



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

VI. IKERGAZTE NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2025eko maiatzaren 28, 29 eta 30a
Bilbo, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)



Aitortu-PartekatuBerdin 4.0

OSASUN ZIENTZIAK

**Errealitate birtualaren adopzioa,
Nola laguntzen du praktika
klinikoan?**

*Iñigo Alzaga Manso,
Rubén I. García Fernández,
Mónica Lorenzo Martín,
Ana Loizaga Iriarte,
Edorta Pérez García
eta Harkaitz Eguirraun Martinez*

121-128 or.
<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.vi.04.14>

ANTOLATZAILEA



BABESLEAK



LAGUNTZAILEAK



Errealitate birtualaren adopzioa, Nola laguntzen du praktika klinikoan?

Iñigo Alzaga Manso^{1,2,3}, Rubén I. García Fernández^{1,2,4}, Mónica Lorenzo Martín⁴,
Ana Loizaga Iriarte^{1,3}, Edorta Pérez García¹, Harkaitz Eguiraun Martinez^{2,5}

¹Biobizkaia Osasun Ikerketako Institutua. 48903. Barakaldo,

²Adierazpen Grafikoa eta Ingenieritzako Proiektuak Saila, Bilboko Ingeniaritza Eskola,
Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU. 48013. Bilbo,

³Bilbo-Basurtuko ESIA, 48013. Bilbo,

⁴Ezkerraldea-Enkarterri-Gurutzetako ESIA, 48903. Barakaldo,

⁵Plentziako Itsas Estazioa, Euskal Herriko Unibertsitatea PiE-UPV/EHU. 48620. Plentzia.

ialzaga004@ikasle.ehu.eus

Laburpena

Aurrerapen teknologikoa hainbat sektore eraldatzen ari da, hauen artean osasun-sektorea. Errealitate birtuala bezalako teknologia berrien inplementazioak ospitaleko lan-prozesua berritzen ari da. Nahiz eta sektore honetan duela gutxi txertatutako teknologia izan, literaturak erakusten du tresna honen potentziala erabiltzeileak erreala dirudien ingurune digitaletan murgiltzeko. Hala ere, teknologia hau osasun-sektorean tresna eraginkorra izateko, funtsezkoa da profesionalen lankidetzaren multidiziplinarra eta ondo zehaztutako lan-fluxua integratzen duen gauzatze-plan bat ezartzea.

Hitz gakoak: Errealitate birtuala, teknologia murgiltzaileak, plangintza kirurgikoa, ospitalea, formakuntza, biki digitalak.

Abstract

Technological growth is transforming various sectors, including the healthcare sector. The arrival of new technologies such as virtual reality is innovating hospital work processes. Despite being a recent addition to this field, literature is already showing the potential of this technology to immerse users in a completely digital environment. However, for this technology to be consolidated as an effective tool for healthcare staff, it is essential to establish an implementation plan that integrates the multidisciplinary collaboration of various actors and a clearly defined workflow.

Keywords: Virtual reality, immersive technologies, surgical planning, hospital, medical education, digital twins.

1. Sarrera eta motibazioa

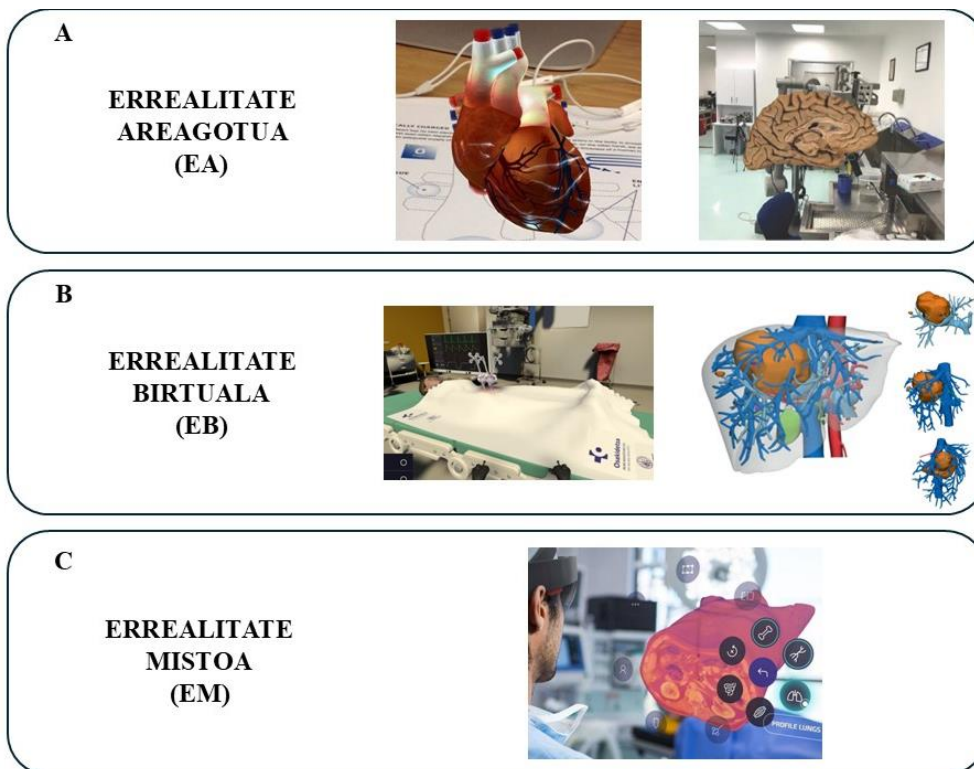
Gaur egungo gizartean, lan egiteko, baliabideak erabiltzeko eta denbora optimizatzeko ohiturak aldatzen ari dira teknologian eman diren bilakaerengatik. (Chahal et al., 2023). Honek eragin zuzena du hainbat sektoreen transformazio digitaletan, baita sektore sanitarioan ere. Ospitale berrietan TIK (informazio eta komunikazio teknologiak) tresnak erabiltzen dira inguruneak eraldatzeko. Honek, prozesu klinikoaren eraginkortasuna, profesionalen eta pazienteen arteko komunikazioa eta baliabideen kudeaketa hobetzen du, ikuspegi integral batekin (Jongen, 2023). Honek adibide gisa Covid-19aren ondoren, Espainiako hainbat ospitaletan (Biobizkaia Osasun Ikerketako Institutua barne) 3D inprimaketarako plataformak ezarri dira, praktika klinikoko hainbat jardueratan laguntzeko (Valls-Esteve et al., 2024). Era berean, simulazio birtualak erabiltzen hasi dira arnas egokitzailak probatzeko (Heras et al., 2023).

Modu honetan, osasun-sektorean teknologia berri bat ezarri ahal izateko, beharrezkoa da haren kostu-eraginkortasuna ebaluatzea. Erosketak gastu sanitarioa handitzen badu ere, haren ezarpen eta erabilera eraginkorrek praktika klinikoan onurak ekar ditzake (Visconti & Morea, 2020).

Errealitate areagotua (EA), errealitate birtuala (EB) eta errealitate mistoa (EM) duela gutxi ezarri dira osasun-sektorean, baina eragin handia izaten ari dira. Egia da hiru teknologia hauek

antzekotasun ugari partekatzen dituztela eta, kasu batzuetan, elkarrekin erabiltzen direla. Hala ere, bakoitzak bere ezaugarri eta aplikazio espezifikoak ditu (1. irudia). Alde batetik, EAak elementu birtualak ingurune errealean gainjartzen ditu. EBak aldiz, erabiltzailea ingurune guztiz digital batean murgiltzen du, simulazio-esperientzia osoa eskainiz (Matsumoto et al., 2015). EMak, EAaren eta EBaren elementuak batzen ditu eta elementu birtualen interakzioa ahalbidetzen du (Ke et al., 2019).

1. Irudia. Errealitate areagotua (EA), errealitate birtuala (EB) eta errealitate mistoaren (EM) desberdintasunak eta aplikazioak aurkezteko egindako irudi propioa hurrengo garapen teknologikoetan oinarrituta: A. Gurses et al., 2022 eta Ramiro Hernán et al., 2021 B. Das et al., 2023 eta Basurtuko I+G+B Unitatea eta Biobizkaia OIIk garatutako ingurune birtuala. C. Servicios Realidad Virtual y Aumentada | Sector Sanitario, 2021



EBarekin erlazionatutako software eta hardware aurrerapenei esker, EBaren bidez lortutako esperientzia birtualak geroz eta errealistagoak dira, mundu errealerara hurbilduz. Ingurune birtual horiek irudikatze erabiltzen diren betaurrekoek 360°ko murgiltze sentipena eskaintzen die erabiltzaileei (Rizzetto et al., 2020). Gainera, ukimenaren bitartez (Suresh Babu et al., 2024), ingurunean dauden elementu birtualekin interakzionatzeko gaitasuna dute erabiltzaileek, errealitatean sentituko lituzketen sentazio antzekoak senti ditzazkete.

Argitalpen honek, gaur egungo EBaren egoera osasun arloan deskribatzen du. Horrez gain, EBeko plataformak ezartzeko beharra azpimarratzen du, osasun profesionalen jarduera kliniko asistentziala errazten duten tresnak direlako.

2. Errealitate birtualaren gaur egungo egoera osasun-sektorean

2020an, EBaren erabilera praktika klinikoan hasierako faseetan aurkitzen bazen ere (Smith et al., 2020), gaur egun teknologia honen egokitzapen-maila desberdina da ospitale bakoitzean. Osasun arloan EBaren kostu-eraginkortasunari buruzko ikerketa gehiagoren beharra dagoen arren, teknologia honek eskaintzen dituen abantailak erakusten dituzte azken ikerketa esperimentalek (Kouijzer et al., 2023). Horregatik, EBak plataforma seguru eta kontrolatu bat bezala ezartzen ari da (Stucki et al., 2024), ospitalearen beharrei erantzuteko gaitasuna duena.

EBak eskaintzen duen murgilpen gaitasunari, hala nola, betaurrekoei eta ukimen sistemeei esker, bere aplikagarritasuna osasun arloan handitzen ari da (Javaid & Haleem, 2020). Badaude argitalpen zientifiko asko erakusten dutenak teknologia honen erabilera pazienteen tratamendu medikuatarako. 360°ko bideo murgiltzaileek pazienteen estresa, antsietatea eta minaren pertzepzioa murrizten laguntzen dute, tratamendu onargarriagoak eta, kasu askotan, eraginkorrakoak lortuz (Ehizogie Paul Adeghe et al., 2024). Teknologia honek tratamendu psikiatriko eta psikologikoetan ez ezik (Baghaei et al., 2021), errehabilitazio-tratamenduetan ere badu baliagarritasuna.

Osasun-sektorearen barruan, EBaren ezarpenak bi diziplina hauetan izan du erakarpen nabarmena: medikuntzaren formakuntzan eta interbentzio kirurgikoen plangintzan (2.irudia). Horregatik, teknologia honen aplikagarritasuna bi arlo hauetan aztertuko da, implementazioaren garrantzia azpimarratuz eta arlo bakoitzean eskaintzen duen balio gehigarria azalduz.

2.1. Medikuntzaren formakuntza

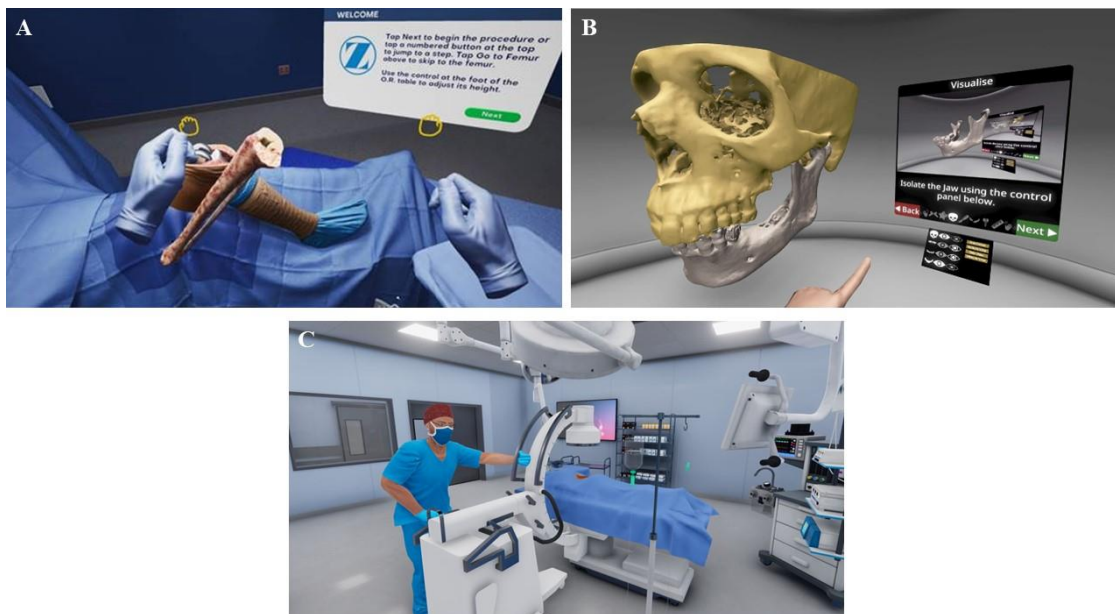
Modelo anatomikoak hiru dimentsiotan (3D) ikustea edo sentsazioak hautematea ospitale baten barruan egongo balira bezala, abantaila asko ditu ikasle eta osasun-langileen prestakuntzan (Tomlinson et al., 2019). Tene et al., 2024, argudiatzen dute prestakuntza medikuan EBaren ezarpenarekin, ikasleek hobeto eskuratzen dituztela ezagutzak eta formakuntza klaseetan partaidetza aktiboagoa dela. Modu berean, Kapoor et al.-ek 2014ko ikerketan nabarmendu zuen EBeko betaurrekoak eta ukimen sistemak balio gehigarri bat ematen ziotela simulazio birtualari, eskaintzen duen errealismo-sentsazioari esker.

Formakuntza, ez da soilik ikasle eta osasun arloko profesional berri eta esperientzia gutxikoentzat. Prozedura edo estandar kliniko berrien etengabeko eguneratzeak eta teknologia berrien inplementazioak osasun-langileei etengabeko ikaskuntza prozesu batean egotea eskatzen die. Ingurune birtuala, praktika klinikoan gerta litezkeen egoera desberdinei nola aurre egin ikasteko balio handiko tresna da. Simulazio hauen balioa nabarmen handitzen da prozedura kliniko konplexuen praktiketarako, hala nola prozedura kirurgikoetarako eta larrialdi-egoeretarako (Mergen et al., 2024). Murgiltze-sentsazioari esker, erabiltzaileek ospitale barruan daudela sentitzen dute, esperientzia klinikoa eskuratzeko eta, ondoren, praktika klinikoan behar bezala jarduteko.

Duela urte asko, industria militarrek, automobilgintzak eta aeronautikak simulazioak eta prestakuntza praktikoak erabiltzen dituzte beren profesionalen prestakuntzarako, emaitza objektiboak lortzeko eta balorazioak egiteko. Medikuntza arloan, entrenamendu eta praktika-prozesu estandarrak oraindik ere gorpuekin, laborategi-ereduekin eta animaliekin egiten dira (Mao et al., 2021). Hala ere, gorpuekin praktikatzearen kostu altuak, eredu horien urritasunak eta alderdi etikoek teknika kirurgikoen entrenamendurako simulazio birtualak garatzeko beharra sortu dute (Goh et al., 2021a).

Ohiko teknika hauekin alderatuta, EBaren bitartez garatutako ingurune birtualek abantaila argiak eskaintzen dituzte formakuntza arloan. Simulazio hauek nahi adina aldiz errepikatu daitezke, eta haien konfigurazioa erraz alda daiteke prozesu kliniko desberdinak simulatzeko eta formakuntzaren beharrei egokitzeko. Gainera, ikaskuntza modu objektibo batean balioesteko aukera ematen dute eta urrutiko edo online prestakuntza sustatzen dute (Izard et al., 2017).

2. Irudia. A. EBaren bidezko entrenamendu kirurgikoa belauneko artroplastiarako (Goh et al., 2021b). B. Ebakuntza kirurgiko baten plangintza EBa erabiliz baraila berreraikitzeke (Manzie et al., 2023). C. *Virtualware* (*Virtualware*, 2023) garatutako ingurune birtual bat formakuntzarako.



2.2. Interbentzio kirurgikoen plangintza

EBaren erabilera laguntzen du interbentzio kirurgikoen plangintzan (Cimerman & Kristan, 2007; Crossingham et al., 2009; Drake et al., 2019; Maloney & Rutner, 2019; Wilde et al., 2015), badaude kasu klinikoak, non, hasiera batean tomografia konputarizatua (TK) edo erresonantzia magnetikoaren (RMN) irudietan oinarrituta egin zen plangintzan aldaketak egin zirela EBa erabili ondoren (Xie et al., 2021). Ingurune birtual hauek pazienteari egindako irudietatik lortutako 3D modelo pertsonalizatuetan oinarritzen dira. Irudi hauek talde kirurgikoek aztertzen dituzte eta ebakuntza kirurgikoaren plangintza egiteko erabiltzen dira.

Ingurune birtual hauek garrantzi handiagoa edukitzen dute doitasun handia eskatzen dituzten ebakuntza kirurgikoen plangintzetan, esaterako, torloju pedikularren, inplanteen edo protesien kokapenean (Carl, Bopp, Saß, Voellger, et al., 2019; Maloney & Rutner, 2019). Ebakuntza hauetan zehaztasuna ezinbestekoa da interbentzio kirurgikoaren arrakasta bermatzeko.

TK edo RMNren bitartez lortutako pazientearen irudi bidimentsionalek (2D), interpretazio sakona eskatzen dute talde kirurgikoaren aldetik, egitura anatomikoen arteko erlazio tridimentsionalak (3D) buruan berreraikitzeke. Hala ere, 2Dko irudiek ez dute beti ahalbidetzen 3D egituren konplexutasuna zehaztasunez ikustea (Wellens et al., 2019). Horrek mugatu egiten du funtsezko erlazio anatomiko guztiak argi ikusteko gaitasuna, bereziki kasu konplexuetan.

Horregatik, 3Dko inprimaketek eta EBeko inguruneek irudi medikoak ikusteko eta interpretatzeko paradigma berri bat sortu dute. Nahiz eta hasiera batean 3Dko inprimaketak ospitaletan gehien erabilitako teknologia izan, EBaren sorrerak aukera berriak sortu ditu ebakuntza kirurgikoen plangintzan. Horrela, gaur egun, talde kirurgikoek bi teknologiak dituzte eskura pazientearen anatomia 3Dn aztertzeke eta interbentzio kirurgikoa nola egin erabakitzeke.

Kirurgia aurreko fase hauetan hartzen diren erabakiak ebakuntza-denbora murrizteko, baliabideak optimizatzeko eta sor daitezken zailtasunak aurreikusteko egiten dira (Shirk et al., 2019). Beste modu batean esanda, pazientearen diagnostikoa eta tratamendua hobetzen saiatzen da (Lan et al., 2023), bere ospitale-egonaldia murrizteko eta bere ongizatea sustatzeko. Gainera, EBak ingurune birtual horietara urrunetik sartzeko aukera ematen du, ezagutzak trukatzeko eta beste ospitale batzuetako profesionalekin lankidetzan aritzeko aukera emanez.

3. Errealitate birtualeko plataforma baten ezarpena

Teknologia berri bat ospitale baten barruan sartzeko ezinbestekoa da honen onura klinikoak agerian uztea (Wake et al., 2020). Ingurune birtual hauen garapen eta erabilerarekin lotutako kostu eta denbora inbertsioak, balio erantsi bat erakarri behar du pazienteentzat eta ospitaleko osasun zerbitzuarentzat. Horregatik, teknologia horri errendimendu maximoa ateratzeko, eta modu honetan, baliabideak optimizatzeko eta kostuak murrizteko, ezinbestekoa da oso ongi zehaztutako lan-fluxu bat izatea (García et al., 2022).

Aurretik aipatutako edozein esparrutan aplikagarria izan daitekeen ingurune birtual bat garatzeko, prozesu osoan zehar modu aktiboan parte hartuko duen diziplina anitzeko lankidetzatalde bat behar da. Alde batetik, beharrezkoa da osasun-langileen ezagutza klinikoak, eta, bestetik, garapen teknologikoa gauzatzeko duen lantalde tekniko espezializatu bat. Horrek agerian uzten du premiazkoa dela eragileen arteko lankidetzeta eta profil teknologikoen integrazioa, hala nola ingeniari biomedikoena edo informazio teknologikoetan adituena.

3Dko modelo anatomiko batekin denbora errealean interakzioa ahalbidetzen duen ingurune birtual bat garatu nahi izanez gero, García et al., 2022en ikerkuntzan, ospitaleko erradiologia zerbitzua garapen teknologiko horren ardatz izan behar litzakeela ondorioztatzen da.

Zerbitzu hau pazientearen irudiak lortzeaz eta interpretatzeaz arduratzen da, diagnostiko zuzen bat emateko. Behin hori lortuta, ebakuntza kirurgikoaren plangintzarako erabiliko den atal anatomikoa segmentatzen du. Ondoren, segmentatutako atal hori talde teknikoari bidaltzen zaio, ingurune birtual batean integratu eta errealitate birtualeko betaurrekoen bidez ikusi ahal izateko. Azkenik, modelo birtual honek erabiliko duen ospitaleko espezializazio zerbitzuari erakusten zaio, haren aplikagarritasuna ebaluatzeko eta testuinguru klinikoan haren eraginkortasuna zehazteko.

Osasun arloan EBa integratzeko ezinbestekoa den beste faktore garrantzitsu bat, EBaren erabilerari buruzko formakuntza eta hezkuntza prozesu bat ezartzea da (Chung et al., 2022). Teknikariek proiektu osoan zehar laguntza teknologikoa eskaini behar dute eta osasun profesionalei teknologiaren jokabidea erakutsi behar diete, haren erabilera sustatzeko eta langile horiek teknologia hau erabiltzeko desioa areagotzeko (Algahtani et al., 2021).

4. Ondorioak

Behar bezala ezartzen bada, EBak ospitaleetan eskaintzen den zaintzaren kalitatea hobetzeko potentziala du. Hala ere, ospitalean ezartzeko eta bertako osasun-langileek erabili ahal izateko, praktika kliniko asistentzialera egokitu behar da teknologia hau. Horregatik, nahitaezkoa da lan-fluxu bat ezartzea eta modu kolaboratiboan eta aktiboan jardutea, garapen-prozesuak optimizatzeko eta errendimendua maximizatzeko.

Teknologia hau ez da soilik 3D inprimaketaren alternatiba gisa hartu behar. Batzuetan biak funtzio bera betetzen dutela dirudi, baina bi teknologia hauek elkarlanean erabiltzeko eta osagarri moduan erabiltzeko moduak bilatu behar dira.

Nahiz eta teknologia honekin lortutako aurrerapenak zientzia-fikzioa diruditen, teknologia honen muga proposatutako ideien garapenean dago. Funtsezkoa da teknologia hau osasun-langileei hurbiltzea eta beraien proposamenak eta ideiak entzutea, haiek dira egunero pazienteekin lan egiten dutenak eta benetan dakitenak ingurune birtualek izan dezaketen eragina pazienteentzat eta ospitalearentzat.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Teknologia honek lehen aipatutako aplikazio-eremuetan duen balio gehigarria agerian uzten duten ikerketa-proiektuetan lan egitea. Proiektu horien bitartez, protokoloak estandarizatu eta lan-fluxu eraginkorrak identifikatu nahi dira, baliabideak optimizatzeko eta ingurune horien garapen denborak murrizteko.

Gainera, ikerketa horiek EBa ezartzeko kasu optimoak definitu eta identifikatzeko aukera emango dute. Bilakaera teknologikoko prozesu honetan, funtsezkoa izango da, halaber, prozesuen automatizazioa ahalbidetzen duten eta errendimendua maximizatzen dituzten teknologia anitzeko interkonexioak eta konbinazioak aztertzea.

Landu behar den beste alderdi bat da teknologia honen zabalpena osasun-langileen artean, praktika klinikoari eskantzen dizkion onurak erakutsiz.

Azkenik, artikulua honetan xehetasunez deskribatu ez diren arren, funtsezkoa da errealitate areagotua eta errealitate mistoa, EBarekin batera erabiltzen saiatzea. Teknologia horiek, interbentzio kirurgikoaren barruan aplikazio nagusia izan arren, modu koordinatuan integratu behar dira EBaren bidez lortutako inguruneekin, teknologia murgiltzaileen inpaktu globala sustatzeko.

6. Erreferentziak

- Algahtani, M., Altameem, A., & Baig, A. R. (2021/). An Extended UTAUT2 model to Explain the Adoption of Virtual Reality Technology in Health Centers: An Empirical Study Based in Riyadh. *IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security*, 21(3), 219. <https://doi.org/10.22937/IJCSNS.2021.21.3.30>
- Baghaei, N., Chitale, V., Hlasnik, A., Stemmet, L., Liang, H.-N., & Porter, R. (2021/). Virtual Reality for Supporting the Treatment of Depression and Anxiety: Scoping Review. *JMIR mental health*, 8(9), e29681. <https://doi.org/10.2196/29681>
- Carl, B., Bopp, M., Saß, B., Pojskic, M., Gjorgjevski, M., Voellger, B., & Nimsky, C. (2019/). Reliable navigation registration in cranial and spine surgery based on intraoperative computed tomography. *Neurosurgical focus*, 47(6). <https://doi.org/10.3171/2019.8.FOCUS19621>
- Carl, B., Bopp, M., Saß, B., Voellger, B., & Nimsky, C. (2019/). Implementation of augmented reality support in spine surgery. *European spine journal : official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 28(7), 1697–1711. <https://doi.org/10.1007/S00586-019-05969-4>
- Chahal, B., Aydin, A., & Ahmed, K. (2023/). *CURRENT OPINION Virtual reality vs. physical models in surgical skills training. An update of the evidence.* <https://doi.org/10.1097/MOU.0000000000001145>
- Chung, O. S., Robinson, T., Johnson, A. M., Dowling, N. L., Ng, C. H., Yücel, M., & Segrave, R. A. (2022/). Implementation of Therapeutic Virtual Reality Into Psychiatric Care: Clinicians' and Service Managers' Perspectives. *Frontiers in Psychiatry*, 12, 791123. <https://doi.org/10.3389/FPSYT.2021.791123/BIBTEX>
- Cimerman, M., & Kristan, A. (2007/). Preoperative planning in pelvic and acetabular surgery: the value of advanced computerised planning modules. *Injury*, 38(4), 442–449. <https://doi.org/10.1016/J.INJURY.2007.01.033>
- Crossingham, J. L., Jenkinson, J., Woolridge, N., Gallinger, S., Tait, G. A., & Moulton, C. A. (2009/). Interpreting three-dimensional structures from two-dimensional images: a web-based interactive 3D teaching model of surgical liver anatomy. *HPB : the official journal of the International Hepato Pancreato Biliary Association*, 11(6), 523–528. <https://doi.org/10.1111/J.1477-2574.2009.00097.X>
- Das, A. K., Nayak, J., Naik, B., Vimal, S., & Pelusi, D. (2023/). *Lecture Notes in Networks and Systems 725 Computational Intelligence in Pattern Recognition Proceedings of CIPR 2023.*
- Drake, V. E., Rizzi, C. J., Greywoode, J. D., Vakharia, K. T., & Vakharia, K. T. (2019/). Midface Fracture Simulation and Repair: A Computer-Based Algorithm. *Craniofacial trauma & reconstruction*, 12(1), 14–19. <https://doi.org/10.1055/S-0037-1608696>
- Ehizogie Paul Adeghe, Chioma Anthonia Okolo, & Olumuyiwa Tolulope Ojeyinka. (2024/). A review of the integration of virtual reality in healthcare: implications for patient education and treatment outcomes. *International Journal of Science and Technology Research Archive*, 6(1), 079–088. <https://doi.org/10.53771/ijstra.2024.6.1.0032>
- García, R. I., Jauregui, I., del Amo, C., Gandiaga, A., Rodriguez, O., Margallo, L., Voces, R., Martin, N., Gallego, I., Minguez, R., & Eguiraun, H. (2022/). Implementation of an In-House 3D Manufacturing Unit in a Public Hospital's Radiology Department. *Healthcare (Switzerland)*, 10(9), 1791. <https://doi.org/10.3390/HEALTHCARE10091791/S1>
- Goh, G. S., Lohre, R., Parvizi, J., & Goel, D. P. (2021/a). Virtual and augmented reality for surgical training and simulation in knee arthroplasty. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 141(12), 2303–2312. <https://doi.org/10.1007/S00402-021-04037-1>

- Goh, G. S., Lohre, R., Parvizi, J., & Goel, D. P. (2021/b). Virtual and augmented reality for surgical training and simulation in knee arthroplasty. *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 141(12), 2303–2312. <https://doi.org/10.1007/S00402-021-04037-1>
- Gurses, M. E., Gungor, A., Gökalp, E., Hanalioglu, S., Okumus, S. Y. K., Tatar, I., Berker, M., Cohen-Gadol, A. A., & Türe, U. (2022/). Three-Dimensional Modeling and Augmented and Virtual Reality Simulations of the White Matter Anatomy of the Cerebrum. *Operative Neurosurgery*, 23(5), 355–366. <https://doi.org/10.1227/ons.0000000000000361>
- Heras, U., Amezua, X., García, R. I., Barrenetxea, L., Solaberrieta, E., Pilar, J., & Eguiraun, H. (2023/). Construction of a “Virtual Patient Simulation” Environment for Design and Testing of Customized Adapters of Medical Use Respiratory Masks. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 493–505. https://doi.org/10.1007/978-3-031-20325-1_39/FIGURES/10
- Izard, S. G., Juanes Méndez, J. A., & Palomera, P. R. (2017/). Virtual Reality Educational Tool for Human Anatomy. *Journal of medical systems*, 41(5). <https://doi.org/10.1007/S10916-017-0723-6>
- Javaid, M., & Haleem, A. (2020/). Virtual reality applications toward medical field. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 8(2), 600–605. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2019.12.010>
- Jongen, P. J. (2023/). Information and Communication Technology Medicine: Integrative Specialty for the Future of Medicine. *Interactive Journal of Medical Research*, 12, e42831. <https://doi.org/10.2196/42831>
- Kapoor, S., Arora, P., Kapoor, V., Jayachandran, M., & Tiwari, M. (2014/). Haptics – Touchfeedback Technology Widening the Horizon of Medicine. *Journal of Clinical and Diagnostic Research : JCDR*, 8(3), 294. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2014/7814.4191>
- Ke, S., Xiang, F., Zhang, Z., & Zuo, Y. (2019/). A enhanced interaction framework based on VR, AR and MR in digital twin. *Procedia CIRP*, 83, 753–758. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.103>
- Kouijzer, M. M. T. E., Kip, H., Bouman, Y. H. A., & Kelders, S. M. (2023/). Implementation of virtual reality in healthcare: a scoping review on the implementation process of virtual reality in various healthcare settings. *Implementation Science Communications*, 4(1), 1–29. <https://doi.org/10.1186/S43058-023-00442-2/TABLES/5>
- Lan, L., Mao, R. Q., Qiu, R. Y., Kay, J., & de Sa, D. (2023/). Immersive Virtual Reality for Patient-Specific Preoperative Planning: A Systematic Review. *Surgical Innovation*, 30(1), 109–122. <https://doi.org/10.1177/15533506221143235>
- Maloney, K., & Rutner, T. (2019/). Virtual Surgical Planning and Hardware Fabrication Prior to Open Reduction and Internal Fixation of Atrophic Edentulous Mandible Fractures. *Craniofacial trauma & reconstruction*, 12(2), 156–162. <https://doi.org/10.1055/S-0039-1677723>
- Manzie, T., MacDougall, H., Cheng, K., Venchiarutti, R., Fox, R., Sharman, A., Charters, E., Seyfi, D., Dunn, M., Mukherjee, P., & Clark, J. (2023/). Virtual reality digital surgical planning for jaw reconstruction: a usability study. *ANZ Journal of Surgery*, 93(5), 1341–1347. <https://doi.org/10.1111/ANS.18307>
- Mao, R. Q., Lan, L., Kay, J., Lohre, R., Ayeni, O. R., Goel, D. P., & SA, D. de. (2021/). Immersive Virtual Reality for Surgical Training: A Systematic Review. In *Journal of Surgical Research* (Libk. 268, or. 40–58). Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2021.06.045>
- Matsumoto, J. S., Morris, J. M., Foley, T. A., Williamson, E. E., Leng, S., McGee, K. P., Kuhlmann, J. L., Nesberg, L. E., & Vrtiska, T. J. (2015/). Three-dimensional Physical Modeling: Applications and Experience at Mayo Clinic. *Radiographics : a review publication of the Radiological Society of North America, Inc*, 35(7), 1965–1988. <https://doi.org/10.1148/RG.2015140260>
- Mejora tu eficiencia con soluciones de software 3D | Virtualware.* (2023/). Berreskuratua 2025(e)ko otsailakaren 15a, -(e)tik <https://www.virtualwareco.com/es/>
- Mergen, M., Graf, N., & Meyerheim, M. (2024/). Reviewing the current state of virtual reality integration in medical education - a scoping review. *BMC Medical Education*, 24(1). <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05777-5>
- Ramiro Hernán, Q. S., Rivera Escriba, L. A., Loján Cueva, E. L., & Loja Mora, N. M. (2021/). Análisis de las características de la Realidad Aumentada aplicada a la educación. *HAMUT'AY*, 7(3), 75. <https://doi.org/10.21503/hamu.v7i3.2202>
- Rizzetto, F., Bernareggi, A., Rantas, S., Vanzulli, A., & Vertemati, M. (2020/). Immersive Virtual Reality in surgery and medical education: Diving into the future. In *American Journal of Surgery* (Libk. 220, Zenbakia 4, or. 856–857). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2020.04.033>
- Servicios Realidad Virtual y Aumentada | Sector Sanitario.* (2021). Berreskuratua 2025(e)ko otsailakaren 15a, -(e)tik <https://evergine.com/es/vr-ar-sanidad/>
- Shirk, J. D., Thiel, D. D., Wallen, E. M., Linehan, J. M., White, W. M., Badani, K. K., & Porter, J. R. (2019/). Effect of 3-Dimensional Virtual Reality Models for Surgical Planning of Robotic-Assisted Partial Nephrectomy on Surgical Outcomes: A Randomized Clinical Trial. *JAMA network open*, 2(9). <https://doi.org/10.1001/JAMANETWORKOPEN.2019.11598>

- Smith, V., Warty, R. R., Sursas, J. A., Payne, O., Nair, A., Krishnan, S., da Silva Costa, F., Wallace, E. M., & Vollenhoven, B. (2020/). The Effectiveness of Virtual Reality in Managing Acute Pain and Anxiety for Medical Inpatients: Systematic Review. *Journal of Medical Internet Research*, 22(11), e17980–e17980. <https://doi.org/10.2196/17980>
- Stucki, J., Dastgir, R., Baur, D. A., & Quereshy, F. A. (2024/). The use of virtual reality and augmented reality in oral and maxillofacial surgery: A narrative review. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 137(1), 12–18. <https://doi.org/10.1016/J.OOOO.2023.07.001>
- Suresh Babu, C. V., Felixa, S., Vidya, A. J., Kamal Afzal, S., & Singh, D. J. (2024/). IoT-enhanced haptic feedback: Revolutionizing healthcare wellbeing in AR and VR. In *Modern Technology in Healthcare and Medical Education: Blockchain, IoT, AR, and VR* (or. 186–215). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-5493-3.ch011>
- Tene, T., Vique López, D. F., Valverde Aguirre, P. E., Orna Puente, L. M., & Vacacela Gomez, C. (2024/). Virtual reality and augmented reality in medical education: an umbrella review. *Frontiers in Digital Health*, 6, 1365345. <https://doi.org/10.3389/FGDGH.2024.1365345/BIBTEX>
- Tomlinson, S. B., Hendricks, B. K., & Cohen-Gadol, A. (2019/). Immersive Three-Dimensional Modeling and Virtual Reality for Enhanced Visualization of Operative Neurosurgical Anatomy. *World neurosurgery*, 131, 313–320. <https://doi.org/10.1016/J.WNEU.2019.06.081>
- Valls-Esteve, A., García, R. I., Bellmunt, A., Eguiraun, H., Jauregui, I., del Amo, C., Adell-Gomez, N., Krauel, L., & Munuera, J. (2024/). Point-of-care additive manufacturing: state of the art and adoption in Spanish hospitals during pre to post COVID-19 era. *3D Printing in Medicine*, 10(1), 1–18. <https://doi.org/10.1186/S41205-024-00244-9/FIGURES/15>
- Visconti, R. M., & Morea, D. (2020/). Healthcare digitalization and pay-for-performance incentives in smart hospital project financing. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7). <https://doi.org/10.3390/ijerph17072318>
- Wake, N., Nussbaum, J. E., Elias, M. I., Nikas, C. V., & Bjurlin, M. A. (2020/). 3D Printing, Augmented Reality, and Virtual Reality for the Assessment and Management of Kidney and Prostate Cancer: A Systematic Review. *Urology*, 143, 20–32. <https://doi.org/10.1016/J.UROLOGY.2020.03.066>
- Wellens, L. M., Meulstee, J., Van De Ven, C. P., Terwisscha Van Scheltinga, C. E. J., Littooi, A. S., Van Den Heuvel-Eibrink, M. M., Fiocco, M., Rios, A. C., Maal, T., & Wijnen, M. H. W. A. (2019/). Comparison of 3-Dimensional and Augmented Reality Kidney Models With Conventional Imaging Data in the Preoperative Assessment of Children With Wilms Tumors. *JAMA network open*, 2(4). <https://doi.org/10.1001/JAMANETWORKOPEN.2019.2633>
- Wilde, F., Hanken, H., Probst, F., Schramm, A., Heiland, M., & Cornelius, C. P. (2015/). Multicenter study on the use of patient-specific CAD/CAM reconstruction plates for mandibular reconstruction. *International journal of computer assisted radiology and surgery*, 10(12), 2035–2051. <https://doi.org/10.1007/S11548-015-1193-2>
- Xie, L., O’Leary, M., Jefferson, F. A., Karani, R., Limfueco, L., Parkhomenko, E., Sung, J. M., Patel, R. M., Ichii, H., Dafoe, D., Clayman, R. V., & Landman, J. (2021/). Interactive Virtual Reality Renal Models as an Educational and Preoperative Planning Tool for Laparoscopic Donor Nephrectomy. *Urology*, 153, 192–198. <https://doi.org/10.1016/J.UROLOGY.2020.12.046>