

Calitatea ergonomică a unei aplicații educaționale bazate pe realitate îmbogățită - un model de măsurare cu indicatori cauzali

Costin Pribeanu

Institutul Național de Cercetare-Dezvoltare în Informatică – ICI București Bd. Mareșal Averescu, Nr. 8-10, 011455, București

E-mail: pribeanu@ici.ro

Rezumat. În ultimii ani asistăm la creșterea interesului pentru aplicațiile educaționale bazate pe realitate îmbogățită – AR (Augmented Reality), datorită posibilităților pe care le oferă integrarea unor obiecte reale din arsenalul didactic tradițional pe o platformă hardware-software. Implementarea conceptului de realitate îmbogățită, care presupune suprapunerea unor imagini generate de calculator peste imaginea obiectelor reale observate pe ecran, ridică probleme specifice de utilizabilitate care se reflectă în ușurința în învățare a modului de operare, ușurința operării și confortul în utilizare. În acest articol se prezintă un model bazat pe indicatori cauzali pentru măsurarea calității ergonomice a unei aplicații educaționale AR. Rezultatele arată că ușurința citirii informației pe ecran și ușurința selectării unui element chimic au cea mai mare influență asupra calității ergonomice a aplicației.

Cuvinte cheie: utilizabilitate, calitate ergonomică, modele de măsurare formative, indicatori cauzali, realitate îmbogățită, e-learning.

1. Introducere

Realitatea îmbogățită, referită cu acronimul AR (Augmented Reality), este un concept care permite integrarea unor obiecte reale pe o platformă hardware-software. Utilizatorul observă obiectul real prin intermediul unui ecran pe care este proiectată informația generată de calculator (augmentare). În educație, tehnologia bazată pe realitate îmbogățită permite elevului sau studentului să interacționeze cu obiecte reale, de exemplu obiecte din arsenalul didactic tradițional, într-o manieră mai naturală decât utilizând tastatura și mouse-ul. În ultimii ani, asistăm la o proliferare a tehnologiilor AR în domeniul educațional și la o creștere a interesului pentru evaluarea calității acestora din diferite perspective (Klopfer & Sheldon, 2010; Martin et al. 2011; Bai & Blackwell, 2012).

Integrarea obiectelor reale cu obiecte virtuale (imagini generate de calculator) necesită tehnici de interacțiune inovative, care se bazează pe posibilitățile de interacțiune cu obiecte reale. Aceste tehnici de interacțiune trebuie să fie testate cu utilizatori, pentru a evita probleme de utilizabilitate. Proiectarea pentru utilizabilitate nu este o sarcină ușoară în cazul sistemelor AR (Gabbard et al., 2004), având în vedere atât aspectele de ordin ergonomic, în special cele legate de percepția vizuală și auditivă (Iordache & Pribeanu, 2009; Balog et al., 2008; Bay & Blackwel, 2012; Pribeanu, 2012), cât și lipsa unor metode specifice de proiectare centrată pe utilizator (Bach & Scapin, 2004).

În acest articol se prezintă un model cu indicatori cauzali pentru măsurarea influenței pe care o au caracteristicile ergonomice (acuratețea percepției vizuale, ușurința selectării unui element chimic și acuratețea explicațiilor vocale) asupra calității ergonomice a unei aplicații de învățare a chimiei. Aplicația a fost implementată pe platforma ARTP (Augmented Reality Teaching Platform), care a fost dezvoltată în cadrul proiectului european ARiSE (Augmented Reality in School Environment). Scopul studiului este identificarea caracteristicilor ARTP care influențează calitatea ergonomică a platformei.

Restul acestui articol este organizat după cum urmează. În secțiunea următoare se prezintă succint aspecte specifice utilizabilității aplicațiilor AR și se trec în revistă rezultatele unor studii anterioare. În continuare se prezintă studiul de caz și rezultatele obținute. Articolul se încheie cu analiza rezultatelor și concluziile studiului.

2. Abordări recente și rezultate anterioare

2.1 Utilizabilitatea și ergonomia sistemelor AR

Există o mare varietate de metode utilizate în evaluarea utilizabilității, fiecare având avantaje și dezavantaje. Cele mai frecvent utilizate metode se pot grupa în două categorii: inspecția de utilizabilitate (efectuată prin evaluare euristică, evaluare bazată pe recomandări) și testarea cu utilizatori. Testarea cu utilizatori are avantajul că permite aplicarea unor instrumente de evaluare (chestionare) cu itemi închiși și deschiși, precum și colectarea unor măsuri ale eficacității și eficienței.

În cazul sistemelor AR, multe probleme de utilizabilitate sunt legate de ergonomia platformei (în special în ceea ce privește percepția vizuală) și modul de implementare a tehnicilor de interacțiune. Există în prezent multiple modalități de implementare a conceptului AR, fiecare având avantaje și dezavantaje specifice, inclusiv în ceea ce privește aspectele de ordin ergonomic. Conform cu Krevelen & Poelman (2010), în funcție de poziția display-ului între ochi și obiectul real, se pot distinge sisteme bazate pe HMD (Head Mounted Display), HHD (Hand Held Display) și STS (See-Through Screen).

Nielsen (1992) a definit o problemă de utilizabilitate ca orice aspect al interfeței cu utilizatorul despre care se presupune (se observă) că ar crea utilizatorului dificultăți sau nemulțumiri, raportat la un indicator important al utilizabilității: ușurință în învățare, ușurință în operare, rată de erori, satisfacție subiectivă.

Kaufmann & Dunser (2007) arată că este foarte important ca în aplicațiile educaționale să se reducă încărcarea cognitivă necesară utilizării aplicației pentru a concentra atenția asupra sarcinilor de lucru. O problemă critică este urmărirea interacțiunii cu obiectele reale (tracking).

Într-un studiu recent, Bai & Blackwell (2012) au analizat metodele de evaluare a utilizabilității sistemelor AR publicate în conferințele ISMAR - International Symposium of Mixed and Augmented Reality (71 articole), și au identificat patru categorii de obiective urmărite de autori: execuție, percepție și cogniție, colaborare și experiența utilizatorului. În ceea ce privește problemele de percepție, autorii studiului menționează acuratețea percepției vizuale, acuratețea și calitatea sunetului. În ceea ce privește experiența utilizatorului, autorii menționează disconfort, dureri de cap, dureri de ochi.

2.2 Utilizabilitatea și ergonomia ARTP

Cele două scenarii de învățare (pentru biologie și chimie) implementate pe platforma ARTP au fost evaluate din punctul de vedere al utilizabilității și calității ergonomice cu ajutorul a numeroase metode: inspecție de utilizabilitate (evaluare euristică), testare cu utilizatori, aplicarea unor instrumente de evaluare (chestionare). Evaluările au fost făcute în mai multe etape, în majoritatea cazurilor cu elevi din clasele 7-8, de la școli din București: 2007 (la școală de vară, N=20, după școala de vară, N=46), 2008

(N=239), studiu pilot în 2012 (N=71) și 2013 (N=186). În anii 2007-2008, a fost utilizat un instrument de evaluare dezvoltat în cadrul proiectului ARiSE, iar în 2012-2013, un nou instrument de evaluare.

Primul instrument de evaluare a avut și itemi deschiși, care au permis colectarea unor date calitative (opinii ale elevilor privind aspecte pozitive / negative). În ambele scenarii, elevii au acuzat dureri de ochi provocate ochelarii fără fir (wireless), fapt care a determinat înlocuirea ulterioară a acestora (Balog et al., 2008). Aceasta a fost a doua mare categorie de probleme de utilizabilitate, după problemele de selecție. De asemenea, în ambele sesiuni elevii au fost nemulțumiți de probleme de sunet. O altă problemă de utilizabilitate, care a cauzat dificultăți de selecție, a fost feedback-ul la acțiunile utilizatorilor. În mod special în scenariul de chimie, utilizatorii au nevoie de feedback semantic atunci când plasează o bilă pe tabelul periodic (afișarea simbolului chimic al elementului).

Eșantionul colectat în 2008 a fost utilizat și pentru estimarea unor modele structurale bazate pe analiza covarianței. Balog & Pribeanu (2010) au testat un model de acceptanță a tehnologiei, care a arătat că ergonomia platformei are o influență semnificativă atât asupra ușurinței în învățare cât și asupra plăcerii percepute.

Într-o altă lucrare, Pribeanu & Balog (2011) au testat un model ierarhic în care calitatea ARTP are trei fațete: ușurința în utilizare percepută, utilitatea percepută și plăcerea percepută. Prima componentă a fost măsurată cu patru indicatori, dintre care trei sunt asociați cu acuratețea percepției vizuale (observare prin ecran, acuratețea suprapunerii dintre augmentare și obiectul real și ușurința citirii informației pe ecran).

Pribeanu (2012) a analizat comparativ calitatea ergonomică a celor două scenarii de învățare implementate pe ARTP (biologie și chimie) cu ajutorul unui model formativ de ordinul 2. Cele două componente de ordinul 1 ale modelului au fost acuratețea perceptuală și ușurința în utilizare / colaborare. Calitatea ergonomică a fost definită ca ușurință în înțelegere a aplicației, ușurință în învățare a modului de utilizare și ușurință în utilizare. În ambele scenarii, acuratețea perceptuală a avut o influență mai mică asupra calității ergonomice. În ceea ce privește aplicația de învățare a chimiei, între cei mai importanți indicatori au fost menționați acuratețea suprapunerii, ușurința colaborării și selectarea unui articol de meniu.

3. Studiu de caz

3.1 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 (Wind et al, 2007). În Figura 1 se observă o elevă care testează aplicația de învățare a chimiei.

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 acelu 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.

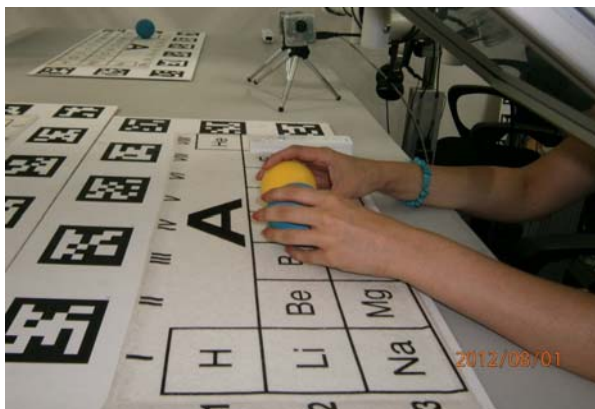


Figura. 1. Elevi testând aplicația de învățare a chimiei

Pentru selectarea unui item din meniu a fost utilizată o telecomandă Wii Nintendo.

Sarcinile sunt grupate într-o introducere și 3 lecții. Prima lecție este despre structura chimică a atomilor și cuprinde două exerciții. A doua lecție este despre formarea moleculelor și cuprinde 8 exerciții. Cea de-a treia lecție este despre reacții chimice și cuprinde 3 exerciții. Sarcinile au fost

prezentate prin intermediul unei interfețe vocale în limba română. Mai multe detalii privind platforma și aplicația de învățare a chimiei pot fi găsite în (Balog et al, 2008; Vilkonis et al., 2008).

3.2 Modelul și ipotezele de cercetare

În anul 2012 a fost demarată dezvoltarea unui nou instrument de evaluare a aplicației de chimie implementată pe ARTP. Modelul conceptual cuprinde atât constructe formative cât și constructe reflectiv, specificate pe baza concluziilor din studiile anterioare. Acest demers a început printr-un studiu pilot, finalizat în iunie 2012 (N=71). Pe baza analizei datelor și a studiilor efectuate, chestionarul a fost rafinat și aplicat din nou pe un eșantion mai mare (N=186).

Întrebările de cercetare pentru acest studiu sunt următoarele:

RQ1 : În ce măsură caracteristicile ergonomice ale platformei influențează calitatea ergonomică a aplicației ?

RQ2: Care sunt caracteristicile ergonomice cele mai importante ?

Caracteristicile ergonomice ale platformei au fost modelate cu ajutorul unui construct măsurat în mod formativ (ERG) și operaționalizat printr-un set de 6 indicatori cauzali. Pentru măsurarea efectelor pe care acestea le au asupra calității ergonomice au fost specificate trei constructe măsurate în mod reflectiv : ușurința învățării modului de utilizare (PEOL), ușurința utilizării (PEU) și confortul în utilizare (CONF). Confortul în utilizare se referă la lipsa unor sări de oboseală, dureri de cap sau dureri de ochi.

Modelul de cercetare și ipotezele care vor fi testate sunt prezentate în Figura 2.

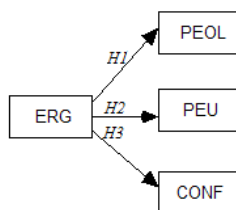


Figura. 2. Modelul de cercetare și ipoteze

Disconfortul manifestat prin dureri de ochi, dureri de cap și stare de oboseală a fost menționat de către elevi în experimentele anterioare pe

ARTP (Balog et al, 2008 ; Iordache & Pribeanu, 2009) precum și în alte studii (Bai & Blackwell, 2012). Cauzele acestui disconfort sunt numeroase, având în vedere că se utilizează ochelari speciali iar efectuarea exercițiilor presupune selectarea elementelor chimice, observarea obiectelor reale prin ecran, analiza augmentării și citirea informațiilor afișate.

În acest studiu se testează trei ipoteze de cercetare :

H1 : Caracteristicile ergonomice ale aplicației influențează ușurința în învățare a modului de utilizare a platformei. (ERG → PEOL)

H2 : Caracteristicile ergonomice ale aplicației influențează ușurința în utilizarea platformei. (ERG → PEU)

H3 : Caracteristicile ergonomice ale aplicației influențează confortul în utilizare. (ERG → CONF)

Cele trei constructe măsurate reflectiv au fost operaționalizate cu câte trei itemi fiecare. Variabilele utilizate în model, media (M) și abaterea standard (SD) sunt prezentate în Tabelul 1.

Tabelul 1. Variabile

No.	Variabila	M	SD
ERG1	Observarea obiectelor reale prin ecran este clară	3.36	0.90
ERG2	Suprapunerea dintre augmentare și obiectul real este clară	3.22	1.11
ERG3	Selectarea unui element chimic este ușoară	3.26	1.36
ERG4	Selectarea unei opțiuni din meniu este ușoară	4.47	0.99
ERG5	Explicațiile vocale sunt clare și ușor de înțeles	4.40	0.93
ERG6	Citirea informației pe ecran este ușoară	4.05	0.91
PEOL1	Este ușor să înțeleg modul de utilizare a ARTP	4.23	0.92
PEOL2	Ar fi ușor să învăț modul de utilizare a ARTP	4.24	0.97
PEOL3	Ar fi ușor să îmi amintesc cum să utilizez ARTP	4.22	0.98
PEU1	Ar fi ușor să utilizez ARTP pentru învățarea chimiei	4.28	0.92
PEU2	Interacțiunea cu ARTP a fost ușoară pentru mine	4.19	0.94
PEU3	ARTP este ușor de utilizat	4.32	0.91
CONF1	M-am simțit obosit după ce am utilizat sistemul	2.00	1.32
CONF2	După utilizarea sistemului m-a durut capul	1.73	1.19
CONF3	După utilizarea sistemului m-au durut ochii	1.90	1.24

Primii șase indicatori se referă la : calitatea percepției vizuale (ERG1, ERG2, ERG6), ușurința selectării unui element chimic (ERG3), ușurința selectării unui articol din meniu (ERG4) și calitatea percepției auditive (ERG5). De menționat faptul că selectarea unui articol din meniu presupune utilizarea unei telecomenzi iar meniul este afișat pe ecran. De asemenea, selectarea unui element chimic presupune plasarea unei bile colorate pe tabelul periodic, afișarea simbolului chimic al acestuia și utilizarea telecomenzii pentru confirmarea selecției.

3.3 Metodă

Specificarea corectă a modelului de măsurare este o condiție necesară înainte de a analiza relațiile cauzale pe baza modelului structural (Anderson & Gerbing, 1988). 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).

În modelul de măsurare reflectiv relația cauzală este de la construct la indicatori (variabile manifest). O modificare în variabila latentă determină modificări simultane în toate variabilele manifest. 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 (Jarvis et al, 2003).

În modelul de măsurare formativ 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 (Winklofer & Diamantopoulos, 2001; Jarvis et al., 2003, Diamantopoulos et al. 2008). În multe din lucrările care publică modele de măsurare formative, autorii folosesc termenul de index în locul celui de scală, pentru setul de indicatori.

Bollen (2011) face o distincție între indicatori compoziți sau formativi și indicatori cauzali. 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.

În ceea ce privește validitatea, literatura de specialitate recomandă validitatea de conținut, validitatea indicatorilor și validitatea externă (Bollen, 2011; Diamantopoulos et al, 2008). În privința conținutului, este necesară acoperirea domeniului indexului, având în vedere că măsurile definesc constructul. Contribuția indicatorilor formativi trebuie să fie semnificativă (coeficienți de regresie γ semnificativi)

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

3.4 Participanți și eșantion

Experimentul a fost organizat în ICI București. Un număr de 186 de elevi din clasele 7-9 (79 băieți și 81 fete) au testat aplicația într-o sesiune de 30 min. Elevii provin de la mai multe 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.

Analiza preliminară a datelor a arătat că abaterile de la normalitate sunt moderate, fiind acceptabil pentru prelucrare cu metode SEM (Structural Equations Modeling).

Așa cum se observă în Tabelul 1, primii trei indicatori au valori medii mai scăzute, fapt care confirmă existența unor probleme de utilizabilitate legate de percepția vizuală (ERG1 și ERG2) și de implementarea tehnicii de interacțiune pentru selecția unui element chimic (ERG3).

Indicatorii constructelor PEOL și PEU au medii ridicate, fapt care arată că în general elevii nu au întâmpinat dificultăți mari în înțelegerea, învățarea și utilizarea aplicației. În ceea ce privește disconfortul resimțit de elevi, media ce mai mare o are CONF1, urmat de CONF2 și CONF3. Cu toate acestea, valorile medii sunt scăzute, fapt care denotă că în general starea de disconfort nu este prea mare.

4. Rezultate

Modelul structural a fost specificat și estimat utilizând Amos for Windows (Arbuckle, 2007). Estimarea preliminară a modelului a arătat că doi dintre indicatori (ERG1 și ERG2) au coeficienți γ ne semnificativi. Din acest motiv, indicatorii au fost eliminați. Rezultatele testării modelului revizuit, cu patru indicatori cauzali, sunt prezentate în Figura 3.

Validitatea setului de indicatori la nivel de construct a fost verificată prin examinarea magnitudinii termenului de eroare (Diamantopoulos et al., 2008). Variația reziduală a fost 0.164, fapt care arată că cea mai mare parte din variația 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 .

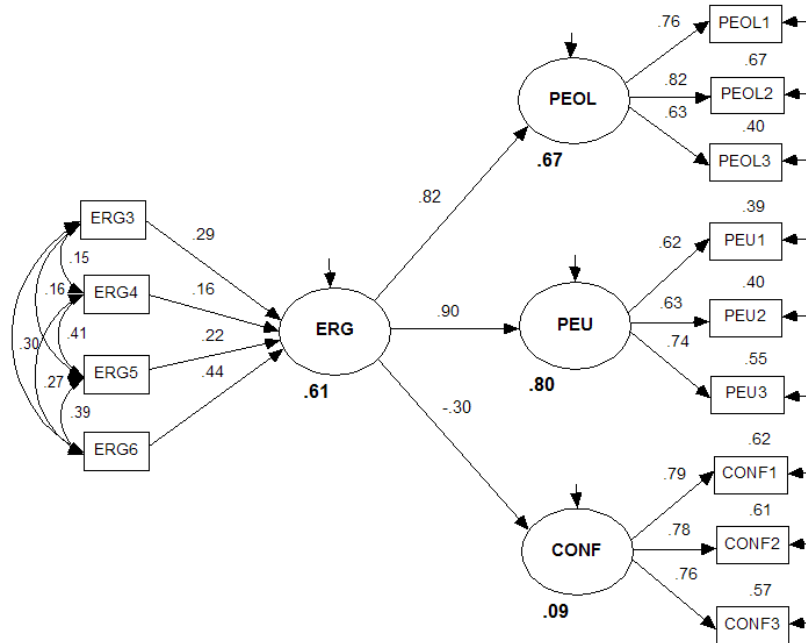


Figura. 3. Rezultatele testării modelului structural

Contribuțiile estimate (valori standardizate) și semnificația statistică pentru fiecare indicator sunt următoarele: $\gamma_{ERG3} = 0.29$ ($p < 0.001$) $\gamma_{ERG4} = 0.16$ ($p = 0.027$), $\gamma_{ERG5} = 0.22$ ($p = 0.004$), $\gamma_{ERG6} = 0.44$ ($p < 0.001$).

Colinearitatea itemilor, analizată cu statistica VIF (*variation inflation factor*), a fost sub pragul recomandat de 3 (Diamantopoulos et al, 2008).

Coeficienții β sunt semnificativi (la un prag de semnificație $p < 0.001$) și au valori ridicate. Varianța explicată de către model este de 61% pentru indexul formativ, 67% pentru PEOL, 80% pentru PEU și 9% pentru ERG.

Având în vedere că modelul include trei constructe măsurate reflectiv, este necesară analiza proprietăților psihometrice ale acestuia. Consistența scalei de măsurare (Cronbach' α) a fiecărui construct este ridicată, peste 0.7.

Tabelul 2. Validitate convergentă și validitate discriminantă

	α	CR	AVE		PEOL	PEU	ERG
PEOL	0.773	0.784	0.550	PEOL	0.742		
PEOU	0.707	0.706	0.446	PEOU	0.736	0.668	
CONF	0.818	0.819	0.602	CONF	-0.243	-0.266	0.758

Așa cum se observă în Tabelul 2 (stânga), fiabilitatea compusă (CR) și varianța medie extrasă (AVE) sunt peste valorile prag de 0.7 respectiv 0.5, cu o singură excepție (PEU), fapt care arată că validitatea convergentă este acceptabilă. De asemenea, analiza corelațiilor și a varianțelor medii extrase arată că validitatea discriminată este acceptabilă.

Indicii de adecvare a modelului au valori bune, în concordanță cu valorile prag recomandate de către Hair et al (2006), respectiv: $\chi^2=75.38$, $DF=56$, $p=.043$, $\chi^2/DF= 1.346$, $CFI=0.973$, $TLI=0.963$, $GFI=.945$, $RMSEA=.043$, $SRMR=0.050$.

Analiza modelului structural confirmă ipotezele unui efect pozitiv semnificativ ale caracteristicilor ARTP asupra ușurinței învățării modului de utilizare (ERG → PEOL), ușurinței în utilizare (ERG → PEU) și confortului în utilizare (ERG → CONF).

5. Discuție

Analiza coeficienților de regresie β (relația între constructe) oferă răspuns la prima întrebare de cercetare. Influența caracteristicilor ergonomice asupra lui PEU (ușurința utilizării) este mai mare decât cea asupra lui PEOL (ușurința învățării modului de utilizare).

Influența asupra confortului în utilizare (negativă, întrucât este măsurat disconfortul) este mai mică. O cauză posibilă este și eliminarea a doi indicatori asociați cu percepția vizuală, care ar influența CONF3. Alte cauze ale disconfortului ar putea fi legate de dificultatea exercițiilor (cunoștințe de chimie), care ar influența CONF1 și CONF2.

Analiza coeficienților de regresie γ (între indicatorii cauzali și constructul ERG) oferă răspuns la cea de a doua întrebare de cercetare. Cea mai mare influență asupra calității ergonomice a aplicației o are ușurința citirii informației pe ecran (ERG6). Este de menționat faptul că ecranul este o resursă scumpă în aplicațiile AR: permite observarea obiectelor reale, afișarea augmentării, afișarea meniului și a altor informații de interes pentru utilizator. A doua caracteristică importantă pentru calitatea ergonomică a aplicației este ușurința selectării unui element chimic (ERG3).

Eliminarea a doi indicatori asociați cu percepția vizuală este explicată prin relațiile cauzale dintre aceștia și alți indicatori. Așa cum arată Diamantopoulos & Winklofer (2001), atunci când între indicatori există combinații liniare este greu de separat influența fiecăruia.

Pentru a analiza în detaliu aceste aspecte, a fost efectuată o regresie liniară multiplă, având ca variabilă dependentă ERG3. Rezultatele au arătat că ERG1, ERG2 și ERG6 sunt predictorii pentru ERG3 ($\text{Adj.R}^2=0.202$, $p<0.001$). Cu alte cuvinte, ușurința selectării unui element chimic depinde de calitatea percepției vizuale. Din acest motiv, eliminarea celor doi indicatori din index este consecința faptului că efectele acestora sunt preluate de ERG6.

6. Concluzii și direcții de continuare

Specificarea și estimarea unui index formativ a fost utilă pentru analiza unor aspecte specifice utilizabilității aplicației care implementează scenariul de învățare a chimiei pe ARTP.

Comparativ cu rezultatele unui studiu anterior (Pribeanu, 2012), se confirmă importanța pe care o are ușurința citirii informației pe ecran asupra calității ergonomice a aplicației. De asemenea, se confirmă, pe baza unui model de măsurare, rolul pe care îl are ușurința selectării unui element chimic, având în vedere că studiile anterioare (Balog et al., 2008) au indicat problemele de selecție ca principală sursă de nemulțumire a elevilor în ceea ce privește utilizabilitatea.

O altă contribuție a acestui studiu este includerea confortului în utilizare în analiza calității ergonomice a aplicației de învățare a chimiei. Faptul că influența caracteristicilor ergonomice asupra confortului în utilizare este redusă se poate datora altor factori, inclusiv posibilității ca ușurința în învățare și ușurința în utilizare să aibă un rol de mediator. O direcție de continuare a cercetărilor în acest sens ar fi studiul efectului pe care îl are confortul în utilizare asupra experienței utilizatorului.

Confirmare

Această lucrare a fost finanțată din Programul Nucleu TEHSIN 203/2013.

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.
- Arbuckle, J. L.: *AMOS 16.0. User's Guide*. Amos Development Corporation, 2007
- Bai Z., Blackwell A. (2012) Analytic review of usability evaluation in ISMAR. *Interacting with Computers* 24, 450-460.
- Bach, C., Scapin, D., 2004. Obstacles and perspectives for Evaluating mixed Reality Systems Usability. In. *Mixer workshop, Proceedings of IUI-CADUI Conference 2004*, pp. 72-79. ACM Press.
- Balog, A., Iordache, D.D., Pribeanu, C. (2008) Evaluare comparativă a două scenarii de învățare bazate pe realitate îmbogățită. Buraga, S.C. & Juvină, I. (Ed.) *Revista Română de Interacțiune Om-Calculator, 1 (Număr special – RoCHI 2008)*, 49-52
- 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.
- Diamantopoulos, A., Winklhofer, H. (2001) Index construction with formative indicators: an alternative to scale development. *Journal of Marketing Research* 28, 269-277.
- Diamantopoulos, A., Riefler, P., Roth, K. (2008) Advancing formative measurement models. *Journal of Business Research* 61, 1203-1218.
- Franke, G., Preacher, K., Rigdon, E. (2008) Proportional structural effects of formative indicators. *Journal of Business Research* 61, 1229-1237.
- Gabbard, J., Hix, D., Swan, E., Livingston, M., Herer, T., Julier, S., Baillot, Y. & Brown, D. (2004) A Cost-Effective Usability Evaluation Progression for Novel Interactive

- Systems. *Proc. of Hawaii Intl. Conference on Systems Sciences, Track 9*, p. 90276c. IEEE
- Hair, J.F., Black, W.C., Babin, B.J., Anderson, R.E., Tatham, R.L. (2006). *Multivariate Data Analysis*. 6th Ed., Prentice Hall, 2006.
- Iordache D.D., Pribeanu, C. Comparison of Quantitative and Qualitative Data from a Formative Usability Evaluation of an Augmented Reality Learning Scenario. *Informatica Economica Journal*, 13(3), 2009, 67-74.
- 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.
- Kaufmann, H, Dunser, A. (2007) Summary of usability evaluations of an educational augmented reality application. *Virtual Reality*, 660-669, Springer.
- 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
- Krevelen D.W.F., Poelman R. (2010) A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. Proportional structural effects of formative indicators. *International Journal of Virtual Reality* 9(2), 1-20.
- 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.
- Nielsen, J. (1992). Finding usability problems through heuristic evaluation. P. Bauersfeld, J. Bennett & G. Lynch (Eds.), *Proceedings of CHI'92*, ACM Press.
- Pribeanu, C., Balog, A. (2011) Towards a hierarchical model for the perceived quality of an augmented reality platform. *Proceedings of EHCIDE 2011 International Workshop*, Limassol, Cyprus, 8 April 2011, IRIT, 13-18.
- Pribeanu, C. (2012) Specification and validation of a second order formative index to evaluate the ergonomic quality of an AR-based educational platform. *International Journal of Computers, Communication and Control* 7(4), 720-731.
- Vilkonis, R., Lamanaukas, 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.
- Wind, J., Riege, K., Bogen M., 2007. Spinnstube®: A Seated Augmented Reality Display System, *Virtual Environments: Proc. IPT-EGVE – EG/ACM Symposium*, 17-23..