

INOVAREA ȘI TRANSFERUL TEHNOLOGIC, MIJLOACE PENTRU EFICIENTIZAREA EDUCAȚIEI ÎN ȘTIINȚĂ, TEHNOLOGIE, INGINERIE ȘI MATEMATICĂ

Teză de doctorat – Rezumat

pentru obținerea titlului științific de doctor la

Universitatea Politehnica Timișoara

în domeniul de doctorat Inginerie și Management

autor ing. Nicoleta Mirea

conducător științific Prof.univ.dr.ing. Anca Drăghici

luna 5 anul 2025

Teza de doctorat se aliniază tendințelor actuale privind interdisciplinaritatea, încadrându-se în spațiul complex și dinamic al ingineriei și managementului. Generarea rezultatelor de cercetare propuse este prezentată printr-un model vizual, inspirat de conceptul „cutiei negre”, adaptat contextului educației STEM. Figura 1 ilustrează cum resursele de cunoaștere, materiale, umane și financiare contribuie la inovarea și transferul tehnologic, în vederea eficientizării educației în STEM. Feedback-ul joacă un rol central în iterarea și perfecționarea obiectivelor, activităților și rezultatelor cercetării și susține activitatea publicistică și de diseminare.

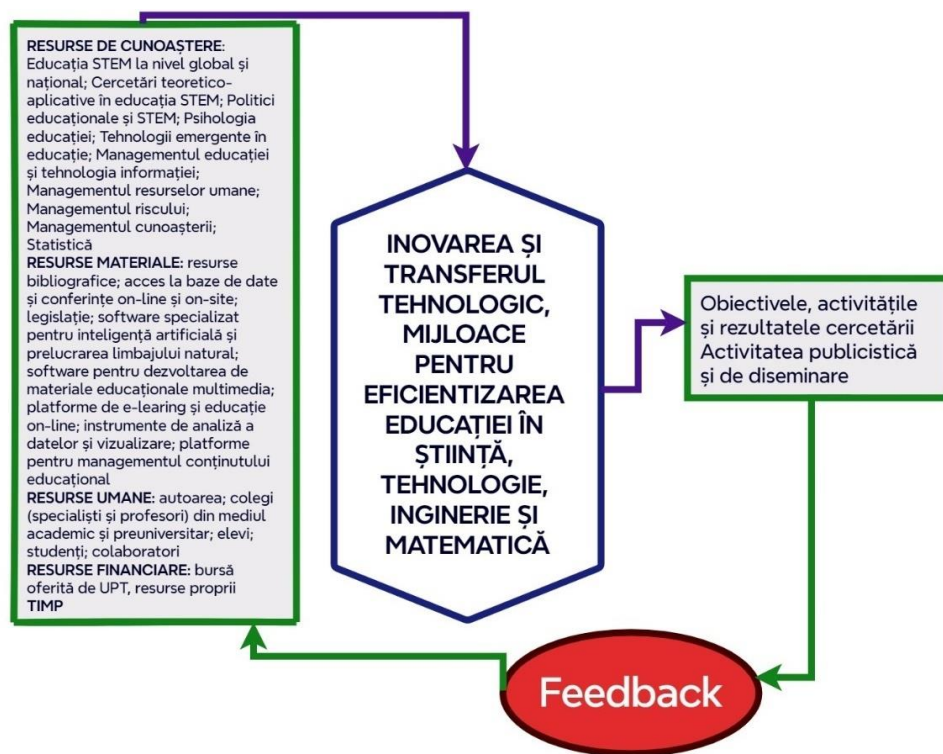


Figura 1. Modelul vizual de tip „cutie neagră”, adaptat contextului educației STEM.

Tema de cercetare doctorală este ilustrată în Figura 1.4 și are ca obiectiv central integrarea și implementarea educației STEM prin inovare și transfer tehnologic. În cadrul acestei cercetări, educația STEM este abordată ca o „meta-disciplină”, urmărindu-se identificarea, caracterizarea și fundamentarea metodologică, experimentală și aplicativă a unor strategii pentru eficientizarea educației. Aceste strategii sunt centrate pe procesul de inovare, identificarea surselor de inovare și facilitarea transferului tehnologic în context educațional. Figura 2 prezintă schematic tema de cercetare, detaliind principalele componente și direcții de studiu.

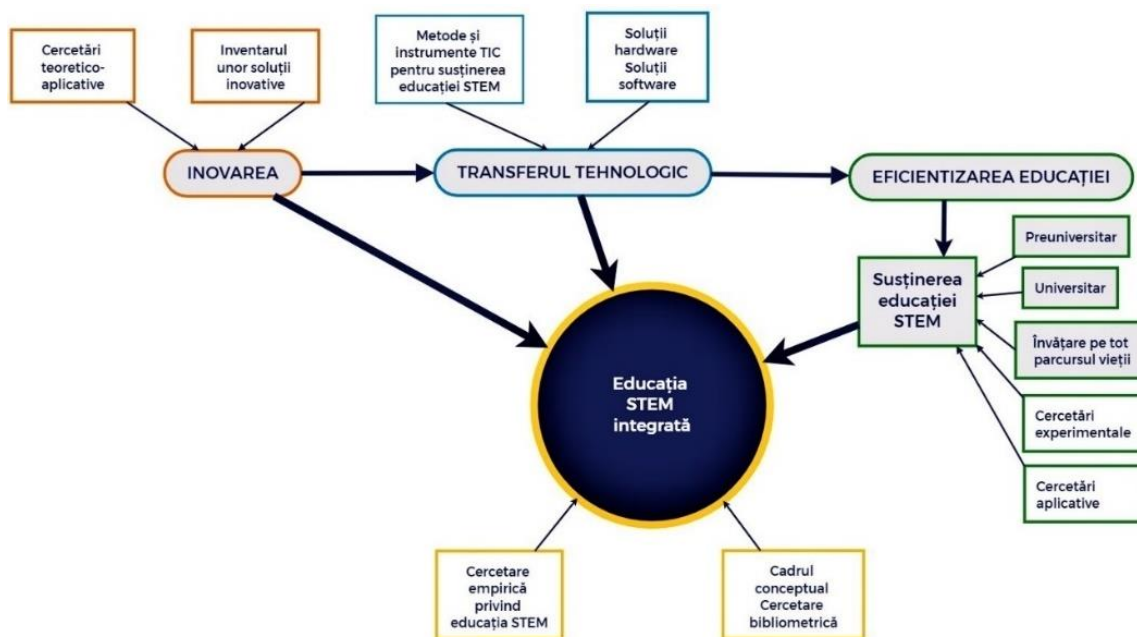


Figura 2 Schematizarea temei de cercetare.

Teza de doctorat totalizează 338 pagini (inclusiv 12 anexe care oferă detalii semnificative privind cercetărilor realizate, exemple de aplicare a relațiilor de calcul propuse și documente justificative), structurată într-un capitol introductiv, 4 capitole dedicate analizei și dezvoltării problematicii de cercetare, și 2 capitole finale: unul dedicat concluziilor cercetărilor privind educația STEM în România, cu referire la strategii, reușite și provocări, iar cel de al doilea dedicat contribuții personale și direcții viitoare de cercetare. Lucrarea cuprinde 81 de figuri (din care 63 incluse în capitolele tezei, iar 18 în Anexe) și 50 de tabele (din care 29 sunt incluse în capitolele tezei), precum și o listă cu 532 de titluri bibliografice consultate și citate.

Figura 3 evidențiază interacțiunile esențiale dintre componentele sistemului educațional și mediul extern și subliniază modul în care acesta se auto-definește în raport cu obiectivele sale principale. Diagrama ilustrează corelația dintre resursele disponibile și acțiunile de transfer tehnologic, mai ales în contextul transformării digitale accelerate. Aceste interacțiuni contribuie la direcționarea resurselor spre domeniile științifice inovative, asigurând utilizarea lor optimă și maximizarea eficienței, în concordanță cu nevoile pieței muncii și cerințele economice globale. Astfel, sistemul educațional devine un vector important în formarea unei forțe de muncă calificate și adaptabile la dinamica economică actuală.

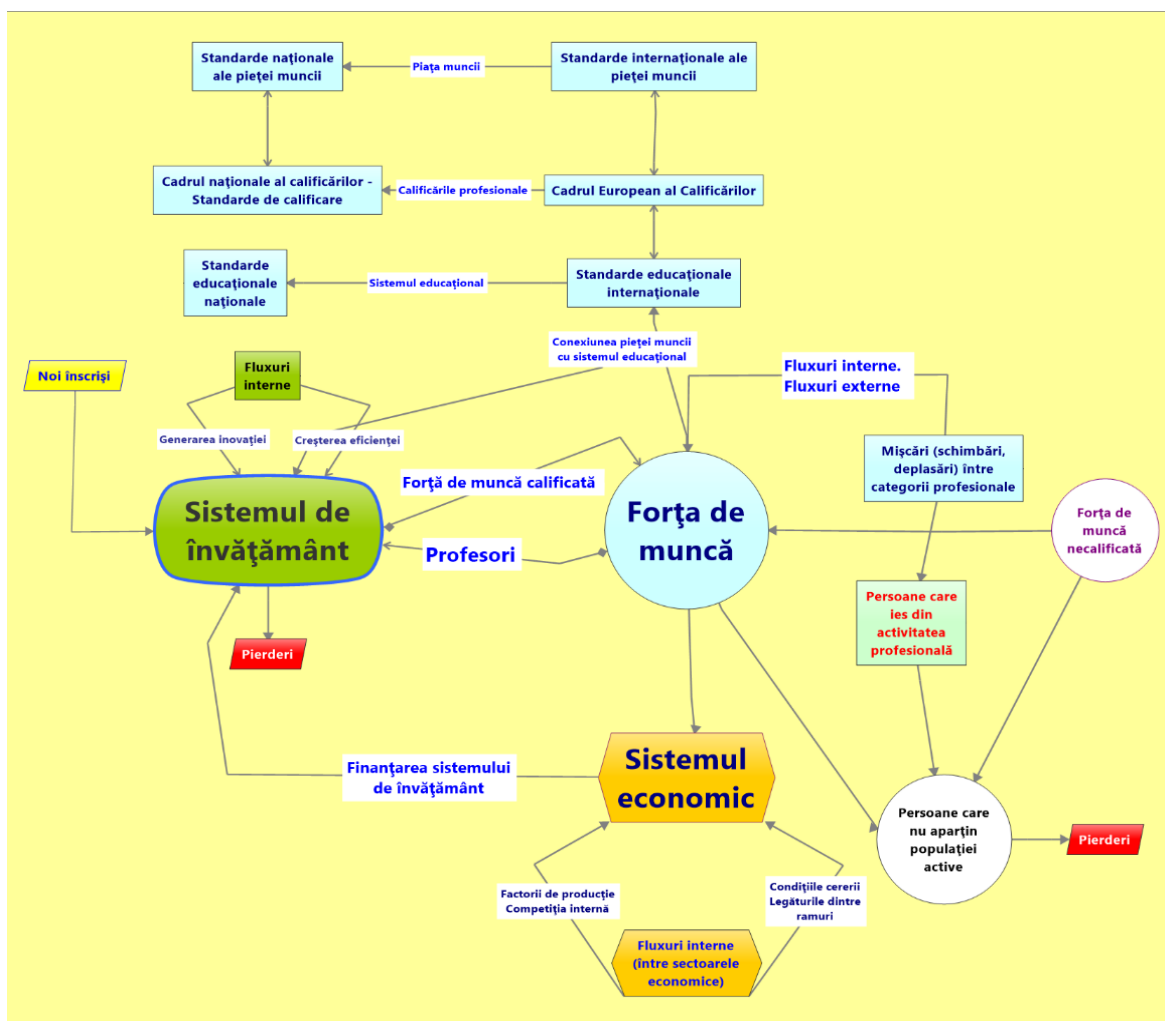


Figura 3. Interacțiunea sistemului educațional cu piața muncii și economia în contextul transformării digitale.

Educația integrată STEM a fost identificată ca o platformă de dezvoltare a competențelor profesionale, dar și a celor personale (soft skills), care includ cercetarea, rezolvarea problemelor, gândirea critică și creativă, antreprenoriatul, colaborarea, munca în echipă și comunicarea. Mai mult Falloon ș.a. (2020) argumentează potențialul educației STEM de a implica comunitatea și întreprinderile (prin parteneriate public-private), astfel încât relația elev-profesor-maistru (sau altă resursă umană din procesul de formare profesională) să conducă la sprijinirea proiectelor și proceselor de afaceri sau din industrie. Premisele cercetării doctorale sunt relevate de faptul că, în timp ce interdisciplinaritatea este considerată ca atribut dominant al educației STEM din prezent, există puncte de vedere diferite cu privire la modul în care disciplinele STEM ar trebui poziționate și prioritizate în cadrul programelor aferente domeniilor STEM (Padua, 2017; Bybee, 2010; Falloon ș.a., 2020). Astfel, domeniul de cercetare abordat își propune să analizeze importanța dezvoltării unui sistem educațional inovator, la toate nivelurile de învățământ, a capacității lui de perfecționare, a direcției sale de dezvoltare și presupune definirea și măsurarea eficientizării educaționale, din perspectiva educației integrate STEM.

Un proverb spune că „*Este nevoie de un sat pentru a crește un copil*”, (Farlex Dictionary of Idioms, 2015), o idee care a inspirat în România comunități dedicate integrării educaționale prin STEM. Aceste comunități, adesea sprijinite de fundații, își concentrează eforturile prin proiecte menite să sublinieze importanța educației ca responsabilitate colectivă. De exemplu, inițiative precum Comunitatea Republica, având ca membru fondator pe Cristian Tudor Popescu (2019), sau Academia de Leadership și Pedagogie prin Teach for Romania și Community Immersion (2020), sunt reprezentative în acest sens. Această responsabilitate colectivă devine și mai evidentă în contextul integrării educației STEM, având în vedere specificul generației Z – nativi digitali care s-au născut și au crescut în era tehnologiei. Într-o epocă marcată de transformări accelerate, adaptabilitatea constantă este esențială pentru a supraviețui și a prospera. Nativii digitali sunt astfel pregătiți pentru viitorul muncii, unde competențele digitale sunt esențiale pentru peste 93% din joburile actuale (conform ultimelor studii de la nivelul UE).

Influența tehnologiei este profundă și are un impact esențial pe piața muncii. Așa cum afirmă Frey și Osborne (2017), „*Pe măsură ce tehnologia avansează, impactul său asupra pieței muncii este vast și inevitabil*”. Această observație subliniază relevanța durabilă a progresului tehnologic în modelarea și definirea viitorului muncii în diverse industrii, în special în acele domenii unde automatizarea și instrumentele digitale sunt indispensabile. Astfel de perspective accentuează importanța adaptării continue a competențelor și abilităților pentru a rămâne competitivi într-un peisaj tehnologic în continuă schimbare.

În sinteză, reprezentarea din figura 4 evidențiază idei privind transformările și tendințele actuale din educație:

- Se subliniază transformările semnificative în educație, care reflectă trecerea de la abordări tradiționale, centrate pe standardizare și expertiză limitată, către metode moderne, individualizate și integrate în era digitală. În timp ce trecutul a fost marcat de o educație riguroasă, orientată spre conformism și disciplină, viitorul propune un sistem educațional flexibil, centrat pe competențe complexe, gândire critică și învățare continuă pe tot parcursul vieții. De asemenea, este foarte important rolul tot mai pronunțat al mașinilor și al inteligenței artificiale, care completează și transformă procesul educațional. Această tranziție evidențiază necesitatea unei reforme educaționale care să pregătească atât educatorii, cât și elevii pentru provocările și oportunitățile aduse de era industrială și de schimbările rapide ale pieței muncii. În esență, educația viitorului trebuie să fie adaptabilă, colaborativă și orientată către dezvoltarea de competențe esențiale pentru succesul în viața profesională și personală¹.
- Inovarea deschisă și colaborativă, realizată prin parteneriate public-private și fundamentată pe experiențele anterioare (inclusiv soluții hardware și software validate în contexte educaționale diverse), reprezintă un domeniu esențial pentru optimizarea procesului educațional în STEM. Astfel, prin intermediul cercetărilor teoretice și aplicative, se urmărește dezvoltarea unui scenariu de succes pentru educația STEM integrată în România.

¹ European Commission: Directorate-General for Education, Youth, Sport and Culture, (2019). *Key competences for lifelong learning*, Publications Office. <https://data.europa.eu/doi/10.2766/569540>

TRECE	Peste 50% din copii din Europa nu au acces la o educație timpurie	1	Educație timpurie, cu cât mai devreme, cu atât mai bine	VIITOR
	Mai puțin de 11% din europenii între 25 și 64 de ani sunt angrenați într-o formă de training	2	Cheia reușitei în cariera profesională este învățarea pe tot parcursul vieții	
	Proces de alfabetizare pentru competențe matematice, de scriere și citire	3	Noi forme de alfabetizare, inclusiv competențe STEM (digitale)	
	Cei care pot învăța sunt numai oamenii	4	În noua era industrială (Industry 5.0) mașinile învață mai rapid ca niciodată	
	Metode de învățare bazate pe standardizare	5	Metode de învățare individualizate	
	Educație centrată pe arii curriculare și discipline de expertiză	6	Educație bazată pe proiecte, e-learning și centrată pe competențe complexe	
	Educație bazată pe cunoștințele unui număr restrâns de furnizori (spre exemplu: statul, biserica)	7	Educație bazată pe diversificarea furnizorilor și pe formarea de parteneriate, pentru toate părțile interesate (stakeholder group)	
	Educația - garanția pentru angajare	8	Tranziția dificilă de la școală la viață activă	
	Educația este axată pe ascultare și supunere, obediență și conformism	9	Gândirea critică - competență complexă a viitorului	
	Instituțiile de învățământ superior din Europa, pe primele locuri din lume	10	Concurență și competiție globală acerbă între universitățile din întreaga lume	

Figura 4. Tendințe care transformă educația.

Obiectivul tezei de doctorat este realizarea de cercetări bibliografice, teoretice și aplicative (în diferite contexte educaționale de la nivel preuniversitar, universitar sau învățare pe tot parcursul vieții) pentru eficientizarea educației STEM, ca urmare a concepției și implementării unor soluții inovative și/sau prin transfer tehnologic, pentru susținerea transformării digitale accelerate.

Obiective operaționale urmărite pe parcursul tezei sunt:

OP1. Cercetarea și construirea unei sinteze bibliografice pe tema eficientizării, inovării și a transferului tehnologic, ca mijloace și soluții pentru integrarea educației STEM în învățământul de toate gradele, care să constituie un fundament nu doar pentru actuala teză de doctorat, ci și pentru cercetările ulterioare în domeniu;

OP2. Fundamentarea teoretică privind demersul de eficientizare al educației STEM în învățământ;

OP3. Propunerea unui demers teoretico-aplicativ (a unei scheme, a unui scenariu și/sau a unei rețete de succes) sau a unei soluții inovative, pentru eficientizarea educației STEM;

OP4. Modelarea concepției - implementării unor soluții inovative și/sau prin transfer tehnologic, pentru facilitarea transformării digitale accelerate;

OP5. Testarea, validarea și transpunerea în formă operațională a metodologiei de cercetare, a soluțiilor propuse;

OP6. Realizarea unei analize comparative între inițiativele STEM la nivel global și național pentru a identifica modele de succes și a propune strategii adaptate contextului românesc;

OP7. Investigarea impactului tehnologiilor emergente, inclusiv a inteligenței artificiale, asupra eficienței și accesibilității educației STEM și propunerea unor modele de integrare a acestora în curriculum;

OP8. Adaptarea și testarea unor modele educaționale, cum ar fi modelul Nadler-Tushman, în contextul educației STEM, pentru a evalua eficiența acestora în sprijinirea transformării digitale;

OP9. Extinderea cercetării aplicative privind eficientizarea educației STEM la nivel național, pentru a obține o imagine mai detaliată și reprezentativă asupra implementării acesteia în diverse contexte educaționale.

Atingerea obiectivului general și a obiectivelor operaționale a fost realizată sistematic și gradual, demonstrat prin cercetările științifice descrise în fiecare capitol al tezei de doctorat.

Capitolul 1, INTRODUCERE. PERSPECTIVE COMPARATIVE ASUPRA

INIȚIATIVELE STEM LA NIVEL GLOBAL ȘI INTERNAȚIONAL descrie cadrul apariției și dezvoltării temei de cercetare, precum și motivarea și importanța acesteia. Este identificat domeniul de cercetare și enunțate obiectivul principal și obiectivele operaționale asociate demersului de cercetare adoptat. Totodată, este realizată panoramarea conținutului fiecărui capitol, în dorința de a demonstra modul în care a fost atins obiectivul tezei de doctorat.

În **capitolul 2, CERCETARE BIBLIOGRAFICĂ PRIVIND EDUCAȚIA STEM** se prezintă o sinteză a cercetărilor asupra referențialului bibliografic actual. Totodată, au fost realizate clarificări aferente conceptelor de educație, sistem de învățământ, eficientizare, inovare, transfer tehnologic, educație STEM și au fost identificate tendințe și/sau abordări ale managementului acestora.

În următoarele capitole ale tezei de doctorat s-a realizat testarea și validarea metodologiei propuse, pe *secvențe* ale acesteia.

Capitolul 3, cu titlul CERCETĂRI TEORETICO-APLICATIVE ASUPRA SUSȚINERII EDUCAȚIEI STEM PRIN MIJLOACE ALE TEHNOLOGIEI INFORMAȚIEI ȘI COMUNICĂRII, explorează modul în care tehnologia informației și comunicațiilor poate susține educația STEM și analizează impactul transformărilor tehnologice, precum și rolul digitalizării în evoluția educației și integrarea acesteia în procesele educaționale.

În **capitolul 4, CERCETĂRI TEORETICO-APLICATIVE PRIVIND CARACTERIZAREA ȘI ÎMBUNĂTĂȚIREA UNOR ASPECTE CHEIE ALE EDUCAȚIEI STEM**, se abordează metode și strategii de îmbunătățire a educației STEM, cu accent pe transferul tehnologic și integrarea platformelor digitale. Sunt analizate tendințele globale, inclusiv în țări competitive, precum și perspectivele din diverse regiuni ale lumii. Acest capitol este dedicat cercetării aplicative și analizei aprofundate a metodelor de îmbunătățire a educației STEM și evidențiază elementele esențiale pentru integrarea tehnologiilor emergente în sistemul educațional. Se explorează metode și instrumente de transfer tehnologic, care au un rol cheie în dezvoltarea competențelor necesare într-o societate digitalizată. Secțiunea cu privire la identificarea metodelor și instrumentelor de transfer tehnologic în educația STEM, oferă o analiză detaliată a modului în care tehnologiile emergente, precum inteligența artificială, realitatea augmentată și platformele educaționale integrate, pot sprijini educația STEM și facilitează conectarea teoriei cu practica. Sunt examinate diverse platforme educaționale și strategii pentru integrarea cu succes a educației STEM în învățământul preuniversitar și universitar. În ceea ce privește aspectul de interconectare a platformelor și educația STEM, acesta subliniază importanța interconectării platformelor tehnologice, necesară pentru facilitarea unui transfer tehnologic eficient între instituțiile de învățământ și mediul de afaceri. Analiza comparativă a diverselor platforme folosite în țări competitive (precum cele din Asia, regiunea MENA, și țările extrem de competitive) contribuie la înțelegerea factorilor de succes în integrarea STEM în diverse contexte culturale și educaționale.

Tot în cadrul acestui capitol este prezentat contextul cercetării aplicative desfășurate în România, cu accent pe adaptarea metodologiei la realitățile locale. Cercetarea a inclus colectarea datelor prin intermediul chestionarelor bazate pe modelul PISA și analiza nevoilor de dezvoltare a competențelor esențiale pentru munca la distanță în contextul educației STEM. În această secțiune se prezintă structura și dinamica competențelor necesare în educația preuniversitară din România și modul în care acestea sunt influențate de noile tehnologii. De asemenea, în acest capitol se realizează o analiză integrată a competențelor dobândite în educația STEM și munca la distanță, pornind de la datele colectate prin chestionare. Analiza cantitativă și calitativă evidențiază importanța competențelor esențiale pentru adaptarea la noile realități digitale și soluțiile de dezvoltare profesională în contextul educației la distanță, cu comparații între mediile universitar și preuniversitar.

Capitolul 4 se încheie cu concluzii importante privind eficientizarea educației STEM în

România și identificarea direcțiilor viitoare de cercetare, inclusiv în privința adaptării educației la munca la distanță și digitalizare și sunt discutate și implicațiile pentru implementarea strategiilor STEM și îmbunătățirea competențelor educaționale în viitor.

Capitolul 5. CONSIDERAȚII ȘI PERSPECTIVE PRIVIND EDUCAȚIA STEM ÎN ROMÂNIA. STRATEGII, REUȘITE ȘI PROVOCĂRI prezintă o dezbateră argumentată științific privind originalitatea și impactul educației STEM în România, realizând o evaluare comparativă cu alte sisteme educaționale internaționale. De asemenea, sunt prezentate provocările și reușitele în implementarea strategiilor educaționale în acest domeniu.

Capitolul 6. CONTRIBUȚII PERSONALE. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE. CONCLUZII prezintă contribuțiile personale în domeniul educației STEM, inclusiv propuneri inovative de eficientizare educațională și adaptări ale conceptului STEM pentru educația la distanță. Sunt discutate direcțiile viitoare de cercetare și concluziile privind rolul educației STEM în contextul provocărilor globale. În sinteză, contribuțiile originale aduse de cercetare doctorală sunt:

1. Realizarea unei sinteze bibliografice pe tema eficientizării, inovării și a transferului tehnologic, ca mijloace și soluții pentru integrarea educației STEM în învățământul de toate gradele (**OP1**). conform celor prezentate în capitolul 2.
2. Fundamentarea teoretică și aplicativă a demersului de eficientizare al educației STEM în învățământ (**OP2**) conform celor prezentate în capitolul 3.
3. În contextul atingerii **OP3**, a fost dezvoltată o abordare inovativă care combină elemente teoretice cu aspecte practice, propunând o adaptare după Nadler-Tushman (1999), un model integrat care poate fi aplicat în diverse contexte educaționale. Acest demers a fost conceput atât pentru a răspunde cerințelor curente ale sistemului educațional, cât și pentru a anticipa evoluțiile viitoare ale educației STEM, într-un mediu din ce în ce mai digitalizat. În acest context, se leagă de obiectivul operațional: **OP5**. Totuși, eficiența oricărui model teoretico-aplicativ trebuie validată, prin cercetări viitoare, într-un proces riguros de testare și adaptare la realitățile educaționale concrete;
4. Contribuțiile personale nu se limitează doar la formularea teoretică a modelului, ci includ și implementarea acestuia într-un cadru experimental concret, urmărind adaptarea și optimizarea soluțiilor în funcție de rezultatele obținute. Astfel, au fost integrate experiențele acumulate în cadrul testărilor pentru a rafina modelul inițial, aducând îmbunătățiri care au sporit relevanța și aplicabilitatea soluțiilor propuse. În final, validarea acestui demers va confirma fezabilitatea teoretică a modelului, eficiența sa practică și va contribui la consolidarea unor noi metodologii care pot fi adoptate la scară largă în sistemul educațional. Această legătură între (**OP3**) și (**OP5**) reflectă natura interdependentă a cercetării teoretice și aplicative, subliniind importanța unui ciclu continuu de dezvoltare, testare și implementare în vederea optimizării educației STEM. Toate aceste aspecte subliniază cum cele două obiective (**OP3** și **OP5**) sunt interconectate și ilustrează contribuția personală a candidatului prin dezvoltarea și validarea unor soluții inovative aplicabile în educația STEM.
5. S-am propus un model de ecuație structurală, cu variabilele observabile directe și latente: calitatea educației (Q), motivația elevilor (M) și performanța academică (P). DE asemenea, (figura 4.25) s-a propus modelul de congruență Nadler-Tushman (1999), model care răspunde cerințelor dinamice și facilitează adaptarea rapidă la contextul complex atât al educației la distanță, cât și al educației STEM integrate.
6. S-a definit o relație matematică simplificată pentru determinarea eficienței educației STEM ca raport între rezultatele obținute și resursele utilizate. Această formulă ar putea lua în

considerare atât aspectele referitoare la utilizarea optimă a resurselor, cât și aspectele referitoare la realizarea obiectivelor stabilite

$$Eficienta = \frac{Rezultate\ obținute}{Resurse\ utilizate}$$

unde:

- Rezultatele obținute ar putea fi măsurate în funcție de obiectivele atinse sau de performanța înregistrată într-un anumit domeniu, de exemplu: scoruri la testele standardizate, rate de absolvire, nivelul competențelor dobândite etc.
- Resursele utilizate ar putea include resurse financiare, timp, efort uman, infrastructură, materiale didactice etc.

Această formulă oferă o modalitate simplificată de a evalua valoric eficiența într-un context dat, permițând evaluarea și compararea performanței în funcție de resursele investite. Este important de menționat că relația poate fi adaptată și ajustată în funcție de specificul fiecărui domeniu sau situație. De asemenea, este necesară o definire clară a indicatorilor de rezultat și a resurselor utilizate pentru a asigura o evaluare precisă. Ambele părți ale fracției, atât numărătorul, cât și numitorul, trebuie să fie exprimate prin cantități care pot fi însumate (trebuie să fie omogene). Aceasta este o cerință importantă în calcularea eficienței pentru a asigura claritatea și coerența măsurătorii.

7. Pentru a extinde formula eficientizării, în contextul educației STEM, s-au considerat influențele externe ce pot afecta în mod semnificativ rezultatele pe termen lung. În acest sens, comparativ cu formula generală propusă, mai mulți factori specifici sunt critici pentru evaluarea eficienței în educația STEM:
 - Rezultatele educaționale, care măsoară succesul imediat al educației STEM, prin intermediul scorurilor la teste și ratele de absolvire. Este un indicator direct al performanței academice.
 - Resursele educaționale, respectiv resursele financiare, materiale și umane utilizate în procesul educațional, care reprezintă baza pe care se construiește succesul programelor STEM. Gestionarea eficientă a acestor resurse este vitală pentru obținerea unor rezultate educaționale bune.
 - Dezvoltarea abilităților, prin măsurarea competențelor dobândite în domeniile STEM, este esențială pentru a evalua impactul educației asupra elevilor. Aceste abilități sunt cele care îi pregătesc pentru carierele și provocările tehnologice viitoare.
 - Calitatea instruirii și eficacitatea metodelor de predare influențează direct dezvoltarea abilităților și rezultatele educaționale. Metodele de predare inovative și bine structurate pot face diferența în modul în care elevii asimilează și aplică cunoștințele STEM.
 - Impactul pe termen lung, acesta este poate cel mai riscant și variabil factor. Impactul pe termen lung al educației STEM include pregătirea pentru carieră și contribuția la progresul social, care sunt puternic influențate de o serie de factori externi precum schimbările economice, tehnologice, sociale, politice și de mediu. De exemplu, evoluțiile rapide din tehnologie sau schimbările de pe piața muncii pot afecta direct relevanța abilităților STEM dobândite, în timp ce fluctuațiile în finanțare pot limita resursele disponibile pentru educație.
 - Investiția inițială, adică finanțarea și resursele alocate inițial în programele STEM, determină capacitatea programului de a atinge obiectivele dorite. Acest factor trebuie bine gestionat pentru a asigura sustenabilitatea pe termen lung.
8. Acești factori sunt integrați într-o formulă avansată pentru a evalua eficiența educației STEM, luând în considerare atât aspectele interne ale procesului educațional, cât și influențele externe

care pot afecta impactul pe termen lung. Această abordare oferă un cadru holistic și integrat pentru evaluarea și optimizarea programelor educaționale STEM, asigurându-se că ele rămân relevante și eficiente în contextul schimbărilor constante din societate și economie. Combinarea celor șase factori conduce la propunerea unei formule extinse și specifice pentru educația STEM:

$$\text{Eficientizarea STEM} = \alpha \left(\frac{\text{Rezultate educationale}}{\text{Resurse educationale}} \right) + \beta \left(\frac{\text{Dezvoltarea abilităților}}{\text{Calitatea instruirii}} \right) + \gamma \left(\frac{\text{Impact pe termen lung}}{\text{Investitia inițială}} \right)$$

unde (α, β, γ) sunt coeficienți care reflectă importanța relativă a fiecărui component și pot fi ajustați pentru a reflecta nevoile și prioritățile specifice. Formula are potențial de aplicare practică, deși implementarea sa necesită definirea și măsurarea precisă a variabilelor. Fiecare componentă a acestei formule specifice se adresează câte unui aspect important al educației STEM și anume: eficienței utilizării resurselor, calității instruirii și dezvoltării abilităților și rentabilității investiției pe termen lung.

9. S-a extins formula pentru eficientizarea educației STEM pentru a include factori specifici educației la distanță, propunând următoarea relație matematică:

$$\begin{aligned} \text{Eficientizarea STEM la distanță} &= \\ &= \alpha \left(\frac{\text{Resurse digitale}}{\text{Rezultate online}} \right) + \beta \left(\frac{\text{Calitatea instruirii virtuale}}{\text{Dezvoltarea abilităților digitale}} \right) + \\ &+ \gamma \left(\frac{\text{Investitia în tehnologie}}{\text{Impact pe termen lung}} \right) \end{aligned}$$

10. În contextul acestei teze, eficientizarea educației STEM este abordată prin dezvoltarea unor formule care să cuantifice cât mai precis relația dintre resursele utilizate și rezultatele obținute, cu atenție pe specificitățile domeniului. Comparația detaliată între formula clasică de eficientizare a educației STEM și formula propusă pentru educația STEM la distanță, subliniază diferențele esențiale care rezultă din adaptarea procesului educațional la un mediu digital. Diferențierea formulelor „*eficientizare STEM*” vs. „*eficientizare STEM la distanță*” este un element central al acestei cercetări și reflectă adaptarea metodologică și o profundă înțelegere a modului în care contextul educațional influențează factorii de eficiență.
11. S-a realizat modelarea concepției - implementării unor soluții inovative și/sau prin transfer tehnologic, pentru facilitarea transformării digitale accelerate (**OP4**), conform celor prezentate în capitolele 3 și 4.
12. Realizarea unei analize comparative între inițiativele STEM la nivel global și național pentru a identifica modele de succes și a propune strategii adaptate contextului românesc (**OP6**), conform celor prezentate în capitolul 4;
13. Investigarea impactului tehnologiilor emergente, inclusiv a inteligenței artificiale, asupra eficienței și accesibilității educației STEM și propunerea unor modele de integrare a acestora în curriculum (**OP7**), conform celor prezentate în capitolul 3.5;
14. Adaptarea și testarea unor modele educaționale, cum ar fi modelul Nadler-Tushman (1999), în contextul educației STEM, pentru a evalua eficiența acestora în sprijinirea transformării digitale (**OP8**), demonstrat prin cercetările descrise în capitolele 3.4 și 4;
15. Extinderea cercetării aplicative privind eficientizarea educației STEM la nivel național, pentru a obține o imagine mai detaliată și reprezentativă asupra implementării acesteia în diverse contexte educaționale (**OP9**), așa cum s-a arătat în capitolele 5 și 6.

Toate obiectivele de cercetare au fost atinse, iar în viitor cercetările se pot extinde asupra investigării modalităților prin care educația STEM poate contribui la dezvoltarea competențelor viitoare cerute de piața muncii și asupra analizei aprofundată a eficienței diferitelor metode de predare STEM.

Cercetările efectuate în cadrul programului doctoral au fost valorificate prin publicarea unui număr de 18 lucrări științifice, din care: 4 articole indexate în baza de date Web of Science (WoS), iar celelalte articole fiind indexate în alte baze de date.

Bibliografie selectivă:

1. Bybee, R. W. (2010). Advancing STEM education: A 2020 vision. *Technology and engineering teacher*, 70(1), 30.
2. Falloon, G., Hatzigianni, M., Bower, M., Forbes, A., & Stevenson, M. (2020). Understanding K-12 STEM education: A framework for developing STEM literacy. *Journal of Science Education and Technology*, 29, 369-385.
3. Frey, C. B., & Osborne, M. A. (2017). The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Technological Forecasting and Social Change*, 114, 254–280. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.019>
4. Nadler, D. A., & Tushman, M. L. (1999). Organization of the future: Strategic imperatives and core competencies for the 21st century. *IEEE Engineering Management Review*, 27(4), 96–107. [https://doi.org/10.1016/s0090-2616\(00\)80006-6](https://doi.org/10.1016/s0090-2616(00)80006-6)
5. Padua, S. (2017). Picturing Lovelace, Babbage, and the Analytical Engine: a cartoonist in mathematical biography. *BSHM Bulletin*, 32(3), 214–220. <https://doi.org/10.1080/17498430.2017.1315520>