare și reevaluare, constituie una dintre cele mai solide contribuții la apariția teoriei generale a sistemelor și a ciberneticii.

Născut în 1902 în comuna Izvorul Anestilor, județul Mehedinți, Ștefan Odobleja, după studii liceale la liceul Traian din Turnu Severin, urmează, ca bursier, cursurile Facultății de Medicină din București, devenind doctor în medicină și chirurgie în anul 1928 cu o teză privind accidente de automobil – subiect de actualitate în acea vreme în care automobilul începea să fie din ce în ce mai răspândit. Între anii 1928–1946 funcționează ca medic militar în diferite garnizoane din țară și are, în același timp, preocupări științifice legate de profesia sa, publicând lucrări referitoare la investigarea bolnavilor prin transsonanță toracică (1929). Publică la Paris, în 1935, o carte privind Fonoscopia ce a fost la acel timp distinsă cu un premiu ce se acorda celor mai bune lucrări de medicină militară.



Ștefan Odobleja (1902 -1978)

În lucrarea „**Psihologia consonantistă**” elaborată de savantul român și publicată în limba franceză, la Lugoj, în anii 1938 – 1939, se expune pentru prima dată ideea cibernetică a consonantismului, adică a ceea ce numim azi reacție pozitivă (feedback pozitiv). În această lucrare, **Ștefan Odobleja** își exprimă intenția de a sistematiza psihologia în jurul noțiunii de consonanță, ca și dorința de a interpreta psihicul prin intermediul fizicii. El expune cu claritate o idee extrem de modernă pentru acel timp și care a fost pe deplin confirmată de progresul științific din ultimii cincizeci de ani, și anume că știința va ajunge să creeze idei în laborator.

Opera sa fundamentală „Psihologia consonantistă”, nu este numai o lucrare de psihologie, ci una de profundă gândire științifică, fiind vorba de o prezentare filozofică a proceselor mintale și a științei analizate în paralel. Autorul stabilește un număr de legi generale, pe

care le aplică tuturor domeniilor, tuturor științelor — adică atât științelor naturii inerte, cât și științelor lumii vii, psihologiei și fenomenelor economico-sociale. Dintre aceste legi, Odobleja consideră că legea reversibilității este fundamentală. El definește viața prin reversibilitate: „viața este un cerc vicios de acțiuni și reacțiuni reciproce. O reversibilitate complexă de fenomene fizico-chimice ... Un cuplu reversibil de acțiuni și reacțiuni. Un fenomen complex unde fiecare fenomen parțial este, succesiv, când cauză, când efect...".

Tocmai astfel de afirmații dovedesc puterea novatoare a gândirii lui Odobleja, care vede în această înlănțuire de cauze și efecte, principiul general al tuturor fenomenelor — și aceasta indiferent de domeniu. În decelarea acestui principiu principiu general rezidă contribuția esențială în domeniul cibernetic a lui Odobleja. „A doua jumătate a secolului nostru este marcată de conceptele ciberneticii, datorită lui Norbert Wiener, dar în spatele său stau, ca în orice domeniu al cunoașterii, mulți oameni de știință, dintre care Ștefan Odobleja reprezintă unul din momentele cele mai strălucitoare" (M. Drăgănescu, P. Golu).

0.2 Întemeietorii (1948)

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 concepția și metoda sistemică tindeau să fie dominante, 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

descoperiri din fizică, matematică, chimie, medicină, ș.a., perioada menționată a contribuit major și la apariția ciberneticii.

Norbert Wiener (1894 – 1964), considerat 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 și foarte bine peste 30 de limbi străine.

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



Norbert Wiener (1894 – 1964)

În perioada războiului, N. Wiener face parte dintr-un grup de oameni de știință americani pe care guvernul îi mobilizase să contribuie, prin ideile și descoperirile lor, la efortul de război al S.U.A. Norbert Wiener s-a ocupat, în cadrul acestui grup, de perfecționarea dispozitivelor de ochire automată 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 brownian, descris în mod strălucit de Wiener, constituie și astăzi un model perfect al mișcării aleatoare, utilizat, de exemplu, în finanțe.

În studiile sale legate de dispozitivele de ochire și apoi de pilotajul navelor, el descoperă că o condiție de bază a unei ochiri corecte este reglarea printr-o buclă feedback, dar, spre deosebire de controlul ingineresc, el se orientează nu spre perfecționarea mijloacelor 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, în acel moment, Wiener era informat (probabil în urma discuțiilor cu neurologul Arturo Rosenblueth) asupra lucrărilor de pionerat ale 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 elaborarea și definirea acestor idei și concepte noi l-au jucat doi colaboratori ai lui Norbert Wiener, **Arturo Rosenblueth** și **Julian Bigelow**, cu care acesta colabora 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 Norbert Wiener, colabora cu acesta din urmă la dezvoltarea unei teorii a predicției și la proiectarea unui

calculator care să poată fi utilizat la 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, interfera omul, reprezentat de tunar, pe de o parte, și 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.

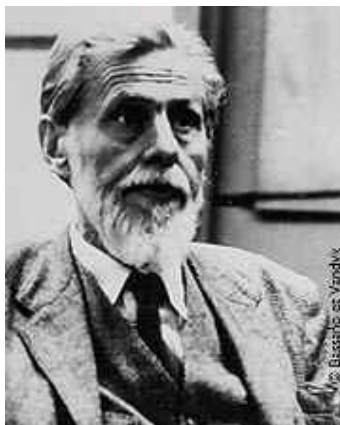
Unele mașini includ un feedback continuu al erorii de acest tip, remarcă ei. Transmiterea semnalelor de la output la input necesită timp, astfel că, uneori, direcția feedbackului se inversează (deci de la input la output) și astfel apar, în comportamentul sistemului, oscilații. Acesta este fenomenul 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 comportamentul 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, Arturo 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 la 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 Immanents in Nervous Activity*”, apărută în 1943, care stă la baza teoriei actuale privind rețelele neuronale și neurociberneticii.



Warren McCulloch



Walter Pitts

În vara anului 1946, Norbert Wiener se reîntoarce în Mexic, cu un grant obținut 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 amintite, 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 Josiah 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, care aveau loc într-o atmosferă informală. Fiecare întâlnire de acest fel 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 **Warren 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 (1904 -1980)

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 transmiterii 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 domeniului așa cum trebuie; și, așa cum se întâmplă deseori penintre oamenii de știință, am fost obligați să alegem o expresie artificială din limba greacă 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”, pe care am format-o pornind de la grecescul „kybernetos” sau „cârmaci” (Wiener, 1948, p.19).*

Cibernetica a fost imediat aleasă ca denumire 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 între 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 „*A 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 de măsură a cantității de date transmise.



Claude Elwood Shannon (1916 – 2001)

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 care, în acea perioadă, își începuseră marșul triumfal către calculatoarele de astăzi.

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.

0.3 Pionierii (1948 – 1960)

Deși lucrările inițiale ale lui 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).

După cum am arătat mai sus, în 1948, **Claude Shannon** și **Denis Weaver** publică celebra lucrare *„A Mathematical Theory of Communication”* prin care ei impun definitiv teoria informației în concertul științelor moderne. Autorii introduc conceptul de comunicație plecând de la componentele esențiale ale acesteia: sursa, codul, mesajul, transmițătorul, semnalul, canalul și receptorul. Abordată din punct de vedere tehnic, teoria informației în viziunea lui Shannon și Weaver accentuează 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 adevărata 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 **William Ross Ashby** (1903 -1972) care, în lucrarea sa fundamentală „*An Introduction to Cybernetics*”, apărută în 1956, 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 fundamentală în constituirea științei 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 și împreună cu cibernetica.

Ideea principală (care are un substitut sugestiv: *Originea comportamentului adaptiv*) este că orice mecanism adaptiv (de la organisme 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 produse 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, dezvoltă „organe” care sunt adaptate la mediul său înconjurător*”.

Pentru acea vreme, o astfel de concepție era prea radicală, confirmarea deplină a teoriei lui W. 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 și să se impună în diferite domenii științifice. 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 și din metoda sistemică o modalitate esențială de abordare științifică. 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. Bertalanffy a fost 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 se ajunge la „*unificarea științelor*”.



Ludwig von Bertalanffy

Keneth Boulding (1910 – 1993), 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 de la momentul în care el le anticipa, cu primejdiile de care el era conștient atunci când spunea că *“distrugerea naturii înseamnă distrugerea planetei, deci și a întregii civilizații umane”*.

O altă direcție importantă de dezvoltare a ciberneticii și teoriei generale a sistemelor 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, John 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 John von Neumann împreună cu **Stanislas Ulam**, constituie astăzi un obiect important de studiu pentru specialiștii din diferite domenii ale Științelor Complexității.



John von Neumann

John 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 câțiva ani mai târziu.

Heinz von Foerster, unul dintre cei mai entuziaști participanți la conferințele Macy din anii 46-54 ai secolului trecut, 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.



Heinz von Foerster (1911 -2002)

Gordon Pask (1928 - 1996), cibernetician și psiholog englez, a fost unul dintre cei care au înțeles importanța principiilor și legităților generale ale ciberneticii pentru înțelegerea gândirii umane 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 ultimii ani tot mai insistent, 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 de mai târziu a 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 (e-learning) se dezvoltă pe baza principiilor fundamentale stabilite în lucrările sale.

Remarcabilă ca deschidere și conținut de idei, conferința lui Gordon Pask, „*Mecanizarea proceselor de gândire*”, ținută la Laboratorul Național de Fizică din Londra, a atras 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 înregistrarea unor importante progrese în comunicarea de grup, învățare și rezolvarea problemelor.

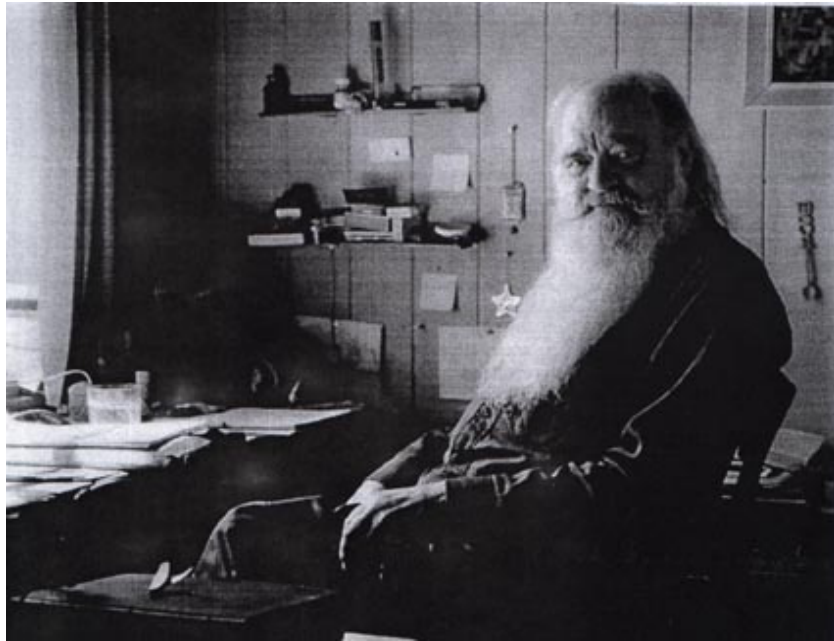
Pringle în 1951 stabilise deja analogia existentă între evoluție și specializare, pe de o parte, și învățarea umană și adaptare, pe de altă parte. El dăduse un model descriptiv al creierului ca un mediu pentru evoluția unor forme de organizare din ce în ce mai complexe. La rândul său, W. Ross Ashby (1956), din perspectiva ciberneticii abstracte, arătase că evoluția către forme de viață 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 (1926 -2002)

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**.



Ilya Prigogine (1917 - 2003)

Opera sa prezintă 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, XIX și începutul secolului XX. Asupra contribuțiilor sale ne vom opri mai în detaliu în capitolele următoare.

0.4 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 **Magoroh Maruyama** (în lucrarea „*The Second Cybernetics: Deviation-Amplifying Mutual Causal Processes*”) introduce conceptul de „proces cauzal amplificator”, care se referă la rolul buclelor feedback pozitive în sistemele aflate în competiție cu alte sisteme din mediul înconjurător. Pentru a descrie procesul de creștere generat de buclele feedback pozitive, Maruyama folosește atât automatele celulare ale lui von Neumann cât și așa-numitul joc al vieții (game of life) al lui Conway. Competiția generată între sistemele aflate în diferite etape ale proceselor 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 apoi de Lotka și Volterra în anii '20 ai secolului XX pentru a descrie competiția pradă-prădător într-un mediu cu resurse de hrană limitate.

Maruyama afirmă 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 carte excepțională prin conținutul său de idei și prin consecințele pe termen lung pe care le-a avut și încă le are asupra dezvoltării ciberneticii, dar și a altor științe contemporane, inclusiv a economiei. Este vorba despre „*The Architecture of Complexity*” a lui **Herbert A. Simon** (laureat al premiului Nobel pentru economie în 1978). El introduce în știință paradigma generală a complexității, care, douăzeci de ani mai târziu, va duce la dezvoltarea unui ansamblu integrat de discipline științifice care au ca obiect principal de studiu complexitatea privită din perspective diferite.



Herbert A. Simon

Ideile lui Herbert A. Simon erau, însă, prea revoluționare pentru timpul său, dar trebuie remarcat faptul că ele au încolțit tocmai într-un mediu apropiat de cibernetică și teoria generală a

sistemelor, iar intenția declarată a lui Herbert Simon a fost tocmai reformarea teoriei economice pornind de la principiile statuate de cele două științe. În lucrările sale ulterioare, Herbert Simon declară explicit că, prin introducerea complexității, a încercat să teoretizeze sistemele economice percepute ca sisteme complexe, considerată de el ca fiind o alternativă la paradigma neo-clasică a economiei care era dominantă în timpul său.

James Grier Miller, un om de știință din domeniul științelor vieții, începe să publice începând cu anul 1965 lucrări privind clasificarea sistemelor vii, lucrări ce s-au constituit ulterior într-o carte fundamentală pentru teoria generală a 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 8). Sisteme aflate pe nivele ierarhice diferite sunt, totuși, izomorfe, proprietățile sistemelor de pe nivelele superioare decurgând din cele ale sistemelor aflate pe nivele inferioare.

“Întreaga natură este un continuum. Complexitatea fără sfârșit a vieții este organizată în forme care se repetă pe ele însele – tema și variațiunile – la fiecare nivel al sistemului. Aceste similarități și diferențe sunt caracteristici proprii pentru știință. De la curgerea neîntreruptă a protoplasmei până la activitățile multilaterale ale sistemelor supranaționale, există un flux continuu prin sistemele vii prin care ele își mențin stările lor staționare înalt organizate” (Miller, 1978, p. 1025).

Taxonomia 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-evoluiează 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 totuși pe măsura așteptărilor inițiale ale lui Haken. Sinergetica este însă 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 sistematic al comportamentelor ciclice ale sistemelor și proceselor, fapt ce îi aduc relativ aproape de teoria autopoiesisului. Concepte precum hiper ciclu, 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 formulat cea mai elaborată teorie a autopoiesisului și, împreună cu **Francesco Varela** și **Heinz von Foerster**, au determinat în mod decisiv apariția ciberneticii de ordinul doi.



Francesco Varela (1946 - 2001)

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.

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, inteligența artificială și teoria controlului automat, astfel că cibernetica trebuia să-și definească un nou drum care să o

deosebească de alte discipline științifice bazate mai mult pe principii și metode mecaniciste.

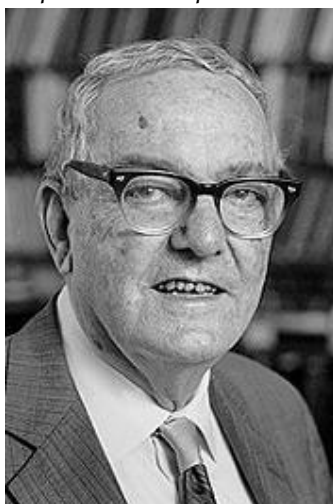
Mișcarea de idei care a fost declanșată de teoria autopoiesisului a dus, în final, după cum am spus, la constituirea a ceea ce este astăzi denumit **cibernetica de ordinul doi**. Această concepție nouă începe de la recunoașterea faptului că cunoștințele noastre referitoare la sisteme sunt mediate de 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 cibernetica de ordinul întâi (a lui Norbert Wiener) un sistem reprezenta un obiect pasiv, datorită obiectivului care putea fi observat, studiat și pus apoi deoparte, cibernetica 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 tot 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, și utilizate cu precădere în cibernetica de ordinul întâi, 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 Herbert A. Simon încă din anii '60. Însuși Simon a fost acela care a supus unei analize critice întreaga evoluție a teoriei sistemelor și ciberneticii, dar, legat de acestea, 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 încercăm 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” spunea Herbert A. Simon (1990). Concepția sa privind complexitatea, elaborată încă din 1962, se sprijinea pe patru concepte fundamentale: *ierarhie, evoluție, decompozabilitatea slabă și simplitate descriptivă*.



Herbert Simon (1916 -2001)

În concepția lui Herbert A. 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 dispartate, 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 tuturor 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 însă 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 Herbert A. Simon este făcută în contextul în care modelele bazate pe ecuații, în special ecuații diferențiale sau cu diferențe finite, ajunseseră la o mare dezvoltare. Ulterior, s-a arătat că astfel de modele nu simplifică descrierea sistemului, ci înlocuiesc un tip de descriere cu altul. De multe ori, o

astfel de substituție este reduționistă, iar aceasta înseamnă că se renunță la reprezentarea unor proprietăți ale sistemelor complexe modelate, în schimbul obținerii unei simplități în reprezentare.

Herbert Simon a fost primul mare savant din domeniul ciberneticii care a luat Premiul Nobel pentru economie în anul 1978 iar opera sa științifică este încă studiată și reevaluată în lumina noilor tendințe ale științelor complexității care s-au impus la sfârșitul secolului XX și începutul secolului XXI.

Începând cu anii '80 ai secolului trecut, teoria sistemelor complexe, fondată pe lucrările lui Herbert A. Simon, s-a dezvoltat treptat, ducând la apariția a ceea ce denumim astăzi Științele Complexității.

0.5 Cibernetica de ordinul trei și sinteza cu Științele Complexității (1985 - în prezent)

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 în dezvoltarea viitoare 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 de știință și evenimente remarcabile au contribuit decisiv la afirmarea și dezvoltarea explozivă a unui domeniu științific considerat de către unii autori ca fiind definitoriu pentru întreaga știință a 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).

Oameni de știință cum au fost James G. Miller, Anatol Rapoport, Kenneth 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 buclor 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 șase componente importante ale devenirii ca știință a acestora:

i) concepția despre sistemul adaptiv complex și complexitate dezvoltată la Institutul Santa Fe din New Mexico (S.U.A.) prin lucrările lui Stuart Kauffman (1993, 1995, 2000), John 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 Cohen (2000));

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

iv) 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));

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

vi) complexitatea economică și legea profitului crescător (W. Brian Arthur (1990, 1995, 2000)).

Un moment distinct îl reprezintă și prima încercare de unificare a diferitelor științe ale complexității, întreprinsă de **Stephan Wolfram**, care publică o lucrare extrem de voluminoasă dar tot atât de intitulată denumită „*A New Kind of Science*” (2002), 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, dintr-o perspectivă sau alta, abordează sistemul adaptiv complex.

Se acceptă astăzi tot mai des ideea că cibernetica nu este o singură știință, ci o metaștiință, din care a decurs în mod firesc grupuri de discipline științifice interdependente care au ca obiect comun de studiu sistemele complexe din diferite domenii.

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 A. Simon (1983), dezvoltând o idee a lui Denis Weaver introdusă în urmă cu 20 de ani.

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.

Stuart Umpleby (2001) vorbește în acest nou context despre *“cibernetica de ordinul trei”* ca despre o cibernetică societală (ce nu trebuie confundată cu cibernetică socială a lui Georg Klaus), sau o cibernetică a sistemelor conceptuale. Principala trăsătură distinctivă a acesteia ar fi feedback-ul care se formează între teorie și organizarea socială, astfel încât, prin perfecționarea conceptelor teoretice, să se ajungă la însăși o schimbare a 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 clar de Norbert Wiener în celebra sa carte *“Dumnezeu și Golem”*.



Stuart Umpelby (1944 -)

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 într-un viitor apropiat apariția unei științe 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 derivă, 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 *“cibernetica de ordinul trei”*.

Înainte de a încerca o tentativă de a clarifica o astfel de problemă, să precizăm că cibernetica de ordinul trei, dezvoltată practic în ultimul deceniu al secolului XX, este cibernetica cu impact social, sau cibernetica 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 0.1.

Tabelul 0.1

	<i>Cibernetica Inginerească (de ordinul întâi)</i>	<i>Cibernetica Biologică (de ordinul doi)</i>	<i>Cibernetica Socială (de ordinul trei)</i>
<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</i>	<i>Cum oamenii crează, mențin și schimbă sisteme</i>

		<i>"realitate"</i>	<i>sociale prin limbaj și idei</i>
<i>Ipoteza cheie</i>	<i>Procese naturale pot fi explicate de teorii 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 naturale în beneficiul oamenilor</i>	<i>Dacă oamenii acceptă constructivismul, ei vor fi mai toleranți</i>	<i>Transformând sistemele conceptuale (prin persuasiune și nu coerciție) vom putea schimba societatea</i>

Dacă cibernetica de ordinul întâi este considerată cibernetica inginerască, cibernetica de ordinul doi, cibernetica biologică, în schimb **cibernetica de ordinul trei apare ca fiind cibernetica socială 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 preserveze 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.

