

ROMÂNIA
MINISTERUL EDUCAȚIEI, CERCETĂRII, TINERETULUI ȘI SPORTULUI
Universitatea Titu Maiorescu



Autor: Florin Claudiu ROMAN

LUCRARE DE DIZERTAȚIE

Conducător de doctorat:
Prof. univ. dr. ing. TITI PARASCHIV

- BUCUREȘTI -
2012

CAPITOLUL 1

TEORIA GENERALĂ A SISTEMELOR. CONCEPTE, NOȚIUNI, METODĂ ȘI APLICAȚII

1.1 Evoluția sistemologiei și a ingineriei sistemelor

În antichitate, cercetările sistematice cu privire la lumea înconjurătoare au fost orientate înspre elementele de bază ale existenței umane: pământul, focul, apa, aerul sau combinații ale acestora. În momentul în care se încerca pătrunderea în profunzime a fenomenelor, cercetătorii întâmpinau greutăți datorate:

- necunoașterii complexității existenței umane;
- cunoștințelor limitate despre natură/ fenomenele care erau semnalate;
- capacitățile limitate de procesare conștientă a informațiilor (max. 16 biți/ sec).

Abordarea intuitivă integrală a fost înlocuită cu abordarea secvențială, ceea ce a dus la apariția de noi *științe particulare*, capabile să aprofundeze fenomenul cunoașterii. Acest tip de evoluție al științelor particulare a fost urmat de cercetători până la sfârșitul secolului al XIX-lea;

Volumul cunoștințelor acumulate a generat o nouă evoluție în domeniul științific, orientată spre *științele de sinteză*, care abordează și în prezent, în mod global, sub diverse aspecte, întreaga realitate, în complexitatea ei:

Cibernetica (St. Odobleja 1938, R. Wiener 1945) (g. kibernetes = cârmaci), știință de sinteză care studiază comportamentul sistemelor cu autoreglare (tehnice, economice, sociale, naturale). Modelele realizate iau în considerare numai fluxurile informaționale și efectele informațiilor rezultate din acțiunea fluxurilor materiale și energetice. Cibernetica este o știință în sine, cu axiome, legi, principii, și noțiuni proprii dar reprezintă și o metodă specifică de investigație, consacrată prin metoda analogiei, metoda simulării, metoda cutiei negre, etc.

Teoria Generală a Sistemelor (ST. Bertalanffy 1942, 1950, 1957) (latin. Systema = sistem). Este o știință de sinteză cu obiect final formularea de principii, legi și metode valabile pentru orice sistem, indiferent de specificul claselor de sisteme. TGS ia în considerare influențele tuturor fluxurilor (informaționale, de substanță, energetice dintr-un sistem) la un anumit moment dat.

Scientica (Bernal 1957, Price 1963) (din latină: scientia = știință; știință despre științe); este o disciplină științifică ce are ca obiect știința ca fenomen social/economic. Studiază dezvoltarea și structura științelor, metodologiile utilizate, managementul și optimizarea activităților de cercetare.

Ecologia (Odum 1975) (din greacă: oikos=gospodărie; logos=știință). Este o disciplină științifică ce are ca obiect de cercetare studiul interacțiunii unităților de tip populații, ecosisteme, biosferă), într-o evoluție dinamică în timp, în contextul integrării acestor unități într-un mediu ambiant natural/artificial.

Sinergetica (Haken 1977) (din greacă: synergia =conlucrare); este o disciplină științifică de sinteză, care are ca obiect autoorganizarea sistemelor deschise, distanțate de zona de echilibru, la care elementele componente interacționează în mod continuu.

Sistemologia - este o știință de sinteză valabilă în orice domeniu al realității cotidiene, instrumentul cel mai valoros de cunoaștere și stăpânire a complexității proceselor ce se derulează în cadrul sistemelor de diverse tipuri. Cu un număr relativ restrâns de concepte, cu metode unitare, cu legi proprii, utilizând un aparat matematic bazat pe modelare, simulare și optimizare, bazat pe programe de calcul, sistemologia este o teorie comună pentru entități foarte diferite: un organism viu, o întreprindere, un echipament, un grup de operatori, un partid politic, o psihologie asimilată de un colectiv, un grup social, o organizație militară, un sistem tehnic etc.

Știința - un ansamblu sistematic de cunoștințe teoretice despre natură, societate, gândire, afecțiune. Se constituie atunci când multitudinea cunoștințelor dintr-un domeniu al realității se reunesc, pe baza acelorași concepte, principii, legi, într-o teorie încheată.

Elementele structural-funcționale ale oricărei științe sunt:

- materialul faptic-rezultat al observației/experimentelor;
- ipotezele-confirmate sau infirmate;
- noțiuni (concepte), legi, teorii-confirmate de practică;
- concepția generală asupra domeniului;
- metodologia-totalitatea metodelor specifice și generale de cercetare în domeniu;
- interpretări teoretice/filozofice ale rezultatelor științifice, dezvoltarea descriptivă/experimentală/etapa axiomatic-deductivă.

Științele sunt integrate într-un sistem al științelor, pe care-l vom denumi Sistemul Științelor (SS). SS are în structura sa 4 grupuri distincte:

1. Grupul științelor despre existență:

1.1. Grupul științelor naturii (fizica, chimia, biologia, geologia, astronomia, astrofizica, cu ramuri și subramuri distincte).

1.2. Grupul științelor sociale (sociologia, istoria, politologia, dreptul, economia, demografia, etica, estetica, cu ramuri și subramuri proprii).

1.3. Grupul științelor gândirii (logica, lingvistica).

2. Grupul științelor acțiunii:

2.1. Științe inginerești (industriale, agricole, de construcții, electrotehnice, urbanism, transporturi, telecomunicații).

2.2. Științele managementului: (management strategic, management tactic, management operativ, macromanagement, mezomanagement, micromanagement).

2.3. Științe medicale (medicină preventivă, curativă, a muncii, sportivă).

2.4. Științele educației (pedagogia, educația civică).

3. Grupul științelor de graniță:

(biofizica, chimia fizică, bionica, psihologia, antropologia, ecologia, bioingineria).

4. Grupul științelor de sinteză:

(matematică, sistemologie, ingineria sistemelor, ingineria industrială, scientica, ingineria economică).

Ingineria sistemelor - Știința care pune accentul pe aplicarea practică a sistemologiei și a celorlalte științe.

Ingineria industrială (Industrial Engineering) - O știință de sinteză care se ocupă cu proiectarea, perfecționarea și aplicarea în practică a sistemelor integrate alcătuite din: oameni, materiale, echipamente, care conlucrează într-un mediu ambiant specific.

Bioingineria - aplicarea ingineriei în domeniul biologiei și medicinei.

Ingineria economică - integrează ingineria, managementul/economia sistemelor de producție/ prestare servicii/ de comercializare.

Caracterizarea ingineriei la începutul mileniului trei (sec. XXI)

| Categoria de inginerie | Obiectul principal de studiu | Inginerie (%) | Management (%) | Economie (%) | Alte domenii (%) |
|------------------------|------------------------------|---------------|----------------|--------------|------------------|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Ingineria tehnică | Sistemele tehnice | 80 | 5 | 5 | 10 |
| Ingineria tehnologică | Sistemele tehnologice | 80 | 5 | 5 | 10 |

| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------------------|--|----|----|----|----|
| Ingineria industrială | Sistemele de producție | 75 | 10 | 10 | 5 |
| Ingineria sistemelor | Sisteme om-mașină, medii foarte complexe | 65 | 15 | 10 | 10 |
| Bioingineria | Sisteme biologice | 60 | 20 | 10 | 10 |
| Ingineria economică | Întreprinderi productive, servicii, comerț | 40 | 30 | 20 | 10 |

1.2 Noțiuni și concepte utilizate în caracterizarea sistemelor

1.2.1 Noțiuni generale privind teoria generală a sistemelor (TGS) și sistemică

Sistemul (S) - O mulțime de elemente (componente), care, în limitele unor condiții specifice de timp/ spațiu/ resurse/ mediu cooperează/ interacționează/ funcționează, având ca finalitate obținerea unui rezultat concret (fig. 1.1).

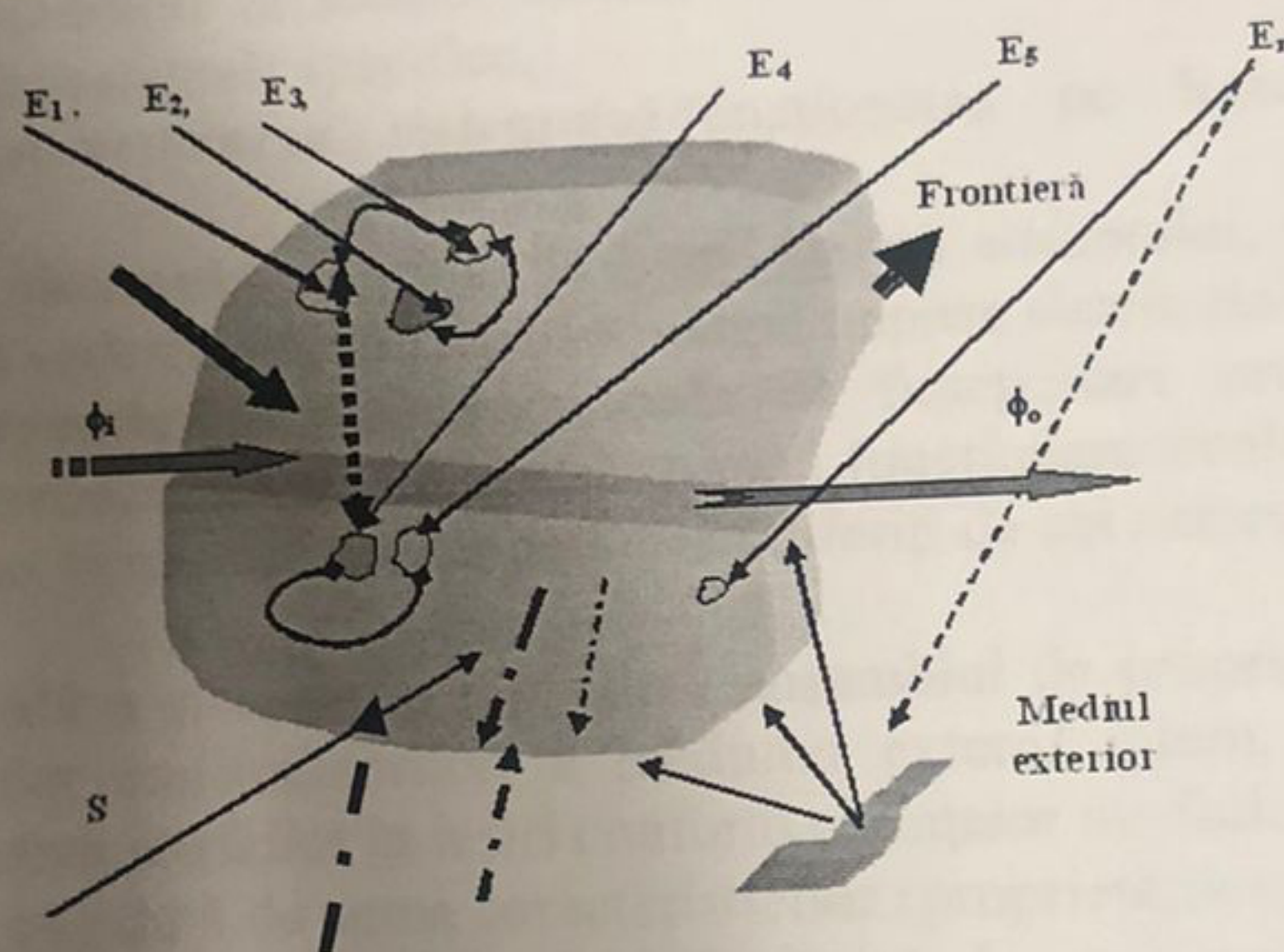


Figura 1.1. Schema generală a unui sistem

Ierarhia sistemului - Infinită, organizare holonică după modelul sistem-subsistem.

Integralitatea sistemului reflectă faptul că proprietățile specifice sistemului sunt diferite de proprietățile elementelor componente.

Observatorul sistemului - Element/ sistem/ subsistem activ, conștient, plasat în interiorul sau exteriorul sistemului; este furnizor de informații necesare (mediul extern).

Frontiera sistemului - delimitează sistemul de mediul de acțiune (intern /extern);

Mediul/Mediile sistemului - domenii ale spațiului/ timpului/ resurselor/ delimitate funcțional/ structural prin:

- Interfețe de conexiune (acțiune/ confruntare-cooperare/ compromis);
- Frontiere definite de un observator.

Relațiile sistemului cu mediul extern:

- INTRĂRI (mediul acționează asupra sistemului, cauze);
- IESIRI (sistemul acționează/ conectează asupra mediului, efecte).

Acțiunile/ conexiunile se asigură prin interfețe specifice fiecărui sistem în parte.

Structura sistemului este determinată de $\{\sum \text{componentelor} / \sum \text{relațiilor} / \sum \text{interconexiunilor}\}$ sistemului.

Structura sistemului determină:

- identitatea sistemului;
 - conectivitatea sistemului;
 - funcționalitatea sistemului în ciclul de viață.
- Resursele sistemului pot fi: interne, externe și rezerve.

Ciclul de viață al sistemului este prezentat în figura 1.2 și este compus din următoarele elemente:

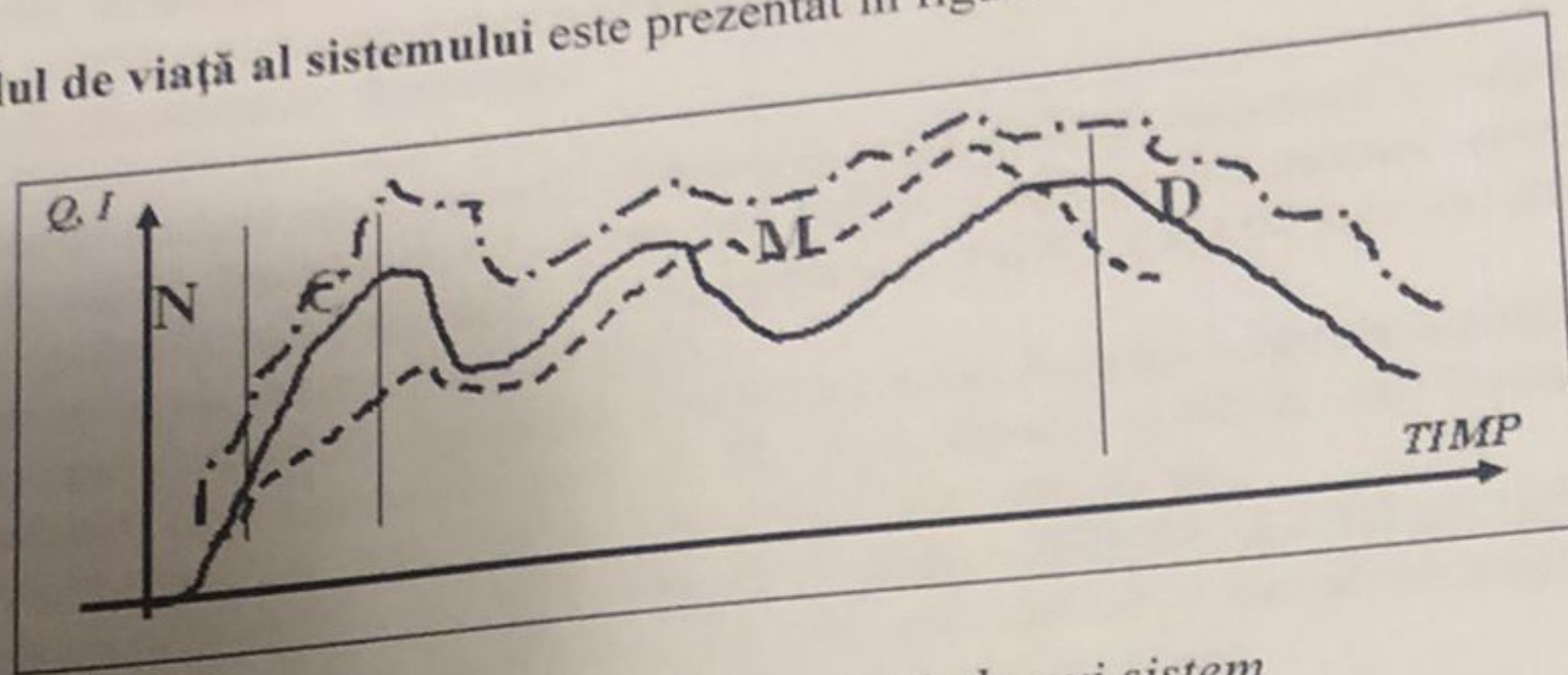


Figura 1.2. Ciclul de viață al unui sistem

1. **Nașterea sistemului** în mediul extern, de către sisteme cu specific generator, cu programe informaționale specifice.
2. **Creșterea/ structurarea sistemului**-funcționarea pe baza unor programe de structurare.
3. **Maturitatea sistemului**-perioada de funcționare a sistemului, conform unor programe structurate, în vederea asigurării performanței impuse sistemului, între anumite limite.
4. **Declinul sistemului** reprezintă perioada de funcționare involutivă. Destructurarea sistemului formează premisele pentru o nouă funcționare evolutivă, a unuia sau a mai multor sisteme, în condițiile unor parametri diferiți de cei anteriori.

Funcția globală a sistemului reprezintă ansamblul de proprietăți utilizate/ utilizabile corespunzător cerințelor consumatorilor, a mediului extern/ intern, și finalității sistemului considerat. (transformarea intrărilor în ieșiri conform cerințelor mediului extern). **Calitatea sistemului** este dată de suma caracteristicilor (proprietăților) sistemului. Ea definește o stare a acestuia, mai mult sau mai puțin depărtată de un nivel mediu (valoare medie), determinată în vederea satisfacerii necesităților consumatorilor, în diversele etape de viață ale sistemului.

Poziția sistemului în raport cu mediul extern depinde de raportul: $\frac{n_c}{c_r}$, unde n_c reprezintă nivelul calității iar c_r consumul de resurse necesar realizării calității sistemului.

1.2.2 Clasificarea sistemelor

Ca orice clasificare și clasificarea sistemelor este relativă datorită numărului mare de criterii. Cele mai utilizate criterii de clasificare a sistemelor sunt următoarele:

1. După mulțimea componentelor:
Finite; Infinite.
2. După relațiile cu mediul extern:
Închise; Deschise; Relativ deschise.
3. După influența factorului timp:
Statice; Dinamice; Cibernetice.
4. După gradul de stabilitate în timp:
Stabile; Instabile.
5. După coeficientul de complexitate a sistemului:

6. După gradul de cunoaștere a structurii sistemului:
Simple; Complexe.
7. După natura relațiilor materiale ale sistemului:
Deterministe; Probabiliste.
8. După tipul relațiilor dintre elementele sistemului:
Liniare; Neliniare.
- Sociale; Economice; Inginerești.*

Sistemele sociale sunt sistemele ce cuprind omul, definite structural și funcțional astfel:
 - Sub raport funcțional reprezintă ansamblul mediilor funcționale specifice (medii demografice, psiho-lingvistice, medii socio-culturale, medii politico-juridico-administrative, medii socio-economice, tehnologice, militare);

- Sub raport structural reprezintă ansamblul subsistemelor naturale infinite în spațiu și timp caracterizate prin concepte cum ar fi: dezvoltarea durabilă pe Terra, bunăstarea locuitorilor, biodiversitatea, sănătatea/ curățenia mediului natural etc.

Sistemele economice reprezintă sisteme de acțiune definite în două accepțiuni:
În sens restrâns: sisteme destinate unui scop bine definit: sistemul de asigurări, sistemul financiar-bancar, sistemul de comunicații; sistemul de intervenție etc.

În sens larg: sisteme destinate unor scopuri multiple: sistemele de producție, comercializare, consum.

Organizațiile reprezintă sisteme de acțiune ce cuprind oameni (cu concepții/ preocupări comune) uniți prin regulament/ statut, în vederea desfășurării unor activități organizate, cu scop bine definit.

Sistemele ingineresti reprezintă sisteme concrete de acțiune destinate realizării de bunuri materiale, produse, servicii, funcții diverse, obiecte și componente care asigură un anumit nivel de bunăstare. Sistemele ingineresti se clasifică astfel:

1. **Sistemele tehnice** - asigură realizarea anumitor funcțiuni tehnice cerute de viața social- economică (exemplu sistemele de proiectare produse);
2. **Sistemele tehnologice** - asigură realizarea de echipamente, utilaje, tehnologii specifice proceselor de fabricare, în vederea transformării performante a elementelor intrări în elemente ieșiri specifice;

3. **Sistemele de producție și comercializare** - sunt sisteme de acțiune care înglobează în structura lor, ca și componentă esențială, **omul**, (operatori umani), ceea ce le conferă complexitate în raport cu celelalte sisteme.

În figura 3.1 este prezentată schema ce conține, în sinteză, clasificarea sistemelor în raport de criteriile enunțate mai sus.

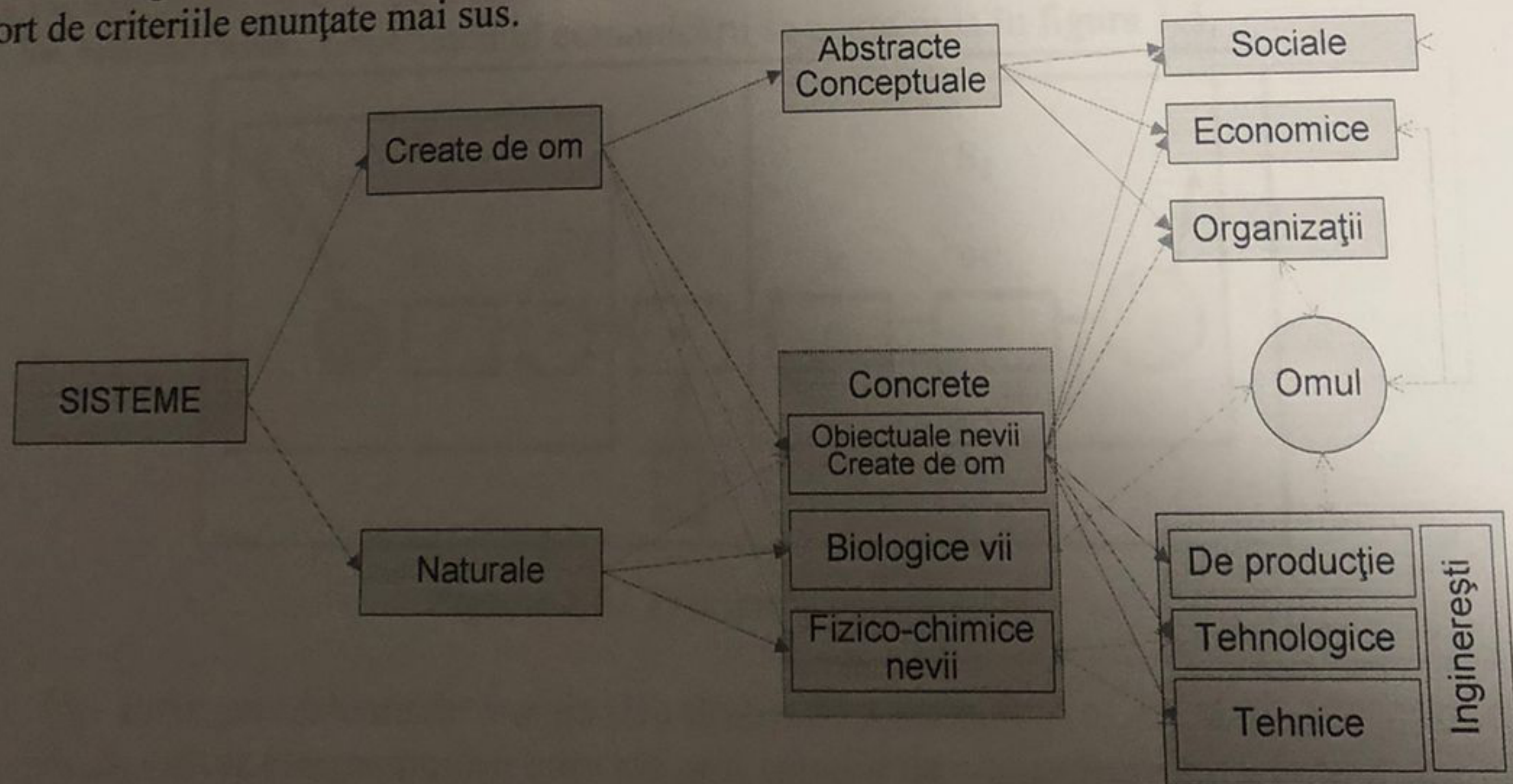


Figura 1.3. Clasificarea sistemelor

1.3 Definierea conceptului de entropie a sistemelor

Funcționarea unui sistem este descrisă prin multiplele legături informaționale între diversele subsisteme componente ale sistemului, precum și prin multiplele legături informaționale între sistem și mediul extern. Legăturile informaționale presupun existența procesului de conducere-reglare a sistemului (fig. 1.4). Conceptul de informație este introdus de Norbert Wiener și Claude Shannon:

Cibernetica este definită ca fiind știința comenzii și a comunicării la ființe și mașini, procese ce operează direct/ explicit cu conceptul de informație. Conexiunea inversă gestionează informații privind rezultatele activității sistemului pe calea de retroacțiune, informații ce reprezintă suportul programului de corecție (programul de conducere) a sistemului, program ce corectează comportamentul sistemului.

Informația se poate defini din trei perspective:

- ◆ *lingvistic* - veste sau știre;
- ◆ *utilitate* - element de noutate în raport cu cunoștințele prealabile cuprinse în semnificația unui simbol sau grup de simboluri;
- ◆ *tehnic* - incertitudinea înlăturată prin realizarea unui eveniment dintr-un set de evenimente posibile.

Teoria informației, ca știință, studiază informația de aceea, în sensul lui Claude Shannon teoria informației este o teorie statistico-matematică elaborată de C.E.Shannon în 1948.

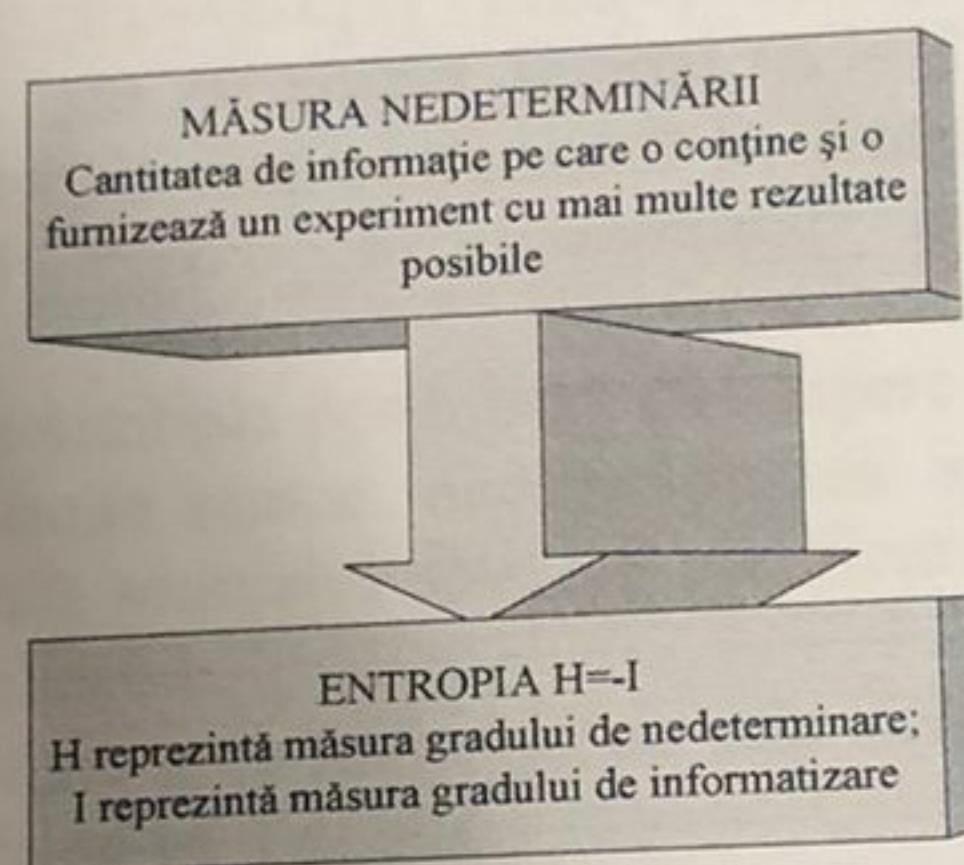


Figura 1.4. Relația entropie-informație

Rezultatul concret al unui experiment poartă numele de eveniment. Cu cât este mai mică probabilitatea de apariție a unui eveniment, cu atât „surpriza” de a afla că acel eveniment a avut loc este mai mare. Experimentul comunicării se poate reda în figura 1.5,

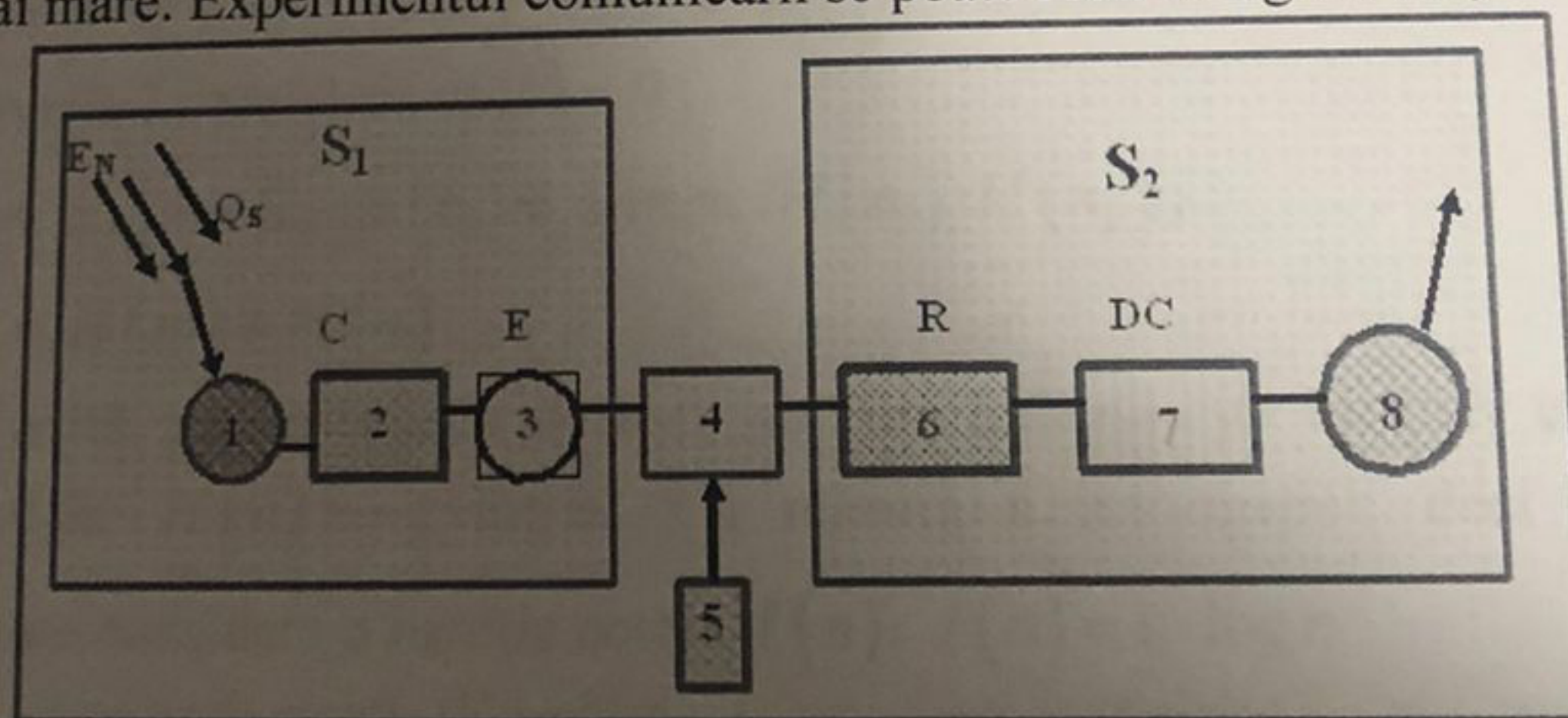


Figura 1.5. Procesele comunicării

unde:

- Q_s - sursa generatoare de mesaje (E_N alfabet cu n semne);
- S_1, S_2 - surse care comunică între ele prin canalul de comunicare 4;
- 1 - semnal selectat de sursă;
- 2 - codificator;

- 3 - emițător;
- 6 - receptor;
- 7 - decodificator;
- 8 - semnal recepționat;
- 5 - perturbație în momentul transmiterii mesajului.

Procedurile specifice experimentului comunicării sunt:

1. Q_s sursa generatoare de mesaje, selectează un mesaj (codificat 1) din alfabetul E_N cu N semne distincte (fiecare semn simbolizând un mesaj specific); $Q_s < S_1$;
2. Codificatorul C adaptează semnalul (1) într-un semnal (2) transmisibil către sursa S_2 cu ajutorul emițătorului $E < S_1$;
3. Semnalul este transmis prin canalul de comunicare 4;
4. Semnalul este preluat de receptorul $R < S_2$;
5. Semnalul este transmis decodificatorului (DC); acesta decodifică semnalul în limbajul accesibil sursei S_2 /transmite semnalul către utilizatorii din sursa S_2 ;
6. Pe durata trecerii prin canalul de comunicare 4, semnalul poate fi distorsionat datorită acțiunii perturbației 5 asupra canalului 4.

Observații:

- a). Compatibilitate maximă (100%) între:
 $E.E.(C) \rightarrow E.I.(E) + E.E.(E) \rightarrow E.I.(4) + E.E.(4) \rightarrow E.I.(R) + E.E.(R) \rightarrow E.I.(DC)$
- b). Dacă se admite că: E_N are un singur semnal ($n = 1$), și că perturbația (5) este 0/neglijabilă, S_2 cunoaște cu certitudine ceea ce transmite S_1 (rezultat cunoscut) semnalul transmis NU ADUCE INFORMAȚII pentru S_2 (conținutul informațional al mesajului = 0) \rightarrow DETERMINARE;
- c). Dacă $n > 1$, atunci S_1 are multiple posibilități de alegere a unui semnal ce urmează să fie transmis. Cu cât E_N are mai multe semne, nedeterminarea S_2 crește. S_2 nu știe ce semn va selecta S_1 din alfabetul E_N . Odată semnalul selectat, codificat, transmis/recepționat de S_2 va avea un conținut $\neq 0$ (nenul), utilizabil.
- d). Cu cât numărul de semnale este mai mic cu atât determinarea este mai mică, dar și conținutul informațional, către S_2 se va diminua.

Din observațiile anterioare rezultă că informația reprezintă nedeterminare înlăturată (evitată). Dacă gradul de nedeterminare S_2 poate fi exprimat printr-o măsură H (ea poate exprima conținutul de informație al unui mesaj primit de S_2 din partea lui S_1 (ENTROPIA S_2)).

Proprietățile entropiei informaționale, H :

1. H depinde de numărul semnelor din alfabetul S_1 : $H = H(n), n = 1, 2, 3, \dots, n$ elemente;
2. Nu are sens determinarea negativă: $H(n) \geq 0, (\forall) n \geq 1$;
3. Din observația 2 rezultă că $H(1) = 0$;
4. Dacă $Q \rightarrow E_{N1} \rightarrow E_{N2}$ și $(n_1 > n_2)$ atunci $H(n_1) > H(n_2)$;
5. $H(m, n) = H(m) + H(n)$.

Soluția unică pentru ecuația de mai sus care îndeplinește inclusiv condițiile 1-4 este funcția logaritmică: $H(n) = -c \cdot \log n$. Ca măsură a informației (deci a nedeterminării înlăturate), se poate considera o funcție notată $I(n)$: $I(n) = c \cdot \log n$

Determinarea valorii lui c , depinde de alegerea unității de măsură pentru informație. Dacă presupunem că noțiunea de „cantitate de informație” depinde de cea mai simplă alegere: alternativa elementară da sau nu, echiprobabile, atunci un pas binar este un bit.

În cazul E_n (n -este o putere a lui 2), sunt necesari $k = \log_2 n$ pași binari pentru alegerea unui semn; cantitatea de informație inclusă în E_n se poate evalua cu relația:

$$I(n) = c \cdot \log 2^k = c \cdot k \cdot \log 2.$$

Dacă se consideră logaritmi în baza 2, măsura cantității de informație $I(n)$ a unui alfabet cu n semne și dacă alegerile făcute de sursa Q sunt egal probabile, atunci:

$$I(n) = k = \log_2 n.$$

Dacă se consideră că Q selectează un anumit semn α din alfabetul E_n ($\alpha < n$), nedeterminarea rezultată H_α (entropia) este dată de relația:

$$H(n) = -\log_2 n.$$

Într-o interpretare statistică expresia $1/n$, poate fi asimilată cu probabilitatea (p_α) de alegere a semnului α din alfabetul E_n atunci când toate semnele acestui alfabet au probabilități egale de a fi alese; deci se poate scrie:

$$H_\alpha = p_\alpha \log_2 p_\alpha$$

Dacă Q „nu alege egal probabil” semnele din E_n , atunci se poate determina o entropie medie a sistemului, în condițiile în care probabilitatea de apariție a fiecărui semn este

cunoscută (k): $H_{med} = -\sum_{k=1}^n p_k \log_2 p_k$ care reprezintă relația entropiei din termodinamică.

1.4 Legi, metode și tehnici utilizate în teoria sistemelor

1.4.1 Sisteme concrete (SC)

Sistemele concrete evoluează de la sistemele fizico-chimice la sisteme biologice, sociale și obiectuale. Sistemele Obiectuale sunt Sisteme Tehnice- materiale Naturale/Artificiale, piese, echipamente, mașini, aparate, instalații, construcții etc. Sistemele Tehnologice sunt celule de producție, linii de producție, centre de montaj, suprafețe de producție, etc. Sistemele de acțiune complexe sunt organizații cu sisteme de producție, prestări de servicii și comercializare).

Definiția sistemelor concrete se poate face diferențiat, în funcție de etapa în care se găsește:

În etapa de concepție (proiectare) a SC, (SC_{AP}), componentele relevante sunt:

- | | | | |
|---|---|-------|-------|
| 1 | Funcția globală a SC | | F_G |
| 2 | Obiectivul SC prestabilit de om | O | |
| 3 | Funcționarea SC e generată de relații externe | | R_E |
| 4 | Procese de transformare | P_T | |
| 5 | Programe de transformare | | P_r |
| 6 | Conexiuni/relații interne | R_I | |
| 7 | Structura SC generată de R_I | | C |

$$SC_{AP} = \varphi(F_G, O, R_E, P_T, P_r, R_I, C)$$

În etapa de funcționare a SC, (SC_{AF}), cu restructurări periodice, ordonanțarea componentelor este dată de relația:

$$SC_{AF} = \varphi^*(C, R_I, P_r, P_T, R_E, O, F_G), \varphi \neq \varphi^*$$

Conceptele cu ajutorul cărora analizăm și descriem SC_A și SC_N depind de structura sistemelor concrete, care la rândul ei este dată de decompozabilitatea sistemelor concrete în componente. SC omogene sau neomogene au interacțiunile interne mai puternice decât interacțiunile externe: $R_I \gg R_E$.

Orice sistem care are în componență sistemul om interconectat cu orice sistem tehnic sau tehnologic are în structură cel puțin un subsistem/sistem de autoconducere care are următoarele funcții:

- 1 procesează informația utilizând c, p_i ;
 - 2 elaborează/ transmite comenzi, p_r către subsistemul/sistemul de execuție;
 - 3 numărul/ complexitatea C depind de funcțiile SC de scopul, misiunea și obiectivele SC;
- Subsistemul/ sistemul de execuție are în structură următoarele subsisteme:

- subsistemul informațional care procesează parțial transferul de informație destinat controlului proceselor din subsistem, asigurând funcționarea subsistemului;
- subsistemul operațional (de execuție – fig. 1.6), care procesează informația, energia, substanța, în conformitate cu p_r , utilizând r_i .

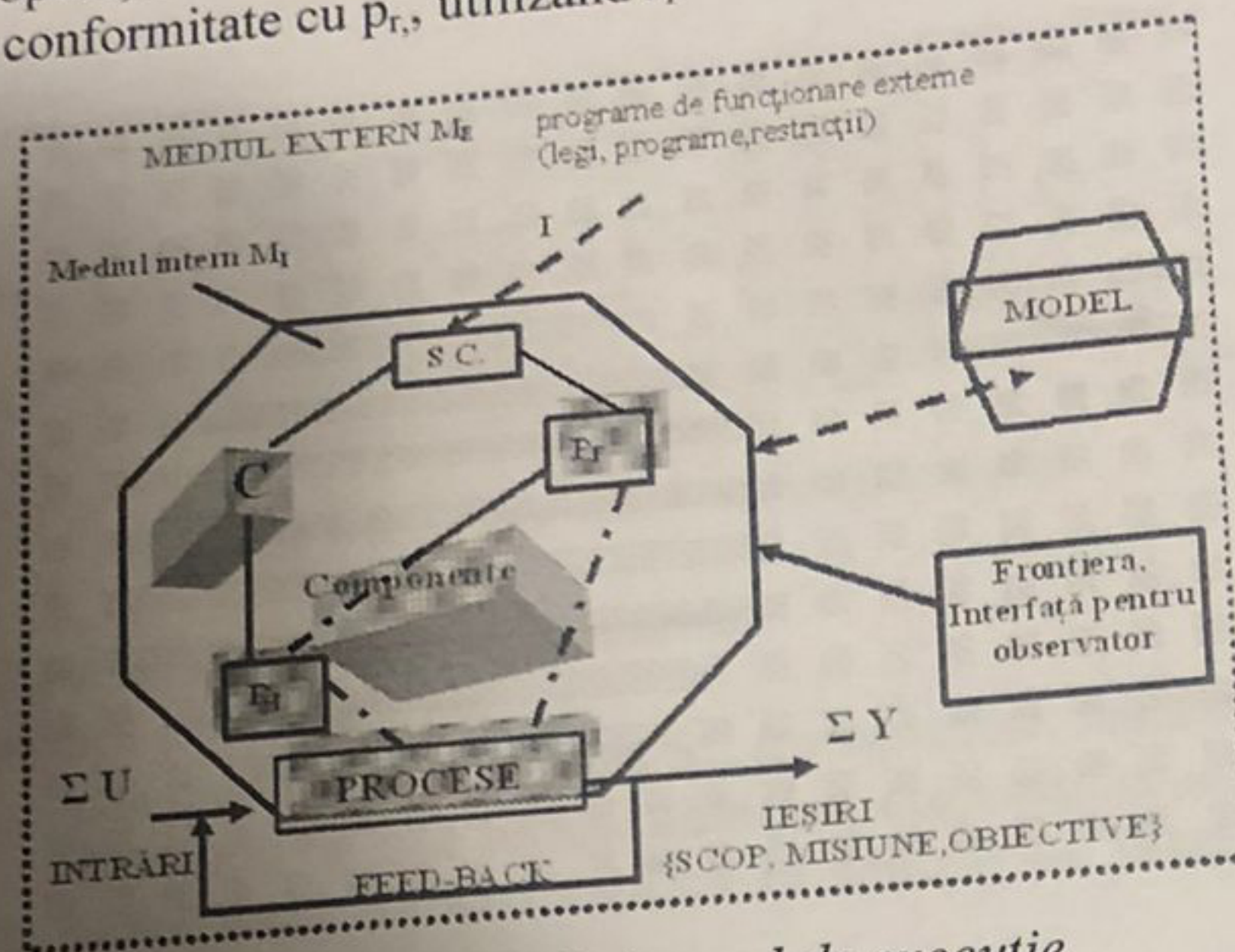


Figura 1.6. Subsistemul de execuție

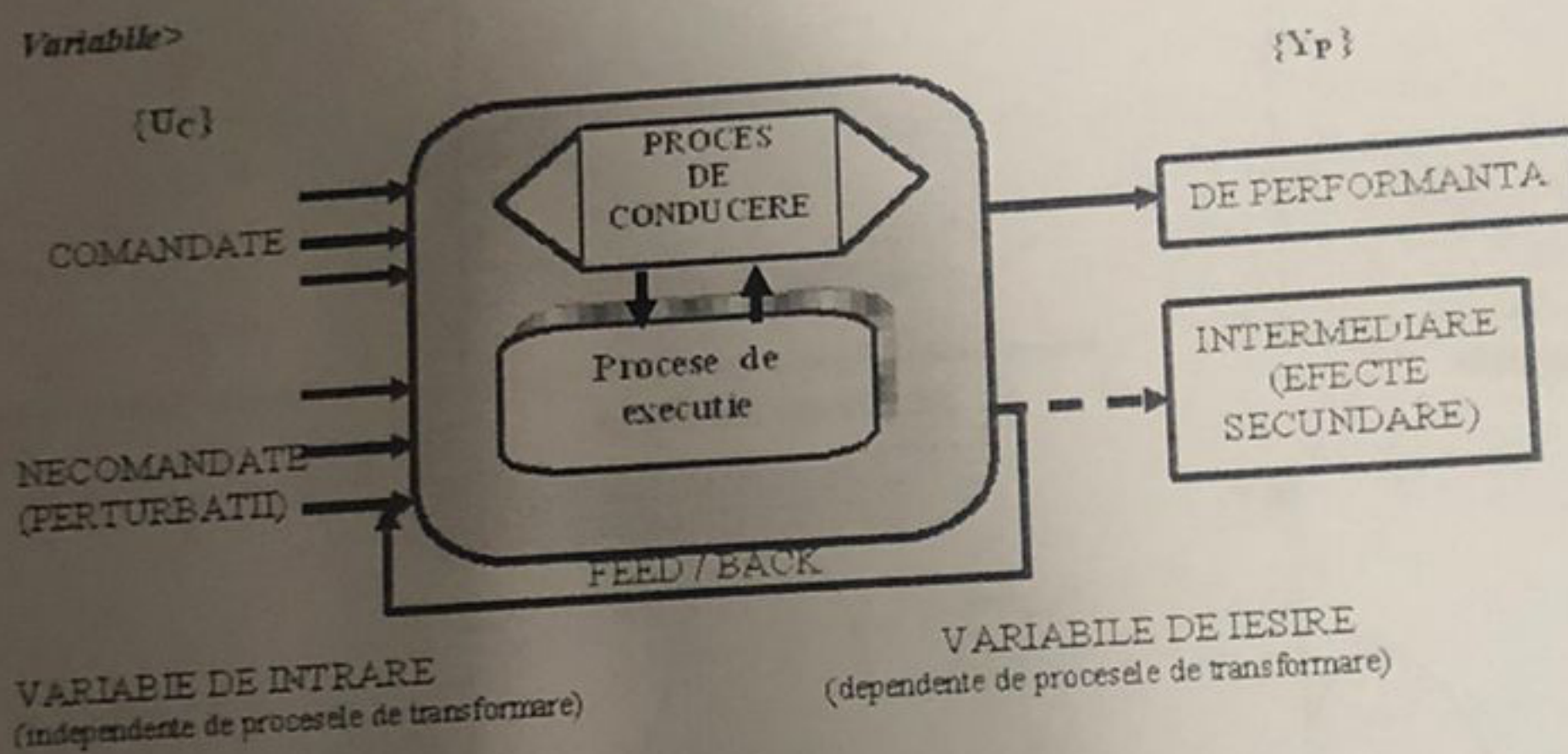


Figura 1.7. Sistemul cibernetic

Conexiunile externe R_E ale unui sistem cibernetic (fig. 1.7) sunt de tip:

1. substanțial (masă, volum, greutate);
2. energetic (forță, putere, câmp);
3. informațional (ordonanțare, bit);
4. relațional (resurse umane).

R_E exprimă:

- cererea (nevoile, cauzele) SC în raport cu mediul său extern-intrările;
- oferta (efectele) SC pentru mediul său extern-ieșirile.

Conexiunea biunivocă între fluxul de substanță/fluxul de energie ce are loc între conexiunile externe r_e ale unui SC prin conexiuni directe-intrări-procese-ieșiri și conexiuni inverse care sunt de trei tipuri (fig. 1.8):

1. conexiuni inverse negative-asigură stabilitatea structural-funcțională a SC;
2. conexiuni inverse pozitive-asigură creșterea /dezvoltarea stabilă a SC;
3. conexiuni inverse prospective-asigură adaptarea /stabilitatea previzională a SC.