

Știința Complexității și dezvoltarea durabilă în mileniul III

Dr. Ing. Florin Munteanu
Centrul pentru Studii Complexe – centru UNESCO

The development of science and technology in the last decades has determined a world-wide exponential acceleration of the entire socio-economical life. However, the attitude of the modern society and the humankind as a whole towards Nature is anything but beneficial. This attitude stems from the consumerist ideology prevalent nowadays and is catalyzed by the exclusive drive towards efficiency, profit and minimal production cost but maximal mass production. The economical, social and ecological consequences of such an attitude led to acute imbalances (widening gap between excessive wealth and poverty) and significant perturbations both in the human communities and in Nature (depletion of both mineral reserves and of biodiversity). These increasingly severe imbalances, coupled with the explosive population growth and the rapid diffusion of the consumerist life-style at the scale of the whole planet, are quickly becoming a major source of instability that will soon reach a critical threshold point. In order to deal with this situation a new paradigm change is required; Planet Earth has to be seen and analyzed beyond separate geo-, socio- and economical sciences. An entirely different and novel point of view has to be adopted, considering a natural-artificial 'hybrid', an assembly whose evolution can be understood only by assimilating and applying the terms of the Science of Complexity. The paper presents the ways in which such a different approach can be applied practically to change the surrounding context in order to support and promote sustainable development. We show that by defining a new integrating approach, called astro-bio-geodynamics, the relationship between alive and nonliving systems can be better studied while at the same time highlighting the differences in the approaches needed to analyze complicated and complex systems, respectively. The paper also introduces a few of the theoretical and experimental conclusions that result from the fact that actual, real-life, analyzed systems are both complex and implicitly dependent on the context of the present situation, i.e. the current behaviour of such a system is nonlinearly dictated by the 'history' accumulated up to that moment.

“ Complexity is not a methodology or a set of tools (although it does provide both). It certainly is not a “management fad”. The Science of Complexity provide a conceptual framework, a way of thinking, a way of seeing the World”

Eve Middleton-Kelly, London School of Economics

1. Dezvoltarea durabilă în contextul astro-bio-geodinamicii

Dezvoltarea fără precedent a științei și tehnologiei în ultima sută de ani a determinat o accelerare exponențială a vieții socio-economice la scara întregului glob. Catalizată de o economie bazată exclusiv pe eficiență și profit și susținută de ideologia unei societăți de consum, atitudinea omului modern față de Natură și mediu a condus inerent la excese, la perturbații importante în mediu, perturbații ce se manifestă azi la scara întregului glob. Mai precis, consumul fără discernământ al resurselor naturale, “foamea” continuă pentru energie și piețe de desfacere pentru un număr din ce în ce mai mare și divers de produse, utile și mai puțin utile omului, a generat un dezechilibru profund al complexului mecanism de auto-stabilitate ecologică al Terrei. Consecințele acestui proces de dereglare a subtililor interdependențe dintre atmosferă, hidrosferă, geosferă, cunoscut sub denumirea de *schimbare climatică globală*, se resimt azi la

scara întregii planete. Dincolo de creșterea îngrijorătoare a intensității fenomenelor atmosferice precum *uragane, tornade, vijelii* sau a frecvenței *cutremurelor devastatoare de pământ*, generatoare la rândul lor de *valuri seismice* (tsunami), precum și a *alunecărilor de teren*, se manifestă la o scară îngrijorătoare, un continuu proces de dereglare ecologică. Dispariția unui număr important de specii, dublată de schimbarea habitatului sutelor de specii transportate accidental de comerțul mondial, atât terestru, cât mai ales naval, este în măsură să modifice echilibrul ecologic al planetei, cu consecințe impredictibile pentru însăși stabilitatea vieții pe Pământ în general și a Omului în special. Această situație de fapt, evaluată obiectiv de măsurători fizice și biologice efectuate la scară planetară, conturează o problemă majoră pe care omenirea trebuie să o înfrunte în etapa imediat următoare, printr-un major proces de restructurare a mentalității tuturor locuitorilor de pe Terra, în lumina așa numitei “dezvoltări durabile”.

Cea mai cunoscută definiție a dezvoltării durabile este cea dată de Comisia Mondială pentru Mediu și Dezvoltare (WCED) în raportul "Viitorul nostru comun", cunoscut și sub numele de Raportul Brundtland [1,2] și care afirma că: *"dezvoltarea durabilă este dezvoltarea care urmărește satisfacerea nevoilor prezentului, fără a compromite posibilitatea generațiilor viitoare de a-și satisface propriile nevoi"*. Altfel spus, se accentuează necesitatea unei corelații stricte între gradul de utilizare a resurselor naturale de orice fel și capacitatea de regenerare a mediului, pe fondul unei creșteri continue a performanțelor tehnico-științifice a tuturor produselor realizate, a dezvoltării bazei de cunoștințe privind noi surse de energie, tehnologii curate, dar mai ales a celor ce privesc **dinamica și evoluția fenomenelor geo-biofizice responsabile de „homeostazia” mediului la scara întregului Pământ.**

Sistemul Pământ [3,4], așa cum este definit azi, în etapa Societății Informaționale și de germinare a Societății bazate pe Cunoaștere [5], este extins dincolo de structurile naturale vii și nevii ce fac obiectul de studiu al *Geoștiințelor* sau al *Biologiei*. Întregul ansamblu de sisteme de producere și distribuție a energiei electrice, sistemul de extracție și rafinare a hidrocarburilor și de distribuție a derivatelor obținute până la nivel de utilizator individual, întreaga infrastructură rutieră, feroviară și aeriană, producerea și distribuția bunurilor din industria de construcție, mobilier și electrocasnice și în general a tuturor bunurilor utilizate azi, conform stilului de viață impus de civilizația actuală, se constituie într-un ansamblu de artefacte ce se grefează pe structura naturală a Pământului, alcătuind împreună cu acesta un sistem de o calitate nouă. Un amestec de sisteme Naturale și Artificiale, ce se definesc și se influențează reciproc, alcătuind un hibrid de o natură calitativ diferită caracterizată printr-o dinamică specifică. Această nouă dinamică este parțial controlabilă, parțial nepredictibilă, și necesită a fi studiată la nivel interdisciplinar, printr-o reevaluare a metodologiilor și tehnicilor de modelare, de monitorizare și predicție. Se poate spune că ne aflăm într-un punct critic, fără întoarcere, în care este de așteptat, fie o destructurare a civilizației actuale (o „respingere a grefei”, o „reaecție” a Naturii la agresiunea ansamblului de produse și acțiuni capabile să polueze mediul până la distrugerea capacității de sustenabilitate a vieții), fie „nașterea” unui nou sistem, în care naturalul și artefactul fuzionează sinergic, generând ceea ce se numește azi

„singularitate tehnologică”. În ambele cazuri însă, este de așteptat o perioadă socio-economică convulsivă a actualei generații, supuse unei presiuni continue, atât din partea mediului (schimbarea climatică globală), cât și din partea transformărilor induse la scară globală de criza energetică, respectiv de tranziția către o tehnologie cuantică.

Din investigațiile efectuate pe plan mondial privind direcțiile ce merită dezvoltate în vederea structurării unei paradigme ale acestui hibrid Natural/Artificial, se afirma că, „*singura metodologie capabilă să abordeze integrativ un obiect de o asemenea diversitate este cea oferită de Știința Complexității*” [6]. În această nouă viziune, Sistemul Pământ este guvernat atât de complicatele interacțiuni dintre crustă, atmosferă, hidrosferă și ionosferă, cu o dinamică modulată de dinamica sistemului Solar (*exploziile solare, furtunile electromagnetice, vântul solar, curenți ionosferici și curenți telurici, marea etc.*), cât și de importante componente sociale ce definesc în evoluția lor, nevoi și oportunități noi, ce modifică, la rândul lor, întreaga lume de artefacte și implicit cuplajul Natural/Artificial al întregului Pământ. Din această perspectivă, studiile de sociologie, economie sau inginerie trebuie reconfigurate și integrate într-o manieră transdisciplinară pentru a se sprijini reciproc pe acest cadru conceptual integrat. Într-o primă etapă aflată deja în desfășurare se vorbește din ce în ce mai des de discipline generate de studii de graniță precum: *bioeconomie, biogeofizică, geobiofizică, astrobiofizică*, dar și de *bioelectronică și juridinamică*. Putem considera ca sunt etape intermediare de integrare către un concept global de tip Gaia [7] în care discipline precum economia și sociologia nu se vor mai studia independent, ci interdependent și în contextul co-evoluției cu planeta Pământ.

Pentru a putea gestiona un asemenea sistem Viu-Neviu, Natural-Artificial este necesară, în afara unei baze conceptuale specifice, preluarea, stocarea și procesarea multiparametrică a unui număr extrem de mare de date, provenite din procese astro-bio-geofizice și socio-economice ce se desfășoară la nivel global. Atât structurarea unei baze de date de o asemenea dimensiune și diversitate, dar mai ales procesarea acesteia în vederea obținerii de informații coerente și utile diferitelor procese de corecție, prognoză sau control local, regional sau global, constituie o altă provocare majoră a acestei etape, de desfășurare a căreia poate depinde, într-un viitor nu foarte îndepărtat, starea de sănătate a Planetei.

Altfel spus, o **dezvoltare durabilă** a Sistemului planetei Pământ văzută ca ansamblu dinamic Natural–Artificial ce coevoluează sub „presiunea” intenționalității definite de nivelul de dezvoltare al umanității, este condiționată, în primul rând, de o schimbare de viziune asupra planetei Pământ, de structurarea unei noi paradigme precum cea a Complexității [8], bazate pe o abordare neliniară a fenomenelor care evoluează departe de echilibrul termodinamic și nu în ultimul rând de o schimbare majoră a mentalității la scara întregii societăți umane, de o manieră care să permită înțelegerea proceselor coevolutive și să asigure prin auto-asumare respectarea, dincolo de nevoia de profit și eficiență economică, a legilor eticii și moralei universale, definite dincolo de dogme, în baza înțelegerii și respectării subtililor interconexiuni dintre individ, grup, societate, mediu local, regional, global.

Din cele de mai sus putem concluziona următoarele:

- problema dezvoltării durabile este o problemă majoră în contextul globalizării, de rezolvarea căreia depinde însăși supraviețuirea speciei umane;
- definirea problematicii ce se cere a fi rezolvată este condiționată de structurarea unei viziuni integrative, transdisciplinare asupra evoluției planetei Pământ ca ansamblu de sisteme dinamice ierarhizate ce co-evoluază, viziune capabilă să asigure:
 - înțelegerea procesului de co-evoluție Viu-Neviu din perspectiva paradigmei Complexității și elaborarea unei metodologii de evaluare obiectivă a “stării de sănătate” a planetei Pământ;
 - redefinirea conceptului de “calitate a vieții” în contextul fenomenului GAIA (în sensul definit de Langton) și a reformulării eticii economice și a cerințelor unui stil de viață sănătos (în sensul propus de Georgescu Roegen)

„Applying the sciences of complexity ... is not a trivial matter. It requires a new mind set, vocabulary, and openness to fundamental change.”

Eve Mittleton-Kelly, London School of Economics

2. De la Complicat la Complex, un salt de paradigmă

Este cunoscut faptul că o paradigmă se impune atunci când, în urma unui proces dinamic intelectual, de cele mai multe ori conflictual, se ajunge la o concordanță între teorie și experiment. Paradigma poate fi considerată a fi omologată atunci când nivelul cunoștințelor asigură “închiderea” ciclului metodologiei științifice: *ipoteză, model, validare experimentală, implicații generalizatoare*. Dacă este să cităm legea 20/80 a lui Pareto [9], am putea spune că nașterea și asimilarea unei paradigme de către o societate durează aproximativ 20% din timpul de viață al acelei paradigme, urmând ca restul de 80% din timp să fie consumat pentru “explorarea” și “exploatarea” noilor oportunități oferite individului și societății în ansamblu de noua viziune. “Îmbătrânirea” unei paradigme se manifestă prin apariția unor manifestări sociale contradictorii, apariția și exacerbarea unor atitudini distructive, generalizarea unei perioade de “turbulență” conceptuală din care vor emerge spontan și nepredictibil, germenii noii paradigme. Acest mecanism specific generează un proces evolutiv discontinuu, cu paliere pe care o paradigmă este stabilă, întrerupte de perioade de tensiuni, căutări, tatonări. Fiecare nouă paradigmă, generată de o străpungere conceptuală, este treptat metabolizată de societate, care se poate astfel manifesta pe un alt palier de civilizație ce se fixează la nivel de individ și grup sub forma unei noi mentalități, a unei culturi [10]. Înțelegerea universalității acestui mecanism de evoluție a conștiinței umane poate fi de o importanță strategică azi, când durata de viață a unei paradigme se scurtează exponențial, ajungând a fi comparabilă cu durata de viață a unui individ. În acest context, nevoia de

permeabilizare a omului la nou și diferit, dezvoltarea capacității de a stimula factorii creativi pentru a explora direcții cu potențial de străpungere a limitelor care încorsetează o societate ce trăiește „moartea” unei paradigme, capătă dimensiuni cu totul deosebite, fiind poate sinonimă cu supraviețuirea speciei umane.

Germenii unei noi paradigme apar difuz și neașteptat în întreg volumul de concepte și preconcepte ce formează însuși „bunul simț” în care individul și societatea evoluează la un moment dat. Semnificațiile unor cuvinte cunoscute se extind, de cele mai multe ori abuziv, către zone noi ale cunoașterii. Tot în această perioadă se inventează concepte și denumiri noi, ce nu au semnificație decât pentru individul sau micul grup de indivizi ce au străpuns orizontul paradigmei, definind astfel un nou „teritoriu” ce urmează a se structura în timp. În ambele cazuri, noutatea conceptului este o barieră dificil de trecut pentru un profesionist cantonat în rigorile paradigmei în care operează, și în același timp mult prea ușor de „asimilat” fără un conținut real, de către un „entuziast” ce „simte” deschiderea, dar nu are baza necesară de a contribui cu adevărat la structurarea noii viziuni. Această etapă de confuzie generatoare de dispute și dezbateri în jurul unor concepte fundamentale, poate fi considerată a fi un simptom al unei tranziții conceptuale dintre două paradigme. Putem afirma că ne aflăm într-un asemenea moment de transformare conceptuală ce ne apropie de punctul critic de maturizare a unei noi paradigme, cu implicații globale esențiale, pe toate palierele socio-umane, economice, politice. Punctul de bifurcație între vechi și nou este bornat de semnificația și, mai ales, de implicațiile aduse de două cuvinte banale: **complicat** și **complex**. Saltul de atitudine, de gândire, de mentalitate în cele din urmă, poate începe doar prin înțelegerea diferențelor fundamentale dintre aceste două concepte: complicat și complex .

Dintr-o altă perspectivă, aceeași diferență poate fi sesizată din înțelegerea diferențelor fundamentale dintre o **abordare Liniară** și una **Nelinară** în studiul Realității. Abordarea liniară - am putea spune o aproximare de ordinul I - poate fi înțeleasă ca fiind acea modelare matematică ce definește o dependență liniară între o *cauză* (variabilă independentă **x**) și *un efect* (valoarea funcției **y**). Exprimată matematic, această dependență este de forma unei ecuații de gradul întâi: **y=ax+b**. Se poate spune că o parte din fenomenele naturale studiate respectă, cel puțin pe anumite intervale de variație ale variabilei independente, această ecuație. În anumite cazuri, se cunoaște că liniarizarea unui model mai complicat reprezintă o aproximare asumată, și aceasta pentru simplu fapt că, pe intervalul în care se validează modelul, erorile sunt practic acceptabile.

Din dicționarul limbii române aflăm despre cuvântul **neliniar** că este: ceea ce nu este liniar, în linie dreaptă; obținut ca rezultat al unor operații ce nu sunt liniare, conținând o variabilă la o putere diferită de unu; în relație cu un sistem de ecuații pentru care efectul nu este proporțional cu cauza; în legătură cu un sistem, aparat, proces a cărui evoluție este descrisă printr-un set de ecuații neliniare și la care ieșirea nu este proporțională cu intrarea.

O simplă analiză a sistemelor de ecuații diferențiale care modelează comportarea unor sisteme fizice ne poate conduce la concluzia că majoritatea fenomenelor din

realitate sunt neliniare. Dat fiind faptul că rezolvarea analitică a unor asemenea sisteme de ecuații diferențiale este de cele mai multe ori imposibilă, se recurge în mod tradițional la aproximări, fie prin liniarizare, fie prin utilizarea unor metode numerice de rezolvare aproximativă. Odată cu apariția calculatorului însă, rezolvările numerice ale sistemelor de ecuații diferențiale s-au rafinat treptat, fapt ce:

- a condus la germinarea unor teorii și modele precum: *teoria haosului determinist*[11,12,13,14,15], *teoria catastrofelor*[16,17], *teoria bifurcațiilor*[18], *teoria fractală* [19,20] și *constructală* [21] etc.
- a permis revelarea unor procese și fenomene noi: *auto-organizare*[22,23,24], *rezonanță haotică* [25], *rezonanță stocastică* [26], *controlul haosului* [27] etc. și evident
- a asigurat generarea de noi produse, tehnici de evaluare și control mult mai performante: *antena fractală*, *tehnici de diagnostică precoce a cancerului și metode de bioscanning*, *controlul bioreactoarelor*, *comunicarea prin sincronizarea oscilatoarelor haotice* etc.

Întreg ansamblul de concepte, teorii și modele dezvoltate pornind de la această abordare neliniară a realității s-au aglutinat într-o nouă știință, cunoscută azi sub denumirea de: **știința COMPLEXITĂȚII**, știință ce poate fi asimilată doar în măsura în care se percep proprietățile și specificitatea unui **sistem COMPLEX**, ce diferă fundamental de un **sistem COMPLICAT**. Pentru aceasta este de dorit a se explora „aura semantică” a acestui concept uzual: *complex*, pentru a structura, din diferențe semnificative, noul sens pe care îl capătă în exprimări de tipul: *sistem complex*, *studiul Complexității* sau *știința Complexității*.

Marea masă de nespecialiști, dar și de specialiști, ce nu au fost implicați direct în etapele de structurare a acestei noi viziuni integrative a Realității, utilizează cuvântul complex asociat unor atribute legate fie de numărul mare de componente ale unui sistem, fie de varietatea lor sau de gradul mai mare sau mai redus de informații cunoscute despre acel sistem. Sunt frecvent utilizate asemenea exprimări: "*Realitatea este prea complexă pentru a putea fi descrisă ...*" sau "*complexitatea materialelor inteligente necesită tehnologii speciale de elaborare...*". Se întâlnesc și astfel de exprimări: "*Sistem complex de analiză...*" sau "*am fost depășit de complexitatea problemei ...*" sau "*integrarea în structura europeană este un proces deosebit de complex...*" Acestea sunt doar câteva din sensurile în care utilizarea cuvântului *complex* nu aduce precizări concrete, ci semnalizează cel mult dimensiunea sau dificultatea unei probleme. Pentru a surprinde procesul de rafinare treptată a semnificației acordate unui sistem complex este utilă trecerea în revistă a definițiilor date de diferiți cercetători de-a lungul timpului. Astfel, în 1993 Waldrop afirmă: "*un sistem este complex în sensul în care este alcătuit din numeroase părți (blocuri, subsisteme, agenți inteligenți) care pot interacționa în forme foarte diferite*", în timp ce Stephen Wolfram spune: "*se poate spune ca elementele componente sunt simple, iar legea lor de interacțiune este de asemenea simplă. Complexitatea apare datorită numărului mare de asemenea elemente care interacționează simultan. Complexitatea apare în organizarea întregului sub presiunea infinitelor combinații în care acestea pot interacționa*". În 1995, Holland afirmă că: "*sarcina dificilă de a defini o teorie a Sistemelor Complexe Adaptative (SCA)*

constă în faptul că întregul SCA este mai mult decât o simplă sumă de părți care evoluează. SCA abundă în interrelații neliniare". În 1996, Kauffman spune: "un sistem complex poate manifesta proprietăți ce nu pot fi cu-adevărat explicate prin studiul oricât de amănunțit al elementelor componente. Întregul, într-o manieră complet nestatistică poate manifesta proprietăți emergente, colective, proprietăți care nu au nici o semnificație în cadrul dinamicii părților". Altfel spus, **întregul are legi proprii** ce izvorăsc din dinamica părților și care se manifestă atâta timp cât întregul nu este fragmentat. În 1997, Bar-Yam definește: "pentru a înțelege comportarea unui sistem complex trebuie să înțelegem nu numai evoluția părților, ci și modul în care acestea, interacționând, generează însuși întregul". În 1998, Cilliers afirmă: "complexitatea nu este localizată undeva la un anumit nivel de structurare al unui sistem. Deoarece complexitatea este o proprietate născută din interacțiunea părților ce îl compun, complexitatea se manifestă doar la nivelul sistemului însuși."

Să analizăm câteva sisteme pentru a sugera mai explicit, diferențele specifice dintre un sistem complicat și unul complex, și a evidenția mai concret direcția către care se îndreaptă studiul Complexității. Pentru a studia un sistem este necesar a se identifica frontiera sa, elementele componente $\{e_i\}$, interacțiunile dintre acestea $\{r_i\}$ și condițiile inițiale. Cunoscând legile de interacțiune dintre elemente, se poate imagina un sistem de e_i ecuații diferențiale care să descrie evoluția în timp a sistemului. Rezolvarea sistemului permite identificarea traiectoriilor pe care fiecare element le va urma, fapt de o utilitate pragmatică esențială, căci în acest fel este asigurată *predictibilitatea* în evoluția sistemului. Am putea imagina că dorim să formalizăm matematic jocul de biliard. Pe suprafața mesei de biliard, de formă și dimensiune cunoscută se află un număr de bile $\{e_i\}$, realizate dintr-un material omogen cu proprietăți de elasticitate cunoscute. Se poate evalua frecarea de rostogolire dintre bilă și suprafața mesei, se poate alege un material pentru mantă, astfel încât coeficientul de restituire să fie cât mai apropiat de cel al bilei. Putem defini și formaliza principala interacțiune: *ciocnirea elastică* dintre bile și dintre bile și mantă. Cunoscând poziția inițială a bilelor și impulsul imprimat de tac bilei, putem determina matematic evoluția în timp a acestora. Dacă punem mai multe bile în joc, situația nu se schimbă *calitativ*, ci doar *cantitativ*, fiind necesare mai multe ecuații, corespunzătoare numărului mai mare de bile. Într-un asemenea sistem putem spune că evoluția traiectoriilor bilelor depinde doar de interacțiunile locale, de ciocnirile propriu zise. Altfel spus, nu se va schimba rezultatul unei lovituri dacă, într-un experiment filozofic, am lua de pe masă bilele, sau chiar și manta, și le-am introduce în joc doar în momentele ciocnirii. **Evoluția „jocului” nu depinde** de situația globală, **de context**. Viitorul este definit complet de interacțiuni locale, clar definibile într-o relație cauzală și de legi stabile, aplicabile unor elemente care nu se modifică în timp. În acest context putem „fragmenta” întreg sistemul în subsisteme, le putem studia local și independent, pentru ca, apoi, să deducem comportarea la scara întregului sistem din însumarea rezultatelor parțiale. Numărul bilelor poate fi oricât de mare, fără ca modalitatea de abordare să se schimbe. Motiv pentru care aceeași metodologie de calcul este utilizată și în cazul cineticii gazelor, în care bilele de biliard sunt înlocuite de molecule. Putem conchide că asemenea sisteme sunt **sisteme complicate**

Să încercăm să aplicăm acum aceeași metodologie de studiu unui sistem viu. Bilele sunt în acest caz **indivizii** ce se pot deplasa și interacționa pe suprafața de „joc” (mediul biogeofizic, landscape). Apare o nouă entitate: „**grupul**” văzut ca un ansamblu de indivizi ce au un pattern comportamental specific și care **se naște** din însăși interacțiunile dintre indivizi, interacțiuni ce au loc într-o anumită zonă spațio-temporală. Grupurile interacționează între ele structurând o altă entitate: **națiunea**. A iniția un studiu din perspectiva unei științe clasice este dificil dacă nu imposibil, cel puțin din câteva puncte de vedere. Este dificil sau imposibil de delimitat o frontieră dincolo de una convențională, frontiera reală fiind mult mai difuză, cu un contur ce nu mai poate fi aproximat convenabil printr-o geometrie euclidiană. Indivizii, "celule" componente ale sistemului social, se modifică continuu (cresc, se maturizează, se îmbolnăvesc, mor), dar cel mai important, procesează informație și învață (memorie), modificându-și spontan legea de interacțiune (oamenii nu sunt simple bile ce interacționează după legi deterministe, pentru a „uita” mai apoi interacțiunea – atenuare, relaxare). Comportarea unui individ are cel puțin două componente: una obiectivă, rațională, structurală, formalizabilă în limita teoremei de incompletitudine a lui Goedel și una subiectivă, irațională, fenomenologică (neformalizabilă structural și implicit nedescriptibilă printr-o relație cauzală). Activitatea grupului sau a grupului de grupuri se desfășoară în mediul Natural, mediu ce se "consumă", se modifică odată cu evoluția societății, fapt ce are consecințe în modificarea comportamentului individual și de grup. Altfel spus, asemenea sisteme **depind de context** în evoluția lor și ca urmare, **nu mai este posibilă aplicarea metodologiei clasice ce implica izolarea unor subsisteme și tratatea lor în baza principiului superpoziției și implicit a unei abordări liniare**. Pe lângă legăturile cauzale (interacțiuni fizice și chimice) între indivizii ce formează o "populație" se stabilesc și o seamă de legături informaționale, dificil de evaluat din perspectiva unei viziuni ontologice bazate doar pe diada energie - materie. Aceste legături informaționale - mediate de mesaje - pot declanșa o seamă de reacții ce se pot propaga (sau nu), din aproape în aproape, în întreg spațiul ocupat. Limbajele specifice la nivelul "comunicării între celule" au rolul de a sincroniza părți din organism pentru ca acesta, în ansamblu, să poată funcționa... Atunci când ne bucurăm de o priveliște frumoasă și simțim parfumul ierbii proaspăt cosite, și, inspirați de aceste trăiri compunem o melodie, la nivelul întregului nostru corp se desfășoară mii de reacții chimice (mesaje codate în "alte limbi"), se nasc și mor celule din componența organelor din care suntem alcătuiți... Întreaga noastră "infrastructură" participă activ, pe diferite paliere de organizare și prin diferite "limbaje" la această manifestare. Ar fi absurd să studiem oricât de atent o celulă în speranța că vom descoperi fie și un cuvânt din poezia creată de individul de la care am prelevat-o. Este deci evident că este necesară o altă abordare, o altă metodologie de studiu pentru această clasă de sisteme.

Putem spune deci că, un **sistem Complex** este un sistem ce are o structură ierarhizată, manifestă comportări diferite pe diferite paliere de organizare, are o evoluție ce depinde de context, de mediu, caracterizată de perioade de „calm” și perioade de „criză” în care sunt de așteptat tranziții de fază (salturi, discontinuități) definite ca variații bruște în structura energo-materială a subsistemelor componente sau a sistemului însuși, salturi prin care se asigură o adecvare continuă pe toate palierele de organizare a sistemului și între toate elementele ce definesc ansamblul sistem–mediu. A surprinde

și caracteriza Complexitatea este o provocare adresată minții omenești care trebuie să își structureze **un cadru ontologic nou**, un **set de concepte** și o **metodologie**, respectiv o **tehnică experimentală adecvată**, calitativ diferită de cea cu care s-a obișnuit în cadrul abordării științifice tradiționale.

Rezumând caracteristicile unui sistem complex putem afirma că :

- un sistem complex nu poate fi analizat principial prin fragmentarea sa în părți, este alcătuit din elemente ce au sens doar în integritatea sistemului; are evoluție nepredictibilă (*exceptând cel mult un interval scurt de timp numit orizont temporal*); poate suferi transformări bruște, oricât de mari, fără cauze exterioare evidente; prezintă aspecte diferite în funcție de scara de analiză;
- se deosebește principial de un sistem complicat prin faptul că dificultatea de predicție nu se află în incapacitatea observatorului de a lua în calcul toate variabilele ce ar influența dinamica acestuia, ci în sensibilitatea sistemului la condițiile inițiale (*condiții inițiale ușor diferite conduc la evoluții extrem de diferite*), la care se adaugă efectul unui proces de **auto-organizare** (*proces determinat de însăși interacțiunile dintre subsistemele componente și care are ca efect apariția spontană - nepredictibilă principial - a unor relații de ordine*);
- un sistem complex se poate modela și studia într-un spațiu topologic echivalent, denumit **spațiul fazelor**, în care se definesc noțiuni specifice: *atractori și repulsori, bazin de atracție, traiectorii, cicluri limită, etc.* În acest context se poate vorbi de o modelare funcțională, mult mai abstractă și “dezlegată” de constrângerile impuse de o “anatomie” și o “fiziologie” concretă. În timp ce modelarea clasică pornește prin a aproxima ceea ce “se vede”, modelarea funcțională implică identificarea unui sistem dinamic echivalent a cărui comportare este analizabilă prin metode specifice, cu un grad extrem de ridicat de generalizare;
- un sistem complex are o evoluție ce nu rezultă din analiza răspunsului la un stimul dat (analiză dinamică); altfel spus, dinamica și evoluția unui sistem complex sunt două probleme distincte, dar interdependente, ce necesită abordări specifice.

"I think the next century will be the century of complexity".

Stephen Hawking

3. Ce este știința Complexității și care sunt întrebările fundamentale la care încearcă să răspundă

Știința Complexității poate fi considerată un set de modele și teorii capabile să permită înțelegerea raportului: *local–global, parte–întreg* într-o manieră suficient de generală ca să poată fi aplicată de la studiul viului, pornind de la gene către organisme și ecosisteme, și până la studiul tranzițiilor de la atomi la materiale și produse, de la calculator la rețele locale și internet, de la cetățean la grup și societate.

Știința complexității poate fi văzută ca o știință integratoare, capabilă să asigure un mod de abordare interdisciplinară, să genereze străpungeri între domenii diferite de cunoaștere, să creeze punți de legătură între specialiștii diferitelor domenii de studiu și, nu în ultimul rând, să accelereze fluxul de cunoștințe și informații către societate. Prin capacitatea de a angrena echipe interdisciplinare formate din specialiști proveniți din școli și culturi diferite în studii de importanță strategică precum cele impuse de implementarea dezvoltării durabile, această știință a Complexității este considerată azi pilonul central ce permite restructurarea cunoștințelor dobândite până în prezent de omenire, într-o paradigmă coerentă, comprehensibilă la toate nivelele sociale și generatoare a principalelor activități impuse de co-evoluția Om-Mediu.

Știința Complexității a devenit un mod de a aborda Realitatea și nu trebuie confundată cu principalele modele, teorii și tehnici de măsură pe care le utilizează: Teoria Rețelelor, Teoria haosului determinist, Teoria Catastrofelor, Geometria Fractală, Teoria Bifurcațiilor, Sinergetica, Morfomatica, etc.

Știința Complexității încearcă să răspundă la o seamă de întrebări considerate fundamentale și ierarhizate de comunitatea științifică mondială astfel:

1. Cum se poate studia procesul de geneză a unui sistem (emergență, auto-poiesis, auto-organizare), dincolo de studiul unui sistem existent și cum se desfășoară procesul de autoreglare necesar păstrării homeostaziei sistemului în contextul unor fluctuații importante ale mediului în care acesta funcționează (fluctuații intrinsec existente în mediu, peste care se suprapun variații generate de însăși dinamica și evoluția sistemului analizat)?
2. Cum se poate reconstrui dinamica unor sisteme ierarhizate din studiul datelor experimentale? Care este nivelul de detaliere necesar pentru un studiu coerent? Cum trebuie plasați senzorii pentru a surprinde în mod esențial interacțiunile ce se desfășoară pe ierarhii de subsisteme, (de jos în sus respectiv a celor de corecție: de sus în jos)?
3. Cum se poate evalua obiectiv un sistem complex atunci când însăși definirea frontierei este o problemă dificilă și, în plus se manifestă și dependența sistemului față de istoria cumulată în evoluția sa, respectiv de particularități ale evoluției mediului?
4. Cum poate fi utilizată practic experiența dobândită din studiul în spațiul fazelor a sistemelor dinamice neliniare? Cum se pot identifica experimental atractorii și atractorii străni, familia de traiectorii ciclice, periodice sau haotice și cum poate fi

condus un asemenea sistem atunci când spațiul fazelor este cunoscut? Cum poate fi aplicată în practică ideea de „control al haosului”?

5. Care ar fi palierele definerii de organizare în cadrul sistemelor complexe ierarhizate și care sunt caracteristicile spatio-temporale ale acestora? Cum se influențează reciproc fenomene desfășurate cu viteze de evoluție diferite și cum putem aborda o structură de sisteme complexe ce co-evoluază?
6. Cum poate fi interpretată în acest context al științei Complexității apariția și dezvoltarea Conștiinței, a dezvoltării continue a civilizației speciei umane? Este Conștiința rezultatul unui proces de auto-poiesis (proces emergent) în condițiile adaptării continue și de lungă perioadă a unei rețele auto-generate, la însăși funcțiile generate de aceasta?

De remarcat faptul că, pentru a putea răspunde la toate întrebările de mai sus, este necesară:

- adecvarea contextului experimental la cerințele noi impuse de studiul sistemelor complexe (sisteme disipative ce evoluează departe de echilibrul termodinamic),
- modificarea corespunzătoare a aparaturii de măsură și control și adecvarea protocolului experimental de o manieră capabilă să surprindă aspecte esențiale ale sistemelor complexe,
- pregătirea specialiștilor pentru a putea opera creativ în acest “univers conceptual nou”, formarea abilităților de a lucra în echipe multiculturale, inter și trans-disciplinare.

4. Câteva observații și precizări în contextul unei abordări din perspectiva Complexității

a) conceptul de evoluție în cazul sistemelor complexe se referă la fenomene de sinergie, de auto-organizare, de transformare prin modificări spontane ale structurii material-radiative, fiind diferit de sensul comun utilizat pentru a descrie traiectoria unui sistem dinamic.

Studiul proceselor de autoorganizare, al fenomenelor de sincronizare a oscilatoarelor haotice sau a fenomenelor de rezonanță stocastică au determinat accentuarea diferențelor specifice dintre obiectul de studiu al științei clasice și cel al științei complexității. În acest sens, se poate accentua diferența semantică asociată cuvintelor: *dinamică* și *evoluție*. Se poate spune că știința clasică studiază dinamica sistemelor, utilizând în acest scop sisteme de ecuații diferențiale, liniare sau neliniare. Prin aceste studii se poate defini obiectiv răspunsul sistemului la un stimul exterior, la o forță perturbatoare. *Evoluția în timp* astfel determinată nu are aceeași încărcătură

semantică cu cuvântul evoluție utilizat în studiul sistemelor complexe. În acest ultim caz, studiul evoluției sistemului presupune înțelegerea modului și mecanismelor prin care are loc integrarea evenimentelor locale (dinamicilor locale) într-un comportament general, dificil sau imposibil de surprins de către teoria generală a sistemelor dinamice și asta datorită a cel puțin două proprietăți esențiale ale sistemelor complexe: *dependența de context și implicit sensibilitatea la condițiile inițiale* [27,28,29] respectiv *saltarile calitative ce se manifestă spontan prin procese de tip autoorganizare* [30,31]. Altfel spus, istoria (contextul) nu poate fi reprodusă și implicit o legătură cauzală poate fi definită doar sub orizontul temporal specific fiecărui caz în parte. Dezvoltarea științei computaționale, apariția agenților inteligenți și a modelelor de tip automat celular a permis studiul sistemelor ierarhizate [32,33] ce evoluează departe de echilibrul termodinamic și care evidențiază un comportament de auto-organizare. Din această perspectivă se poate afirma că știința complexității și instrumentele teoretice ce se dezvoltă din aceasta sunt capabile să definească un nou domeniu al cunoașterii și anume cel al studiului evoluției sistemelor complexe, în care cuvântul evoluție are sensul accentuat mai sus. (cu aplicabilitate imediată la mecanica rușilor, germinarea fisurilor și percolații, uzura sistemelor fizice, comportamentul unor biomateriale și a materialelor inteligente etc. în sociologie, economie, mediu.)

b) În geneza și evoluția sistemelor complexe, regimul tranzitoriu este predominant, starea critică este robustă, sistemul suferind permanente restructurări în raport cu fluxurile de informație și energie care-l străbat; acest fapt impune utilizarea de metode adecvate de analiză și studiu.

Data fiind importanța regimurilor tranzitorii în studiul sistemelor complexe, care principial nu ajung la echilibru termodinamic, fapt pentru care evoluția acestora poate fi văzută ca o succesiune de regimuri tranzitorii. Remarcabilă în acest sens este abordarea propusă de Prigogine asupra sistemelor disipative care evoluează departe de echilibrul termodinamic [34], respectiv conceptul de „local activity„ [35] formulat de Chua, inventatorul oscilatorului haotic. Din această perspectivă, întreaga metodologie de abordare precum și întreg ansamblul de tehnici și echipamente de măsură trebuie reevaluat și adaptat în consecință. Este evidentă limita unor metode clasice de evaluare a fluctuațiilor neperiodice, precum analiza Fourier (*des utilizată în evaluarea comportamentului dinamic al unor sisteme fizice și evident în diagnoză și conducerea unor procese industriale, dar inadecvată în domeniul biologiei, ecologiei, sociologiei și a cărei limită principială o constituie „ștergerea” amprentei distribuției în timp a energiei pe durata T a analizei, transformata Fourier oferă utilizatorului doar valorile medii pe intervalul de analiză*). Pentru a surprinde structura variației în timp a energiei radiate sau absorbite de un sistem, s-au elaborat metode noi de evaluare, special concepute pentru a evidenția concentrări de energie în domeniul timp – frecvență. Astfel, transformata Wavelet [36,37], respectiv clasa de transformări Wigner-Ville [38,39], sunt câteva metode moderne, capabile să surprindă amprente ale regimurilor dinamice asociate evoluției unui sistem. Prin aceste metode, o serie temporală este transpusă într-o imagine (patern) ce conține informații legate de dinamica timp - frecvență a unor evenimente scurte, ce pot fi la rândul lor precusoare ale unor transformări critice. Aplicația practică este imediată în diagnoza și controlul automat al sistemelor

tehnologice și evident în studiile ce urmăresc o mai bună înțelegere a cuplajelor dintre diferite sisteme .

c) Evoluția unui fenomen "dens" într-un spațiu de dimensiune fractală, observat dintr-un spațiu euclidian superior, apare observatorului ca fiind discontinuu.

Se pune astfel problema definirii unor metode specifice pentru identificarea unității evenimentului observat. Studiul proceselor ce manifestă criticalitate autoorganizată au sugerat că pentru anumite sisteme, cauze minore pot avea efecte de orice mărime. Altfel spus, nu există o legătură strict cauzală și asta datorită inițializării unui proces de tip avalanșă în cadrul unui sistem ce a acumulat într-o manieră unică și nereproductibilă o energie internă până la un prag critic. În aceste sisteme, o catastrofă (eveniment major) poate fi generată atât de cauze externe majore, cât și de instalarea unei stări critice la care micile perturbații pot determina efecte majore. Se remarcă dificultatea de a evalua **unitatea unui eveniment** definit de o dimensiune fractală și care se desfășoară într-un spațiu Euclidian. În acest caz, evenimentul apare observatorului ca fiind discontinuu, fragmentat, deși fiecare parte analizată aparține aceluiași eveniment (o avalanșă are o structură discontinuă deși este un singur eveniment). Se impune o creștere a interesului pentru studii pe modele de tip Bak pentru a identifica modalități de abordare, de identificare a stărilor critice, a precursorilor pentru evenimente majore precum și a modului în care se pot efectua măsurători cantitative, respectiv a modului în care trebuie plasați senzorii (numărul lor și poziția de amplasare) pentru o caracterizare obiectivă, cantitativă a dinamicii și evoluției unui asemenea sistem. În acest context este de mare importanță elaborarea de studii capabile să identifice amprenta unui eveniment pentru a-l deosebi de amprenta unei însumări de observații provenite de la multe evenimente, a căror dependență de context, le-a afectat într-o anumită măsură.

d) Pentru a modela instabilitatea sistemelor fizice nu trebuie introdus un termen stohastic într-o ecuație deterministă, ci trebuie studiată corespunzător și complet ecuația diferențială respectivă.

Teoria Haosului determinist definită în principal de către Feigenbaum prin descoperirea constantei haosului și implicit a comportamentului de pierdere a stabilității prin dublarea perioadei (scenariul de tranziție la Haos a lui Feigenbaum) este considerată după cuantică a doua mare străpungere teoretică a secolului trecut. Rezolvarea propusă de Feigenbaum, și mai ales identificarea de către Chua a aplicației practice a scenariului de tranziție la haos în cadrul oscilatoarelor haotice și a sincronizării circuitelor haotice, sugerează faptul că: abordarea analitică a ecuațiilor diferențiale este echivalentă cu abordarea unui sistem fizic pentru care timpul de răspuns pe bucla de feedback este infinit mic (dt) și implicit, orice fluctuație este corectată instantaneu. Din acest motiv atât sistemul, cât și soluția sunt principial stabile. Altfel spus, abordarea modelării dinamicii unor sisteme fizice prin utilizarea sistemelor de ecuații diferențiale este limitată principial, iar introducerea unor termeni stohastic nu face decât să adapteze, mai mult sau mai puțin formal, modelul teoretic analitic la realitatea observabilă. În cazul parabolei lui Feigenbaum se obține un comportament ce

conține implicit, în aceeași structură formală, atât stabilitatea, cât și instabilitatea, și asta dependent de un parametru de control.

e) Știința Computațională a permis o nouă formă de simulare, complementară celei analitice (automatele celulare).

Acest mod de simulare se poate urmări emergența unor proprietăți manifestate la scară globală și care nu au fost definite de axiomatica utilizată la scară locală, dând astfel expresie fenomenului de sinergie și emergență. Utilizarea calculatorului în simularea proceselor de agregare (structurare) respectiv fragmentare (rupere, disociere) prin modele de tip automat celular sau al particulei călătoare, a reprezentat în același timp și o străpungere conceptuală. Astfel, a fost posibilă o altă abordare, principial diferită de cea clasică și anume, reconstrucția într-un mediu abstract (cel numeric) a dinamicii și evoluției unui sistem (geneza unui sistem definit local, dar observat global). Definirea unor subsisteme (celule) cu anumite proprietăți și a unor legi de interacțiune dintre acestea (legi fixe sau modificabile după anumite condiții prestabilite) urmată de determinarea și vizualizarea permanentă a stării fiecărui subsistem în urma tuturor interacțiunilor manifestate, a generat un mod nou de modelare și a dat un nou sens conceptului de simulare [40]. De la simularea clasică, bazată practic pe vizualizarea variației în timp a soluțiilor ecuațiilor diferențiale - modelul matematic, simularea computațională specifică studiului sistemelor complexe reface într-o mare măsură geneza sistemului, fără a avea un model matematic în sensul unor ecuații sau sisteme de ecuații, ci doar în baza unui set de legi locale și de condiții de interacțiune. Acest mod de abordare are mare aplicabilitate în simularea proceselor de solidificare a materialelor cu compoziții complicate, în simularea proceselor de fragmentare fiind esențiale pentru dezvoltarea domeniului biomaterialelor și al materialelor inteligente.

f) Evaluarea structurilor neregulate prin metode fractale este complementară abordării statistice, motiv pentru care se recomandă aplicarea simultană a acestor metode în scopul îmbunătățirii capacității de recunoaștere (discriminare / clasificare) și structurare a unei teorii adecvate.

Evaluarea cantitativă a neregularităților, atât a celor spațiale (rugozități, structuri arborescente etc.), cât și a celor temporale (fluctuații a unor parametri fizici: serii temporale neperiodice) este, în general, realizată prin metode statistice. Valorile astfel obținute, deși au o mare importanță practică, nu sunt în măsură să caracterizeze cantitativ **structura** neregularității. Este cunoscut faptul că orice evaluare statistică presupune utilizarea unui operator de tip sumă (integrală). Se știe, însă, că adunarea este o operație comutativă, motiv pentru care orice permutare a aceluiași volum de date va conduce la aceleași valori pentru sumă deși, ordinea termenilor poate avea semnificație (poate descrie un patern) fiind semnificativă și determinantă în cazul unei interacțiuni informaționale. Putem afirma astfel, că de multe ori, metodele clasice aplicate pentru a valida o nouă ipoteză, pot conduce la rezultate negative, nu din cauza faptului că ipoteza este neadevărată, ci că ea este verificată prin intermediul unei proceduri, a unui algoritm inadecvat, incapabil să surprindă esența postulată de ipoteză.

Utilizarea acestei observații în cazul procesului de fragmentare a unui solid evidențiază o serie de proprietăți universale, respectiv identificarea unor invarianți caracteristici ai procesului de rupere ce nu depind de mărimea sau de natura materialelor și nici de tehnica de fragmentare. Această "amprentă" specifică este evidențiată doar în cazul studiului statistic al fragmentelor obținute pornind de la o masa unitară (un bloc, o unitate) și nu este evidențiable dacă se amestecă fragmente provenite din spargerea mai multor blocuri.

Studii speciale de mecanica ruperilor au arătat că distribuția fragmentelor după dimensiune (masă), obținute printr-un mecanism oarecare de rupere (lentă sau explozivă) urmărește o curbă polimodală, cu maxime situate după o lege putere. Modul de reprezentare clasică (funcția de repartiție) și mai ales amestecul fragmentelor provenite de la blocuri sau "întregi" diferiți au fost în măsură să șteargă această amprentă a fragmentării unui întreg. Se poate afirma deci, că **există o amprentă specifică fragmentării unui întreg**, dar în același timp semnificația statistică a acestei amprente, deduse din numărul mic de fragmente obținute în urma ruperii, este slabă. Observația este utilă în expertiza unor accidente (explozii) în care se poate stabili dacă o anumită colecție de fragmente au provenit de la un singur obiect, dar și în imaginarea de noi experimente astfel structurate încât să permită identificarea de noi proprietăți de material, mascate de modul de investigare și evaluare a proprietăților fizice și mecanice utilizat. Pe lângă aceste aspecte pragmatice putem formula o observație cu caracter epistemic.

g) În spatele conceptului de armonie definit de estetică și teoria artei se ascund o seamă de proprietăți speciale asociate Formei,

Dacă știința clasică a urmărit determinarea unor invarianți (legi, legături cauzale stabile) într-un Univers guvernat de fluctuații, se poate afirma că știința Complexității în ansamblu studiază rolul fluctuației în geneza și stabilitatea unui sistem complex. Din această perspectivă, rolul fluctuațiilor neperiodice, considerat clasic a fi "zgomot" devine un rol central, el fiind sursă de stabilitate sau sursă de informații pentru diagnoza sistemului. Din acest motiv, se pune accent pe metodologia de evaluare a fluctuațiilor, a regimurilor nestaționare, pe identificarea de patern-uri cu aspect aparent neregulat. O observație esențială o reprezintă apariția în cadrul optimizării conducerii unui proces eminentamente instabil a unui cuplaj între elemente analogice și elemente discrete ale buclelor de reglare, definite de constante de timp diferite dar legate între ele printr-o constantă în care apare numărul de aur (un număr cu puternice rezonanțe filozofice, dar care se evidențiază din ce în ce mai des în cadrul studiilor de matematică și biomatematică ca fiind un exponent al construcțiilor naturale, autosimilare). Studiile realizate au condus la formularea explicită a unei tematici de cercetare fundamentală în jurul genezei formei și rolul formei în stabilitatea unui sistem complex, scufundat într-un mediu natural cu care sistemul este obligat să co-evolveze.

5. Concluzii

Știința Complexității poate fi considerată o nouă paradigmă, atât prin baza conceptuală în care operează, principial diferită de cea clasică, cât mai ales prin metodologia specifică de evaluare, inventată special pentru a acoperi noi cerințe impuse de teoriile și modelele structurate. Știința Complexității s-a născut în 1987, prin structurarea institutului de la Santa Fe, ca urmare a sintezei integrative a unor teorii și modele ce au valorificat creativ tranziția de la o abordare liniară în modelarea Realității la una neliniară, tranziție sprijinită conceptual și logistic de apariția și dezvoltarea calculatorului electronic și a inteligenței artificiale. Știința Complexității modifică o seamă de prejudecăți, concepte, valori și credințe care spun că:

- Ceva se întâmplă pentru că ceva acționează (cauză și efect),
- Universul este ordonat, se supune unor legi naturale și funcționează aidoma unei mașini foarte complicate.
- Putem înțelege ce se întâmplă în Realitate prin fragmentarea Realității în părți, urmată de analiza amănunțită a părților (atitudine reduționistă).
- În vederea unui studiu, un sistem se poate izola, descompune în părți, studia separat, fiecare în parte (analiză), întregul fiind astfel cunoscut din însumarea efectelor părților componente (sinteză - principiul superpoziției).
- Fluctuațiile neperiodice ale unor parametri termodinamici sunt o expresie a imperfecțiunii sistemelor și nu au o relevanță în studiul acestora, căci au tendința naturală de a se atenua în timp.

Cele de mai sus, consecințe directe ale modului de abordare liniară a Realității au fost definite de modele și teorii furnizate de fizica secolelor XVII și XVIII și care afirmă că:

- Un fenomen fizic poate fi izolat de mediul în care se desfășoară (se poate face abstracție de context),
- Interacțiunile dintre diferite fenomene fizice izolate se desfășoară astfel încât se obține o descriere apropiată de realitate prin însumarea efectelor parțiale (principiul superpoziției),
- Fenomenele sunt principial reproductibile și independente de subiect (de observator)

Acest mod de abordare, generalizat ca atitudine reduționistă, s-a "metabolizat" la nivelul societății actuale, devenind principala paradigmă activă azi datorită succesului reportat în predicția unei importante clase de procese și fenomene fizice care a permis structurarea societății industriale și germinarea societății informaționale.

Știința secolului XX pune însă în discuție limita abordării liniare, reduționiste. Astfel, în domeniul particulelor elementare (la micro scară), enunțarea principiului de incertitudine a lui Heisenberg evidențiază natura profundă a hazardului ca fenomen intrinsec desfășurării proceselor în natură și subliniază existența unei relații speciale între observator și fenomenul observat (definește o limită de observabilitate, incapacitatea observatorului de a determina experimental, simultan și cu precizie absolută, poziția și viteza unei particule de exemplu). La limita opusă, cea a Universului

(macroscară), relativitatea generalizată a lui Einstein aduce în discuție relația complexă dintre *spațiu* și *timp*. Studiile efectuate la scara umanului (mezoscară) au condus la formularea *Teoriei Sistemelor Disipative* a lui Prigogine, a *Teoriei Catastrofelor* și în mod special a *Teoriei Haosului Determinist* care evidențiază o proprietate esențială și anume sensibilitatea la condiții inițiale a sistemelor neliniare. Printre consecințele ce decurg din aceste teorii, care se adună într-un set de principii, observații, modele și metode de evaluare, se structurează o nouă paradigmă și se definește o nouă știință, cea a Complexității putem aminti:

- Lipsa de predictibilitate a unor sisteme neliniare nu este datorată imperfecțiunilor sistemului, a existenței unor fluctuații aleatoare ce se manifestă la scara microscopică, ci este datorată însăși naturii acestor sisteme pentru care, mici variații ale condiției inițiale pot conduce la rezultate complet diferite, prin aceleași mecanisme implicate (***sensibilitate la condiții inițiale; haos determinist, rezonanță stochastică, rezonanță haotică, sincronizarea oscilatoarelor haotice***);
- Sistemele cu comportare neliniară sunt dificil sau imposibil de abordat din perspectiva unei legături cauzale și asta pentru că, evoluția lor fiind dependentă de context, nu poate fi principial reproductibilă. Altfel spus, sistemele complexe nu satisfac una din cerințele paradigmei clasice și anume de a fi reproductibile și implicit descrise cauzal. Se poate spune că, în evoluția lor există un interval limitat de timp în care sistemele se comportă asemănător (***orizont temporal***) și în care predictibilitatea este satisfăcătoare și metodologia clasică utilizabilă. În afara acestei limite este necesară utilizarea unor metode și tehnici noi, specifice,
- Sistemele complexe manifestă ***criticalitate auto-organizată*** (modelul movilei de nisip a lui Per Bak) sau altfel spus, un sistem complex evoluează în jurul unor stări critice (starea critică este starea normală, robustă față de variații exterioare; sistemele complexe nu evoluează către o stare de echilibru, ci sunt menținute ***departe de echilibrul termodinamic*** prin intermediul consumului de energie – ***sisteme negentropice, sisteme disipative***);
- Sistemele complexe nu pot fi analizate nici prin fragmentarea lor în subsisteme mai simple și nici independent de context. Complexitatea și implicit natura intimă a acestora rezidă tocmai în adaptarea continuă (***co-evoluția***) a subsistemelor la dinamica mediului;
- Sistemele complexe prezintă de cele mai multe ori un comportament haotic, generând în evoluția lor o mare varietate de ***pattern***-uri, ce rezultă ca proprietate intrinsecă sistemului și nu ca rezultat al unor evenimente exterioare;
- Atenția în studiul sistemelor complexe nu mai este concentrată în jurul stării de echilibru ci în ***studiul dezechilibrelor, a punctelor critice, a bifurcațiilor*** potențial posibile.
- Studiul proceselor neliniare, complexe definește o altă fațetă a timpului: un timp intrinsec legat de sistem, ireversibil, istoric, marcat de evoluția sa, care prezintă alternanțe între perioade de structurare și destructurare, de apariția și dispariția unor relații și structuri.

O asemenea abordare este mult mai adecvată pentru studiul fenomenelor astro-bio-geofizice, a celor ecologice, sociale, economice și politice și implicit oferă soluții, modele

și tehnici de evaluare cantitativă pentru anumite observații și legi empirice evidențiate până în prezent doar calitativ. Este evident că principalii beneficiari ai acestei noi abordări vor fi biologia, psihologia, sociologia, economiștii, managerii, politologii, ecologia, iar rezultatul final al acestui demers poate fi dezvoltarea sustenabilă a umanității.

Bibliografie

- [1]. *Our Common Future (Paperback)*, World Commission on Environment and Development, (1987)
- [2]. *Our Common Future, Our Progress: Content Analysis of Focus Groups and Public Meetings*, Cambridge, (1999)
- [3] Kump, Lee R., Kasting J. F., Crane R.G., *The Earth System. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, (2000)*
- [4] Lovelock J.E., *Gaia: A New Look at Life on Earth*, New York: Oxford University Press, (2000)
- [5] *Knowledge societies. Information technology for sustainable development*, Robin Mansell and Uta Wehn (Editors) published for and on behalf of the United Nations, Commission on Science and Technology for Development, Oxford University Press, New York, (1998).
- [6] *Living Roadmap for Complex Systems Science*, Edited by Paul Bourguine (1) and Jeffrey Johnson, (ONCE_CS_RoadMap_V22.pdf), (2006)
- [7] Lovelock J. E., *Healing Gaia: Practical Medicine for the Planet*, Diane Pub Co, (1991)
- [8] <http://www.complexity.ecs.soton.ac.uk/>
- [9] http://en.wikipedia.org/wiki/Pareto_distribution
- [10] <http://pespmc1.vub.ac.be/SINGULAR.html>
- [11] Prigogine, I., Stengers, I., *Order Out of Chaos: Man's New Dialogue with Nature*, London: Heinemann, (1984)
- [12] Cramer, F., *Chaos and Order: The Complex Structure of Living Things*, New York: VCH, (1993)
- [13] Kaye, B., *Chaos & Complexity*, New York: VCH, (1993)
- [14] Ott, E., *Chaos in Dynamical Systems*, Cambridge University Press, (1993)
- [15] *Chaos Theory*, The Columbia Encyclopedia, Sixth Edition (2007)
- [16] Thom R., *Structural Stability and Morphogenesis*, Westview press, (1971)
- [17] Haken, H., Mikhailov, A., *Interdisciplinary Approaches to Nonlinear Complex Systems, London: Springer-Verlag , 1993*
- [18] Tian Ma, Shouhong W., *Bifurcation theory and applications*, World Scientific Series on Nonlinear Science, Series A - Vol. 53, (2005)
- [19] Mandelbrot, B., *The Fractal Geometry of Nature*, San Francisco: W. H. Freeman,(1977)
- [20] Vicsek T., *Fractal Growth Phenomena*, World Scientific, Singapore, (1992)
- [21] Bejan A., *Shape and structure, from engineering to Nature*, Cambridge University Press, (2000)
- [22] Abraham, R.H., *Dynamics and Self-Organization in Self-Organizing Systems: The Emergence of Order*, F. Eugene Yates [Ed.], NY: Plenum Press, 1987
- [23] Kauffman, S., *Origins of Order: Self-Organisation and Selection in Evolution*, Oxford: Oxford University Press, (1993)
- [24] Bak, P., *How Nature Works*, New York: Copernicus, (1996)

- [25] Radu Dogaru, Murgan A.T., *Chaotic Resonance Theory, a New Approach for Pattern Storage and Retrieval in Neural Networks*, Proceedings ICNN'95, Vol. 6, pp. 3048, (1995)
- [26] Zozor, S., Amblard, P.O., *Stochastic resonance in discrete time nonlinear models*, IEEE Transactions on Signal Processing, 47, pp. 108-122, (1999)
- [27] Pikovsky A., Rosenblum M., Kurths J., *Synchronization: A Universal Concept in Nonlinear Sciences*, Cambridge University Press, (2001)
- [28] Lewin, R., *Complexity: Life on the Edge of Chaos*, London: Phoenix, (1999)
- [29] Bar-Yam, Y., *Dynamics of Complex Systems*, Reading, Mass: Addison-Wesley, (1997)
- [30] Holland, J., *Emergence: From Chaos to Order*, Reading, Mass: Addison-Wesley, (1998)
- [31] Maturana, H.R., Varela F., *Autopoiesis and Cognition: The Realization of the Living*, Dordrecht/Boston: Reidel, (1980)
- [32] Constantinescu, P., *Sinergetica, Teoria generala a sistemelor ierarhizate*, Ed. Tehnica si Stiintifica, (1990)
- [33] McKelvey, B., *Self-organization, Complexity, Catastrophe, and Microstate Models at the Edge of Chaos*, Baum and McKelvey, (1999)
- [34] Prigogine I. *From Being to Becoming: Time and Complexity in the Physical Sciences*, W. H. Freeman, San Francisco, (1980)
- [35] Chua L., Local Activity Is The Origin Of Complexity, Complexity Digest 08, (2006)
- [36] Daubechies Ingrid, *10 lectures on wavelets*. SIAM, Philadelphia, 1992.
- [37] Muzy J. F., Bacry E., Arneodo A., *The multifractal formalism revisited with wavelets*. Intl. J. Bifurcation and Chaos vol. 4, pp. 245_302 (1994)
- [38] Classen, T., Mecklenbräuker W.F.G., *The Wigner Distribution - A Tool for Time-Frequency Signal Analysis: Part I - Continuous-time Signals*, Philips J. Res., 35(3), pp. 217-250, (1980)
- [39] Cohen, L., *Time-frequency analysis*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, (1995)
- [40] Wolfram, S. *A New Kind of Science*. Champaign, IL: Wolfram Media, (2002).