

LIBRIS

We know
books

Adrian Bejan

LIBERTATE și EVOLUȚIE

IERARHII ÎN NATURĂ,
SOCIETATE ȘI ȘTIINȚĂ

Traducere din limba engleză de
ALEXANDRU M. MOREGA

LITERA

București

CUPRINS

| | |
|--|-----|
| <i>Prefață</i> | 7 |
| 1 Natură și Putere | 15 |
| 2 Economii de scară | 32 |
| 3 Ierarhie | 43 |
| 4 Inegalitate | 65 |
| 5 Organizare socială și inovație | 88 |
| 6 Complexitate | 104 |
| 7 Disciplină | 127 |
| 8 Diversitate | 145 |
| 9 Evoluție | 165 |
| 10 Randamente descrescătoare | 183 |
| 11 Știință și libertate | 201 |
| <i>Indice</i> | 219 |

CAPITOLUL 1

Natură și Putere

Oamenii spun adesea că natura este complicată și devine și mai complicată. S-au spus multe despre diversitate, complexitate, imprevizibilitate în natură și, mai recent, despre legile fizicii care guvernează toate observațiile de acest fel. În acest capitol, distilez acest ansamblu de cunoștințe în doar trei idei.

Prima este aceea că designul (imaginile cu semnificație) există pretutindeni, în jurul și în interiorul nostru. Cele mai evidente și cunoscute sunt structurile în formă de copac, structurile arborescente ale bazinelor hidrografice, plămâniile umane, fulgerele, sistemul vascular, traficul urban, fulgii de zăpadă, deltele râurilor, traficul aerian global și vegetația (Fig. 1.1).

Multe alte imagini trec neobservate, ca și când n-ar avea nevoie de explicații. O clasă aparte este aceea a secțiunilor transversale rotunde ale conductelor, și acestea acoperă teritoriul de la vasele de sânge, căile respiratorii pulmonare și galeriile râmelor, până la „țevile“ sculptate de apa de ploaie în solul umed și pe pantele dealurilor pe care curg cele mai mici pâraiașe ale bazinului hidrografic. Multe tipuri de tehnologii folosesc conducte rotunde, dintr-un motiv întemeiat: oferă acces mai mare la ceea ce curge, mai mare decât în absența secțiunilor transversale rotunde.

Mai puțin cunoscute sunt ritmurile naturii, structurile (desenele) care reprezintă organizarea în timp, nu în spațiu. În cele mai multe locuri, curgerile care străbat arii și volume sunt de două tipuri. În bazinul unui râu, apa curge mai întâi sub formă de infiltrații în pantele dealurilor (prin difuzie, numită curgere Darcy), iar mai târziu sub formă

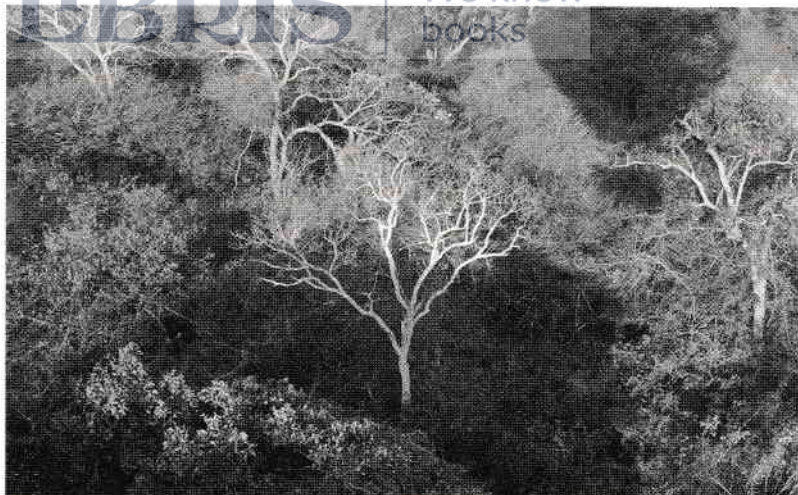


Fig. 1.1 Copaci vii și uscați pe Insula Kapinga din Câmpiile Busanga, Zambia (fotografie din balon cu aer cald, la răsăritul soarelui: Adrian Bejan). Sub această pădure, solul este străbătut de o rețea vasculară ierarhizată vastă și conectată de ciuperci, care transportă la copacii vii nutrienți de la frunzele moarte, fructele și copacii căzuți. Ierarhizarea societății copacilor este vizibilă deasupra solului: puțini mari prosperă împreună cu mulți mici. Precum o țară, societatea copacilor este ținută laolaltă de sol, care este un sistem de curgere viu, vascularizat, cu o ierarhie de curgeri de apă diverse, substanțe nutritive și viață animală, care se transformă constant în libertate.

de curenți, în canalele râului. Această combinație este fizica a ceea ce alții numesc „difuzie anormală”. Prima cale este lentă și pe distanță scurtă, în timp ce a doua este rapidă și pe distanță lungă. Se pare că, în mod misterios, apa petrece aproximativ același timp curgând încet (prin infiltrare) și rapid (prin curgere în canal). Egalitatea timpilor este ritmul, care este prezis de fizică.

Oxigenul ajunge în volumul pulmonar datorită aceluiași design cu două mecanisme de curgere. Scurtă și lentă este difuzia prin țesutul vascular al alveolelor. Lungă și rapidă este curgerea prin tuburile pulmonare. Difuzia și curgerea tubulară necesită același timp, care este durata inhalării. Dioxidul de carbon este evacuat în sens opus, de la un volum (toracele) la un punct (nasul). Aceași combinație bidirecțională facilitează curgerea dioxidului de carbon, mai întâi prin difuzie prin pereții alveolelor și apoi prin curgerea tubulară la dimensiuni mai

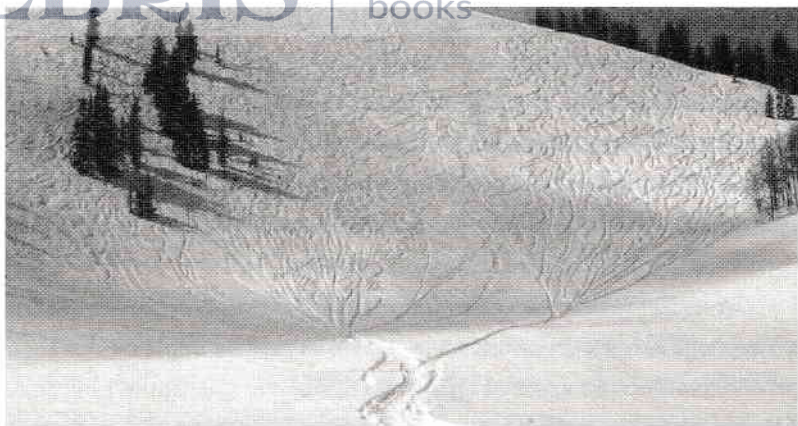


Fig. 1.2 Pârția de schi își „expiră” populația: bazinul ierarhizat al schiorilor care curge pe versantul unui munte acoperit cu zăpadă proaspătă (Foto: Rick Frothingham 2011; cu permisiune)

mari. Durata difuziei este aceeași cu durata curgerii tubulare. Și mai interesant este faptul că inhalarea, curgerea punct-volum, durează tot atât de mult cât curgerea volum-punct (expirația). Direcția curgerii (în interior și în exterior, inhalare față de expirare) nu este cheia, ritmul este factorul determinant.

Același design temporal guvernează curgerea nutrienților prin intermediul circulației sângelui. Difuzia prin pereții celor mai mici vase de sânge (capilare) este calea scurtă și lentă de curgere. Curgerea de tip curenț, prin vasele mai mari decât capilarele, este calea lungă și rapidă. Durata difuziei este aceeași ca și durata curgerii în conductă. Acest lucru este valabil pentru ambele sensuri de curgere, în sistemul arterial (de la plămâni la întregul corp) și în sistemul venos (de la corp la plămâni). În ambele direcții, curgerea este un design alcătuit din două curgeri arborescente, un arbore volum-punct conectat la un arbore punct-volum în care punctul este unic (inima), iar volumul alternează între corp și plămâni. Scara de timp (bătăile inimii) este aceeași pentru ambele sensuri ale curgerii sangvine.

Ritmul și designul arborescent guvernează curgerea apei pe teren. Curgerea arie-punct a bazinului hidrografic este urmată de curgerea

arie-punct a deltei. Punctul în acest caz este intrarea în deltă. Am crescut într-un astfel de punct, pe Dunăre. Designul vegetației este cuplarea a doi copaci, iar baza trunchiului este conexiunea. Sistemul radicular este arborele care transportă apa de la solul umed (un volum) la baza trunchiului (un punct). Arborele de deasupra solului transportă același debit de apă în sus, de la baza trunchiului până la volumul care conține coroana și aerul uscat care suflă prin coroană.

Diversitatea face parte din fenomenul de design evolutiv. Pentru a-i înțelege originea, gândiți-vă la modul în care ne deplasăm cu toții prin infrastructura aparent rigidă a orașului. Ne mișcăm în libertate. Alegem liber tot timpul. Mulțimile curg arborescent, dintr-o zonă în alta și dintr-un punct în altul. Dimineața devreme, mulțimea de navetiști converge spre gară și aeroport. O face ierarhizat, în coloane mai dense de oameni și automobile pe străzile mai mari și mai drepte, care ajung la destinațiile lor de dimensiune punctuală. Coroana acestui arbore matinal al curgerii umane este întreaga arie a orașului. Seara, aceeași mulțime curge în sens opus, de la un punct către o zonă (orașul). Dimineața, orașul expiră oamenii, iar seara îi inhalează.

Sunt multe alte puncte (școli, birouri, teatre, biserici și stadioane) care acționează ca robinete, deschizând sursele și scurgerile pentru mulțimile care se află în mișcare. Acesta este designul mișcării umane peste tot pe pământ, și este precum respirația aerului, inhalația (de la punct la zonă) alternând cu expirația (de la zonă la punct). Este un ritm. Schiorii de pe un munte acoperit cu zăpadă ilustrează modul în care se dezvoltă această arhitectură a curgerii (Fig. 1.2).

Sunt mult mai multe situații care indică sensul temporal al schimbării designului, pe care îl numim *evoluție*, și par chiar mai diferite și fără legătură cu exemplele menționate mai sus:

- Arhitecturile mai mari de curgere (bazine hidrografice, plămâni) sunt mai complexe. Totuși, complexitatea lor nu se schimbă; cu siguranță nu crește în timp și nu scapă de sub control¹.

- Toate formele de locomoție animală (înot, alergare, zbor) constituie un ritm precis în care frecvența fluctuațiilor corpului (unduirea cozii de pește, pasul, bătaia de aripă) este mai mică atunci când corpul este mai mare. Viteza animalelor și a aeronavelor mai mari este mai mare decât a transportatorilor mai mici. Transportatorii mai mari pot ridica greutatea mai mari și au rate metabolice mai mari^{2,3}.
- Transportatorii mai mari au, de asemenea, durate de viață mai mari și fac călătoriile mai lungi în timpul vieții. Acest lucru este valabil pentru toate lucrurile care se deplasează – animale, vehicule, râuri, vânturi și curenți oceanici⁴.
- Toate fluxurile care se răspândesc de la un punct la o arie sau un volum (inundații, fulgi de zăpadă, corpuri umane, populații, epidemii, știință, invenții, idei politice) au teritorii a căror curbă de creștere în timp are forma literei S, lent-repede-lent. Toate curgerile care sunt colectate dintr-o zonă (sau volum) au teritorii cu istoric de curbă în S, în trecut și în viitor. Exemple sunt arhitecturile în evoluție ale puțurilor de petrol și ale galeriilor de mine (arborescente, subterane), fiecare transformându-se și acoperind un teritoriu care se extinde lent-repede-lent⁵.
- Piramidele antice și stivele de lemn de foc construite de oameni pe toate continentele au aceeași formă. Acestea sunt triunghiulare când sunt văzute din profil, cu o formă care este la fel de înaltă pe cât de largă la bază^{6,7}.
- Clima pământului este stabilă, într-o stare de stază cu trei zone de temperatură distincte, fiecare cu curenții săi celulari și cu o circulație globală. Acesta este modelul principal, cu pământul ca nod intermediar în curgerea unidirecțională a curențului de căldură solar, pe care Pământul îl interceptează și apoi îl respinge către cerul rece. Acest design este previzibil⁸. Suprapuse peste acest design sunt mici schimbări climatice, previzibile și ele⁹, care se datorează modificărilor proprietăților radiative ale învelișului atmosferic.

- Turbioanele (vârtejurile) se nasc atunci când curentul este suficient de abundent și de rapid, astfel încât durata rostogolirii vârtejului să fie mai scurtă decât timpul necesar forfecării (difuzia vâscoasă) pentru a penetra curentul sau vârtejul. Acest ritm este fenomenul turbulenței și de aceea (contrar opiniei răspândite) fenomenul turbulenței nu mai este o enigmă din 1980¹⁰⁻¹². Originea turbulenței, care constituie o teorie constructală, nu trebuie confundată cu simulări pe calculator ale unor curgeri turbulente foarte complexe (cu număr Reynolds mare), cum este prognosticul vremii, care sunt empirice, pe baza măsurătorilor și apoi prin modelări. Îmbunătățirea modelării vremii nu trebuie confundată cu predicțiile privind când și care turbulențe *ar trebui* să se întâmple într-o curgere perfect netedă (neperturbată).

Lista continuă și așa crește impresia că natura este complicată, diversă, imprevizibilă și instabilă. Exemplele acoperă cel mai larg târâm imaginabil: neînsuflețit, însuflețit și creat de om. Această impresie este dovedită a fi greșită de literatura apărută în fizică și biologie după legea constructală (1996):

Pentru ca un sistem de curgere de mărime finită (nu infinitezimal, o particulă sau subparticulă) să persiste în timp (să trăiască), acesta trebuie să *evolueze liber* astfel încât să asigure un acces mai ușor și mai larg la ceea ce curge.

În această definiție, mărimea finită nu înseamnă infinitezimală, nu o particulă și nici o subparticulă. Înseamnă un întreg. Configurarea (desen, proiect) este macroscopică. Mai mult, a evolua și a persista în timp ca sistem de curgere cu configurație este definiția fizică a stării de a fi în viață. Opusul acesteia (nimic nu se mișcă, nimic nu se modifică, nimic nu se schimbă) este definiția în fizică a ceea ce în termodinamică este cunoscut sub numele de „stare moartă”¹³.

Am scris legea constructală când știam mult mai puțin despre implicațiile sale. Văd acum că aceste trei cuvinte – „evoluează, libertate,

acesă” – înseamnă un singur lucru. Știm cu toții care este acela când nu îl avem: libertatea. Acest lucru este ceea ce a lipsit în fizică.

Toate fenomenele diferite discutate mai sus au fost prezise de mulți autori prin utilizarea legii constructale. Până în prezent, au avut loc 12 conferințe despre legea constructală în toată lumea, trei sponsorizate de Fundația Națională pentru Științe (NSF) din SUA și una de către Institutul Franklin.

Deci aceasta este prima idee. Evoluția designului este un fenomen universal, unificator, al naturii și este previzibilă pe baza propriei legi a fizicii.

A doua idee este că toate sistemele de curgere au loc deoarece sunt forțate de putere. Acestea curg și se mișcă pentru că sunt împinse, trase, pompate, aspirate, răsucite, îndreptate și modelate datorită puterii. Puterea înseamnă lucrul mecanic efectuat într-o unitate de timp asupra sistemului avut în vedere. Lucrul mecanic efectuat este produsul dintre forță și deplasare, unde forța este exercitată de mediu asupra sistemului, iar deplasarea este deplasarea punctului de aplicare a forței. Deplasarea este relativă la cadrul de referință al mediului.

Pe scurt, lucrul mecanic presupune mișcare, deformare, transformare și schimbare. Puterea consumată este cauza mișcării și schimbării într-o unitate de timp. Puterea consumată este aceea care pune în mișcare filmul evoluției, filmul schimbării designului în timp.

Puterea provine de la motoare de toate tipurile și dimensiunile. Toate motoarele există în mod natural, geofizic, animal și uman. Majoritatea motoarelor nu sunt fabricate de oameni. La fel ca roata, motorul este o arhitectură naturală, nu o invenție umană care nu există în afara sferei umane. Roțile celor mai mari motoare de pe pământ sunt curenții de circulație atmosferică și oceanică. Roțile unui motor mult mai mic se află sub un șoarece: două spițe (două picioare) pentru fiecare roată, o roată în față și una în spate.

Mediul se opune mișcării sistemului de curgere. Rezistă să fie împins la o parte din drum. În consecință, puterea care provoacă mișcarea este disipată instantaneu în căldură, care este transferată

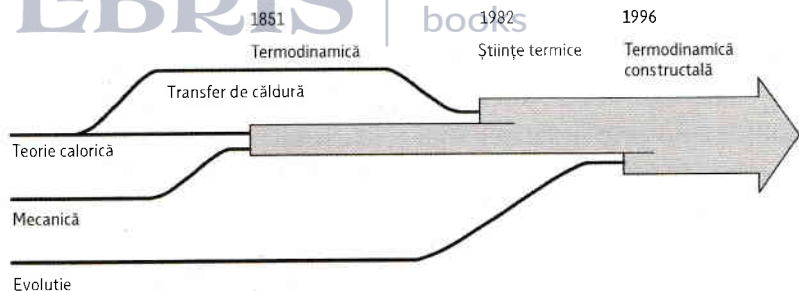


Fig. 1.3 Evoluția și răspândirea termodinamicii în ultimele două secole

mediului ambiant. Mișcarea relativă dintre sistem și mediu acționează ca frâna unui vehicul.

În termodinamică, frânele sunt cunoscute, mai general, ca sisteme pur disipative. În cel mai simplu model, un sistem pur disipativ (sau o frână) este un sistem închis asupra căruia se efectuează lucru mecanic și care elimină căldura către mediu („închis“ înseamnă că nici o curgere de masă nu traversează frontiera sistem-mediu; închis nu înseamnă „izolat“). Sistemul este în stare de echilibru, ceea ce înseamnă că proprietățile acestuia (volum, presiune, temperatură, energie, entropie) nu se schimbă în timp. Sistemul de frânare convertește lucrul mecanic efectuat asupra sa (intrare), complet, în căldură produsă (ieșire). Toate frânele există în mod natural; doar o mică parte sunt frâne făcute de oameni, pentru vehicule.

Motoarele și frânele, toate ca fenomene naturale, sunt motivul pentru care designul, evoluția și legea constructală au apărut ca un domeniu și o lege nouă în termodinamică (Fig. 1.3)^{13, 14}. Anterior, termodinamica se preocupa exclusiv de transferurile de energie (lucru mecanic, căldură) între sistem și mediu și de conversia căldurii în lucru mecanic și putere și viceversa. Analizele clasice s-au bazat pe cele două legi care au marcat fuziunea teoriei mecanicii cu teoria calorică la mijlocul anilor 1800.

Primul principiu poruncește că energia se conservă. Diferența dintre „curgerile“ de energie care intră în sistem (viteza de schimb de lucru mecanic, viteza de transfer de căldură, debitul de entalpie dacă

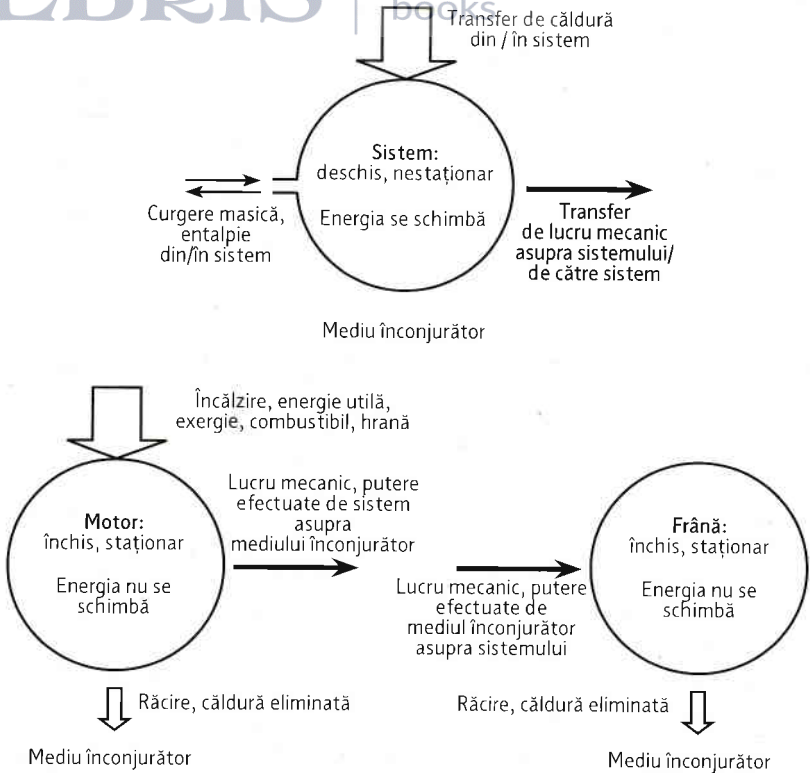


Fig. 1.4 Natura este în ochiul privitorului: este alcătuită doar din două sisteme, sistemul selectat de observator pentru analiză și discuție, iar restul, care se numește mediul sau vecinătatea, de asemenea selectat de observator. Separăția între cele două părți este frontiera sistemului, care este aleasă de observator odată cu sistemul. Sus: un sistem deschis poate fi supus curgerii masice, transferului de căldură și transferului de lucru mecanic prin frontiera sa. Un sistem închis nu poate permite curgerea unei mase, deoarece suprafața (frontiera) sa este impermeabilă. Partea de jos: două clase de sisteme închise aflate în stare staționară (care nu se schimbă în timp): motoare și sisteme pur disipative (frâne)

sistemul este deschis) și „curgerile“ de energie care părăsesc sistemul este egală cu rata de schimbare a energiei în interiorul sistemului (Fig. 1.4, sus). Ca atare, primul principiu este definiția energiei, mai precis, definiția modificării inventarului energetic al sistemului, care este o proprietate a sistemului ce poate fi măsurată prin invocarea

legii după măsurarea schimbului de căldură și a schimbului de lucru mecanic suferite de sistem.

Al doilea principiu este un rezumat concis al nenumăratelor observații ale fenomenului *ireversibilității* în natură. Ireversibilitatea înseamnă curgere într-un singur sens, cum ar fi apa peste baraj sau sub pod. Orice curent (fluid, căldură, avalanșă de pietriș, roci) curge de la sine într-un singur sens, de la „mare“ la „mic“. Apa curge într-o conductă de la presiune înaltă la presiune scăzută. Căldura „curge“ printr-o izolație de la partea cu temperatură înaltă la cea cu temperatură scăzută. Stâncile cad de la altitudine mare la altitudine mică. Niciodată invers.

Cuvintele-cheie pentru invocarea corectă a celui de-al doilea principiu sunt „ireversibilitate“ și „de la sine“. De ce? Pentru că un curent poate fi *forțat* să curgă invers, de la „mic“ la „mare“. Apa din aceeași conductă poate curge de la presiune scăzută la presiune ridicată dacă o pompă este introdusă între „mic“ și „mare“, cu condiția ca puterea să curgă (să provină) din exterior (din mediu) către pompă, pentru a împinge apa în direcția de curgere nenaturală. În mod similar, căldura „curge“ de la temperatură scăzută (zona rece) la temperatură ridicată (cameră) într-un frigider (sistemul), cu condiția ca puterea să „curgă“ din mediu în sistem pentru a acționa compresorul și a „ridica“ curentul de căldură împotriva tendinței sale naturale de curgere.

Cei trei fondatori ai termodinamicii (Rankine, Clausius, Kelvin) au avertizat asupra subtilităților noii științe. Iată al doilea principiu conform a doi dintre susținătorii săi inițiali, în 1851–1852:

Imposibil este un proces al cărui unic rezultat este transferul de căldură de la un corp cu temperatură mai scăzută la un corp cu temperatură mai mare.

Clausius

În mod spontan, căldura nu poate „curge“ din regiunile reci spre regiunile fierbinți fără să se efectueze lucru mecanic extern asupra sistemului.

Kelvin