

# Adimen artifiziala odontologian: aukerak, mugak eta hortz-praktikaren etorkizuna

*(Artificial intelligence in dentistry:  
possibilities, limitations and future of dental practice)*

Jon Fernández-Bonet\*

Doktorea, Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)

**LABURPENA:** Adimen artifiziala zeregin konplexuak egiteko aukera ematen duen teknologia da, hala nola arazoak konpontzeko, objektuak eta hitzak ezagutzeko, edo erabakiak hartzeko eta aurreikuspenak zehaztasunez egiteko. Odontologiaren esparruan, adimen artifizialaren bi azpiespezialitate, Ikasketa Automatikoa eta Ikasketa Sakona, praktika klinikoa iraultzen ari dira aplikazio berritzaileekin. Teknologia hori gai da irudiak eta historia klinikoak aztertuz ahoko hainbat gaixotasunen diagnostiko goiztiarra egiteko, tratamenduak planifikatzeko (ortodontzian edo implanteak jartzeko kirurgia gidatuan), klinika kudeatzeko, ikasleen edo odontologiako profesionalen prestakuntzan laguntzeko, *txatbot*-en bidez pazientearen arretan asistentzia eskaintzeko eta materialen eta tekniken garapenean laguntzeko. Bestalde, odontologian adimen artifiziala ezartzeak erronkak ere aurkeztu ditu; besteak beste, pazienteen datuen konfidentziasuna mantentzea, segurtasuna bermatzea, prozeduren gardentasuna eskaintzea eta dentistek teknologia hau erabiltzeko eduki dezaketen mesfidantza gainditzea. Dena den, odontologian adimen artifizialaren etorkizuna itxaropentsua dela dirudi, teknologia hori gero eta gehiago garatuko baita, aplikazio berriak eskainiz eta gaur egun egiten dituen funtzioak hobetuz.

**GAKO-HITZAK:** adimen artifiziala, ikasketa automatikoa, ikasketa sakona, odontologia, odontologia digitala.

**ABSTRACT:** Artificial intelligence is a technology that enables the execution of complex tasks, such as solving problems, recognizing objects and words, making decisions, and generating highly accurate predictions. In the field of dentistry, two subspecialties of artificial intelligence, Machine Learning and Deep Learning, are revolutionizing clinical practice with innovative applications. This technology allows for the early diagnosis of various oral diseases through image and medical record analysis, treatment planning (in orthodontics or guided surgery for implants), clinical management, supporting the training of dental students and professionals, assisting in patient care through chatbots, and the development of materials and techniques. On the other hand, the implementation of artificial intelligence in dentistry also presents challenges, such as maintaining patient data confidentiality, ensuring safety, providing process transparency, and overcoming the distrust that dentists may have in using this technology. Nevertheless, the future of artificial intelligence in dentistry seems promising, as this technology will continue to develop, offering new applications and improving the functions it currently performs.

**KEYWORDS:** Artificial Intelligence, Machine Learning, Deep Learning, Dentistry, Digital Dentistry.

\* **Harremanetan jartzeko/Corresponding author:** Jon Fernández-Bonet, Estomatologia II Saila. Medikuntza eta Erizaintza Fakultatea (UPV/EHU), Leioa, Bizkaia.  <https://orcid.org/0000-0002-4441-7815>, [jon.fernandezb@ehu.es](mailto:jon.fernandezb@ehu.es)

**Nola aipatu/How to cite:** Fernández-Bonet, Jon (2025). «Adimen artifiziala odontologian: aukerak, mugak eta hortz-praktikaren etorkizuna», *Ekaia*, 48, 2025, DOI: <https://doi.org/10.1387/ekaia.26972>

Jasoa: irailak 26, 2024; Onartua: maiatzak 06, 2025

ISSN 0214-9001-eISSN 2444-3225 / © UPV/EHU Press



Lan hau Creative Commons Aitortu-EzKomertziala-PartekatuBerdin 4.0 Nazioartekoa lizentzia baten mende dago

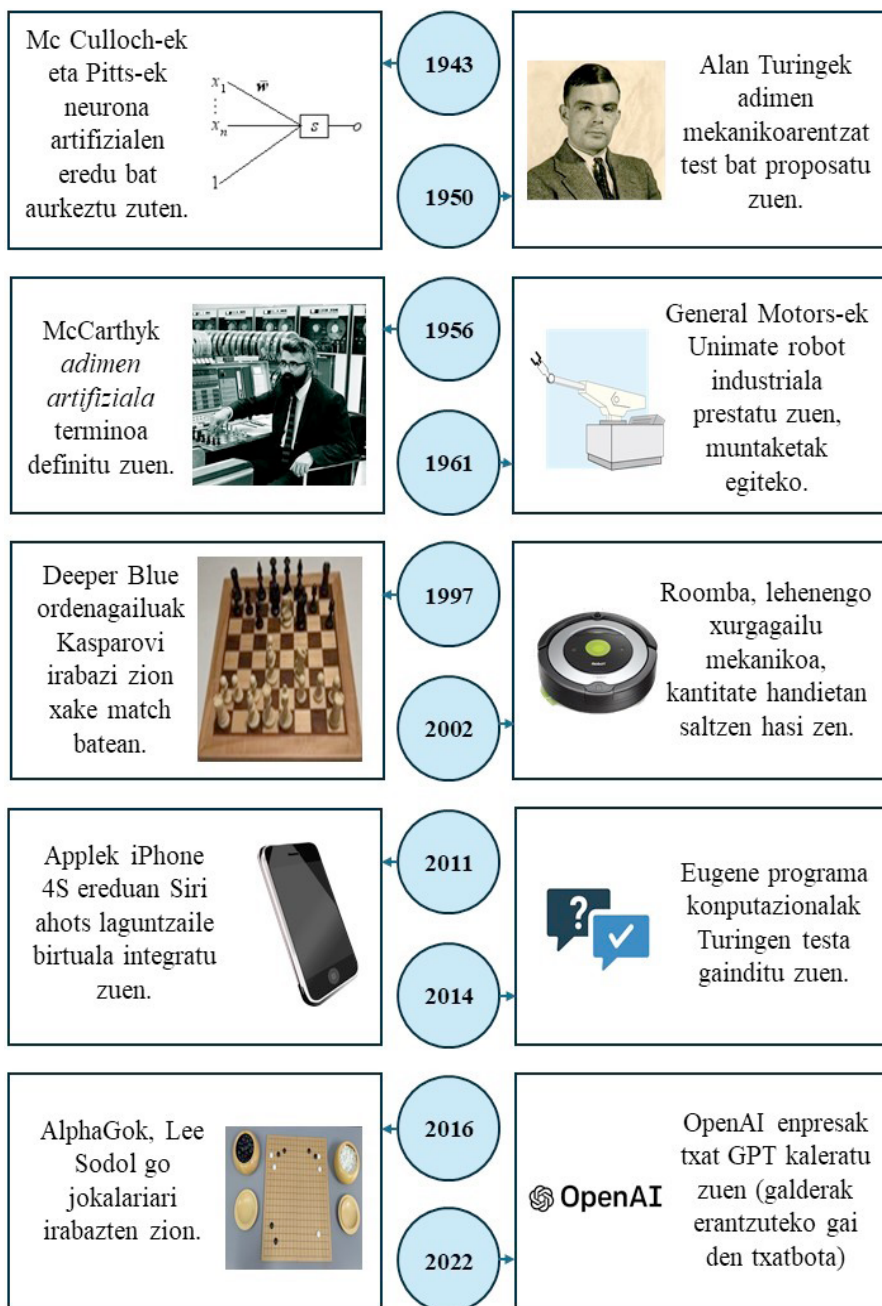
## 1. SARRERA

Adimen artifiziala makina batek giza portaera adimenduna imitatzeke duen gaitasuna da; zeregin konplexuak egiteko erabil daiteke, hala nola problemak ebazteko, objektuak eta hitzak ezagutzeke eta erabakiak hartzeke [1, 2]. Adimen artifizialak ordenagailuei giza ulermena erakusteko metodo guztiak barneratzen ditu [3]; azken urteotan arreta berezia jaso du aurrerapen handiak egin direlako eta bere aplikazioak gero eta gehiago zabaldu direlako, baina teknologia horrek historia luze samarra du jada, joan den mendeko 40ko hamarkadan hasi baitzen. Izan ere, 1950eko hamarkadan Alan Turing adimen artifizialaz arduratzen hasi zen, eta test bat garatu zuen. Azterketa horretan, ebaluatzaile batek proposatu zuen gizaki baten eta makina baten artean lengoaia naturalean izandako elkarriketa bat aztertzea. Ebaluatzailea gai ez bazen gizakia eta makina bereizteko, makinak testa gainditzen zuen.

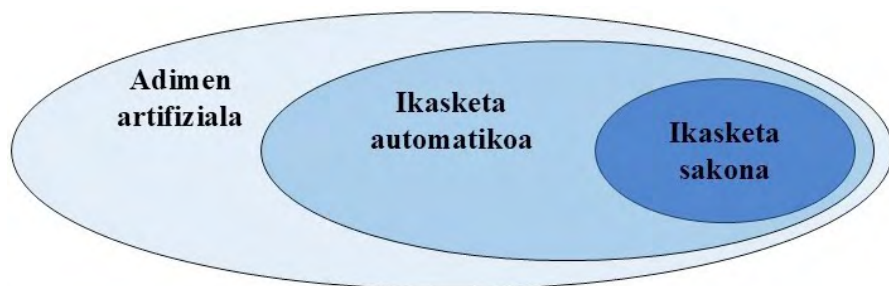
Teknologia honen bi azpiespezialitate maiz erabiltzen dira eremu ezberdinetan: ikasketa automatikoa (*Machine Learning* ingelesez) eta, berrikiago, ikasketa sakona (*Deep Learning* ingelesez). Ikasketa automatikoari esker konputagailu-eredu batek patroi batzuk ezagutzen baditu, ikasteaz gain iragarpenak ere egin ditzake [2]; horretarako, algoritmoen garapenean zentratzen da, datuetatik ikasteko [3]. Ikasketa automatikoaren zeregin nagusia da lagin batzuetatik abiatuta inferentziak ateratzea [8]. Azken urteetan bere aplikazioak asko garatu dira zientzia eta gizarte osoan; esate baterako, mahai-joko logikoetan [9, 10], produktuen iragarkietan [11, 12] edo ibilgailu autonomoen kontrolean [13].

Ikasketa sakona ikasketa automatikoaren azpidiziplina bat da, eta bien arteko desberdintasun nagusia erabiltzen dituzten neurona-sareen arkitectura-egiturak dira. Ikasketa automatikoaren eredu tradizionalak geruza konputazional bat edo bi dituzten neurona-sare sinpleak erabiltzen dituzte. Ikasketa sakoneko ereduek, berriz, hiru geruza edo gehiago erabiltzen dituzte, normalean ehunka edo milaka geruza, ereduak entrenatzeko [14]. Azken horiek iragarpenak zehaztasun handiz egiteko aukera eskaintzen dute [15]. Teknologia horrek eskala handiko algoritmo sofistikatuak erabiltzea ahalbidetzen du, datu-base erraldoi eta oso heterogeneoetan patroi erabilgarriak aurkitzeko. Gizaki aditu batentzat, eraginkortasun hori lortzea ez litzateke posible izango, nahiz eta oso ondo entrenaturik izan.

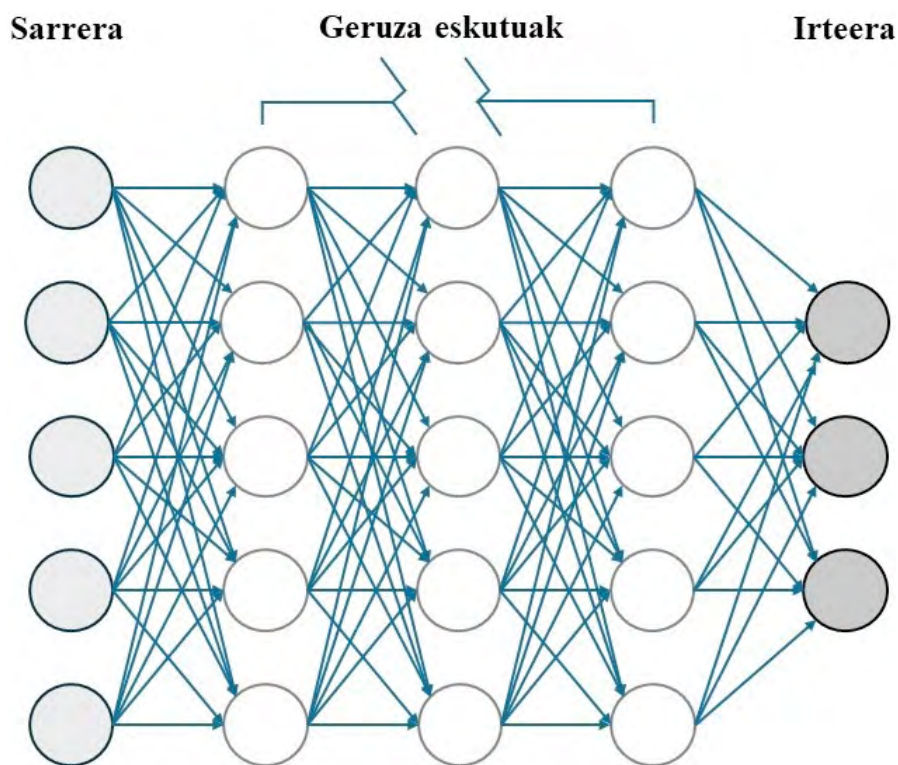
Berriki, ikasketa sakonean oinarritutako algoritmo mota espezializatu batzuek, neurona-sare konboluzionalak, errendimendu bikaina erakutsi dute ikusmen konputazionalan. Ikusmen konputazionala adimen artifizialeko eremu bat da, ordenagailuei irudi digitaletatik, bideoetatik eta bestelako ikus-sarreretatik informazio esanguratsua lortzeko aukera ematen diena, geroxeago informazio horretan oinarritutako ekintzak hartzeko edo gomendioak egiteko [17].



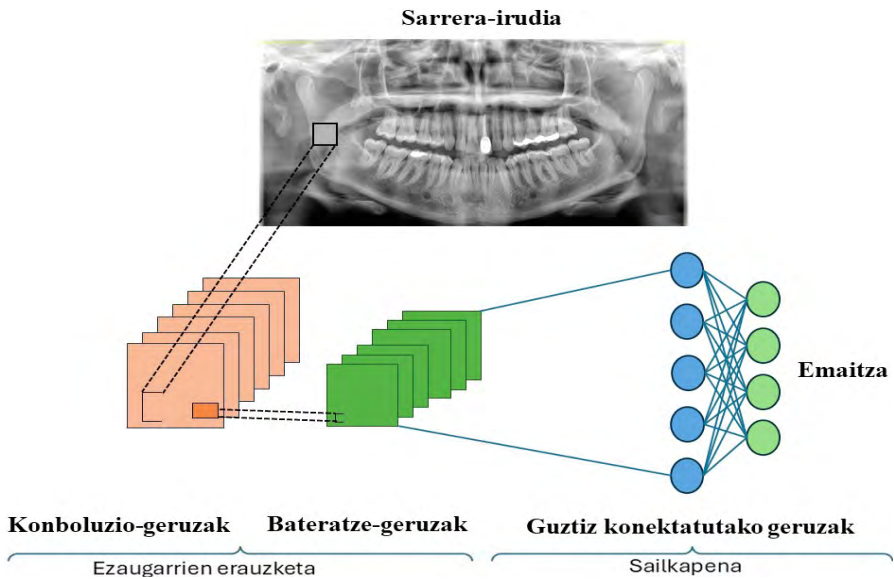
**1. irudia.** Adimen artifizialaren historiako gertakari garrantzitsu batzuk. Atribuzioak: [4-7].



**2. irudia.** Adimen artifizialaren, ikasketa automatikoaren, eta ikasketa sakonaren azpieremuen arteko harremana erakusten duen irudikapen eskematikoa [16].



**3. irudia.** Neurona-sare artifizial bat nodoen talde interkonektatu bat da, garun biologiko bateko neurona-sare zabalaren antzekoa. Nodo zirkular bakoitzak neurona artifizial bat irudikatzen du, eta gezi bakoitzak konexio bat, neurona baten irteeratik beste baten sarrerara [15].



Medikuntzan, irudi medikoetan erronka diagnostikoak ebazteko aurretik aipatutako neurona-sare konboluzionalak ere erabil daitezke [30]. Gaur egun, konboluzio neurona-sareak medikuntzako irudiak prozesatzeko metodorik arrakastatsuen direla uste da [31]; horiei esker, erretinopatia diabetikoa, larruazaleko minbizia eta biriketako tuberkulosia detektatu eta sailkatu dira, eta, dagoeneko, zehaztasun eta eraginkortasun oso handiak erakutsi dituzte, etorkizun handiko aplikazio klinikoekin [32, 33]. Etorkizunean adimen artifizialak, medikuntzaren testuinguruan, honako funtzio hauek bete ditzakeela uste da: bulegoko ohiko lanak egitea (fakturazioa, hitzorduen programazioa eta instalazioen kudeaketa), diagnostikoa egitekoan klinikoen osagarri bezala jokatzeko, pazienteen monitorizazio- eta diagnostiko-kostuak murrizteko, eta giza akatsak eta alborapenak gutxitzea [34].

Jarraian, teknologia iraultzaile honek odontologiaren esparruan gaur egun edo etorkizunean eskaini ditzakeen aplikazio eta aukera batzuk azalduko dira. Alabaina, kontuan izan behar da adimen artifizialarekin eta odontologiarekin lotutako ikerketa-ildoak hain askotarikoak direla, ezen, artikularen hedapen-mugapenagatik, haren aplikazio nabarmenenak soilik aipatuko baitira.

### **3. ADIMEN ARTIFIZIALA ODONTOLOGIAN**

Odontologiaren sektorea etengabe aldatu da, eta horrek profesionalen eguneratze jarraitua eskatzen du, pazientei tratamendurik onenak eskaini ahal izateko. Horren adibide izan daiteke hartz-protesien materialean etengabe gertatzen den aldaketa, betiere estetika naturalago baten eta aho-barrunbeto ehunekiko biobateragarritasun hobearen bila. Hala ere, hartz-sektorean azaldu ditzakegun aldaketa ugarien adibide bat besterik ez da hori; adibidez, odontologo askok jada ez dute hartzen molde tradizionalaren inpresiorik, eskaner digital baten laguntzaz hartzen dituzte, eta antzeko emaitzak lortzen [36].

Gaixotasun ezberdinen diagnostikoa egiteko orduan, ohiturak ere aldatzen ari dira. Adimen artifizialaren ereduak bereziki diseinatuta daude ahoko gaixotasunen diagnostiko-esparru zabalean laguntzeko, hortzetako txantxarra bezalako arazo arruntetatik ahoko minbizia bezalako baldintza konplexuagoetara [37]. Esparru horretan adimen artifizialak onura asko ekar ditzake, bereziki hasi berri diren odontologoentzat [38]. Adimenaren laguntzak benetako balio erantsia ematen du denborari eta eraginkortasunari dagokionez ere; adibidez, zenbait gaitzen hasierako behaketa egiteko aukera ematen du, profesional batek inola ere egin ezingo lukeena, ezin dituelako denbora gutxian irudi asko analizatu [39]. Odontologian, neurona-sareentzat lau aplikazio nagusi bereizten dira: irudien segmentazioa, de-

tekzioa, sailkapena eta kalitatearen hobekuntza. Segmentazioa da irudi bat eremu desberdinetan banatzeko prozesua; horretarako, ezaugarri intrintsekoetan oinarritzen da —adibidez, kolorea, forma edota testura—. Prozesu hori burutu ondoren, teknologiak sarrera-iruditik eratorritako irudiak detekta eta sailka ditzake.

Aplikazio horiek aho barneko zein kanpoko erradiografien hortz-irudien tratamenduan oinarritzen dira [40]. Adimen artifizialaren aplikazioak erabiliz, honako hau egin daiteke: sinusitis maxilarraren diagnostikoa [41], hirugarren haginaren garapeneko etapan sailkapena [42] eta hortz moten sailkapena [43, 44], sustrai-hodien identifikazioa [45], hortz-plaka eta hortzoi handituak identifikatzea [46] edota hortz-gaixotasun askoren diagnostikoa egitea [47, 48].

Azkenik, teknologia honek diagnostikoarekin edo tratamenduekin zerikusik ez duten zereginetan ere lagundu dezake, hau da, eguneroko kudeaketa-aferetan. Adibidez, *txatbot*-ek eta laguntzaile birtualek pazienteei informazioa, hitzorduen programazioa eta orientazioa jasotzeko sarbidea eskain diezaiekete [49,50]. Adimen artifizialak odontologiako alderdi ezberdinetan izan ditzakeen aplikazioak hurrengo ataletan azaltzen dira.

### **3.1. Adimen artifiziala erradiologiako diagnostikoan**

Hortz-erradiologia hainbat teknikaren erabilera barne hartzen duen materia da, hortzek edo inguruko ehunek pairatzen duten gaixotasunen diagnostikoa egiteko. Esparru horretan, adimen artifizialak egin ditzakeen bi funtzio azpimarratuko dira: alde batetik, hortzak ezagutzea, identifikatzea eta zenbatzea [51]; bestetik, hortzetako txantxarra modu egokian diagnostikatzea [52] eta giltzaduraren nahasmenduak diagnostikatzea [53].

Chen-en eta kolaboratzaileen ikerketan [54], aho barruko erradiografietan nahiz panoramikoetan hortzak identifikatzeari eta zenbatzeari dago-kionez, teknologia honek emaitza bikainak lortu zituen hortzen detekzioan; baina hortzen zenbaketan ez zuen behar bezalako lana egin. Teknologiak egindako lana bi urteko esperientzia zuen dentista baten lanaren parekoa izan zen. Neurona-sareak % 98,8ko zehaztasuna zuen hortzak detektatzeko, baina zenbatzerakoan zehaztasuna % 71,5era jaitsi zen.

Tuzzof-ek eta kolaboratzaileek egindako lanean [43], sistemak zehaztasun bikaina erakutsi zuen hortzen detekzioan zein zenbakietan; adituen errendimenduekin konparatzeko modukoa zen. Hortzak detektatzeko algoritmoak oso ondo gauzatu ziren hainbat eszenatokitan, hortz normalak dituzten irudiak eta kasu konplexuagoak barne. Hortzak zenbatzeko orduan, teknologiak zailtasunak topatu zituen kasu konplexuetan, adituek bezala: hurbileko hortzak falta zirenean, hortz zati txikiak agertzen zirenean eta hortzek errestiturazio zabalak aurkezten zituztenean. Bestalde, Maga-

nurrek eta kolaboratzaileek egindako berrikuspenean [51], hortzak zenbatzeko eta detektatzeko diseinatutako ereduak aurrikuntza pozgarriak aurkezten zituzten, baina teknologia hori oraindik osagarri gisa erabil daitekeela dio.

Loki-barailetako nahasmenduei dagokienez, Jha-k eta kolaboratzaileek egindako metaanalisian [53], diagnostiko automatizaturako garatutako algoritmoak erabil daitezkeela ondorioztatu zen, klinikoei erabakiak hartzen laguntzeko tresna gisa. Hala ere, ebidentziaren ziurtasuna oso txikia zela adierazi zen. Alborapena saihesteko eta garatutako ereduak orokortzea bermatzeko, ikerlanak datu multzo handiagoa duten beste azterketa batzuk egitea justifikatuta dagoela ondorioztatzen du. Azkenik, beste berrikuspen batek dio ikasketa sakoneko ereduak osten-artritisa klinikoei bezain zehatz diagnostikatzen dutela, baina erresonantzia magnetikoen datu multzoetatik abiatuta, ereduak okerrago diagnostikatzen dituztela diskoaren nahasmenduak [55].

### **3.2. Adimen artifiziala aho-kirurgian**

Aho-kirurgia espezialitate mediko-kirurgikoa da; aho, aurpegi eta garezur-aurpegiko, zein egitura zerbikalen patologiarekin prebentzioa, azterketa, diagnostikoa, tratamendua eta errehabilitazioa egiteaz arduratzen da [56]. Adimen artifizialak materia honetan izan ditzakeen bi funtzio azpimarratuko dira: hirugarren haginak kendu ondoren, kirurgia ortognatikoak sortutako arriskuak aurreikustea eta inplanteen planifikazioan laguntzea.

Ondorio normala da pazienteek hantura izatea hirugarren molarrak erauzteko ebakuntza baten ostean, baina paziente bakoitzak aurkezten duen hantura-maila desberdina da. Zhang-ek eta kolaboratzaileek egindako lanean [57], ebakuntza kirurgiko horietatik eratorritako arriskuak aztertu ziren, eta, horretarako, neurona-sare artifizialekin oinarritutako sistema konputarizatu batek 15 aldagai erabiltzen zituen. Parametro horiek datu pertsonalak, anatomikoak, edota ebakuntzarekin erlazionaturako aldagaiak ziren. Beste ikerketa batek [58] ebakuntza osteko minaren arriskua aurreikusteko eredu bat garatu zuen, ikasketa automatikoan oinarritua; teknologia hori etorkizun handikoa izan daitekeela aitortzen da, mina hobeto kudeatzeko eta hirugarren hagina atera ondoren ebakuntza osteko mina murrizteko.

Batzuetan, eskeleto-irregulartasun handiak zuzentzeko eta masailezuraren eta barailaren arteko harremana nabarmentzeko pazienteek kirurgia ortognatiko behar dute, baita funtzio oklusala eta aurpegiaren estetika hobetzeko ere [59]. Kasu horietan, adimen artifizialak aurpegiaren erakargarritasunean eragingo duen inpaktua ebalua dezake. Adimen artifizialak egitura anatomikoen identifikazioan dituen aplikazioak erakutsi ditu, diagnostiko diferentziala eginez eta aurpegiaren morfologian, kirurgia ortognatikoaren ondoren ehun bigunetan eta aurpegiaren simetrian agertzen diren



aldaketak aurreratuz [60]. Paziente gehienetan adimen artifizialak zehaztasun altua erakutsi duen arren, erbi-ezpaina aurkezten duten pazienteetan ereduak hobetzea beharrezkoa izango da [60]. Adimen artifizialak kirurgia ortognatikoen ondoren ehun bigunen kokapena aurreikusteko zehaztasuna eta fidagarritasuna erakusten dituela dirudi. Dena den, ikerketak beharrezkoak dira teknologia horrek oraindik dituen mugak gainditzeko. Hala ere, erronka horiei arrakastaz heltzen bazaie, teknologia hori tresna ezin balio-tsua goa bihur daiteke klinikoentzat tratamenduaren plangintza pertsonalizatua egiteko [61].

Azkenik, teknologia horrek inplanteen ebakuntzetan erabiltzeko potentziala erakutsi du. Dena den, nahiz eta adimen artifizialeko ereduak potentzial handia aurkeztu inplante motak ezagutzeko, inplanteen arrakasta iragartzeko eta inplanteen diseinuaren optimizaziorako, oraindik garapen fasean daudela azpimarratu behar da. Ikerketa osagarri gehiago ezinbestekoak dira ereduak pixkanaka-pixkanaka garatzeko eta ebaluatzeko [62].

### 3.3. Adimen artifiziala periodontzian

Gaixotasun periodontalak periodontoan gertatzen diren prozesu patologikoak dira (*periodontoa* hortz bat inguratzen duten ehunak deskribatzeko erabiltzen den terminoa da, eta ehun gingibala, hezur albeolarra, zementua eta lotailu periodontala barneratzen ditu) [63]. Arlo honetan, adimen artifizialak arazo periodontalak aurkezten dituzten hortzak identifikatzen lagundu dezake.

Gaixotasun periodontala hanturazko gaixotasun kronikoa da, hortz-plakak ehun periodontalaren defentsa immunearen lerroari egindako erasoen bidez eragindakoa. Gaixotasun periodontalaren adierazpen klinikok odol-jario gingibala, poltsa periodontala, hezur-birxurgapen albeolarra eta hortz-galera barneratzen ditu [64]. Adimen artifizialeko eredu gaixotasun periodontalaren diagnostikoa egiteko erradiografietan ikusten diren hezur-galeretan oinarritzen da, baina periodontitisaren diagnostikoaren eta sailkapenaren gold estandarra txertatze-galera klinikoa da. Txertatze-galera klinikoa neurtzeko zunda periodontala erabiltzen da, ehun bigunak (hortzoiak) zementu-esmalte loturarekiko duen posizioa neurtuz. Hau da, hezur-galera erradiografikoaren egoeran soilik oinarrituz, egoera periodontala gutxiestea eragingo luke. Hala ere, teknologiak egiten duen sailkapena oraindik erabilgarria izan daiteke praktika klinikoan, zuzeneko ebidentzia eskuragarri ez dagoenean [65]. Adimen artifizialak periodontalki konprometituta dauden aurreko haginak eta haginak identifikatzea lortu du, % 90eko eta % 95eko doitasunarekin, hurrenez hurren [66]. Etorkizunean, beste arlo batzuetan ere lagundu dezake; adibidez, pazienteek gaixotasun periodontala garatzeko duten arriskua zehaztu [67], gaixotasun periodontalak sailkatu eta bereizi [68], etab.

### 3.4. Adimen artifiziala prostodontzian

Hortz-protesi erauzgarri eta finko onenak fabrikatzea eta ahoan integratzea da prostodontziaren itxaropen nagusia. Adimen artifizialak batez ere protesiaren diseinuan lagundu dezake [69], protesi mota zehatzuz (erauzgarria edo finkoa) eta euren osagaiak hautatuz. Azken urteetan, CAD eta CAM (*Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing*) sistemek, hiru dimentsioko lan-fluxu digital batekin konbinatuta, odontologiaren praktika iraultzeko aukera eman dute. CAD/CAM adimen artifizialarekin konbinatuta oso onuragarria dela frogatu da, faktore estetikoak, eskema oklusalak eta aurreko profesionalen aukerak automatizatzen eta txertatzen laguntzen duelako [70].

Horretarako komertzializatuta dauden baliabideak erabil daitezke; adibidez, CEREC, 3Shape, etab. Kong-ek eta Kim-ek egindako berrikuspen batean [71], adimen artifizialak hortz-koroen fabrikazioan eraginkortasuna handitzeko ahalmena duela ondorioztatu da. Teknologia hori erabiliz, doitasun-maila handia lortu da azterketa gehienetan.

### 3.5. Adimen artifiziala endodontzian

Endodontzia gizakiaren hortz-mamiaren eta sustrai inguruko ehunen morfologiaz, fisiologiaz eta patologiaz arduratzen den odontologiaren adarra da [72]. Adimen artifizialaren ereduak hainbat aplikazio izan ditzakete endodontziako esparruan: hortz-sustraien aldaketa anatomikoak, hausturak eta erpinaren inguruko lesioak identifikatzea, hodian lan-luzeraren zehaztapena, hortz-mamiaren zelula amek duten bideragarritasuna aurreikustea eta erretratu-prozeduren arrakastaren iragarpena [73].

Normalean, haginaren sustraiko konduktuek antzeko ezaugarri anatomiakoak aurkezten dituzte. Dena den, noizean behin ezberdintasunak agertzen dituzte; horiek aurreikusteko CBCT (Cone Beam Computed Tomography) teknika erradiografikoa da baliabide egokiena [73]. Ikasketa sakona erabilgarria izan liteke sustrairen morfologia diagnostikatzeko, odontologo hasiberriei irudiak ulertzen lagundu liezaieketen argazkiak kategorizatzen baititu. Teknologia horrek instrumentazioa gauzatu ondoren hodian gertatzen diren morfologia-aldaketa tridimentsionalak ebaluatzen lagundu dezake [74].

Hortzen infekzio larriak agertzen direnean, mikroorganismoek hortz-sustraien erpinaren inguruan lesioak eragiten dituzte [75]. Lesio horiek erradiografietan erpinaren inguruko erradioluzentzia gisa bereizten dira [76]. Hortzetako erpinen inguruan lesio erradioluzidoen detekzio-tasa ona erakusten duten hainbat ikerketa argitaratu dira [76-78]; azterketa horiek egiteko, erradiografia periapikalak, panoramikoak eta CBCTak ebaluatu ziren, software ezberdinak erabiliz.

Adimen artifizialak hodian tratamenduen plangintzan duen zeregina da, agian, aplikaziorik interesgarriena. Teknologia hori erabil daiteke sustrai-hodiaren morfologia zehazteko, foramen apikal txikia lokalizatzeko, erpinen inguruko lesioak eta sustrai-hodiaren hausturak detektatzeko, tratamenduaren eta erretratamenduaren arrakasta ebaluatzeko [79, 80]. Aplikazio horiek oso erabilgarriak izan daitezke tratamenduaren instrumentazioa gauzatzeko eta tratamenduaren ostean gertatzen diren aldaketak antzematuko. Azkenik, ikertzaile batzuk sustraiaren mutur apikala erradiografieta aurkitzeko algoritmoak garatzen ari dira; aplikazio hori oso garrantzitsua izango litzateke instrumentazioa noraino gauzatu daitekeen zehatz jakiteko. Momentuz, ikerketa gutxi egin dira adimen artifiziala aplikatuz hortz-sustraiaren zulo apikala aurkitzeko eta lan-luzera zehazteko [81-83].

### **3.6. Adimen artifiziala ortodontzian**

Ortodontzia hortzen kokapenaz eta masailezurraren eta barailaren arteko harremanaz arduratzen den espezialitate odontologikoa da [84]. Esparru horretan, adimen artifiziala erabil daiteke batez ere erreferentzia-puntu zefalometrikoak automatikoki identifikatzeko, trazatu zefalometriko automatizatuak egiteko, orno zerbikalen heldze-etapen sailkapena egiteko eta garapena ebaluatzeko [85]. Hau da, erabilgarritasun handia izan dezake diagnostikoarekin laguntzeko eta tratamendu ezberdinak planifikatzeko edota simulazioak eta pronostikoak egiteko.

Erreferentzia-puntu zefalometrikoak identifikatzeari dagokionez, emaitzak aldakorak dira. Ikerketa batean, erreferentzia-puntuen detekzio-tasa arrakastatsuen % 70ekoa izan zen [86]. Bestalde, produktu komertzial bat (CephX; ORCA Dental AI) ebaluatzen zuen ikerketa batek % 98ko detekzio-tasa arrakastatsua lortu zuen [87]. Horrez gain, adimen artifizialak orno zerbikalen hazkundera eta garapena ebaluatzeko aukera itxaropentsua dela dirudi. Horretarako, adimen artifizialeko algoritmoak dagoeneko existitzen diren programetan integratu behar dira, erabaki zehatzagoak eta inpartzialagoak lortzeko [88]. Beraz, adimen artifizialak potentzial handia du orno zerbikalen heldutasun-ebaluazioen zehaztasuna eta fidagarritasuna hobetzeko, baina kalitate handiko azterketen kopuru mugatuak ikerketa berrien beharra iradokitzen dute [89].

Ortodontzia-tratamenduak, hasi baino lehen, zehatz-mehatz planifikatu behar dira. Tratamendu horietan hortz-erazketak nahiko ohikoak dira; hori dela eta, tratamendu itzulezin bat hasi aurretik, funtsezkoa da zer egin behar den erabakitzea. Algoritmoak erabiltzen hasi dira ortodontzia-tratamendua hasi aurretik hortz-haginak ateratzea beharrezkoa den ebaluatzeko. Argitaratu diren artikuluen artean, teknologia honek aurkeztu duen doitasuna aldatzeko da; beraz, hortzak erazteko erabakia ezin da adimen artifizialean oinarritu, hau da, ezin da hartu gizakien erabaki baten ordezkotzat [90].

### **3.7. Adimen artifiziala aho-medikuntzan**

Aho-medikuntza ahoko eta aurpegi-masailetakoren eremuari eragiten dion patologiarekin (ez hortz-patologiaren) diagnostikoaz eta maneiuaz arduratzen da [91]. Adimen artifiziala ahoko medikuntzan hiru funtzio egiteko erabil daiteke: buruko zein lepoko minbizien diagnostikoa egiteko, ahoko minbizien arriskuaren ebaluazioa gauzatzeko eta lesio gaiztoak izan daitezkeen ahoko nahasteak bereizteko.

Adimen artifiziala etorkizun handiko laguntza izan daiteke buruko eta lepoko minbizien lesioen diagnostikoan; izan ere, ehunetatik hartutako laginetan edo erradiografietan tumoreak detektatzeko potentzial handia eskaintzen du [92-94]. Aho-minbiziari dagokionez, berrikuspen sistematiko batek hautatutako ikerlanen arabera, azterketa gehienek ikasketa sakona erabiltzean zehaztasun, sentsibilitate eta espezifikotasun nahiko altuak erakutsi zituzten ahoko minbizia diagnostikatzeko (normalean, % 80tik gora) [95]. Badirudi, beraz, adimen artifizialak lesio onberak eta gaiztoak zehaztasun handiagoz bereizten lagundu dezakeela, eta, hala, biopsia intrasibo gutxiago eta pazienteentzako min eta antsietate gutxiago lortzen dira. Horrez gain, ahoko minbizian analisi prediktiboarekin ere lagundu dezake, argazkietan ahoko lesioak identifikatzen edo patroien bila, pazienteen historia klinikoak, bizimoduaren ezaugarriak eta informazio genetikoa aztertuz [96]. Etorkizuneko erronkei dagokienez, adimena entrenatzeko datu-baseak oso ezberdinak direnez, horien homogeneizazioa bilatu beharko litzateke adimenaren ereduak ondo garatu ahal izateko [97]. Horregatik, badirudi adimen artifiziala gehiago erabiliko litzatekeela, hasieran behintzat, kliniko adituaren tresna osagarri gisa.

### **3.8. Adimen artifiziala klinikaren kudeaketan**

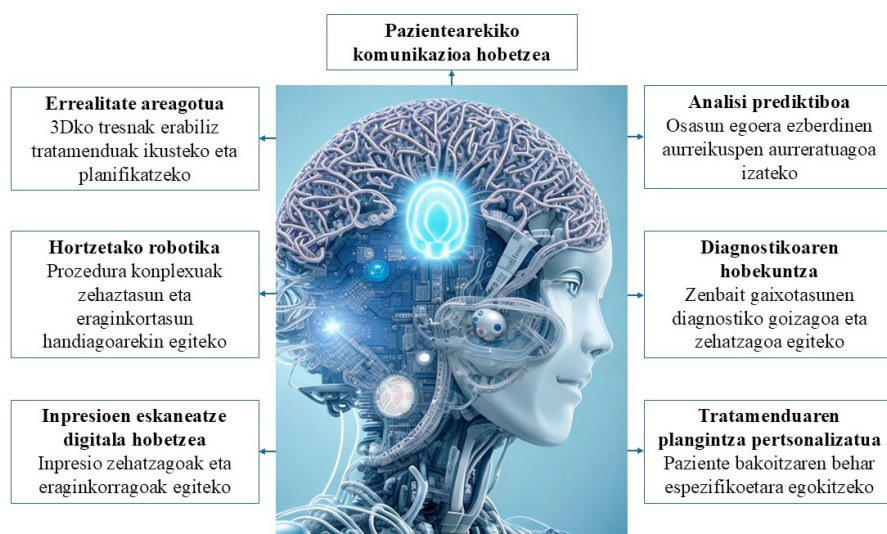
Hortz-klinikaren hitzorduak ondo antolatzea ezinbestekoa da klinika bateko eguneroko lanean, kliniko bezala ezinbestekoa baita ahalik eta paziente gehien artatzea eta pazienteak denbora gehiegi ez itxarotea. Hitzorduen programazioa optimizatze aldera, adimen artifizialak algoritmoak erabil ditzake eskuragarri dauden denborak identifikatzeko, ordu-lehentasunen arabera pazienteak esleitzeko. Teknologia hitzordua automatikoki baieztatzen eta gogoratzen du, pazienteei mezu bat bidaliz; gainera, denbora ematen die odontologiako profesionalei pazientearekiko interakzioan eta kalitatezko arretan hanpadura jar dezaten. Horren ondorioz, pazienteak gehiago gogobetetzen da, eta klinikara joatearen hortz-esperientzia orokorra hobetu egiten da [98].

Azkenik, teknologia horrek hitzorduen programazioa eta langile eraginkorrek ahalbidetzen dituzenez, onuragarria izan daiteke odontologiaren finantza-alderdian ere, produktibitatea handituz. Bestalde, batzuetan odontologoek aurre egin diezaiekete izaera judizialeko erreklamazioei edo aseguru-etxeek

egindako erreklamazioei. Horretarako ere teknologia berri hori lagungarria izan daiteke, halaber, prozesu klinikoan zehar erabilitako informazio, dokumentazio eta historia kliniko guztia modu eraginkorrean biltzeko [99].

#### 4. ONDORIOAK

Aurretik azaldutako guztirengatik, odontologiako adimen artifizialaren etorkizuna itxaropentsua dela dirudi; teknologia hori gero eta gehiago garatuko da, aplikazio berriak eskainiz eta gaur egun egiten dituen funtzioak hobetuz. Odontologian eskain ditzakeen aukeren artean, hobekuntzak aipa daitezke tratamendu pertsonalizatuaren plangintzan, diagnostikoan eta analisi prediktiboetan, besteak beste (5. irudia).



**5. irudia.** Adimen artifizialak etorkizunean odontologiaren arloan izan ditzakeen funtzioak [100].

Dena den, teknologia hori odontologian erabiltzeak erronkak aurkezten ditu: pazienteen datuen konfidentziasuna mantentzea, segurtasuna bermatzea, gardentasuna eskaintzea eta dentistek teknologia hori erabiltzeko eduki dezaketen mesfidantza gainditzea. Konfidentziasunari dagokionez, ezinbestekoa da adimen artifizialeko sistemak ezartzean datu klinikoak kudeaketa eta trukea ondo egitea. Horretarako, ezinbestekoa da adimen artifizialeko algoritmoak garatzeko erabiltzen diren pazienteen datu pertsonalak ondo tratatzea; beraz, sistemak egokitu behar dira datuen konfidentziasuna eta babesa ziurtatzeko. Horrela, zabalkundea kontuan hartu aurretik,

datu pertsonalak anonimizatu egin beharko dira. Are gehiago, teknologien arteko aliantza bultzatzea interesgarria izan daiteke datuen benetakotasuna eta segurtasuna berresteko, adibidez, adimen artifizialaren eta bloke-katearen (*blockchain*) artean.

**1. taula.** Adimen artifizialak odontologiaren arlo ezberdinetan bete ditzakeen eta bete ahal izango dituen funtzioak.

| Arloa             | Gaur egun                                                                                                                                                                                                 | Etorkizunean                                                                                                                                                                                         |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Erradiologia      | —Hortzak identifikatzea eta zenbatzea, tresna osagarri gisa.                                                                                                                                              | —Loki-barailetako nahasmenduen diagnostikoa egitea.                                                                                                                                                  |
| Aho-kirurgia      | —Kasu askotan, ebakuntza egin aurretik aurpegiaren erakargarritasuna aurreikustea.                                                                                                                        | —Hirugarren haginaren ebakuntza osteko minaren arriskua aurreikustea.<br>—Implanteen ebakuntzetan: inplante motak ezagutzea, inplanteen arrakasta iragartzeko eta inplanteen diseinua optimizatzeko. |
| Periodontzia      | —Periodontalki konprometituta dauden haginaren identifikazioarekin laguntzea; dena den, oraindik ezinbestekoa da txertatze-galera zundarekin neurtzea.                                                    | —Pazienteek gaixotasun periodontala garatzeko duten arriskua zehaztea, gaixotasun periodontalak sailkatzeko eta bereizteko.                                                                          |
| Prostodontzia     | —Protesiaren diseinuan laguntzea.                                                                                                                                                                         | —Hortz-protesiak sortzeko prozesua nabarmen hobetzea, prozesu automatizatuak hobetuko dituzten tresnak erabiliz.                                                                                     |
| Endodontzia       | —Instrumentazioa burutu ondoren hodietan gertatzen diren morfologia-aldaketekin laguntzea.<br>—Lesio erradioluzidoak detektatzea.                                                                         | —Sustraiaren mutur apikala erradiografiatan zehaztasun handiz aurkitzea.                                                                                                                             |
| Ortodontzia       | —Erreferentzia-puntu zefalometrikoak identifikatzea; baina badirudi oraindik ikerketa gehiago behar direla.                                                                                               | —Orno zerbikalen heldutasuna ebaluatzea.<br>—Ortodontzia-tratamendua hasi aurretik, hortz-haginak ateratzea beharrezkoa den ebaluatzea.                                                              |
| Aho-medikuntza    | —Kliniko adituaren tresna osagarri gisa, ehunetatik hartutako laginetan edo erradiografiatan tumoreak detektatzea.                                                                                        | —Datu-baseak hobetu ahala, minbiziak diagnostikatzeko tresnen sentsibilitatea eta espezifikotasuna hobetzea.                                                                                         |
| Klinika-kudeaketa | —Hitzordua automatikoki baieztatzea eta gogoratzea, pazienteei mezu bat bidaliz.<br>—Prozesu klinikoan zehar erabilitako informazio, dokumentazio eta historia kliniko guztia modu eraginkorrean biltzea. | —Klinika guztietan teknologia hau ezartzen bada, odontologiako profesionalei denbora gehiago eskaintzea pazientearekiko interakzioan eta kalitatezko arretan hanpadura jar dezaten.                  |

Adimen artifiziala ez da perfektua, eta gizakiak bezala akatsak eduki ditzake; horregatik, teknologia horrek akatsen bat eginez gero, pazienteek ondorioak jasango dituzte [101]. Horrek etikan eta justiziaren arloan gogoetak eta erronkak sortzen ditu. Demagun akats batek ondorio latzak ekartzen dituela; norena izango litzateke ardura? Profesionalaren errua izango litzateke, ala algoritmoa sortu zuen garatzaile informatikoarena? Gure legeek errua eta delitua gizakiei bakarrik egotz dakizkiekeela ezartzen dute; beraz, horiek eragile autonomoekin ordezkatzekak hainbat gai juridiko eta etiko planteatzen ditu. Gardentasunari dagokionez, adimen-sistemek egindako iragarpenen kalitatea entrenamenduan erabilitako datu multzoaren etiketatzearen eta oharren zehaztasunaren araberakoa da. Hori dela eta, oso garrantzitsua da datuak biltzeko protokoloak ezartzea eta erakunde publikoek datuak partekatzea.

Hala ere, teknologia horiek mundu errealeko eremu odontologikoan ezartzeko haurtzaroan daude oraindik. Badirudi, beraz, etorkizun hurbilean adimen artifiziala tresna erabilgarria izango dela, baina kliniko aditu baten gainbegiratuta erabili beharko dela. Bestalde, teknologia honetan oinarritutako ikerketa berri guztiak zabaldu egin behar dira erabiltzeko; beraz, teknologia horiek eskalagarriak eta aplikagarriak izan behar dute. Ikasketa automatikoaren eta ikasketa sakonaren teknologiak osasun-sektorean arrakastaz integratzekak ikuspegi multifazetikoa eta malgua eskatzen du. Ikuspegi horren oinarria da diziplinarteko lankidetzaren sustatzea, odontologiako, datu-zientziako eta ingeniariartzako adituen artean.

## **ESKER ONAK**

Eskerrak eman nahi dizkiot Manu Gutiérrez Renedori, bere go-ohola utzi zidalako 1. irudiko argazkia egin ahal izateko, eta Virginia Franco Varasi, argitaratu den erradiografia eskaintzeagatik.

## **ERABILITAKO IRUDIEN ESLEIPENARI BURUZKO OHARRA**

1. irudia sortzeko, Creative Commons 4.0 lizentzia duten marrazki edo argazki batzuk erabili dira; kasu horietan, eskubideak egileei egotzi zaizkie bibliografian. 1. irudian erabilitako gainerako argazkiak norberak egindakoak dira. 4. irudiaren erradiografia argitaratzeko baimena lortu da; eta 5. irudiari dagokionez, Pixabayren lizentzia du doan erabili eta aldatzeko.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] WONG, S. H., AL-HASANI, H., ALAM, & Z., ALAM, & A. 2019. «Artificial intelligence in radiology: how will we be affected?». *European Radiology*, **29**, 141-143.
- [2] HASHIMOTO, D. A., ROSMAN, G., RUS, D., MEIRELES, O. R. 2018. «Artificial Intelligence in Surgery: Promises and Perils». *Annals of surgery*, **268**, 70-76.
- [3] GOECKS, J., JALILI, V., HEISER, L. M., GRAY, J. W. 2020. «How Machine Learning Will Transform Biomedicine». *Cell*, **181**, 92-101.
- [4] EBATTLEP. Bosquejo de un robot Unimate, [https://es.wikipedia.org/wiki/Unimate#/media/Archivo:Robot\\_polar.svg](https://es.wikipedia.org/wiki/Unimate#/media/Archivo:Robot_polar.svg) (eguneratze-data: 2025eko apirila).
- [5] RYLES, G. Chat GPT-4 vs Chat GPT-3: What's new?, <https://www.trustedreviews.com/versus/chat-gpt-4-vs-chat-gpt-3-4309130> (eguneratze-data: 2025eko apirila).
- [6] STANFORD UNIVERSITY John McCarthy, artificial intelligence and timesharing pioneer, playing chess at Stanford's IBM 7090, John McCarthy, artificial intelligence and timesharing pioneer, playing chess at Stanford's IBM 7090 (eguneratze-data: 2025eko apirila).
- [7] ELCUAZ~COMMONSWIKI Neurona de McCulloch-Pitts, [https://es.wikipedia.org/wiki/Neurona\\_de\\_McCulloch-Pitts#/media/Archivo:McCullochpitts.png](https://es.wikipedia.org/wiki/Neurona_de_McCulloch-Pitts#/media/Archivo:McCullochpitts.png) (eguneratze-data: 2025eko apirila).
- [8] ALPAYDIN, E. 2004. *Introduction to Machine Learning*. MIT Press, Cambridge.
- [9] SADLER, M., REGAN, N. 2019. *Game Changer: Alpha Zero's Groundbreaking Chess Strategies and the Promise of AI*. New in Chess, Alkmaar.
- [10] SILVER, D., HUBERT, T., SCHRITTWIESER, J., ANTONOGLIOU, I., LAI, M., GUEZ, A., LANCTOT, M., SIFRE, L., KUMARAN, D., GRAEPEL, T., LILICRAP, T., SIMONYAN, K., HASSABIS, D. 2018. «A general reinforcement learning algorithm that masters chess, shogi, and Go through self-play». *Science*, **362**, 1140-1144.
- [11] BATMAZ, Z., YUREKLI, A., BILGE, A., KALELI, C. 2019. «A review on deep learning for recommender systems: challenges and remedies». *Artificial Intelligence Review*, **52**, 1-37.
- [12] ZHANG, S., YAO, L., SUN, A., TAY, Y. 2019. «Deep Learning Based Recommender System: A Survey and New Perspectives». *ACM Computing Surveys (CSUR)*, **52**, 1-38.
- [13] BADUE, C., GUIDOLINI, R., CARNEIRO, R. V., AZEVEDO, P., CARDOSO, V. B., FORECHI, A., JESUS, L., BERRIEL, R., PAIXÃO, T. M., MUTZ, F., DE PAULA VERONESE, L., OLIVEIRA-SANTOS, T., DE SOUZA, A. F. 2021. «Self-driving cars: A survey». *Expert Systems with Applications*, **165**, 113816.
- [14] HOLDSWORTH, J., SCAPICCHIO, M. ¿Qué es el deep learning?, <https://www.ibm.com/es-es/topics/deep-learning> (eguneratze-data: 2025eko apirila).



- [15] DATADEMIA ¿Qué es Deep Learning y qué es una red neuronal?, <https://data-demia.es/blog/que-es-deep-learning-y-que-es-una-red-neuronal> (eguneratze-data: 2025eko apirila).
- [16] PERUMAL, T., MUSTAPHA, N., MOHAMED, R., SHIRI, F. M. 2024. «A Comprehensive Overview and Comparative Analysis on Deep Learning Models». *Journal on Artificial Intelligence*, **6**, 301-360.
- [17] Computer Vision, <https://deeppai.org/machine-learning-glossary-and-terms/computer-vision> (eguneratze-data: 2025eko apirila).
- [18] ¿Qué son las redes neuronales convolucionales? 3 cosas que debe saber, <https://es.mathworks.com/discovery/convolutional-neural-network.html> (eguneratze-data: 2025eko apirila).
- [19] SKLAN, J. E. S., PLASSARD, A. J., FABBRI, D., LANDMAN, B. A. 2015. «Toward content-based image retrieval with deep convolutional neural networks». *Proceedings of SPIE, the International Society for Optical Engineering*, **9417**, 94172C.
- [20] PAUL, D., SANAP, G., SHENOY, S., KALYANE, D., KALIA, K., TEKADE, R. K. 2021. «Artificial intelligence in drug discovery and development». *Drug Discovery Today*, **26**, 80-93.
- [21] REKHA UMAPATHY, V., RAJINIKANTH, S. B., DENSINGH SAMUEL RAJ, R., YADAV, S., ATHIYA MUNAVARAH, S., ABRAHAM ANANDAPANDIAN, P., VINITA MARY, A., PADMAVATHY, K. 2023. «Perspective of Artificial Intelligence in Disease Diagnosis: A Review of Current and Future Endeavours in the Medical Field». *Cureus*, **15**, e45684.
- [22] DUBEY, A., TIWARI, A. 2023. «Artificial intelligence and remote patient monitoring in US healthcare market: a literature review». *Journal of Market Access & Health Policy*, **11**, 2205618.
- [23] BAJWA, J., MUNIR, U., NORI, A., WILLIAMS, B. 2021. «Artificial intelligence in healthcare: transforming the practice of medicine». *Future Healthcare Journal*, **8**, 188-94.
- [24] KNUDSEN, J. E., UMAR GHAFAR, ·, MA, R., HUNG, A. J. 123AD. «Clinical applications of artificial intelligence in robotic surgery». *Journal of Robotic Surgery*, **18**, 102.
- [25] PANESAR, S., CAGLE, Y., CHANDER, D., MOREY, J., FERNANDEZ-MIRANDA, J., KLIOT, M. 2019. «Artificial Intelligence and the Future of Surgical Robotics». *Annals of Surgery*, **270**.
- [26] RIVERO-MORENO, Y., ECHEVARRIA, S., VIDAL-VALDERRAMA, C., PIANETTI, L., CORDOVA-GUILARTE, J., NAVARRO-GONZALEZ, J., ACEVEDO-RODRÍGUEZ, J., DORADO-AVILA, G., OSORIO-ROMERO, L., CHAVEZ-CAMPOS, C., ACERO-ALVARRACÍN, K. 2023. «Robotic Surgery: A Comprehensive Review of the Literature and Current Trends». *Cureus*, **15**, e42370.
- [27] GUPTA, N. S., KUMAR, P. 2023. «Perspective of artificial intelligence in healthcare data management: A journey towards precision medicine». *Computers in Biology and Medicine*, **162**, 107051.

- [28] ZHU, Z., NG, D. W. H., PARK, H. S., MCALPINE, M. C. 2021. «3D-printed multifunctional materials enabled by artificial-intelligence-assisted fabrication technologies». *Nature Reviews Materials*, **6**, 27-47.
- [29] JOHNSON, K. B., WEI, W. Q., WEERARATNE, D., FRISSE, M. E., MISULIS, K., RHEE, K., ZHAO, J., SNOWDON, J. L. 2021. «Precision Medicine, AI, and the Future of Personalized Health Care». *Clinical and Translational Science*, **14**, 86-93.
- [30] CASTIGLIONI, I., RUNDO, L., CODARI, M., DI LEO, G., SALVATORE, C., INTERLENGHI, M., GALLIVANONE, F., COZZI, A., D'AMICO, N. C., SARDANELLI, F. 2021. «AI applications to medical images: From machine learning to deep learning». *Physica Medica*, **83**, 9-24.
- [31] LITJENS, G., KOOL, T., BEJNORDI, B. E., SETIO, A. A. A., CIOMPI, F., GHAFORIAN, M., VAN DER LAAK, J. A. W. M., VAN GINNEKEN, B., SÁNCHEZ, C. I. 2017. «A survey on deep learning in medical image analysis». *Medical Image Analysis*, **42**, 60-88.
- [32] GULSHAN, V., PENG, L., CORAM, M., STUMPE, M. C., WU, D., NARAYANASWAMY, A., VENUGOPALAN, S., WIDNER, K., MADAMS, T., CUADROS, J., KIM, R., RAMAN, R., NELSON, P. C., MEGA, J. L., WEBSTER, D. R. 2016. «Development and Validation of a Deep Learning Algorithm for Detection of Diabetic Retinopathy in Retinal Fundus Photographs». *JAMA*, **316**, 2402-2410.
- [33] ESTEVA, A., KUPREL, B., NOVOA, R. A., KO, J., SWETTER, S. M., BLAU, H. M., THRUN, S. 2017. «Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks». *Nature*, **542**, 115-118.
- [34] CUTLER, D. M. 2023. «What Artificial Intelligence Means for Health Care». *JAMA Health Forum*, **4**, e232652-e232652.
- [35] PHUNG, V. H., RHEE, E. J. 2018. «A deep learning approach for classification of cloud image patches on small datasets». *Journal of Information and Communication Convergence Engineering*, **16**, 173-178.
- [36] AHMED, S., HAWSAH, A., RUSTOM, R., ALAMRI, A., ALTHOMAIRY, S., ALENEZI, M., SHAKER, S., ALRAWSAA, F., ALTHUMAIRY, A., ALTERAIGI, A. 2024. «Digital Impressions Versus Conventional Impressions in Prosthodontics: A Systematic Review». *Cureus*, **16**, e51537.
- [37] HEERA AHMED, Z., MUHARIB ALMUHARIB, A., ABDULLAH ABDULKARIM, A., HASSOON ALHASSOON, A., FAHAD ALANAZI, A., ABDULLAH ALHAQBANI, M., SAIF ALSHALAWI, M., KHALID ALMUQAYRIN, A., IBRAHIM ALMAHMOUD, M. 2023. «Artificial Intelligence and Its Application in Endodontics: A Review». *The Journal of Contemporary Dental Practice*, **24**, 912-917.
- [38] GÜNEÇ, H. G., ÜRKMEZ, E. Ş., DANACI, A., DILMAC, E., ONAY, H. H., CESUR AYDIN, K. 2023. «Comparison of artificial intelligence vs. junior dentists' diagnostic performance based on caries and periapical infection detection on panoramic images». *Quantitative imaging in medicine and surgery*, **13**.
- [39] ALAM, M. K., ALFATAIKHAH, S. A. A., ISSRANI, R., RONSIVALLE, V., LO GIUDICE, A., CICCIO, M., MINERVINI, G. 2024. «Applications of artificial intelli-

- gence in the utilisation of imaging modalities in dentistry: A systematic review and meta-analysis of in-vitro studies». *Heliyon*, **10**, e24221.
- [40] PUTRA, R. H., DOI, C., YODA, N., ASTUTI, E. R., SASAKI, K. 2022. «Current applications and development of artificial intelligence for digital dental radiography». *Dentomaxillofacial Radiology*, **51**, 20210197.
- [41] OHASHI, Y., ARIJI, Y., KATSUMATA, A., FUJITA, H., NAKAYAMA, M., FUKUDA, M., NOZAWA, M., ARIJI, E. 2016. «Utilization of computer-aided detection system in diagnosing unilateral maxillary sinusitis on panoramic radiographs». *Dentomaxillofacial Radiology*, **45**, 20150419.
- [42] DE TOBEL, J., RADESH, P., VANDERMEULEN, D., THEVISSSEN, P. W. 2017. «An automated technique to stage lower third molar development on panoramic radiographs for age estimation: a pilot study». *Journal of Forensic Odontostomatology*, **35**, 42-54.
- [43] TUZOFF, D. V., TUZOVA, L. N., BORNSTEIN, M. M., KRASNOV, A. S., KHARCHENKO, M. A., NIKOLENKO, S. I., SVESHNIKOV, M. M., BEDNENKO, G. B. 2019. «Tooth detection and numbering in panoramic radiographs using convolutional neural networks». *Dentomaxillofacial Radiology*, **48**, 20180051.
- [44] MIKI, Y., MURAMATSU, C., HAYASHI, T., ZHOU, X., HARA, T., KATSUMATA, A., FUJITA, H. 2017. «Classification of teeth in cone-beam CT using deep convolutional neural network». *Computers in Biology and Medicine*, **80**, 24-29.
- [45] BENYÓ, B. 2012. «Identification of dental root canals and their medial line from micro-CT and cone-beam CT records». *Benyó BioMedical Engineering OnLine*, **11**, 81.
- [46] CHAU, R. C. W., LI, G.-H., TEW, I. M., THU, K. M., MCGRATH, C., LO, W.-L., LING, W.-K., HSUNG, R. T.-C., LAM, W. Y. H. 2023. «Accuracy of Artificial Intelligence-Based Photographic Detection of Gingivitis». *International Dental Journal*, **73**, 724-730.
- [47] NGAN, T. T., TUAN, T. M., SON, L. H., MINH, N. H., DEY, N. 2016. «Decision Making Based on Fuzzy Aggregation Operators for Medical Diagnosis from Dental X-ray images». *Journal of Medical Systems*, **40**, 280.
- [48] SON, L. H., TUAN, T. M., FUJITA, H., DEY, N., ASHOUR, A. S., NGOC, V. T. N., ANH, L. Q., CHU, D.-T. 2018. «Dental diagnosis from X-Ray images: An expert system based on fuzzy computing». *Biomedical Signal Processing and Control*, **39**, 64-73.
- [49] TANDON, D., RAJAWAT, J. 2020. «Present and future of artificial intelligence in dentistry». *Journal of Oral Biology and Craniofacial Research*, **10**, 391-396.
- [50] PITHPORNCHAIYAKUL, S., NAORUNGROJ, S., PUPONG, K., HUNSRISAKHUN, J. 2022. «Using a Chatbot as an Alternative Approach for In-Person Tooth-brushing Training During the COVID-19 Pandemic: Comparative Study». *J Med Internet Res*, **24**, e39218.
- [51] MAGANUR, P. C., VISHWANATHAIAH, S., MASHYAKHY, M., ABUMELHA, A. S., ROBAIAN, A., ALMOHAREB, T., ALMUTAIRI, B., ALZHRANI, K. M., BINALRI-

- MAL, S., MARWAH, N., KHANAGAR, S. B., MANOHARAN, V. 2024. «Development of Artificial Intelligence Models for Tooth Numbering and Detection: A Systematic Review». *International Dental Journal*, **74**, 917-929.
- [52] ANIL, S., PORWAL, P., PORWAL, A. 2023. «Transforming Dental Caries Diagnosis Through Artificial Intelligence-Based Techniques». *Cureus*, **15**, e41694.
- [53] JHA, N., LEE, K., KIM, Y.-J. 2022. «Diagnosis of temporomandibular disorders using artificial intelligence technologies: A systematic review and meta-analysis». *PLoS ONE*, **17**, e027271.
- [54] CHEN, H., ZHANG, K., LYU, P., LI, H., ZHANG, L., WU, J., LEE, C.-H. 2019. «A deep learning approach to automatic teeth detection and numbering based on object detection in dental periapical films». *Scientific Reports*, **9**, 3840.
- [55] HASAN FAROOK, T., DUDLEY, J. 2023. «Automation and deep (machine) learning in temporomandibular joint disorder radiomics: A systematic review». *J Oral Rehabil*, **50**, 501-521.
- [56] MINISTERIO DE SANIDAD Y CONSUMO. 2007. *Orden SCO/2753/2007*. BOE, n.º 230.
- [57] ZHANG, W., LI, J., LI, Z.-B., LI, Z. 2018. «Predicting postoperative facial swelling following impacted mandibular third molars extraction by using artificial neural networks evaluation OPEN». *Scientific Reports*, **8**, 12281.
- [58] YU, D., LIU, Z., ZHUANG, W., LI, K., LU, Y. 2023. «Development and validation of machine learning based prediction model for postoperative pain risk after extraction of impacted mandibular third molars». *Heliyon*, **9**, e23052.
- [59] BAHMANYAR ARYA W.; WEISS ROBERT O. II; VINCENT AURORA G.; READ-FULLER ANDREW M.; REDDY LIKITH V., S. N. 2021. «Orthognathic Surgery of the Mandible». *Facial Plastic Surgery*, **37**, 716-721.
- [60] MOHAIDEEN, K., NEGI, A., VERMA, D. K., KUMAR, N., SENNIMALAI, K., NEGI, A. 2022. «Applications of artificial intelligence and machine learning in orthognathic surgery: A scoping review». *Journal of Stomatology, Oral and Maxillofacial Surgery*, **123**, e962-e972.
- [61] ALMARHOUMI, A. 2024. «Accuracy of Artificial Intelligence in Predicting Facial Changes Post-Orthognathic Surgery: A Comprehensive Scoping Review». *Journal of Clinical and Experimental Dentistry*, **16**, 624-657.
- [62] REVILLA-LEÓN, M., GÓMEZ-POLO, M., VYAS, S., BARMAC, B. A., GALLUCI, G. O., ATT, W., KRISHNAMURTHY, V. R. 2023. «Artificial intelligence applications in implant dentistry: A systematic review». *Journal of Prosthetic Dentistry*, **129**, 293-300.
- [63] GASNER, N., SCHURE, R. 2024. *Periodontal Disease*. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL).
- [64] GUO, X., LI, X., LIAO, C., FENG, X. 2023. «Periodontal disease and subsequent risk of cardiovascular outcome and all-cause mortality: A meta-analysis of prospective studies». *PLoS ONE*, **18**, e0290545.

- [65] LI, X., ZHAO, D., WEN, H., LIU, C., LI, Y., LI, W., WANG, S. 2023. «Deep learning for classifying the stages of periodontitis on dental images: a systematic review and meta-analysis». *BMC Oral Health*, **23**, 2017.
- [66] REVILLA-LEÓN, M., GÓMEZ-POLO, M., BARMAK, A. B., INAM, W., KAN, J. Y. K., KOIS, J. C., AKAL, O. 2023. «Artificial intelligence models for diagnosing gingivitis and periodontal disease: A systematic review». *The Journal of Prosthetic Dentistry*, **130**, 816-824.
- [67] SHANKARAPILLAI, R., MATHUR, L. K., NAIR, M. A., RAI, N., MATHUR, A. 2010. «Periodontitis risk assessment using two artificial neural networks-a pilot study». *International Journal of Dental Clinics*, **2**, 36-40.
- [68] OZDEN, F. O., OZGONENEL, O., OZDEN, B., AYDOĞDU, A. 2015. «Diagnosis of periodontal diseases using different classification algorithms: a preliminary study». *Nigerian journal of clinical practice*, **18**, 416-421.
- [69] DING, H., WU, J., ZHAO, W., MATINLINNA, J. P., BURROW, M. F., TSOI, J. K. H. 2023. «Artificial intelligence in dentistry—A review». *Frontiers in Dental Medicine*, **4**, 1085251.
- [70] YESLAM, H. E., FREIFRAU VON MALTZAHN, N., NASSAR, H. M. 2024. «Revolutionizing CAD/CAM-based restorative dental processes and materials with artificial intelligence: a concise narrative review». *PeerJ*, **12**, e17793.
- [71] KONG, H.-J., KIM, Y.-L. 2024. «Application of artificial intelligence in dental crown prosthesis: a scoping review». *BMC Oral Health*, **24**, 937.
- [72] ALBUQUERQUE, D., KOTTOOR, J., HAMMO, M. 2014. «Endodontic and Clinical Considerations in the Management of Variable Anatomy in Mandibular Premolars: A Literature Review». *BioMed Research International*, **2014**, 512574.
- [73] VENKATESHBABU, N., AMINOSHARIAE, A., KULILD, J. 2021. «Artificial Intelligence in Endodontics: Current Applications and Future Directions». *Journal of Endodontics*, **47**, 1352-1357.
- [74] LAI, G., DUNLAP, C., GLUSKIN, A., NEHME, W. B., AZIM, A. A. 2023. «Artificial Intelligence in Endodontics». *Journal of the California Dental Association*, **51**, 2199933.
- [75] MÖLLER, Å. K. E. J. R., FABRICIUS, L., DAHLÉN, G., ÖHMAN, A. L. F. E., HEYDEN, G. U. Y. 1981. «Influence on periapical tissues of indigenous oral bacteria and necrotic pulp tissue in monkeys». *European Journal of Oral Sciences*, **89**, 475-484.
- [76] HUNG, K., MONTALVAO, C., TANAKA, R., KAWAI, T., BORNSTEIN, M. M. 2020. «The use and performance of artificial intelligence applications in dental and maxillofacial radiology: a systematic review». *Dentomaxillofacial Radiology*, **49**, 20190107.
- [77] ENDRES, M. G., HILLEN, F., SALLOUMIS, M., SEDAGHAT, A. R., NIEHUES, S. M., QUATELA, O., HANKEN, H., SMEETS, R., BECK-BROICHSITTER, B., RENDENBACH, C., LAKHANI, K., HEILAND, M., GAUDIN, R. A. 2020. «Development of a Deep Learning Algorithm for Periapical Disease Detection in Dental Radiographs», **10**, 430.

- [78] ORHAN, K., BAYRAKDAR, I. S., EZHOV, M., KRAVTSOV, A., ÖZYÜREK, T. 2020. «Evaluation of artificial intelligence for detecting periapical pathosis on cone-beam computed tomography scans». *International Endodontic Journal*, **53**, 680-689.
- [79] AGRAWAL, P., NIKHADE, P. 2022. «Artificial Intelligence in Dentistry: Past, Present, and Future Introduction And Background». *Cureus*, **14**, e27405.
- [80] HIRAIWA, T., ARIJI, Y., FUKUDA, M., KISE, Y., NAKATA, K., KATSUMATA, A., FUJITA, H., ARIJI, E. 2019. «A deep-learning artificial intelligence system for assessment of root morphology of the mandibular first molar on panoramic radiography». *Dentomaxillofacial Radiology*, **48**, 20180218.
- [81] SAGHIRI, M. A., GARCIA-GODOY, F., GUTMANN, J. L., LOTFI, M., ASGAR, K. 2012. «The Reliability of Artificial Neural Network in Locating Minor Apical Foramen: A Cadaver Study». *Journal of Endodontics*, **38**, 1130-1134.
- [82] QIAO, X., ZHANG, Z., CHEN, X. 2020. «Multifrequency Impedance Method Based on Neural Network for Root Canal Length Measurement». *Applied Sciences*, **10**, 7430.
- [83] SAGHIRI, M. A., ASGAR, K., BOUKANI, K. K., LOTFI, M., AGHILI, H., DELVARANI, A., KARAMIFAR, K., SAGHIRI, A. M., MEHRVARZ FAR, P., GARCIA-GODOY, F. 2012. «A new approach for locating the minor apical foramen using an artificial neural network». *International Endodontic Journal*, **45**, 257-265.
- [84] ABREU, L. G. 2018. «Orthodontics in Children and Impact of Malocclusion on Adolescents' Quality of Life». *Pediatric Clinics of North America*, **65**, 995-1006.
- [85] ATICI, S. F., ANSARI, R., ALLAREDDY, V., SUHAYM, O., CETIN, A. E., ELNAGAR, M. H. 2023. «AggregateNet: A deep learning model for automated classification of cervical vertebrae maturation stages». *Orthodontics & Craniofacial Research*, **26**, 111-117.
- [86] WANG, C.-W., HUANG, C.-T., HSIEH, M.-C., LI, C.-H., CHANG, S.-W., LI, W.-C., VANDAELE, R., MARÉE, R., JODOGNE, S., GEURTS, P., CHEN, C., ZHENG, G., CHU, C., MIRZAALIAN, H., HAMARNEH, G., VRTOVEC, T., IBRAGIMOV, B. 2015. «Evaluation and Comparison of Anatomical Landmark Detection Methods for Cephalometric X-Ray Images: A Grand Challenge». *IEEE Transactions on Medical Imaging*, **34**, 1890-1900.
- [87] BOTELHO, F., DAVIDOVITCH, M., SELLA-TUNIS, T., ABRAMOVICZ, L., REITER, S., MATALON, S., SHPACK, N. 2022. «Verification of Convolutional Neural Network Cephalometric Landmark Identification». *Applied Sciences*, **12**, 12784.
- [88] KÖK, H., MERVE ACILAR, A., İZGI, M. S. 2019. «Usage and comparison of artificial intelligence algorithms for determination of growth and development by cervical vertebrae stages in orthodontics». *Progress in Orthodontics*, **20**, 41.
- [89] PERILLO, L., D'APUZZO, F., KAZIMIERCZAK, W., JEDLIŃSKI, M., ISSA, J., KAZIMIERCZAK, N., JANISZEWSKA-OLSZOWSKA, J., DYSZKIEWICZ-KONWIŃSKA, M., RÓŻYŁO-KALINOWSKA, I., SERAFIN, Z., ORHAN, K. 2024. «Accuracy of Artificial Intelligence for Cervical Vertebral Maturation Assessment-A Systematic Review». *Clinical Medicine*, **13**, 4047.

- [90] EVANGELISTA, K., DE FREITAS SILVA, B. S., YAMAMOTO-SILVA, F. P., VALLADARES-NETO, J., SILVA, M. A. G., CEVIDANES, L. H. S., DE LUCA CANTO, G., MASSIGNAN, C. 2022. «Accuracy of artificial intelligence for tooth extraction decision-making in orthodontics: a systematic review and meta-analysis». *Clinical Oral Investigations*, **26**, 6893-6905.
- [91] SCHMIDT-WESTHAUSEN, A. M., BORNSTEIN, M. M. 2011. «Orale Medizin». *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, **54**, 1061-1065.
- [92] POEDJASTOETI, W., SUEBNUKARN, S. 2018. «Application of Convolutional Neural Network in the Diagnosis of Jaw Tumors». *Healthcare Informatics Research*, **24**, 236-241.
- [93] HALICEK, M., LU, G., LITTLE, J. V., WANG, X., PATEL, M., GRIFFITH, C. C., EL-DEIRY, M. W., CHEN, A. Y., FEI, B. 2017. «Deep convolutional neural networks for classifying head and neck cancer using hyperspectral imaging». *Journal of Biomedical Optics*, **22**, 60503.
- [94] FATIMA, A., SHAFI, I., AFZAL, H., DE, I., DíEZ, L. T., RIO-SOLÁ, D., LOURDES, M., BREÑOSA, J., CÉSAR, J., ESPINOSA, M., ASHRAF, I. 2022. «Advancements in Dentistry with Artificial Intelligence: Current Clinical Applications and Future Perspectives». *Healthcare (Basel)*, **10**, 2188.
- [95] WARIN, K., SUEBNUKARN, S. 2024. «Deep learning in oral cancer- a systematic review». *BMC Oral Health*, **24**, 212.
- [96] KHARCHE, A., MATHUR, A., MEHTA, V. 2024. «AI-powered oral cancer detection: A breakthrough in dental diagnostics». *Oral Oncology Reports*, **10**, 100293.
- [97] KIM, J.-S., KIM, B. G., HWANG, S. H. 2022. «Efficacy of Artificial Intelligence-Assisted Discrimination of Oral Cancerous Lesions from Normal Mucosa Based on the Oral Mucosal Image: A Systematic Review and Meta-Analysis». *Cancers (Basel)*, **14**, 3499.
- [98] AHMED, N., SHAKOOR ABBASI, M., ZUBERI, F., QAMAR, W., SYAHRIZAL BIN HALIM, M., MAQSOOD, A., KHURSHEED ALAM, M. 2021. «Artificial Intelligence Techniques: Analysis, Application, and Outcome in Dentistry-A Systematic Review». *Hindawi BioMed Research International* 1-15.
- [99] SURDILOVIC, D., ILLE, T., D'SOUZA, J. 2022. «Artificial Intelligence and Dental Practice Management ». *European Journal of Artificial Intelligence & Machine Learning*, **1**.
- [100] ANATERATE Imagen de Cyborg, Inteligencia artificial y Humanoide, <https://pixabay.com/es/photos/cyborg-inteligencia-artificial-8026949/> (eguneratze-data: 2025eko apirila).
- [101] O'NEIL, C. 2017. *Armas de Destrucción Matemática: Cómo El Big Data Aumenta La Desigualdad y Amenaza La Democracia*. Capitán Swing, Madrid.