



IKER  
GAZTE  
NAZIOARTEKO  
IKERKETA EUSKARAZ

# I. IKERGAZTE

NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2015eko maiatzaren 13, 14 eta 15  
Durango, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:  
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)

## INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

**Ingurune konplexuen azterketa  
dosimetricoa 3D Ray Launching  
Simulazio metodoaren bidez eta  
giza gorputzaren eredia erabiliz**

*E. Aguirre, P. Lopez-Iturri,  
L. Azpilicueta eta F. Falcone*

481-488 or.

<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.i.66>

ANTOLATZAILEA:



udako  
euskal unibertsitatea

BABESLEAK:



EUSKO JAURLARITZA  
GOBIERNO VASCO



Bizkaiko Foru Aldundia  
Diputación Foral de Bizkaia

oman ta zabal zazu



UPV EHU

LAGUNTZAILEAK:



Universidad de Deusto  
Deustuko Unibertsitatea



MONDRAGON  
UNIBERTSITATEA



UDALBILTZA



upna  
Universidad Pública de Navarra  
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

## **Ingurune konplexuen azterketa dosimetricoa 3D Ray Launching Simulazio metodoaren bidez eta giza gorputzaren eredia erabiliz.**

Aguirre E., Lopez-Iturri P., Azpilicueta L., Falcone F.

*Ingeniaritza Elektriko eta Elektronikako departamentua, Nafarroako Unibertsitate Publikoa  
aguirregik@gmail.com*

### **Laburpena**

Lan honetan, Nafarroako Unibertsitate Publikoan garatutako 3D Ray Launching simulazio teknika ikerketa dosimetricoak egiteko tresna bezala aurkezten da, giza gorputz eredu bat garatuz honekin bateragarri izateko. Simulazioen bidez lortutako eremu elektrikoak neurketekin eta ICNIRP bezalako taldeek egindako gomendioekin alderatzen dira, hainbat komunikazio sistemek sortutako uhin elektromagnetikoen gomendioak gaintzen dituzten jakiteko helburuarekin. Lortutako emaitzen arabera, teknika honen eta giza gorputzaren baliagarritasuna frogatzen da.

Hitz gakoak: Dosimetria, 3D Ray Launching, Giza Gorputza eredia, SAR, ICNIRP, Eremu elektrikoak

### **Abstract**

*In this work, a 3D Ray Launching simulation technique developed by the Public University of Navarre is presented as a tool for dosimetric researches and a simplified human body model is developed compatible with this code. Electric field information obtained from the presented simulations are compared with measurements and ICNIRP guidelines to study the compliance with the standards of the electromagnetic waves produced by communication systems. The necessity of simulation techniques in this area is demonstrated through the results of this study.*

*Keywords: Dosimetry, 3D Ray Launching, Human body Model, SAR, ICNIRP, Electric Field*

## **1. Sarrera eta motibazioa**

Egungo gizartean haririk gabeko komunikazioen beharra nabarmena da edozein arlotan, bai aisialdian, lanean edota larrialdietan. Hori dela eta, azken urteetan hainbat sistema garatu dira edozein lekutan konektatzeko aukera ematen digutenak. Hogei urte baina gehiago pasa dira lehenengo sakelako telefonoak saltzen hasi zirenetik eta bide horretan beste sistema berri batzuek argia ikusi dute, Wi-Fi, Bluetooth edota LTE besteak beste.

Haririk gabeko komunikazio sistema hauen guztien oinarriak uhin elektromagnetiko ez-ionizatzaileetan daude eta ondorioz, gaur egun inoiz baino gehiago gaude uhin hauetaz inguratuta. Horretaz gain, garapen teknologiko berriei esker, non aldiro sistema edo aplikazio berriak ikusten diren, uhinen eragin handiagoa jasateko joera espero dugu.

Horren ondorioz, kezka orokor bat sortu da uhinek gure gorputzean duten eraginaren inguruan, eta hainbat ikerketa eta lege argitaratu dira kezka horri erantzuteko. Lan honetan ikerketa dosimetrico bat burutzen da 3D Ray Launching simulazio teknika erabilita. Simulazio tresna honi esker edozein ingurune konplexu kontuan hartu eta bertan uhin elektromagnetikoen portaera nolako den iker daiteke, ondoren datu hauek gomendio eta araudiekin alderatuz segurtasun eremuen barruan dauden jakiteko.

Hainbat ingurune kontuan hartzen dira eta simulazioak neurketa errealekin konparatzen dira, eta horretaz gain, metodo honetarako espresuki garatu dugun giza gorputz eredu bat erabiltzen da. Eredu honen bidez zer nolako eragina duten pertsonak uhinen hedapenean eta uhin hauek noraino barneratzen ahal diren iker daiteke.

## 2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Dosimetriak ingurunean barna banatutako eremu elektromagnetiko eta ehun biologikoen barnean eragindako eremuen artean dagoen harremana adierazten du. Eremu hauek neurtzea eta mugatzea beharrezko da pertsonak esposiziopean gehiegi ez egoteko.

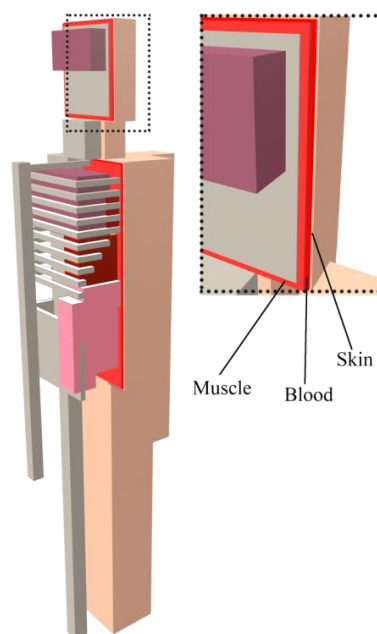
Talde bat nabarmentzen da gai honetan, ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection), uhin ez-ionizatzaileei buruzko gomendioak ematen berezitua eta Osasunaren Mundu Erakundearen (OME) onarpena duena. Hain zuzen ere Europako herrialde gehienek gomendio hauetan oinarritzen dute gehieneko esposizioari buruzko araudia. Hala ere beste talde batzuek ere gomendioak sortzen dituzte, adibidez IEEE c95.1 taldeak sortutako gomendioak Estatu Batuetan eta Kanadan aplikatzen dituzte.

ICNIRP taldea dioenez ikerketa ezberdinetan oinarrituta, uhin ez-ionizatzaileen gaitasun bakarra ehunen gainean, hauetan beroa sortzekoa da eta beraz muga desberdinak jartzen dituzte esposizioetan uhinaren frekuentziaren arabera (ICNIRP, 1998). Lan honetan kontuan hartzen diren bi adierazle nagusiak erabiltzen dira ikerketa dosimetricoa egiterakoan, eremu elektrikoa eta SAR (Specific Absorption Rate), azkenengo honek ehunak xurgatutako energia masa unitate bakoitzeko definitzen du.

Beste aldetik, simulazio tresnek baliagarritasun handi bat erakutsi dute arlo ezberdinetan, eta kalkulu elektromagnetikoan ere lagungarriak dirudite plangintza-radioelektrikoan, interferentzien kalkuluan edota kalkulu dosimetricoan. Simulazio metodoen artean bi talde bereizten dira, deterministak eta enpirikoak. Simulazio tresna enpirikoek ez dute zehaztasun handirik erakusten ez baitituzte lekuen berezitasunak kontuan hartzen, baina hauen prozesatze denbora txikia da (Lopez, 2012).

Metodo deterministak ordea, simulatutako eszenarioan dauden objektu guztien ezaugarri dielektrikoak kontuan hartzeko gai dira, eta beraz, zehatzak dira baina denbora gehiago behar dute datuak prozesatzeko. Metodo hauen artean zehatzenak uhin betekoak dira (FDTD, MoM), non Maxwellen ekuazioak zuzenean ebatzen diren prozesatze denbora oso luzeak erabiliz (Wang 2013), baina zehaztasun eta prozesatze denborekin arteko konpromisoa 3D Ray Launching metodoekin lortzen da, optika geometrikoko tekniken bidez eta eszenario handiak erabiltzeko aukera lortuz.

### 1. irudia. Garatutako giza gorputz eredua, hau osatzen duten ehun guztiekin.



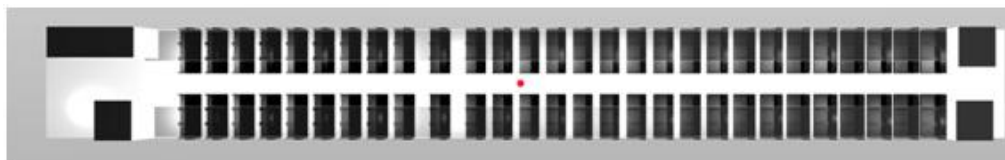
Lan honetan erabilitako simulatzailea osoki Nafarroako Unibertsitate Publikoan garatua izan da. Honen zehaztasuna nahiko frogatua dago lehenago egindako argitalpen ezberdinetan, non edonolako eszenarioetan erabili diren, laborategiak (Azpilicueta, 2014), kotxeak (Lopez, 2014) edo hegazkinetan (Aguirre, 2013a) besteak beste.

Horretaz gain, kode honekin erabilgarri den pertsona eredu bat garatu da giza gorputzaren ezaugarriak aintzat hartuz, bai haren proportzioak eta bai parte guztien ezaugarri dielektrikoak (Sanchez, 2009) kontuan hartuz (1. Irudia). Eredu hau aukeratzeko dagoeneko bibliografian dauden beste eredu batzuk ikertu dira eta erresoluzioaren arabera sailkapen bat egin daitekeela ondorioztatu da. Alde batetik erresoluzio gutxiko ereduak oinarritzko forma geometrikoak erabiltzen dituzte (Ruan, 2009) eta beste aldetik erresoluzio handiko ereduak, morfologikoki pertsona bat bezalakoak dira. Erabileraren arabera erresoluzio bat edo beste erabili behar da, erresoluzio handiek prozesatze denbora luzeagoak behar baitituzte. Lan honetan erdigunea bilatzen da giza gorputz laukizuzen bat sortuz baina pertsonen morfologia ahal den heinean errespetatuz.

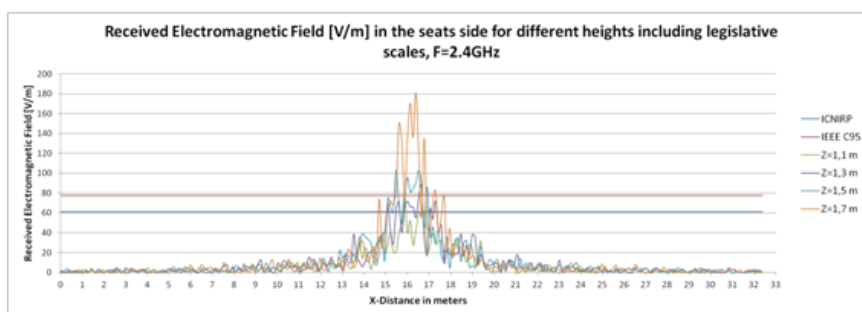
### 3. Ikerketaren muina

Ikerketa dosimetrikoa egiterakoan errealitatean aurkitzen ahal diren eszenario konplexuak aukeratu dira. Lehenengo bi eszenarioak ibilgailuak dira, alde batetik kotxe bat eta beste aldetik hegazkin bat erabili dira. Bi leku hauek aukeratu dira prestonen proportzioa handia izan daitekeelako hauen barruan eta komunikazio sistema ezberdinak aurkitzen ahal direlako. Gainera metalez inguratuak daudenez uhina gehiago islatuko da ibilgailuaren paretetan eta beraz, energia gehiago aurkituko dugu hauen barruan.

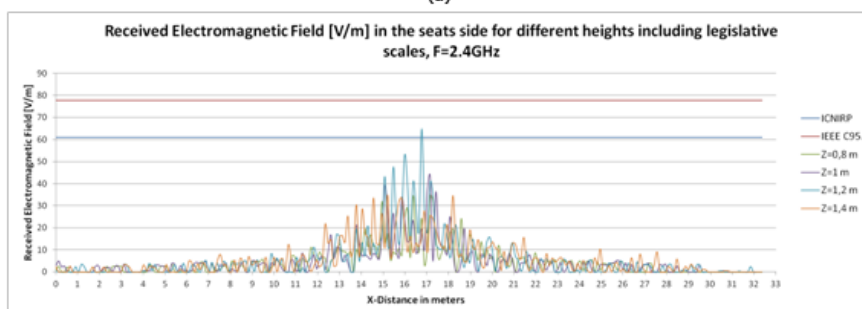
#### 2. irudia. Airbus A320 hegazkinaren goitik ikusitako plano erdian antena bar jarrita (puntu gorria)



#### 3. irudia. Hegazkinaren luzeran banatutako eremu elektrikoa korridorearen alderdian (a) eta eserlekuetan zehar (b) altura ezberdinetan.



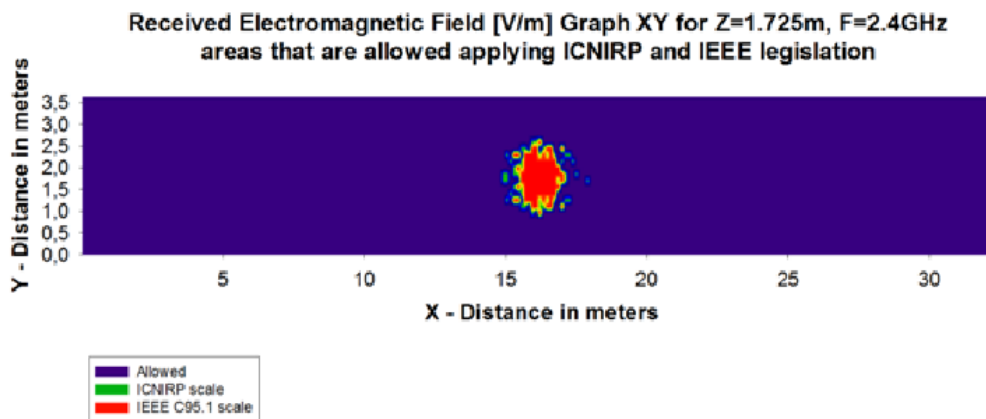
(a)



(b)

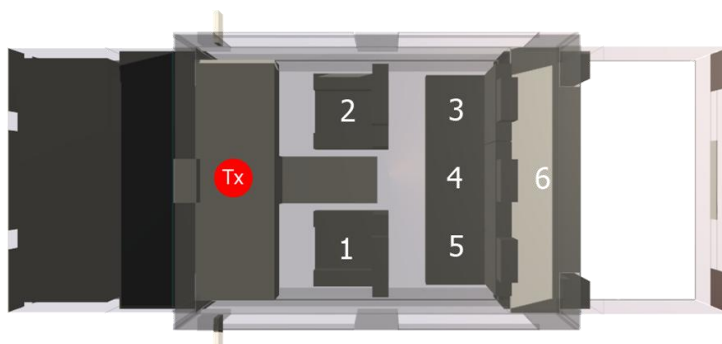
3. irudiko erradialetan alderdiaren eragina nabaria da, eremu elektrikoaren balioa handiagoa izanda korridorean eserleketan baino, hauek uhin elektromagnetikoak xurgatze ahalmen handia duten ezker. Beste aldetik, espero bezala antena ondoan eremua handiago lortzen da eta distantziarekin txikitzen doa, erdialdean gomendioek jarritako eremua gaindituz. Honek erran nahi du potentzia gutxiagorekin igorri beharko litzakeela eta gehiago antena jarri beharko zirela eremu elektriko uniformeago izateko eta mugak ez gainditzeko. 4.Irudian eremu elektrikoak non mugak gainditzen dituen ikus daiteke hegazkin osoan zehar lortzen den eremuaren plano horizontal bat marrazten denez.

**4.irudia. Hegazkinaren azalera osoan eremu elektrikoak gomendioek jarritako mugak gainditzen dituen lekuak.**



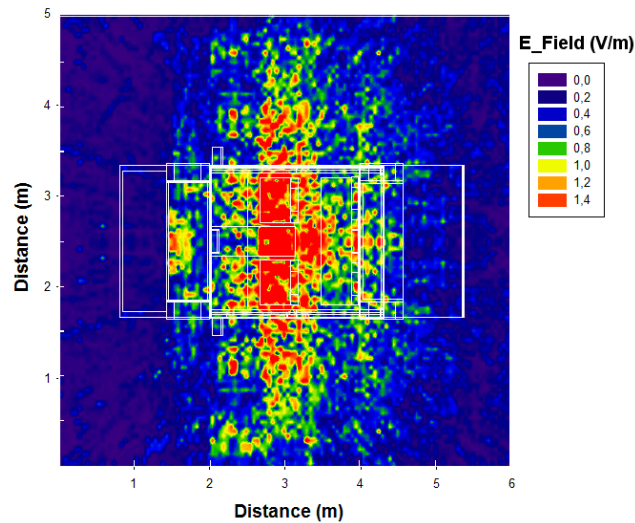
Bigarren eszenariorako kotxe bat erabili (5.irudia) da, bertan ZigBee sistema bat eta telefono mugikor bat lan egiten hari direla (Aguirre, 2014a). Kasu honetan antena agente-mahaian jarri da eta kotxe barruko sei puntutan neurtu da hauetara ailegatzeko den eremu elektrikoaren maila. Simulazio tresna ondo dabilen frogatzeko kotxea simulatu eta neurketekin alderatu dira emaitzak.

**5.irudia. Kotxearen goiko bista, non antenaren posizioa (puntu gorria) eta 6 neurketa puntuak ikus daitezkeen**



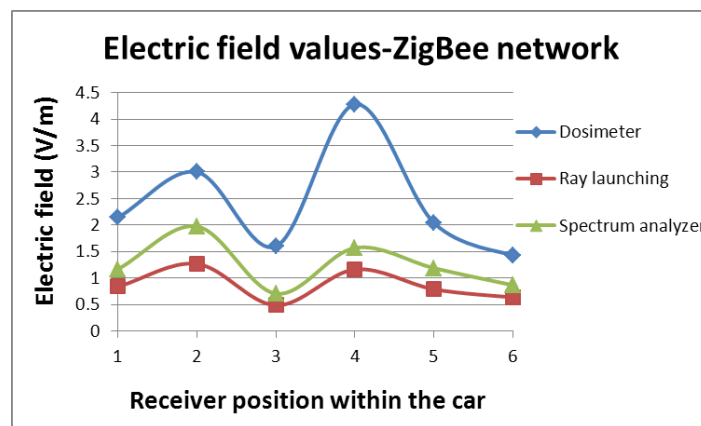
Hurrengo irudiak nola eremu elektriko banatzen den eszenarioan zehar argitzen du ZigBee sistema lanean dagoenean, erakutsiz kotxearen egitura metalikoaren ondorioz eremua leihatiletatik bakarrik atera daitekeela. Eserlekuen influentzia ere nabarmena da kontuan hartuta aitzineko aldean eremu elektriko balore handiagoak ematen dituela bertan antena kokatuta baitago.

**6.irudia. Eremu elektrikoaren banaketa 0.7 metroko altura batean.**



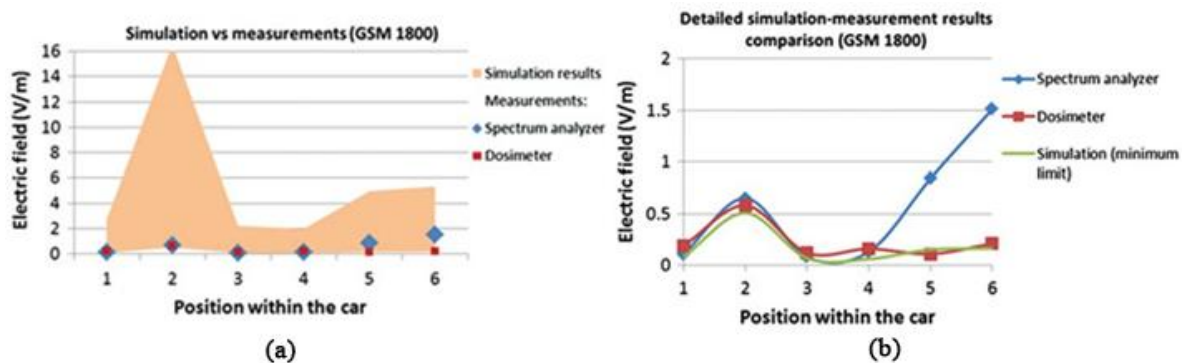
Simulazio hauek neurketa errealekin alderatzeko bi tresna ezberdin erabili dira, dosimetro bat eta espektro analizatzaile bat. Sei puntuetan lortutako emaitzak 7.irudian ikus daitezke, non alde batetik, emaitzak antzekoak direla nabari den eta beste aldetik ICNIRP taldeak frekuentzia honetan finkatutako 61V/m mugatik urrun dagoela ikusi daitekeen. Dosimetroaren eta espektro analizatzailearen arteko diferentzia txiki bat ere antzematen da bi tresnen neurtzeko eraren ondorioz, dosimetroak hiru segundoro laginak hartzen baititu, honela zehaztasuna galduz.

**7.irudia. Dosimetroarekin eta espektro analizatzaileekin neurtutako eta simulatutako eremu elektrikoaren arteko konparaketa.**



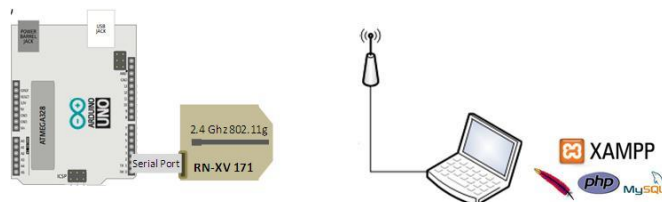
Azkenik, telefono mugikor bat igortzen jartzen denean lortutako eremu elektrikoa neurtzen da 8.irudian. Lehenengo irudian, indar kontrolaren ondorioz telefonoak lan egiten ahal duen tartea simulazioen arabera marrazten da, telefonoak indar gehiago edo gutxiagorekin emititzen baitu antenatik dagoen distantziaren arabera. Normalean bateria gutxiago erabiltzearen indar handia ez erabiltzen saiatuko da, eta espero bezala, irudian neurtutako datuak beheko muga ibiltzen direla ikus daiteke. Bigarren irudian indar kontrolaren mugak ezabatuta, argiago ikus daiteke simulazio eta neurtutako datuak antzekoak direla eta horretaz gain, kasu honetan ere urrun aurkitzen direla ICNIRP taldearen gomendioetatik.

**8.irudia. GSM komunikazio sistema emititzean neurtutako eta simulatutako eremu elektrikoa indar kontrola kontuan hartuta(a) eta hartu gabe(b).**

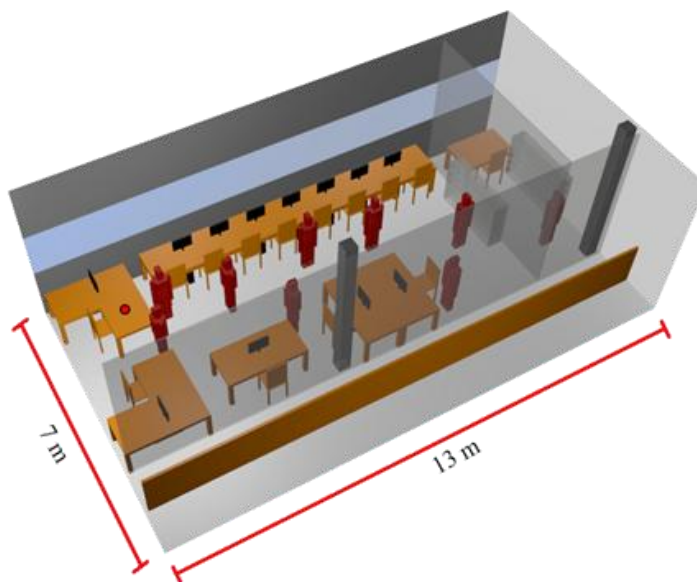


Hirugarren eszenarioan laborategi bat simulatzen da Wi-Fi teknologian oinarrituta dagoen WiFly izeneko "wereable" sistema bat erabiliz(9.irudia) eta pertsonen eragina kontuan hartuta (de Miguel, 2014). Bi froga egiten dira, alde batetik eszenarioa hutsik simulatu eta neurtu egiten da eta bestetik pertsonak simulaketan sartzen dira garatutako giza gorputza ereduak erabiliz, hauen eragina uhinen propagazioan ikusteko. 10.irudian eszenarioa eta giza gorputzen banaketa honen barruen ikus daitezke.

**9.irudia. WiFly sistemaren eskema.**

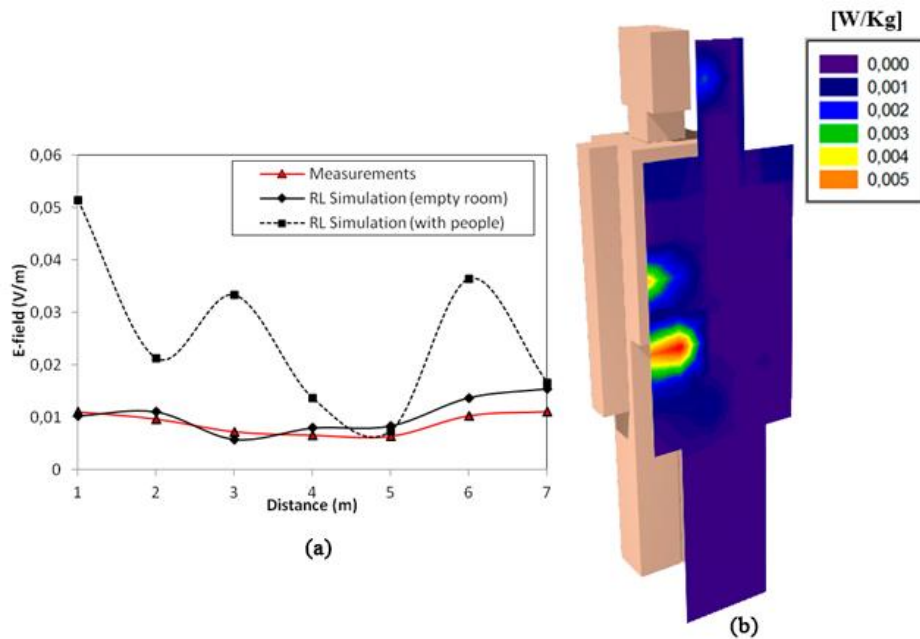


**10.irudia. Simulazioetan erabilitako eszenarioa, non sartutako giza gorputz ereduak eta antena jarri den lekua (puntu gorria) ikus daiteken.**



11.(a)irudian lehenago deskribatutako bi kasuen arteko diferentzia ikus daiteke antenaren aurrean zazpi puntu neurtu baitira simulaketekin konparatzeko. Nabarmena da giza gorputzaren eragina, hauek kontuan artzen direnean eremu elektrikoaren baloreak oso ezberdinak diren ezker. Kasu honetan ere simulazio eta neurketen antza ikusgarria da, 3D Ray Launching teknika balioztatuz. Azkenik 11.(b)irudian SAR kalkulua egiten da lehenago prestonarengan eta ikus daitekeenez xurgatze gehiena iskin batean biltzen da antena pertsonaren alboan dagoenez. Beste alde batetik ICNIRP erakundeak jartzen duen SAR eremua 0.08W/Kg izanda, lortzen den balioa eremutik urrun dagoela esan daiteke.

**11.irudia. (a) Neurtutako eta simulatutako eremu elektrikoaren balioa pertsonarekin eta pertsonarik gabe. (b) SAR balioak uhin elektromagnetikoak lehenengo pertsonarekin aurkitzean**



#### 4. Ondorioak

Komunikazio sistemen garapenaren ondorioz, gaur inoiz baino gehiago uhin elektromagnetiko artifizialen eraginpean ikusten dugu geure burua eta beraz hauek ikertzea beharrezkoa da gure gorputzengan duten ondorioak ikasteko. ICNIRP bezalako taldeek ikerketa hauetan oinarrituta gomendioak egiteko eta mugak argitaratzeko gaitasuna daukate, gero gobernuek hauek legedian ezartzeko. Lan honetan simulazio tresna baten bidez ikerketa dosimetrikoak egiteko gaitasuna erakusten da, eta ondorioz tresna hauek eta gehienbat 3D Ray Launching simulazio teknikaren beharra ikusten da leku konplexu eta handietan ikerketa dosimetrikoak egiteko. Horretaz gain, giza gorputz ereduaren erabilgarritasuna eta kalkulu dosimetrikoetan erabiltzeko beharra azpimarratzen da simulazioetan lortutako emaitzen bidez. Ikerketa dosimetrikoari dagokionez, komunikazio sistema bat normalki emititzen ari bada ez direla gomendio eremuak gainditzen ondoriozta dezakegu.

#### 5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

3D Ray Launching teknikaren abantailak ikusita, honen erabilera beste eszenario batzuetan interesgarria egiten da, non simulazioen bitartez hauek ikertzen ahal diren neurketarik egin gabe. Hain zuzen ere gaur egun lan honetan gabilta, adibidez autobusetan ikerketa dosimetrikoak egiten.



Beste alde batetik, teknikaren hibridatzea aukera ona izan daiteke uhin beteko teknikak eta 3D Ray Launching teknikak nahasita gorputz barruan zehazki zer gertatzen den ikusteko pertsona bat eszenario konplexu eta handi batean sartzean, honela prozesatze denborak gutxituz.

## 6. Erreferentziak

- Aguirre, E. (2014)b: "Dosimetric study of the radioelectric influence of humans into complex environments through deterministic simulations and the implementation of a simplified model", Nafarroako Unibertsitate publikoan aurkeztutako tesia.
- Aguirre, E. et al. (2013)a: "Characterization and Consideration of Topological Impact of Wireless Propagation in a Commercial Aircraft Environment", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 5, 6, 240-258.
- Aguirre, E. et al. (2013)b: "Estimation of Electromagnetic Dosimetric Values from Non-Ionizing Radiofrequency Fields in an Indoor Commercial Airplane Environment", *Electromagnetic Biology and Medicine*, 33, 4, 252-63.
- Aguirre, E. et al. (2014)a: "Analysis of Estimation of Electromagnetic Dosimetric Values from Non-Ionizing Radiofrequency Fields in Conventional Road Vehicle Environments", *Electromagnetic Biology and Medicine*, 34, 1, 19-28.
- Azpilicueta, L. et al. (2014): "Convergence Analysis in Deterministic 3D Ray Launching Radio Channel Estimation in Complex Environments", *ACES Journal*, 29, 256-270.
- de Miguel-Bilbao, S. et al. (2014): "Evaluation of Electromagnetic Interference and Exposure Assessment from s-Health Solutions based on Wi-Fi Devices," *BioMed Research International*. 1-9.
- ICNIRP (1998): Guidelines for limiting exposure to protection time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). International Commission on Non-Ionizing Radiation. *Health Phys*, 74,494-522.
- Lopez-Barrantes, A.J. et al. (2012): "Comparison of Empirical Models and Deterministic Models for the Analysis of Interference in Indoor Environments", *Asia-Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Singapur, 509-512.
- Lopez-Iturri, P. et al. (2014): "ZigBee Radio Channel Analysis in a Complex Vehicular Environment", *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 56, 4, 232-245.
- Nagaoka, T. eta Watanabe S. (2011): "GPU-Based 3D-FDTD Computation for Electromagnetic Field Dosimetry," *IEEE Africon*, Africa, 1-3.
- Ruan, F. et al. (2009): "Cylinder Model of Human Body Impedance Based on Proximity Effect", *3rd IEEE International Symposium on Microwave Antenna Propagation and EMC Technologies Wireless Communications*, Beijing, 27-29.
- Sánchez-Hernández, D.A. (2009): "High Frequency Electromagnetic Dosimetry" Artech House ,Inc.
- Wang, J. eta Wang, Q. (2013): "Body Area Communications Channel Modeling, Communication Systems, and EMC," *John Wiley & Son Singapore Pte. Ltd.*

## 7. Eskerrak eta oharrak

- Lan hau tesi (Aguirre, 2014) baten ondorioa da eta emaitza gehienak dagoeneko nazioarteko kongresu eta aldizkarietan egindako ekarpenetan argitaratuak daude.
- Emaitza hauek Carlos III osasun institutuaren eta Vigo-ko Unibertsitatearekin egindako kolaborazioaren ondorio dira, beraz hauen lana eskertu nahi dugu.