

Impactul problemelor de utilizabilitate asupra utilității percepute și experienței utilizatorului unui scenariu de învățare bazat pe realitate îmbogățită

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

Tehnologiile bazate pe realitate îmbogățită – AR (Augmented Reality) crează noi oportunități de creștere a motivației pentru învățare în rândul elevilor. Integrarea dintre real și virtual necesită tehnici de interacțiune specifice, fapt care face mai dificilă dezvoltarea de aplicații utilizabile în acest domeniu. Metodele individuale de evaluare a utilizabilității prezintă avantaje specifice dar și limite atunci când sunt aplicate în mod izolat. Aceasta sugerează utilizarea unei metodologii mixte de cercetare. Această lucrare prezintă o analiză, a impactului pe care o au problemele de utilizabilitate asupra utilității și plăcerii percepute, bazată pe triangularea datelor cantitative și calitative.

Cuvinte cheie

Evaluarea utilizabilității, metode mixte de cercetare, triangulare, realitate îmbogățită, scenariu de învățare, platformă educațională.

Clasificare ACM

H5.2. Information interfaces and presentation (e.g., HCI): Miscellaneous.

INTRODUCERE

Utilizarea tehnologiilor bazate pe realitate îmbogățită în sistemele de e-learning este din ce în ce mai frecventă în ultimii ani datorită potențialului ridicat de promovare a metodelor moderne în educație. Spre deosebire de alte tehnologii de e-learning, platformele AR permit integrarea unor obiecte reale relevante pentru disciplina de studiu. În acest fel, interacțiunile pot fi proiectate pentru a face realitatea mai intuitivă [6, 10]. Manipularea directă a obiectelor reale facilitează o învățare activă și totodată mai plăcută, mai captivantă și incitantă.

Datorită caracterului emergent al tehnologiei, majoritatea aplicațiilor AR au probleme serioase de utilizabilitate, în special în ceea ce privește tehnicile de interacțiune [9]. O cauză este dificultatea implementării unor tehnici de interacțiune specifice atât tipului de tehnologie AR cât și paradigmei de interacțiune adoptate, având în vedere că bugetul de timp al unui proiect este alocat preponderent pentru dezvoltare. O altă cauză este gradul scăzut de utilizare a metodelor de proiectare centrată pe utilizator, lipsa unor metode specifice de evaluare și a datelor privind utilizabilitatea platformelor AR [3, 4, 8].

Această lucrare prezintă o abordare metodologică mixtă de cercetare în evaluarea unui scenariu de învățare dezvoltat

în cadrul proiectului european ARiSE (Augmented Reality in School Environments). Obiectivul proiectului a fost testarea eficacității pedagogice a introducerii tehnologiei AR în școli și evaluarea efectului pe care aceasta îl are asupra creșterii motivației de a învăța.

În cadrul ARiSE s-a dezvoltat platforma educațională ARTP (Augmented Reality Teaching Platform - ARTP) în trei etape, rezultând trei aplicații AR. Prima aplicație are la bază paradigma “vizualizare tridimensională a proceselor” și a implementat un scenariu de învățare a sistemului digestiv uman în cadrul disciplinei biologie. Pentru a obține un feedback rapid de la profesori și elevi, fiecare scenariu a fost testat cu un număr restrâns de utilizatori pe parcursul școlilor de vară ARiSE, organizate anual.

Prima versiune a scenariului de biologie a fost dezvoltată în 2006 și s-a dovedit nesatisfăcătoare din punctul de vedere al tehnicii de interacțiune utilizate [20]. O versiune îmbunătățită a fost testată cu utilizatori la școala de vară din 2007 și apoi, cu un număr mai mare de elevi (2 clase) de la două școli din București [13, 21]. În aceeași perioadă, a fost efectuată și o evaluare euristică [14].

Rapoartele de evaluare au fost trimise dezvoltatorilor care au instalat o nouă versiune astfel încât în 2008 a fost repetată evaluarea utilizabilității aplicației cu un număr mai mare de utilizatori reprezentativi (șase clase de la trei școli din București).

În această lucrare se prezintă rezultatele evaluării pe baza eșantionului din 2008 și se discută impactul problemelor de utilizabilitate asupra utilității (pedagogice) și experienței utilizatorului. În acest scop, se utilizează o metodologie mixtă de cercetare, bazată pe triangularea datelor obținute prin metode cantitative și calitative.

Restul lucrării este organizat după cum urmează. În secțiunea următoare sunt discutate pe scurt câteva aspecte privind utilizabilitatea, calitatea în utilizare, experiența utilizatorului și avantajul abordărilor bazate pe metode mixte. În secțiunea 3 este prezentat experimentul iar în secțiunea 4 sunt analizate rezultatele evaluării. Lucrarea se încheie cu concluzii și intenții de viitor.

EVALUAREA UTILIZABILITĂȚII

Utilizabilitatea este definită de standardul ISO/IEC 9126 ca fiind capacitatea unui sistem software de a fi înțeles, învățat, folosit și plăcut de utilizator atunci când este utilizat în condițiile specificate [15]. În ultima perioadă,

evaluarea utilizabilității s-a extins în direcția experienței utilizatorului (UX – User Experience) pentru abordarea unor aspecte hedonice ale interacțiunii cu calculatorul.

Același standard, definește calitatea în utilizare prin patru sub-caracteristici: eficacitate, productivitate, siguranță și satisfacție. Această definiție sugerează o perspectivă mai largă asupra utilizabilității, care să ia în considerare și alte aspecte cum sunt: utilitatea pentru utilizator, experiența cu sistemul interactiv și intenția de utilizare în viitor.

În contextul sistemelor de e-learning, studiul aspectelor motivaționale, strâns legate de experiența utilizatorului, este un subiect de interes în cercetările din ultimii ani [1, 22]. De asemenea există multe lucrări care evidențiază impactul favorabil pe care îl au tehnologiile AR asupra motivației de a învăța [12, 19, 24].

În funcție de scop și momentul când este făcută, evaluarea poate fi formativă sau sumativă [23]. Evaluarea formativă a utilizabilității este realizată în mod iterativ și are ca scop identificarea și remedierea problemelor de utilizabilitate cât mai devreme posibil [25]. Cu cât aceste probleme sunt identificate mai rapid, cu atât este mai redus efortul de remediere a lor în procesul de dezvoltare. Evaluarea sumativă a utilizabilității se realizează prin testarea unui număr relativ mare de utilizatori reprezentativi și are ca scop atât identificarea avantajelor și ale limitelor, cât și compararea de soluții alternative de proiectare sau sisteme asemănătoare.

În evaluarea utilizabilității există mai multe abordări și, corespunzător, mai multe metode de evaluare, fiecare având avantaje și dezavantaje [2, 5, 11]. În domeniul evaluării utilizabilității, se face distincție între evaluarea de tip expert și testarea cu utilizatori. În primul caz, aplicația este evaluată de unul sau mai mulți experți în raport cu principii sau criterii de evaluare (euristici, criterii ergonomice și recomandări). În al doilea caz, aplicația este testată cu utilizatori, colectarea datelor fiind făcută prin observație, prin preluare a timpului de execuție / numărului de sarcini încheiate cu succes și cu ajutorul chestionarelor. În funcție de modalitățile de colectare și organizare a datelor și de tehnicile folosite pentru analiză se face distincție între metode cantitative și metode calitative.

Triangularea a fost definită în contextul științelor sociale ca o combinație de metode pentru studiul aceluiași fenomen. Triangularea permite cercetătorului să obțină atât o imagine mai cuprinzătoare asupra obiectului evaluării cât și o înțelegere mai profundă a aspectelor critice [7, 16]. În mod tradițional, abordările în științele sociale sunt legate fie de paradigma cantitativă, fie de cea calitativă. În acest sens, metodele mixte de cercetare reprezintă o nouă paradigmă, care a dobândit o atenție considerabilă în diferite domenii cum sunt: științele sociale, informatica și managementul [18]. Printre avantajele paradigmei mixte în cercetare, se pot enumera [17]: posibilitatea de utilizare a cuvintelor, fotografiilor și a textului pentru a adăuga semnificație cifrelor; cercetătorul poate elabora și testa o teorie întemeiată pe metode mixte; posibilitatea de a oferi răspunsuri la o arie largă de întrebări de cercetare întrucât cercetătorul nu este limitat la o singură metodă sau abordare de cercetare;

posibilitatea de a oferi explicații cuprinzătoare și complete la una și aceeași întrebare de cercetare; cercetătorul se poate folosi de avantajele oferite de o metodă pentru a preîntâmpina limitele altei metode prin utilizarea ambelor în cadrul aceluiași studiu; posibilitatea de a desprinde concluzii semnificative datorită convergenței și triangulării rezultatelor.

EXPERIMENT

Participanți și sarcini

Sisteme actuale de realitate îmbogățită pot fi de tip desktop sau de tipul dispozitivelor montate la nivelul capului (HMD – Head Mounted Display). Așa cum se observă în Figura 1, ARTP este un mediu AR de tip desktop: utilizatorii privesc printr-un ecran “see-through” la nivelul căruia sunt suprapuse imagini ale obiectelor virtuale peste imaginea observată a unor obiecte reale. Platforma a fost înregistrată de Fraunhofer IAIS sub numele de Spinnstube® [26].

Obiectul real este un mulaj al sistemului digestiv uman. Platforma ARTP din ICI București cuprinde patru module, astfel încât un mulaj este partajat de doi elevi care stau față în față. Ca instrument de interacțiune a fost utilizat un dispozitiv de poziționare care are la bază o bilă colorată la capătul unei țije și o telecomandă Wii Nintendo, servind pentru trei tipuri de interacțiune: indicarea unui obiect real, selectarea unui obiect virtual și selectarea unui articol din meniu. Elevul poate selecta un organ cu dispozitivul de poziționare. Atunci când bila colorată este situată peste un organ, imaginea virtuală a acestuia apare utilizatorului pe ecranul “see-through”. Elevii pot confirma selecția prin apăsarea butonului B situat pe partea inferioară a telecomenzii. Butonul A, situat pe partea superioară, este utilizat pentru a selecta un item din meniu.



Figura. 1. Elevi testând scenariul pentru biologie

În 2008, un număr de 139 de elevi (cu vârsta cuprinsă între 13 și 14 ani) dintre care 65 de băieți și 74 de fete, au testat ARTP. Elevii care au participat la testare au făcut parte din clasele a 8-a din trei școli generale din București. Niciunul dintre elevi nu a fost familiar cu tehnologia AR. Elevii au venit în grupuri de 7-8, însoțiți de un profesor.

Pe parcursul sesiunilor de testare, elevii au avut de îndeplinit 4 sarcini: un program demo care explică procesele de absorbție și de descompunere a hranei și 3 exerciții. Exercițiul 1 are ca scop identificarea organelor din sistemul digestiv uman. Exercițiile 2 și 3 au ca scop

testarea și consolidarea cunoștințelor privind modul în care alimentele sunt descompuse / absorbite la nivelul fiecărui organ al sistemului digestiv.

Metodă și procedură

În scopul evaluării utilizabilității ARTP a fost dezvoltat un chestionar de evaluare care oferă atât măsuri cantitative cât și calitative cu privire la valoarea educațională și motivațională a scenariului de învățare. Instrumentul de evaluare conține 28 de întrebări cu răspunsuri închise (măsuri cantitative) și 2 întrebări cu răspunsuri deschise, care cer utilizatorilor să descrie cele mai importante trei aspecte pozitive și negative (măsuri calitative).

Cele 28 de întrebări închise vizează diferite dimensiuni precum: ergonomia ARTP (5 întrebări), ușurința în utilizare percepută (10 întrebări), utilitatea percepută (4 întrebări), plăcere percepută (6 întrebări) și intenția de utilizare (3 întrebări).

Înainte de testare, toți elevii au beneficiat de o scurtă introducere cu privire la tehnologia AR și cu privire la proiectul ARiSE. Durata rezervată testării ARTP a fost de 60 min pentru fiecare grup de elevi.

Pe parcursul sesiunilor de testare au fost colectate măsuri ale eficacității (rata de succes și numărul de erori) și eficienței (timp pentru efectuarea sarcinii) în fișiere de log. După testare, elevilor li s-a cerut să răspundă la chestionarul de utilizabilitate acordând răspunsuri pentru itemi pe o scară Likert cu 5 trepte (1-dezacord total, 2-dezacord, 3-neutru, 4-acord și 5-acord total). Fidelitatea scalei a fost de 0.942 (Cronbach's alpha).

ANALIZA REZULTATELOR EVALUĂRII

Analiza datelor cantitative

În Tabelul 1 sunt prezentate valorile medii obținute pentru itemii asociați cu ergonomia platformei (1-5), ușurința în utilizare percepută (6-15), utilitatea percepută (16-19) și plăcerea percepută (20-25).

Primele două constructe sunt asociate cu utilizabilitatea aplicației. Diferența între valorile medii obținute (4.11 vs. 3.97) sugerează că problemele de utilizabilitate se datorează mai mult aplicației (software) decât platformei (hardware).

Valorile medii cele mai scăzute au fost înregistrate la itemii asociați cu claritatea percepției vizuale și ușurința de corectare a erorilor. Analiza asociației pe baza coeficientului Pearson indică corelații semnificative între itemul general 15 și itemii 5 ($R=0.543$, $p<0.001$), 7 ($R=0.389$, $p<0.001$) și 13 ($R=0.358$, $p<0.001$).

Mediile cele mai ridicate au fost înregistrate la itemii 2, 3 și 4, ceea ce arată că postul de lucru este confortabil iar ajustarea ochelarilor stereo și a căștilor este ușoară.

Al treilea construct este asociat cu utilitatea percepută. Cea mai ridicată medie s-a înregistrat la itemul 16, arătând că aplicația ajută la înțelegerea mai rapidă a lecției. Cea mai scăzută medie s-a înregistrat pentru itemul 17, sugerând o diferență față de maniera tradițională de testare a cunoștințelor.

Tabelul 1. Indicatori de statistică descriptivă (N=139)

Nr	Construct / Item	M	SD
	<i>Ergonomia platformei (M=4.11)</i>		
1	Ajustarea ecranului "see-through" este ușoară	4.07	0.80
2	Ajustarea ochelarilor stereo este ușoară	4.26	0.79
3	Ajustarea căștilor este ușoară	4.24	0.91
4	Postul de lucru este confortabil	4.22	0.91
5	Observarea obiectului real prin ecran este clară	3.76	1.07
	<i>Ușurința în utilizare percepută (M=3.97)</i>		
6	Înțelegerea modului de operare cu aplicația este ușoară	4.02	0.86
7	Suprapunerea dintre proiecție și obiectul real este clară	3.62	1.02
8	Învățarea modului de lucru cu aplicația este ușoară	4.04	0.94
9	Reamintirea modului de lucru cu aplicația este ușoară	3.95	0.89
10	Înțelegerea explicațiilor vocale este ușoară	4.10	0.93
11	Citirea informației pe ecran este ușoară	4.06	1.02
12	Selectarea unui articol din meniu este ușoară	3.95	1.10
13	Corectarea erorilor este ușoară	3.79	1.04
14	Colaborarea cu colegii este ușoară	4.00	1.07
15	În general, apreciez că sistemul este ușor de utilizat	4.14	0.89
	<i>Utilitate percepută (M=4.04)</i>		
16	Utilizarea ARTP ajută să înțeleg lecția mai rapid	4.14	0.99
17	După utilizarea ARTP voi avea rezultate mai bune la teste	3.84	1.04
18	După utilizarea ARTP voi ști mai mult la acest subiect	4.06	0.94
19	În general, sistemul este folositor pentru învățare	4.10	0.90
	<i>Plăcere percepută (M=4.11)</i>		
20	Sistemul face învățarea mai interesantă	4.35	0.87
21	Lucrul în grup cu colegii este stimulant	4.06	0.95
22	Interacțiunea cu obiectele reale este ușoară	3.91	1.05
23	Efectuarea exercițiilor este captivantă	4.15	1.01
24	În general, îmi place să învăț cu acest sistem	4.09	0.97
25	În general, apreciez că sistemul este incitant	4.13	0.89

Ultimul construct analizat este plăcerea percepută. Cea mai ridicată valoare medie s-a înregistrat la întrebarea 20, fapt care arată că ARTP face învățarea mai interesantă. Cu excepția itemului 22, restul itemilor referitori la plăcerea percepută au valori medii peste 4.00. Acest fapt arată că elevii au perceput experiența de învățare cu ARTP ca fiind interesantă, captivantă și incitantă. Valoarea medie calculată pentru acest construct a fost de 4.11.

Analiza mediilor obținute de itemii 15, 19, 24 și 25 denotă o impresie generală bună, elevii apreciind aplicația ca ușor de utilizat, folositoare, plăcută și incitantă. Analiza relației pe baza coeficientului Pearson arată corelații semnificative între itemul general 15 și itemii 19 ($R=0.716$, $p<0.001$), 24 ($R=0.570$, $p<0.001$) și 25 ($R=0.512$, $p<0.001$). Acest fapt arată că utilitatea percepută și experiența utilizatorului sunt strâns legate de ușurința în utilizare.

O comparație cu rezultatele evaluării versiunii anterioare [20], arată creșterea utilizabilității scenariului de biologie (media generală de 3.96 vs. 4.06).

Analiza datelor calitative

În prima fază, analiza calitativă a presupus prelucrarea răspunsurilor la întrebările deschise cu scopul extragerii cuvintelor cheie (atribute). Unii elevi au menționat numai unul sau două aspecte, în timp ce alții au menționat mai multe într-o singură frază, rezultând un total de 304 aspecte pozitive și 226 aspecte negative.

Apoi atributele au fost grupate în categorii în strânsă

legătură cu scopul acestui studiu: triangularea rezultatelor pentru a avea o perspectivă mai largă și a înțelege mai bine unele aspecte critice. Astfel, gruparea atributelor a fost realizată în două etape, de către doi experți. Prima etapă a constat în gruparea atributelor care sunt legate de același aspect. Apoi, aceste categorii au fost agregate în categorii mai largi, urmărind dimensiunile țintite de întrebările închise.

Tabelul 2. Principalele categorii de aspecte pozitive

Categorie	Frecvență	%
Capabilități ale ARTP	90	29.61
Utilitate percepută	82	26.97
Plăcere percepută	103	33.88
Ușurință în utilizare și altele	29	9.54
Total	304	100.00

Principalele categorii de aspecte pozitive sunt prezentate în Tabelul 2. Elevilor le-a plăcut vizualizarea 3D și au perceput aplicația de biologie implementată pe ARTP ca fiind motivantă și utilă pentru învățare. Cele mai multe aspecte pozitive au fost legate de plăcerea percepută (33.88%).

Capabilitățile oferite de platformă privind vizualizarea 3D, gradul ridicat de interactivitate, animația și explicațiile vocale au fost foarte apreciate de către elevi („*Mi-a plăcut felul în care este reprezentat sistemul digestiv*”, „*Mi-a plăcut felul în care se mișcau elementele prin organe*”, „*De asemenea mi-a plăcut și modul de a arăta organele. Este foarte ingenios*”, „*Mi-a plăcut mulajul*”, „*Un aspect pozitiv ar fi suprapunerea dintre proiecție și obiectul real*”).

Categoriile de aspecte legate de utilitatea percepută sunt prezentate în Tabelul 3. Cele mai multe aspecte pozitive din această categorie (46.34%) arată că elevii au apreciat că ARTP ajută înțelegerea mai ușoară a lecției („*Inteleg mai ușor*”; „*Mi-a plăcut deoarece este mai simplu de înțeles*”; „*Se înțelege foarte bine lecția datorită explicațiilor și aplicațiilor făcute*”).

Tabelul 3. Aspecte pozitive legate de utilitatea percepută

Categorie	Frecvență	%
Ușor de înțeles lecția	38	46.34
Ușor de învățat lecția	26	31.71
În general, folositor	18	21.95
Total	82	100.00

De asemenea, elevii au apreciat că lecția este mai ușor de învățat („*Este o metodă mai ușoară de a învăța*”; „*Am putut reține mai ușor rolul fiecărui organ*”; „*Înveți mai ușor și mai repede*”).

Ultima categorie cuprinde alte aspecte privind utilitatea percepută, între care menționăm: „*Programul mi s-a parut foarte interesant și educativ*”; „*Este foarte eficient modul în care se predă lecția*”).

Aspectele pozitive legate de experiența utilizatorului (plăcerea percepută) sunt detaliate în Tabelul 4.

Elevii au perceput aplicația ca fiind interesantă („*Lecția este mai interesantă*”; „*Este foarte interesant pentru că este un sistem de învățare diferit*”; „*Exercițiile sunt foarte interesante*”), nouă („*Este ceva nou*”), captivantă („*Mi-a plăcut acest sistem pentru că este captivant*”; „*Utilizarea sistemului este captivantă*”) și atractivă („*Este uimitor cât*

de frumos poate fi”).

Învățarea cu ARTP a fost percepută ca distractivă („*A fost distractiv*”; „*Un mod distractiv de a învăța*”), stimulativă („*Este cu adevărat stimulant pentru minte*”, „*Este un mod incitant de a învăța*”), și, în general, ca o experiență plăcută („*Mi-a plăcut totul*”, „*Plăcut de utilizat*”).

Tabelul 4. Aspecte pozitive legate de plăcerea percepută

Categorie	Frecvență	%
Interesant	43	41.75
Captivant	23	22.33
Nou, atractiv	15	12.62
Distractiv, stimulant, incitant	13	12.62
Plăcut, în general	11	10.68
Total	103	100.00

În ansamblu, aceste extrase din comentariile elevilor arată că învățarea cu ARTP a fost percepută ca o experiență plăcută și subliniază valoarea motivațională a tehnologiei AR pentru procesul educațional.

Principalele categorii de aspecte negative sunt prezentate în Tabelul 5. Cele mai multe aspecte negative sunt legate de ușurința în utilizare (35.40%), de ergonomia ARTP (33.19%) și de obiectul real (24.34%). În acest sens, răspunsurile la întrebările deschise s-au dovedit a fi un sprijin valoros în înțelegerea problemelor de utilizabilitate.

Tabelul 5. Principalele categorii de aspecte negative

Categorie	Frecvență	%
Ușurință în utilizare	80	35.40
Ergonomia ARTP	75	33.19
Obiectul real	55	24.34
Altele	16	7.08
Total	226	100.00

Aceste trei categorii de probleme de utilizabilitate sunt detaliate în continuare în Tabelul 6.

Tabelul 6. Categoriile de aspecte negative legate de utilizabilitate

Categorie	Frecvență	%
Ușurință în utilizare, din care		
- probleme de selecție	37	17.63
- acuratețea suprapunerii	15	7.14
- probleme cu telecomanda	10	4.76
- alte dificultăți	18	8.57
Ergonomia ARTP, din care		
- căști și sunet	38	18.10
- ochelari	25	11.90
- aranjament AR (inclusiv ecran)	12	5.71
Obiectul real		
- mulaj prea mare și greu de manipulat	55	26.19
Total	210	100.00

Cele mai multe aspecte negative au fost legate de faptul că mulajul a fost utilizat în comun de doi elevi („*Nu mi-a plăcut deoarece nu avea fiecare propriul mulaj*”; „*Este nevoie de un mulaj pentru fiecare elev*”; „*Planșa pe care era pus corpul omenesc era greu de manevrat în condițiile în care o planșa era pentru doi copii*”; „*Nu mi-a plăcut că trebuia să trag de planșa pentru a ajunge la cavitatea bucală*”).

Alte probleme de utilizabilitate au fost legate de căști („*Căștile nu sunt confortabile*”; „*Căștile m-au deranjat*”), sunet („*Sunetul se întrerupea din când în când*”), selecție („*Unele organe sunt mai greu de selectat, în special cele mai îndepărtate*”), ochelari („*Ochelarii sunt obositori*”),

aranjament AR și temperatură prea ridicată (“Nu imi place ca e foarte mic spatiul”; “A fost prea cald”), probleme de suprapunere (“Suprapunerea dintre proiecție și obiectul real nu este clară”) și probleme cu telecomanda (“Butonul B s-a blocat de câteva ori”).

Analiza calitativă a ajutat și la înțelegerea modului în care anumite probleme de utilizabilitate au afectat ușurința în utilizare. Diferența dintre numărul de aspecte negative în fiecare categorie arată că problemele de utilizabilitate au fost legate, mai degrabă de ușurința în utilizare (software) decât de dispozitive și accesorii (hardware).

Triangularea rezultatelor și discuție

Intr-un studiu cantitativ realizat pe baza modelării prin ecuații structurate (SEM) s-au confirmat mai multe ipoteze privind relațiile cauzale între constructe [4]. În acest sens, ergonomia platformei și ușurința în utilizare au un efect pozitiv asupra plăcerii percepute. Ușurința utilizării și plăcerea percepută au un efect pozitiv asupra utilității percepute iar plăcerea percepută și utilitatea percepută au un efect pozitiv asupra intenției de utilizare. Studiul a fost realizat la nivelul platformei, pe baza unui eșantion care a integrat răspunsurile la scenariile de biologie și chimie. Deși aceste rezultate sunt utile, nu pot oferi o descriere a capabilităților și deficiențelor fiecărui scenariu.

Cele mai multe aspecte pozitive asociate cu utilitatea percepută a scenariului de biologie arată că aplicația ajută la înțelegerea mai ușoară a lecției, fapt consistent cu cea mai mare valoare medie obținută de itemul 16 ($M=4.14$) din acest construct.

De asemenea, cele mai multe dintre aspectele pozitive legate de plăcerea percepută arată că ARTP face învățarea mai interesantă (41.75%). Acest fapt este consistent cu cea mai mare valoare medie, obținută la itemul 16 ($M=4.35$). În fine, a doua categorie de aspecte pozitive asociată cu plăcerea percepută este caracterul captivant al aplicației (22.33%) ceea ce confirmă a doua medie obținută la itemul 23 ($M=4.15$). Această convergență a rezultatelor sporește încrederea atât în datele cantitative, cât și în cele calitative.

Capabilitățile specifice tehnologiilor AR au fost apreciate într-o măsură ridicată de elevi. Acest fapt arată limitele instrumentului de evaluare care nu a inclus această dimensiune. Un alt aspect neacoperit de întrebările închise este ușurința în învățare, o categorie importantă de aspecte pozitive privind utilitatea percepută (31.71%). În acest sens, analiza datelor calitative a oferit o perspectivă mai largă asupra evaluării.

Problemele de utilizabilitate au constituit 92.92% din totalul aspectelor negative menționate de elevi. Aceste rezultate sunt consistente cu valoare medie scăzută calculată pentru itemii care au vizat ușurința în utilizare percepută.

O analiză a corelațiilor pe baza coeficientului Kendall, arată că există o relație liniară semnificativă între numărul aspectelor negative legate de utilizabilitate și aprecierile făcute de elevi la itemul general 15 ($\tau=-0.163$, $p<0.05$).

Analiza calitativă relevă o problemă de utilizabilitate specifică acestui scenariu: mărimea obiectului real, faptul că este greu de manipulat și partajarea acestuia de către

doi elevi. A fost surprinzător faptul că elevii nu au dorit să împartă mulajul cu alt coleg.

A fost, de asemenea, util de constatat că problemele de selecție și de suprapunere au constituit laolaltă 24.77% din totalul problemelor de utilizabilitate. Din acest punct de vedere, analiza calitativă a datelor a scos în evidență două categorii de probleme de utilizabilitate care nu au fost acoperite decât parțial de întrebările cu răspunsuri închise. Triangularea rezultatelor a confirmat că utilizabilitatea este afectată de claritatea percepției vizuale.

O problemă interesantă a cercetării este modul în care problemele de utilizabilitate afectează experiența de învățare cu ARTP. Analiza pe baza indicatorului Kendall arată că există o corelație semnificativă ($\tau=-0.196$, $p<0.05$) între numărul aspectelor negative legate de utilizabilitatea ARTP și întrebarea 22, care a înregistrat cea mai scăzută valoare medie dintre întrebările închise legate de plăcerea percepută ($M=3.91$).

Corelația negativă explică de ce la această întrebare s-au înregistrat valori surprinzător de scăzute, care contrastează cu faptul că elevii au perceput învățarea cu ARTP ca plăcută deși manipularea obiectelor reale este esențială pentru tehnologiile AR.

De asemenea, analiza corelației dintre numărul aspectelor negative legate de utilizabilitate și itemul 25 ($\tau=-0.172$, $p<0.05$) arată efectul negativ pe care l-au avut problemele de utilizabilitate asupra măsurii în care sistemul a fost perceput ca incitant.

CONCLUZII

În această lucrare a fost adoptată o abordare metodologică mixtă în evaluarea utilizabilității unui scenariu de învățare bazat pe AR prin integrarea de date cantitative, obținute prin întrebări cu răspunsuri închise cu date calitative, obținute prin întrebări cu răspunsuri deschise. Analiza calitativă a datelor a ajutat la înțelegerea mai bună a motivelor pentru care elevii au cotelat mai ridicat sau mai scăzut anumii itemi cu răspunsuri închise.

Ambele categorii de date au arătat că ARTP face învățarea mai interesantă. Interacțiunea cu ARTP a fost percepută de elevi ca fiind o experiență de învățare plăcută și incitantă. Analiza datelor calitative a relevat o serie de aspecte care nu au fost luate în considerare la elaborarea itemilor închiși. O problemă specifică de utilizabilitate în acest scenariu de învățare a fost mărimea obiectului real (mulajul sistemului digestiv uman) și faptul că a trebuit să fie împărțit de doi elevi pe parcursul îndeplinirii sarcinilor.

Triangularea rezultatelor a confirmat că cele mai multe probleme de utilizabilitate au fost legate de componenta software a ARTP. O problema critică de utilizabilitate a sistemelor de AR de tip desktop este acuratețea percepției vizuale, care depinde atât de ecranul „see-through” (problemă hardware) cât și de suprapunerea augmentării cu obiectul real (problemă software).

De asemenea, triangularea rezultatelor a permis o analiză a modului în care experiența utilizatorului de învățare cu ARTP este afectată de problemele de utilizabilitate.

Se intenționează rafinarea instrumentului de evaluare pe baza concluziilor desprinse din acest studiu și aplicarea la

evaluarea unei noi versiuni a scenariului de învățare a chimiei.

CONFIRMARE

Publicarea acestei lucrări a fost finanțată din Programul Nucleu TEHSIN 503/2009.

REFERINȚE

- Alonso-Tapia, J., Pardo, A. (2006) Assessment of learning environment motivational quality from the point of view of secondary and high school learners. *Learning and Instruction* 16, 295-309.
- Andrei, D.M., Guran, A.M. (2010) Analiza a trei instrumente de evaluare a utilizabilității, a satisfacției și a experienței utilizatorului în context românesc. *Revista Română de Interacțiune Om-Calculator* 3(2), 97-124.
- Bach, C., Scapin, D. (2004) Obstacles and perspectives for evaluating mixed reality systems usability. *Proc. of Mixer Workshop - IUI-CADUI 2004*, 72-79.
- 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.
- Bowman, D., Gabbard, J., and Hix, D. (2002) A Survey of Usability Evaluation in Virtual Environments: Classification and Comparison of Methods. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 11, no. 4, 404-424.
- Christou, G., Law, E. C., Green, W., Hornbaek, K. (2011) Reality-based interaction evaluation methods and challenges. *International Journal of Human-Computer Studies*, Volume 69, Issues 1-2, January-February 2011, 1-2.
- Denzin, N. (1978) *The Research Act*, New York: McGraw-Hill.
- Dunser, A., Grasset, R., Billingham, M. (2008) A survey of evaluation techniques used in augmented reality studies. *Proceedings of SIGGRAPH Asia*, ACM, 1-27.
- Gabbard, J., Swann, E. (2008) Usability engineering for augmented reality: Employing user-based studies to inform design. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 14(3), 513-525.
- Hamza-Lup, F., Murrel, W., LaPlant, J., Baird, W., Popovici, D.M. (2010) Simulator vizual-tactil pentru reprezentarea conceptelor de frecare statică și dinamică. *Revista Română de Interacțiune Om-Calculator* 3(1), 1-16
- Hornbaek, K., 2006. Current practice in measuring usability: Challenges to usability studies and research". *International Journal of Human Computer Studies* 64. 79-102.
- Huang, H.M., Rauch, U., Liaw, S.S. (2010) Investigating learners' attitude towards virtual reality learning environments: based on a constructivist approach, *Computers & Education*, 55, 1171-1182.
- Iordache, D., Pribeanu, C. (2009) "Evaluarea valorii motivaționale a unui sistem de realitate îmbogățită destinat învățării biologiei". *Revista Română de Interacțiune Om-Calculator* 2(Număr Special RoCHI 2009), 39-56.
- Iordache, D.D., Pribeanu, C. (2009) "Comparison of Quantitative and Qualitative Data from a Formative Usability Evaluation of an Augmented Reality Learning Scenario" *Informatica Economică Journal*, 13 (3), 67-74.
- ISO 9126-1:2001 Software Engineering - Software product quality. Part 1: Quality Model.
- Jick, T. (1979). Mixing Qualitative and Quantitative Methods: Triangulation in Action, *Administrative Science Quarterly* 24(4). 602-611.
- Johnson, B., Christensen, L. (2008). Educational research, Quantitative, Qualitative, and Mixed Approaches (3rd ed.). Thousand Oaks, CA: Sage Publications.
- Johnson, R.B., Onwuegbuzie, J., Turner, L. (2007) Towards a definition of mixed methods research, *Journal of Mixed Methods Research*, 1 (2), 112-133.
- Krauss, M., Riege, K., Winter, M., Pemberton, L. (2009) Remote Hands-On Experience: Distributed Collaboration with Augmented Reality. *Proceedings of EC-TEL 2009, LNCS 5794*, Springer, 226-239.
- Lamanauskas, V., Pribeanu, C., Vilkonis, R., Balog, A., Iordache, D.D., Klanguaskas, A. (2007) Evaluating the educational value and usability of an augmented reality platform for school environments: some preliminary results. *Proceedings of WSEAS/IASME - Mathematics and Computers in Science and Engineering*, 86-91.
- Pribeanu, C., Iordache, D.D., Balog, A. (2008) Evaluarea utilizabilității unui scenariu de învățare a biologiei implementat pe o platformă de realitate îmbogățită. *Revista Română de Interacțiune Om-Calculator* 1(1), 39-56.
- Sanchez-Franko, M. (2009) WebCT – The quasimoderating effect of perceived affective quality of an extending Technology Acceptance model. *Computers & Education* 54, 37-46.
- Scriven, M. (1991) *Evaluation thesaurus*. 4th ed. Newbury Park, CA: Sage Publications.
- Tang, A., Owen, C., Biocca, F., Mou, W. (2003) Comparative effectiveness of augmented reality in object assembly. *Proceedings of CHI 2003*, 5(1), 73-80.
- Theofanos, M. & Quesenbery, W. (2005) Towards the Design of Effective Formative Test Reports. *Journal of Usability Studies* 1(1), 27-45.
- 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.