

Cum ajută realitatea îmbogățită înțelegerea chimiei - un model bazat pe indicatori cauzali

Dragoș Daniel Iordache

ICI București

Bd. Mareșal Averescu nr.8-10, București

iordache@ici.ro

Costin Pribeanu

ICI București

Bd. Mareșal Averescu nr.8-10, București

pribeanu@ici.ro

REZUMAT

Aplicațiile educaționale bazate pe realitate îmbogățită (AR - Augmented Reality) oferă un spațiu de interacțiune atractiv și familiar. Obiectivul acestei lucrări este estimarea contribuției pe care o au capacitățile specifice unei aplicații de învățare bazate pe AR asupra eficacității învățării chimiei în școala generală. În acest scop, au fost specificate și testate două modele de măsurare bazate pe indicatori cauzali. Rezultatele arată că interacțiunea cu bile colorate simbolizând atomi, plasate pe un tabel periodic real, simularea reacțiilor chimice și augmentarea obiectelor reale contribuie la înțelegerea mai rapidă, învățarea mai rapidă și înțelegerea mai bună a lecției.

Cuvinte cheie

Indicatori cauzali, model de măsurare, realitate îmbogățită, eficacitate percepută, e-learning.

Clasificare ACM

D.2.2: Design tools and techniques. H5.2 User interfaces.

INTRODUCERE

Aplicațiile educaționale bazate pe realitate îmbogățită oferă un spațiu de interacțiune deopotrivă atractiv și familiar pentru elev prin integrarea unor obiecte reale, unele chiar din arsenalul didactic tradițional. Evaluarea utilității pedagogice a tehnologiei AR necesită măsurarea efectelor pe care le au capacitățile specifice (vizualizare tridimensională, animație, interfață vocală pentru predare și ghidare a interacțiunii, manipulare directă și feedback haptic).

Realitatea îmbogățită creează premisele unei înțelegeri autentice a conceptelor abstracte prin vizualizarea relațiilor spațiale complexe prin interacțiunea cu obiecte reale și prin reprezentarea fenomenelor pentru care este greu să se găsească un corespondent în lumea reală [3].

În acest articol, se prezintă o abordare în evaluarea unei aplicații de realitate îmbogățită, care a fost implementată pe platforma ARTP (Augmented Reality Teaching Platform), în cadrul proiectului european de cercetare ARiSE (Augmented Reality in School Environments). Paradigma de interacțiune specifică a fost construirea cu ghidare, iar obiectivul pedagogic principal a fost facilitarea învățării tabelului periodic al elementelor și a reacțiilor chimice.

Lucrarea de față face parte dintr-un demers mai amplu, de dezvoltare a unui nou instrument de evaluare a platformei ARiSE, care cuprinde atât măsuri formative cât și măsuri reflectivă, pe baza concluziilor din studiile anterioare [4,

22, 23]. Acest demers a început printr-un studiu pilot, finalizat în iunie 2012 (mărimea eșantionului: N=71). În două lucrări anterioare au fost prezentate unele rezultate preliminare privind influența capacităților specifice aplicației de învățare a chimiei asupra unor aspecte ale eficacității și eficienței învățării [14], analizată cu ajutorul corelației și regresiei multiple, precum și asupra valorii educaționale și motivaționale, analizată cu ajutorul unui model formativ [24]. Pe baza analizei datelor din eșantion și a studiilor efectuate, chestionarul a fost rafinat și aplicat din nou, începând cu octombrie 2012.

Scopul principal al acestui studiu este dezvoltarea și estimarea unui model de măsurare formativ, bazat pe indicatori cauzali, pentru evaluarea efectelor pe care le au capacitățile specifice tehnologiei AR asupra eficacității în învățare percepută de elevi.

Restul acestui articol este structurat după cum urmează. În secțiunea următoare se prezintă aspecte metodologice privind dezvoltarea și estimarea modelelor de măsurare, cu accent asupra indicatorilor cauzali (modele de măsurare formative). În continuare, se descrie indexul formativ, se specifică două modele de măsurare și se estimează contribuțiile indicatorilor cauzali. Articolul se încheie cu concluzii și direcții de continuare a cercetărilor.

SISTEME DE E-LEARNING BAZATE PE AR

Utilizarea AR în e-learning

Printre scopurile principale ale învățării în școală se numără și înțelegerea conceptelor științifice specifice diferitelor discipline. O parte dintre elevii care învață în manieră tradițională au dificultăți la nivelul înțelegerii proceselor abstracte cu repercursiuni la nivelul integrării și transferului cunoștințelor și mai departe la nivelul gândirii critice și al creativității. Din această cauză, abordarea tradițională, bazată pe expunere, nu este suficientă pentru a asigura înțelegerea deplină a conceptelor abstracte la nivelul tuturor elevilor.

Mult mai adecvate predării cunoștințelor abstracte sunt abordările constructiviste bazate pe o învățare activă în care elevii experimentează, formulează ipoteze și le testează prin intermediul manipulării și simulării fenomenelor supuse studiului [21]. Ideea care stă la baza acestor teorii este că învățarea este rezultatul activității celui care învață, iar cunoașterea este construită pe parcursul interacțiunilor nemijlocite cu ceea ce îl înconjoară și cu conținuturile culturale. Astfel, învățarea nu este doar efectul receptării pasive a informațiilor și al înțelegerii cunoștințelor, ci depinde de interacțiunea dintre elev și mediu în contextul rezolvării de probleme și al

activităților exploratorii.

Abordările constructiviste s-au dezvoltat în cadrul mai multor arii de interes și direcții de cercetare, cum ar fi dezvoltarea cognitivă [27], interacțiunile educaționale [8] și mediile virtuale pentru învățare [7, 30]. În cadrul celor din urmă, aplicațiile de învățare bazate pe tehnologia de realitate îmbogățită încearcă să încorporeze mare parte dintre ideile de bază ale învățării de tip constructivist.

Conform cu Klopfer & Squire [18], realitatea îmbogățită poate fi definită în sens larg ca „situație în care un context din lumea reală este suprapus dinamic cu o locație inteligibilă sau un context informațional virtual”. În aceste condiții, realitatea îmbogățită oferă utilizatorilor experiențe mediate de tehnologie în care mediul real este combinat cu mediul virtual [19].

Printre avantajele pe care realitatea îmbogățită le poate oferi mediului educațional, Wu et al. [31] menționează: conținut în format tridimensional, învățare colaborativă, mediu de învățare imersiv, vizualizarea fenomenelor greu de perceput și crearea unei punți între educația formală și cea informală. Acest din urmă aspect este dat mai ales de asemănarea dintre aplicațiile educaționale bazate pe realitate îmbogățită și jocurile pe calculator.

Din ce în ce mai multe cadre didactice utilizează diferite jocuri pentru a face învățarea mai distractivă și mai interesantă. Unul dintre avantajele activităților ludice de învățare (bazate pe joc) este că elevii fac apel la majoritatea simțurilor, fapt care poate avea efecte formative pentru dezvoltarea unor tipuri variate de inteligență precum: auditivă, vizuală, lingvistică, kinestezică, interpersonală și intrapersonală.

Evaluarea sistemelor educaționale

Există numeroase abordări și metode utilizate pentru evaluarea sistemelor interactive, fiecare având avantaje și dezavantaje. O tendință actuală este căutarea de măsuri valide pentru o varietate de aplicații și domenii [25].

Testarea aplicației cu utilizatori permite aplicarea unor instrumente de evaluare (chestionare) cu itemi închiși și deschiși, care permit studierea unui număr mare de factori de interes, cum sunt utilizabilitatea, utilitatea, intenția de utilizare și experiența utilizatorului. Datele colectate pot fi apoi utilizate pentru estimarea unor modele de măsurare, care descriu relațiile dintre constructe și itemi și a unor modele structurale, care descriu relația dintre constructe.

În cazul sistemelor educaționale interesează în mod deosebit utilizabilitatea, utilitatea pedagogică și aspectele motivaționale.

Referitor la chimie, o mare parte dintre elevii care studiază tabelul periodic al elementelor au dificultăți în reamintirea poziției elementelor chimice și în stabilirea asociațiilor dintre elemente și proprietățile lor fizice [28]. Elevii pot ajunge la o mai bună înțelegere a fenomenelor și proceselor abstracte specifice chimiei dacă reușesc să stabilească conexiuni profunde între concepte și realitate, realizând un tot unitar între mediul virtual și cel real [6, 18].

Vizualizarea 3D, manipularea directă a unor obiecte reale, feedback-ul vizual, auditiv și haptic sunt atribute care fac din realitatea îmbogățită una dintre tehnologiile cheie

pentru educație în următorii ani [16].

ASPECTE METODOLOGICE

Modele de măsurare

Specificarea corectă a modelului de măsurare este o condiție necesară înainte de a analiza relațiile cauzale pe baza modelului structural [1]. Relația dintre construct (variabilă latentă) și măsuri (itemi sau indicatori) poate fi de la construct la măsuri (model reflectiv) sau de la măsuri la construct (model formativ).

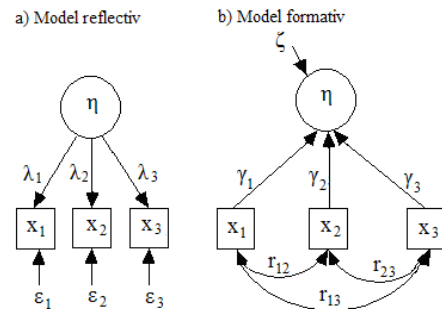


Figura 1. Modele de măsurare

În modelul de măsurare reflectiv relația cauzală este de la construct la indicatori, care sunt manifestări ale variabilei latente. O modificare în variabila latentă determină modificări simultane în toate variabilele manifeste. Din acest motiv (măsoară același lucru), indicatorii sunt interschimbabili iar eliminarea unui indicator nu afectează conținutul constructului. Toate măsurile în acest model trebuie să fi corelate pozitiv iar modelul de măsurare trebuie să aibă validitate convergentă și discriminantă [1, 15].

O alternativă este modelul de măsurare formativ, în care relația cauzală este de la măsuri la construct. Acest model are câteva caracteristici distincte față de modelul reflectiv: indicatorii nu sunt interschimbabili (fiecare capturează o cauză distinctă), nu există ipoteze specifice asupra intercorelațiilor, indicatorii nu au asociat un termen de eroare [5, 10]. Un model formativ izolat este neidentificat și ca atare nu poate fi estimat. În multe din lucrările care publică modele de măsurare formative, autorii folosesc termenul de index în locul celui de scală, pentru setul de indicatori.

Diamantopoulos et al. [10] menționează trei căi de identificare a modelelor formative, bazate pe regula 2+ (specificarea a două efecte ale constructului formativ asupra altor variabile), și anume: adăugarea de doi indicatori reflectivi, adăugarea a două constructe măsurate reflectiv și adăugarea unui construct reflectiv și a unui indicator reflectiv. În primul caz, se obține un model MIMIC (Multiple Indicators Multiple Causes) [17]. În ultimul caz, adăugarea unui indicator reflectiv ca măsură globală servește atât identificării cât și validității externe.

Măsurarea și estimarea unui index formativ

În ceea ce privește încrederea și validitatea, cerințele de consistență internă a scalei și unidimensionalitate nu sunt aplicabile modelelor formative. Literatura de specialitate recomandă validitatea de conținut, validitatea indicatorilor și validitatea externă [5, 10]. În privința conținutului, este

necesară acoperirea domeniului indexului, având în vedere că măsurile definesc constructul. Itemii trebuie să aibă coeficienți γ semnificativi. Un alt mod de apreciere a validității indicatorilor este corelația semnificativă cu un indicator extern (o măsură globală).

Estimarea modelului trebuie să demonstreze, prin indicii de calitate (adecvare) faptul că variabila latentă măsurată formativ mediază efectele indicatorilor asupra variabilelor măsurate reflectiv (coeficienți β semnificativi).

Bollen face o distincție între indicatori compoziți sau formativi și indicatori cauzali [5]. Indicatorii compoziți determină complet conținutul variabilei latente astfel încât nu există termen de eroare. Indicatorii cauzali au unitate tematică și pot influența una sau mai multe variabile latente. În acest caz, termenul de eroare al variabilei latente este asociat cauzelor care nu au fost incluse în index.

Alegerea variabilelor efect afectează coeficienții γ atât în ceea ce privește semnificația cât și magnitudinea influenței [10, 12]. Așa cum subliniază mai mulți autori, estimarea aceluiași index cu alte variabile efect produce alte rezultate, atât în ceea ce privește relațiile cauzale cât și varianța explicată de către model [5, 10]. Din acest motiv se recomandă ca specificarea variabilelor efect să fie parte din specificarea constructului formativ și nu o etapă ulterioară.

EXPERIMENT ȘI METODĂ

Echipament și sarcini

ARTP este un mediu AR de tip desktop: utilizatorii au în față un ecran „see-through”, pe care sunt suprapuse imagini ale obiectelor virtuale (imagini generate de calculator) peste imaginea observată a unui obiect real [29].

În cazul scenariului de chimie, obiectele reale sunt tabelul periodic al elementelor și un set de bile colorate (4 culori) simbolizând atomi. Fiecare post de lucru are propriul tabel periodic și un set de bile colorate. Prin plasarea unei bile colorate pe un element din tabelul periodic, bilele de culoarea respectivă capătă semnificația unui atom al aceluși element și pot fi folosite ulterior pentru crearea de molecule. În mod similar, elevul poate simula o reacție chimică între două molecule, după crearea prealabilă a acestora.

Pentru selectarea unui item din meniu a fost utilizată o telecomandă Wii Nintendo. Mai multe detalii privind platforma și aplicația de învățare a chimiei pot fi găsite în lucrările anterioare [13, 24, 26].

Eșantionul utilizat

Un număr de 160 de elevi din clasele 7-9 (79 băieți și 81 fete) au testat aplicația într-o sesiune de 30 min. Elevii provin de la 6 școli din București și au venit la testare însoțiți de profesori. Testarea a avut loc în perioada octombrie 2012-martie 2012. După testare, elevii au răspuns la întrebările din chestionar, evaluând fiecare item pe o scală Likert de la 1 la 5.

Variabile latente și indicatori

În acest articol, ne vom referi numai la două constructe din

acest chestionar: constructul formativ ARF (6 indicatori cauzali) și constructul reflectiv PEF (3 itemi). Din rațiuni de identificare și validitate externă, a mai fost utilizat un item reflectiv.

Variabilele utilizate, media (M) și abaterea standard (SD) sunt prezentate în Tabelul 1: un construct formativ cu 6 indicatori cauzali, care măsoară capacități specifice platformei (ARF), un construct reflectiv (PEF) cu 3 indicatori, care măsoară eficacitatea învățării și un indicator reflectiv care măsoară utilitatea percepută (PU1).

Tabelul 1. Indicatorii modelului

No.	Variabila	M	SD
ARF1	Augmentarea ajută înțelegerea structurii chimice a atomului	3.90	0.98
ARF2	Construirea unei moldecule din atomi ajută înțelegerea chimiei	4.06	1.01
ARF3	Simularea reacțiilor chimice cu ARTP mă ajută să le înțeleg mai bine	4.13	1.00
ARF4	Vizualizarea în 3D ajută înțelegerea chimiei	4.14	1.05
ARF5	Utilizarea ARTP ajută înțelegerea tabelului periodic	3.97	1.02
ARF6	Explicațiile vocale ajută înțelegerea lecției	4.38	0.78
PEF1	ARTP m-ar ajuta să înțeleg mai rapid lecția	4.10	0.97
PEF2	ARTP m-ar ajuta să învăț mai rapid	3.99	1.01
PEF3	ARTP m-ar ajuta să înțeleg lecția mai bine	3.99	0.93
PU1	După utilizarea ARTP cunoștințele mele de chimie se vor îmbunătăți	3.62	1.06

Indicatorii cauzali sunt specifici atât tehnologiei AR cât și modului de implementare a acesteia în lecția de chimie. Ca atare, specificarea acestora ca măsuri formative este pe deplin justificată din punctul de vedere al direcției relației cauzale. Mai multe detalii privind indicatorii cauzali și relevanța acestora pentru învățarea chimiei au fost prezentate în [14]. Se cuvine a fi menționat însă faptul că, pe baza concluziilor din lucrarea respectivă, setul inițial de 8 indicatori cauzali a fost restrâns la 6. În acest sens, a fost adăugat un indicator nou (ARF4), a fost eliminat un indicator iar doi indicatori au fost introduși în alt set, asociat cu plăcerea percepută.

În ceea ce privește eficacitatea învățării (PEF), aceasta a fost conceptualizată ca un construct reflectiv cu 3 indicatori, care măsoară înțelegerea mai rapidă, învățarea mai rapidă și înțelegerea mai bună a lecției.

Analiza corelațiilor pe baza coeficienților Pearson arată legături moderate și ridicate între indicatorii cauzali (între 0.22 și 0.53) precum și între aceștia și variabilele efect (între 0.29 și 0.56).

În acest studiu se testează următoarele ipoteze:

- (1) ARF \rightarrow PEF1: capacitățile specifice AR implementate în aplicația de învățare a chimiei influențează pozitiv înțelegerea mai rapidă a lecției.
- (2) ARF \rightarrow PEF2: capacitățile specifice AR implementate în aplicația de învățare a chimiei influențează pozitiv învățarea mai rapidă.
- (3) ARF \rightarrow PEF3: capacitățile specifice AR implementate în aplicația de învățare a chimiei influențează pozitiv înțelegerea mai bună a lecției.

- (4) ARF → PEF: capacitățile specifice AR implementate în aplicația de învățare a chimiei influențează pozitiv eficacitatea învățării.
- (5) ARF → PU1: capacitățile specifice AR implementate în aplicația de învățare a chimiei influențează pozitiv îmbunătățirea cunoștințelor de chimie.

Pentru testarea primelor două ipoteze se va specifica și testa un model MIMIC. Pentru testarea ultimelor două ipoteze se va specifica și testa un model structural.

Testarea a fost făcută cu AMOS 17.0 for Windows [2]. În prealabil, au fost verificate condițiile de normalitate, pe baza examinării asimetriei, aplatizării și valorilor excesive (*outliers*). Întrucât s-au constatat abateri moderate de la normalitate, eșantionul este acceptabil pentru analiză cu metode SEM (Structured Equations Analysis).

SPECIFICAREA ȘI ESTIMAREA INDEXULUI FORMATIV

Specificarea și estimarea modelului MIMIC

Estimarea preliminară a modelului MIMIC arată că un indicator (ARF4) are coeficient γ nesemnificativ. Analiza indicilor de modificare a arătat o legătură directă între ARF4 și PEF3, contrar principiului proporționalității efectelor [12]. Din acest motiv, indicatorul ARF4 a fost eliminat. Rezultatele testării modelul MIMIC revizuit, cu cinci indicatori cauzali, sunt prezentate în Figura 2.

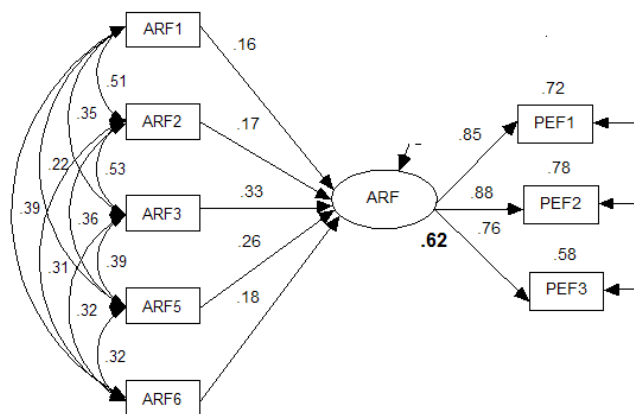


Figura 2. Estimarea modelului MIMIC

Validitatea setului de indicatori la nivel de construct a fost verificată prin examinarea magnitudinii termenului de eroare [10]. Varianța reziduală a fost 0.301, fapt care arată că cea mai mare parte din varianța explicată de variabila latentă este datorată setului de indicatori.

Primul pas în analiza validității la nivel de indicator este examinarea semnului, magnitudinii și semnificației coeficienților γ . Contribuțiile estimate și semnificația statistică pentru fiecare indicator sunt următoarele: $\gamma_{ARF1} = 0.16$ ($p=0.022$), $\gamma_{ARF2} = 0.17$ ($p=0.021$), $\gamma_{ARF3} = 0.33$ ($p<0.001$), $\gamma_{ARF5} = 0.26$ ($p<0.001$) și $\gamma_{ARF6} = 0.18$ ($p=0.006$). Colinearitatea itemilor, analizată cu statistica VIF (*variation inflation factor*), a fost sub pragul recomandat de 3 [10].

Coeficienții β sunt semnificativi (la un prag de semnificație $p<0.001$) și au valori ridicate. Varianța explicată de către model este de $R^2=0.62$ pentru indexul formativ.

Având în vedere că modelul include un construct cu trei indicatori reflectivi, este necesară analiza proprietăților psihometrice ale acestuia. Consistența scalei de măsurare este ridicată (Cronbach's Alpha = 0.869), iar constructul are validitate convergentă, valorile obținute pentru fiabilitatea compusă CR=0.863 (prag 0.7) și varianța medie extrasă AVE=0.679 (prag 0.5) fiind peste pragurile recomandate.

Indicii de adecvare a modelului au valori foarte bune, peste valorile prag recomandate de Hair et al. [12]: $\chi^2=14.833$, DF=10, $p=.138$, $\chi^2/DF=1.483$, CFI=.991, GFI=.978, RMSEA =0.55, SRMR=0.0246. Analiza indicilor de modificare arată că nu există efecte directe ale indicatorilor cauzali asupra variabilelor efect (indexul mediază complet efectele).

Analiza modelului MIMIC confirmă ipotezele unui efect pozitiv semnificativ a setului de indicatori cauzali asupra înțelegerii mai rapide (ARF → PEF1), învățării mai rapide (ARF → PEF2) și înțelegerii mai bune lecției (ARF → PEF3).

Specificarea și estimarea modelului structural

Estimarea preliminară a modelului a condus și în acest caz la eliminarea indicatorului ARF4, din același motiv (proporționalitatea efectelor). Modelul structural revizuit este prezentat în Figura 3.

Varianța reziduală a variabilei latente este mică, fapt care arată că mai mult de jumătate din varianța explicată este datorată setului de indicatori cauzali.

Rezultatele au confirmat validitatea la nivel de indicator, după cum urmează : $\gamma_{ARF1} = 0.24$ ($p=0.018$), $\gamma_{ARF2} = 0.17$ ($p=0.014$), $\gamma_{ARF3} = 0.37$ ($p<0.001$), $\gamma_{ARF5} = 0.31$ ($p<0.001$) și $\gamma_{ARF6} = 0.14$ ($p=0.005$). Toți indicatorii sunt semnificativi la pragul de 0.05. De asemenea, coeficienții γ sunt stabili între cele două modele și au valori apropiate.

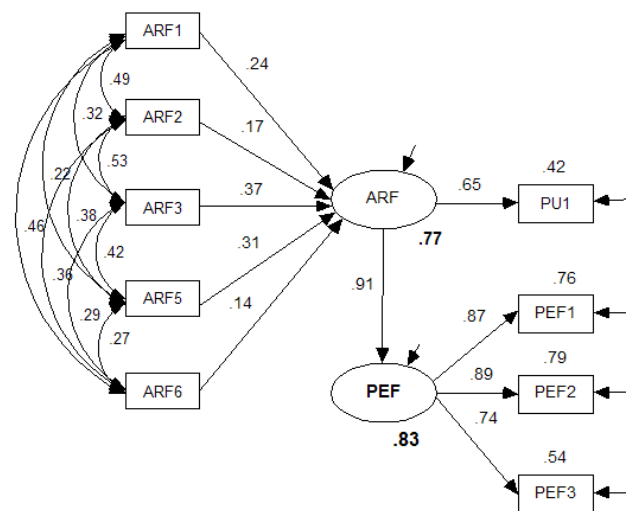


Figura 3. Estimarea modelului structural

Validitatea externă este susținută de corelarea indicatorilor cauzali cu indexul PU1. Analiza pe baza coeficientului de corelație Pearson arată valori pozitive la un prag de semnificație $p<0.001$, astfel: $r_{ARF1} = 0.32$, $r_{ARF2} = 0.40$, $r_{ARF3} = 0.43$, $r_{ARF5} = 0.40$, $r_{ARF6} = 0.32$.

Coeficienții β sunt semnificativi (la un prag de

semnificație $p < 0.001$) și au valori ridicate. Variația explicată de către model este de $R^2 = 0.77$ pentru indexul formativ, $R^2 = 0.83$ pentru constructul PEF și $R^2 = 0.42$ pentru itemul PU1.

Indicii de adecvare a modelului au valori foarte bune, peste valorile prag [12]: $\chi^2 = 16.168$, $DF = 16$, $p = .441$, $\chi^2/DF = 1.010$, $CFI = 1.000$, $GFI = .979$, $RMSEA = .008$, $SRMR = 0.0234$. Analiza indicilor de modificare arată că nu există efecte directe ale indicatorilor cauzali asupra variabilelor efect PEF și PU1.

Analiza modelului structural confirmă ipotezele unui efect pozitiv semnificativ a setului de indicatori cauzali asupra eficacității învățării (AR → PEF) și a îmbunătățirii cunoștințelor de chimie (AR → PU1). Influența lui ARF asupra constructului relectiv PEF (eficacitatea percepută), este mult mai mare decât influența asupra lui PU1.

Discuție

Realitatea îmbogățită permite elevilor să utilizeze imagini tridimensionale care îmbogățesc percepția vizuală a fenomenelor și proceselor supuse studiului conducând la o mai bună înțelegere a acestora.

Estimarea modelului a evidențiat influența pozitivă a unor capacități specifice unui scenariu pentru învățarea chimiei implementat cu o tehnologie AR: construcție cu ghidare (ARF2, ARF3), augmentare (ARF1, ARF2, ARF3), obiect real din arsenalul didactic tradițional (ARF5) și explicarea lecției prin interfață vocală (ARF6).

Rezultatele arată că cea mai importantă contribuție o au simularea reacțiilor chimice, manipularea obiectelor reale (tabel periodic și bile) și augmentarea.

Un set de indicatori cauzali poate influența mai multe variabile latente și este posibil ca numai un subset să aibă o influență semnificativă asupra unei variabile latente [5, 24]. Din acest motiv, indicatorul ARF4 (vizualizare 3D) a fost eliminat din modelul de estimare, dar nu și din setul de indicatori cauzali (respectiv, din instrumentul de evaluare).

Rezultatele studiului arată modul cum tehnologia bazată pe realitate îmbogățită sprijină înțelegerea cunoștințelor abstracte, care se referă la procese care nu sunt accesibile percepției umane nemijlocite, confirmând concluziile altor studii privind efectele tehnologiilor moderne folosite în educație [9, 11].

Există unele limite inerente unui studiu având caracter explorator. Eșantionul este destul de mic în raport cu cerințele analizei pe baza sistemelor de ecuații structurale. De asemenea, este necesară validarea modelului pe un alt eșantion.

CONCLUZII ȘI DIRECȚII DE CONTINUARE

Utilizarea modelelor de măsurare formative este utilă pentru măsurarea unor aspecte specifice ale eficacității pedagogice a unui sistem de e-learning. Scenariul de chimie din cadrul ARTP oferă o manieră multimodală de interacțiune cu tabelul periodic și elementele chimice în cadrul activităților de învățare.

În acest articol, a fost dezvoltat și estimat un index formativ care mediază contribuția unor capacități

specifice tehnologiei AR asupra eficacității învățării unor lecții de chimie.

Rezultatele arată că eficacitatea percepută, măsurată prin înțelegerea mai rapidă, învățarea mai rapidă și înțelegerea mai bună a lecției, depinde în primul rând de simularea reacțiilor chimice, înțelegerea tabelului periodic al elementelor chimice și înțelegerea structurii chimice a atomilor.

Un avantaj al utilizării modelelor formative este numărul mic de variabile (6 indicatori cauzali și 3 indicatori reflectivi pentru modelul MIMIC), fapt care face ca instrumentul de evaluare să fie util pentru măsurarea, pe parcursul dezvoltării, a efectelor tehnologiei AR asupra învățării. În acest sens, atenția dezvoltatorilor și a beneficiarilor (cadre didactice) se poate concentra asupra valorilor medii obținute pentru indicatorii au o contribuție mai importantă la valoarea educațională.

Se intenționează colectarea în continuare de observații pentru a valida modelul pe un alt eșantion, sau cel puțin pe un eșantion mai larg, precum și pentru a explora influența setului de indicatori cauzali asupra altor variabile de interes, cum sunt utilitatea percepută și plăcerea percepută.

Confirmare

Această lucrare a fost finanțată din PN 09-23-02-03 TEHSIN. Platforma ARTP a fost dezvoltată în cadrul proiectului european ARiSE FP6-027039.

REFERINȚE

- Anderson, J.C., Gerbing, D.W. (1988). Structural Equation Modeling in Practice: A Review and Recommended Two-Step Approach. *Psychological Bulletin* 103 (3), 411-423.
- Arbuckle, J.L. (2007). *AMOS 16.0 User's Guide*. Amos Development Corporation.
- Arvanitis, T. N., Petrou, A., Knight, J. F., Savas, S., Sotiriou, S., Gargalacos, M., et al. (2007). Human factors and qualitative pedagogical evaluation of a mobile augmented reality system for science education used by learners with physical disabilities. *Personal and Ubiquitous Computing* 13(3), 243-250.
- Balog, A., Pribeanu, C. (2010) The Role of Perceived Enjoyment in the Students' Acceptance of an Augmented Reality Teaching Platform: a Structural Equation Modelling Approach. *Studies in Informatics and Control* 19(3), 319-330.
- Boolen, K. (2011) Evaluating effect, composite and causal indicators in structural equation models. *MIS Quarterly* 35(2), 359-372.
- Bronack, S.C. (2011). The role of immersive media in online education. *Journal of Continuing Higher Education* 59(2), 113-117.
- Burkhardt, J.-M., Lourdeaux, D., Mellet d'Huart, D. (2003). La conception des environnements virtuels pour l'apprentissage. In: Fuchs, P., Moreau, G. (Eds.), *Le traité de la réalité virtuelle. Vol. 2*. Presses de l'école des Mines, Paris, Ch. 7, 207-296.
- Bruner, J. (1966), *Toward a Theory of Instruction*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Clark, A., Dünser, A., & Grasset, R. (2011). An interactive augmented reality coloring book (pp. 259-260). *IEEE international symposium on mixed and*

- augmented reality - ISMAR, Basel. Available online at: <http://dx.doi.org/10.1109/ISMAR.2011.6143487>.
10. Diamantopoulos, A., Riefler, P., Roth, K. (2008) Advancing formative measurement models. *Journal of Business Research* 61, 1203-1218.
 11. Dunleavy, M., Dede, C., & Mitchell, R. (2009). Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning. *Journal of Science Education and Technology* 18(1), 7–22.
 12. Franke, G., Preacher, K., Rigdon, E. (2008) Proportional structural effects of formative indicators. *Journal of Business Research* 61, 1229-1237.
 13. Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E., Tatham, R.L. (2006). *Multivariate Data Analysis*. 6th Ed., Prentice Hall, 2006.
 14. Iordache D.D., Pribeanu C., Balog A. (2012) Influence of specific AR capabilities on the learning effectiveness and efficiency. *Studies in Informatics and Control*, 21(3), 233-240.
 15. Jarvis, C.B., Mackenzie, S., Podsakoff, M. (2003) A critical review of construct indicators and measurement models misspecification in marketing and consumer research. *Journal of Consumer Research* 30, 199-218.
 16. Johnson, L. F., Levine, A., Smith, R. S., & Haywood, K. (2010). Key emerging technologies for elementary and secondary education. *Education Digest* 76(1), 36–40.
 17. Jöreskog, K. G., Goldberger, A. S. (1975). Estimation of a Model with Multiple Indicators and Multiple Causes of a Single Latent Variable, *Journal of the American Statistical Association* (70:351), 631-639.
 18. Klopfer, E., & Squire, K. (2008). Environmental detectives: the development of an augmented reality platform for environmental simulations. *Educational Technology Research and Development* 56(2), 203–228.
 19. Klopfer, E., & Sheldon, J. (2010). Augmenting your own reality: student authoring of science-based augmented reality games. *New Directions for Youth Development* 128, 85–94.
 20. Martin, S., Diaz, G., Sancristobal, E., Gil, R., Castro, M., & Peire, J. (2011). New technology trends in education: seven years of forecasts and convergence. *Computers & Education* 57(3), 1893–1906.
 21. Millet, G., Lecuyer, A., Burkhardt, J., Haliyo, S., and Regnier, S. (2012). Haptics and graphic analogies for the understanding of atomic force microscopy, *Int. Journal of Human-Computer Studies*. Available online: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhcs.2012.12.005>
 22. Pribeanu, C., Iordache, D.D. (2010) Chapter 13: From usability to user experience: evaluating the educational and motivational value of an augmented reality learning scenario. *Affective, Interactive and Cognitive Methods for E-Learning Design: Creating an Optimal Education Experience*, Tzanavari E., Tsapatoulis N. (Eds), IGI-Global, 244-259.
 23. Pribeanu, C. (2011) Influența acurateții percepțuale asupra experienței utilizatorului unei aplicații AR de învățare a biologiei. *Revista Română de Interacțiune Om-Calculator*, 4(Număr special – RoCHI 2011), 59-62.
 24. Pribeanu, C. (2012) Using formative measurement models to evaluate the educational and motivational value of an AR-based application. *Problems of Education in the 21st Century* 50, 70-79.
 25. Vermeeren, A., Law, E L.-C., Roto, V., Obrist, M., Hoonhout, J., Vaananen-Vainio-Mattila, K. (2010) User Experience Evaluation Methods: Current State and Development Needs. *Proc. NordiCHI 2012*, 521-530.
 26. Vilkonis, R., Lamanauskas, V., Palepsaitiene, R. (2008) The scenario of learning module “Introductory course of Chemistry” for a new learning platform based on augmented reality technology (Prototype 2). *Proc. ICT-NSE 2008*, InterDok, 123-142.
 27. Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
 28. Weiss, R. E., Knowlton, D. S. & Morrison, G. R. (2002). Principles for using animation in computer-based instruction: theoretical heuristic for effective design. *Computers and Human Behavior* 18, 465-477.
 29. Wind, J., Riege, K., Bogen M. (2007) Spinnstube®: A Seated Augmented Reality Display System, *Virtual Environments: Proceedings of IPT-EGVE – EG/ACM Symposium*, 17-23.
 30. Winn, W., 2003. Learning in artificial environments: Embodiment, embeddedness and dynamic adaptation. *Technology Instruction, Cognition and Learning 1* (1), 87–114.
 31. Wu, H., Lee, S. W., Chang, H., Liang, J., (2013). Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education* 62, 41-49.