



Euskadik askotariko aukera-esparruak ditu, hasi dagoeneko oinarria duten eremuak indartzetik (sentsoreak, industria-elektronika) eta abangoardiako eremuetara jauzi egiteraino (kuantika, fotonika, RISC-V). Esparru horiek guztiek izendatzaile komun bat dute: balio erantsi handia eta lehia masibo txikiagoko hobiak sortzea, zeinetan tamaina ertaineko eskualde batek (halakoa da Euskadi) erreferentea izateko helburua izan baitezake.

Aurkibidea

1.	La relevancia de la microelectrónica.....	2
2.	Las claves del contexto sectorial.....	2
3.	Los agentes de la microelectrónica en Euskadi.....	4
4.	La actividad investigadora y los grupos de investigación.....	5
5.	Un primer balance sobre la situación actual.....	6
6.	Retos del sector de microelectrónica en Euskadi.....	8
7.	Oportunidades estratégicas de microelectrónica en Euskadi.....	8

Laburpen exekutibo hau “Mikroelektronikaren sektorea Euskadin” txostenean (2024ko urria-2025eko maiatza) oinarritzen da; IKEI-Octantisek (Tecnalia) egin du txostena, eta BMH-Gaiak sustatu du.

1. Mikroelektronikaren garrantzia

Mikroelektronika funtsezko sektore bat da, bere presentzia zeharkakoarekin eta garapen teknologikoaren funtzio bideratzaile gisa duen funtzioarekin bat etorritik; hala, berrikuntza eta produktibitatea bultzatzen ditu automobilgintzan, energiaren sektorean, defentsan, sektore aeroespazialean, osasungintzan, telekomunikazioetan eta beste jardueren batzuetan. Ezinbesteko papera du digitalizazio aurreratuan, trantsizio energetikoan eta automatizazio industrialean.

Euskadirentzat (oinarri industrial eta teknologiko sendoak dituelako aintzatetsia) mikroelektronika lehentasuneko arloa da bertako ekonomia sendotzeko, balio erantsia eta enplegu gaitua sortuz eta enpresa-lehiakortasuna nazioartean hobetuz. Sektore horren aldeko apustuaren bidez, bilatzen da, Euskadiko enpresa- eta industria-ehunaren posizio teknologikoa sendotzeaz gainera, bertako garapen jasangarriari eta gizarte-ongizateari modu esanguratsuan lagunduko dion ekosistema berritzaile eta erakargarri bat bultzatzea.

Helburua da Euskadiko mikroelektronikaren sektorea ezagutzea eta gaur egungo eta etorkizuneko erronkak identifikatzea, mikroelektronikaren euskal industriaren garapen elektronikoa sustatuko duten proiektu, programa eta prestakuntzetan gauzatuko diren erabakiak hartzeko prozesuan laguntzeko.

2. Sektoreko testuinguruaren gakoak

Eskura dauden datuetan eta nazioartean, estatuan eta toki mailan landutako estrategietan oinarritzen da sektorearen aintzatespena, zeinean nabarmentzen baita mikroelektronikak industriaren eta zerbitzuen alorreko jardueren duen presentzia, aurrerapen teknologikoak sustatua. Paradoxikoki, alderdi kuantitatibotik, industria-jarduera erlatiboki txikiko sektorea da, eta haren inguruko trakzio-industriaren garrantziarekin bat egiten du haren pisuak.

Funtsezko papera garapen ekonomiko-teknologikoan. 2001 eta 2023 bitartean, mikroelektronikaren merkatua urteko % 6,2 hazi da, eta tamaina seikoiztu egingo du (2030ean), adimen artifiziala (AA), Gauzen Internet (IoT), 5G konektagarritasuna eta beste teknologia aurreratu batzuk aplikatzeari esker. Laburbilduz, erdieroaleak eta oro har mikroelektronikako soluzioak beste produktu batzuetan integratzen dira, eta horrek balio-kate oso zabala bat eratzen du, zeinean nabarmentzen baitira elektronikaren, automobilgintzaren, makineriaren eta energiaren sektoreak, besteak beste.

Europako industriaren zaugarritasuna eta mendekotasuna Pandemiaren osteko urteetan izandako txiparen krisialdiak agerian utzi zituen Europako industriaren eta, beraz, Espainiako eta Euskadiko industriaren zati garrantzitsu baten mendekotasuna eta zaugarritasuna. Horrek guztiak apustuak eta baliabide publikoak ekarri zituen Europan, bai eta ekonomia aurreratu guztietan ere, teknologia eta merkatua zuzentzen duten eta inbertsio- eta berrikuntza-planei esker posizio indartuagoa izango duten eragile handiek baldintzatutako mundu mailako testuinguruan.

Europan, industria-jarduera elektronikoaren pisu erlatiboa baxua da. Produktu elektroniko, informatiko eta optikoen fabrikazio-jardueraren parte da mikroelektronika, eta haren dimentsio ekonomikoaren hurbilketa egiteko balio du.

- Europako hamar herrialdek hartzen dute sektoreko ekoizpenaren % 84, eta Espainiaren posizioa oso apala da (% 2,0); Alemania da aitzindaria jarduera honetan (% 45,7).
- Elektronikak ematen du EB-27ko industria-ekoizpenaren % 3,1, baina ehuneko hori gainditzen dute Alemanian (% 4,2) eta, batez ere, Finlandian eta Hungarian, % 10etik gorakoa baita bi herrialdeetan. Espainiako ekoizpen-industriaren egitura, % 1 baino ez da.
- Europako ekoizpen elektronikoan aitzindari diren herrialde horietako bakoitzaren parte-

hartzea aztertu da, jarduera elektronikoa edo mikroelektronika eskatzen duten sektoreak edo trakzio-sektoreak erreferentzia gisa hartuta. Alemaniak trakzio-merkatu gisa duen garrantzia indartu da, pisu erlatibo altuagoko ingurune elektronikoa baitu. Espainiak ekarpen txikiagoa du, dimentsioaren mende dauden jardueretan izan ezik (adibidez, energia eta ura).

Mikroelektronikaren balio-katea ezagutzea EB-27ren testuinguruan. Txiparen Europako inkestatik eratorritako informazioak mikroelektronikaren balio-katearekin zerikusia duten elementu garrantzitsu batzuk azpimarratzen ditu.

- Nolabaiteko dimentsioa duten enpresen pisuak ekoizpen-industriaren egitura apurtzen du, kasu honetan, erdiak baino gehiago (% 54,7) enpresa handiak baitira.
- Eragileen tipologiak erakusten duenez, ez dago fabrikatzaile hutsik, baina eragile-mota ugari eskaintza- eta eskaera-posizioak barne hartzen dituzte, eta haien produktuak txertatzen dira elektronikaren sektorean eta trakzio-sektore handietan. Hala, elektronika, garraioa, automobilgintza eta azpiegitura digitalak dira mikroelektronikaren jardueraren balio-katean dauden eta eskariaren lehen lerroa osatzen duten sektore handiak. Kolaboratzaile estrategikoak dira berrikuntzan eta teknologian.
- Iritzi partekatua: eskari geroz eta handiagoaren eta dibertsifikatuaren espektatiba (hobia).

Industria-jarduera elektronikoak pisu marjinala du Espainiako ekoizpen-industriaren egituran. 2023an, Espainiak 2.243 milioi euro fakturatu zituen produktu informatiko, elektroniko eta optikoen fabrikazioan; kopuru horren % 61 zirkuitu elektroniko inprimatuei eta txartel adimendunei dagokie. Gainera,

- jarduera elektroniko-informatikoak industriako totalaren % 1 ematen du. Bost erkidegok hartzen dute produktu elektroniko-informatikoen fabrikazioaren % 87. Katalunia dago sailkapen horretako lehen postuan (% 33) eta Euskadi hirugarrena da (% 12,6); hala, produktu elektroniko informatiko eta optikoen alorrean duen industria-espezializazioa berretsi du (industriako totalaren % 9,3).
- Produktu elektroniko informatiko eta optikoak fabrikatzen dituzten 2.080 enpresak osatutako enpresa-ehuna (31.620 lanpostu). Ekoizpen-egitura horren bi heren 261 eta 265 jardueri dagozkie (osagai eta zirkuituen fabrikazioa eta neurketak egiteko tresnak eta aparatuak, hurrenez hurren): enpresen eta enpleguaren % 60,2 eta % 67,4. Katalunia da aitzindaria sektorean (enpresak, enplegua eta produktibitatea kontuan hartuta), baina Euskadi bigarren postuan dago, batez besteko tamaina handiena (21,4 enplegu) eta bigarren produktibitate handiena dituela.

Espainiako mikroelektronikaren sektorearen mapaketa. Adimen artifizialak (AA), Gauzen Internetek (IoT) eta 5G konektagarritasunak bultzatutako eraldaketa-prozesu betean, informazio estatistikoak ez du jasotzen mikroelektronikak industriaren eta zerbitzuen jardueran duen eraginaren desagregazio eta xehetasun nahikorik. Espainiako sektoreko eragileen mapaketak alderdi hauek erakusten ditu:

- Beren burua mikroelektronika-ekosistemako kideztat duten 170 eragile detektatu dira, eta diseinuaren jarduera berresten du horrek; baina ez dago *foundry*rik ez eta IDM industrialik erdieroaleen alorrean. Paper bikoitza duten eragileak (eskaintza-eskaria) nabarmentzen dira diseinuan; gainera, gero eta gehiago gertatzen da.
- Europako eredia errepikatu da: enpresa handiak nagusitzen dira (% 62), bai eta ikerketa-eremua ere (unibertsitatea eta zentro teknologikoak); halaber, pisu handia dute jarduera-sektoreek edo eskatzaile handien (automobilgintza, azpiegitura digitalak, energia eta ura eta 4.0 industria) lehen lerroak ere.

Industria-jarduera elektronikoa Euskadin Euskadik 141 enpresa eta 3.733 enplegu ditu produktu elektroniko informatiko eta optikoen fabrikazioan, eta Euskadiko industria-jardueraren % 1 osatzen du. Gainera,

- enpresa-ehunaren % 8 dira, trakzio-sektore handiekin batera kontuan hartuz gero (makineria elektriko, kimika, automobilgintzako makineria eta ekipamendua, garraioko bestelako materialak, mediku-hornidura, energia eta ura).
- Ekoizpen elektronikoaren ia erdia beste ekoizpen-jarduera batera bideratzen da (% 45); ia % 3ko hazkunde metatua izan du 2019 eta 2023 bitartean. Euskadiko industria-jardueran barne hartutako produktu elektronikoaren ia bi heren estatutik datoz eta, gaur egun, gero eta pisu handiagoarekin, atzeritik.
- Euskadiko jarduera elektronikoari lotutako inportazioak eta esportazioak goranzko joera dute: erabakigarria da (bolumena) neurketa, egiaztapen eta kontrolerako tresna eta aparatuen taldea (% 36 eta % 54, hurrenez hurren) eta garrantzi txikiagoa dute osagai elektroniko eta zirkuitu inprimatuek eta mihiztadurek (% 21 eta % 15). Saldo garbia negatiboa da.

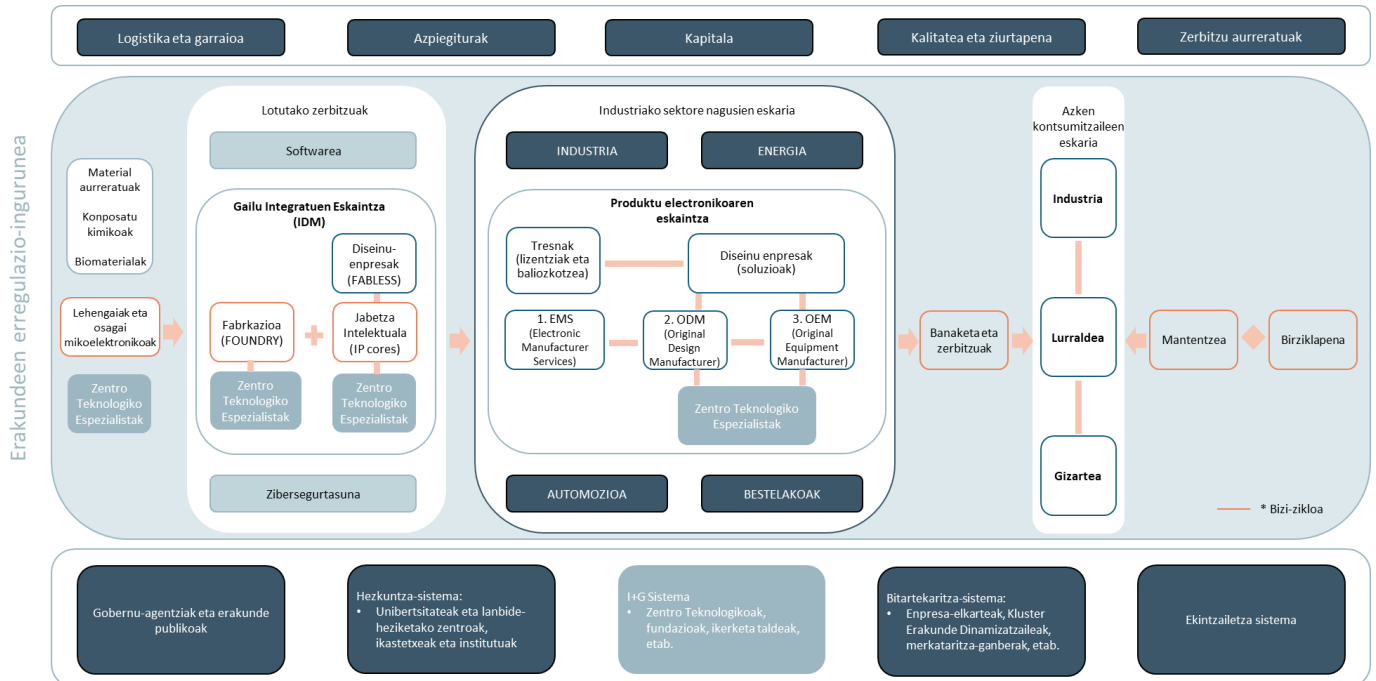
Euskadiko mikroelektronikaren sektorearen lehen hurbilketa. Mikroelektronikak hartutako garrantziak Basque Micro Electronic Hub (BMH) ekimena sustatu du: GAIak bultzatu du, Eusko Jaurlaritzaren eta SPRIren laguntzarekin, mikroelektronikaren industria sendotzeko Euskadin. Haren helburua da sektoreko enpresa-eragileak (barne direla eskaintza eta eskaria), ikerketa eta garapen teknologikoko erakundeak eta administrazio publikoa elkartzeko gune bat sortzea.

Alderdi hauetan zentratzen dira lan-ildoak: ikerketa eta garapen teknologikoa, industriarako eta tokiko sektoreetarako integratutako soluzioak, sektore-azpiegiturak eta aliantzak bultzatzea eta prestakuntza-ekintza espezifikoak sustatzea. 22 proiektu sustatu dira, zeinek 116 milioi euro mobilizatu baitituzte guztira.

3. Mikroelektronikaren eragileak Euskadin.

Euskadin, mikroelektronikaren balio-katean barne hartzen dira, besteak beste, ikerketa eta garapena, osagai eta sistema elektronikoen fabrikazioa eta merkaturatzea, eta azken eskaria osatzen duten eragile guztietara zabaltzen da; trantsizio digitalaren eta ingurumen-trantsizioaren eragin handia dute eragile horiek.

Euskadiko mikroelektronikaren balio-katea



Iturria: BMH

BMHk identifikazio-lan batzuk egin zituen lehenbizi; gero, oniritzia eman zitzairen eta osatu egin ziren. Horren guztiaren emaitza gisa, Euskadiko mikroelektronikaren ekosistema mugatu da; hauek osatzen dute: 240 eragile, enpresen % 90, ikerketa-zentroen eta/edo zentro teknologikoen % 6 eta gainerako % 1 sektore-elkarteak, unibertsitateak eta administrazio publikoko bestelako erakundeak dira. Zehazki, hauek dira mapeatutako enpresen ezaugarriak:

Jardueraren ikuspegia (nagusia). Enpresen erdiak (% 55,6) “informatika-ekipamenduen eta produktu elektroniko eta optikoen fabrikatzaileak” eta “material eta ekipamendu elektrikoaren fabrikatzaileak” dira; 66 enpresa eta 54 enpresa, hurrenez hurren. Laurden bat (% 24,1) “arkitektura eta ingeniariatzako zerbitzu teknikoak; saiakuntza eta azterketa teknikoak” eta “programazioa, aholkularitza eta informatikari lotutako jarduerak” dira; 25 enpresa eta 17 enpresa, hurrenez hurren. Eta, hirugarren blokean (% 20,4), mikroelektronika beren produktu/zerbitzuetan erabiltzen duten enpresak ditugu: automobilgintzakoak, makina-erremintaren esparrukoak, energiaren alorrekoak eta balio-kate konplexu horietan integratzen diren bitarteko produktuen fabrikatzaileak.

Zehazki, osagai elektronikoaren fabrikazioko azpitaldeetako enpresen kolektiboa (erdieroaleak, mikrotxipak eta beste osagai elektroniko batzuk) eta zirkuitu inprimatu mihizatuen fabrikazioa (plaka nagusien eta zirkuitu integratuen ekoizpena, testatzea eta saiakuntza, etab.); 22 enpresa dira.

Nolakoak dira mapeatutako enpresak? Printzipioz, enplegu-egitura zabaldua dute, eta neurri batetik gorako segmentua nagusitzen da. Mapeatutako enpresen batez besteko enplegu-maila 80 langilekoa da; zenbateko hori nabarmen handiagoa da euskal industria-ehunaren batez bestekoa (27 langile) baino. Gainera, 2023an, 7.153 milioi euroko fakturazio totala erregistratu zuten egiten dituzten jardura guztietan, eta ez mikroelektronikari lotutakoetan bakarrik. Halaber, 50 enplegatutik gorako enpresek eragin zuten mapeatutako enpresen fakturazio totalaren % 90.

4. Ikerketa-jardura eta ikerketa-taldeak.

Argitalpenak: Euskadiko ekosistema erreferentea da mikroelektronikaren inguruko ikerketa aurreratuan, zenbait alorretako argitalpen zientifikoak zuzentzen dituzten erakunde akademiko, zentro teknologiko eta enpresak baititu; hona zein diren horietako alor batzuk: teknologia optikoak eta sensorizazio aurreratua, material aurreratuak eta grafenoa, berrikuntza gailu elektronikoetan eta sensorika kuantikoan, txip kuantikoen ikerketa, telekomunikazio aurreratuak eta sare elektriko adimendunak eta mugikortasun jasagarria. Mikroelektronikaren esparruko 91 argitalpen zientifiko detektatu dira, Euskadik duen ezagutza-oinarri sendoaren eta talentu ikertzailearen erakusgarri.

Patenteak: Blokeka banatzen dira, joera teknologikoen arabera; gai hauek nagusitzen dira: komunikazio kuantikoak, sensorika, konputazio kuantikoa eta sektore nagusietara (automobilgintza, telekomunikazioak, energia berriztagarriak, biomedikuntza eta sektore aeroespaziala) bideratutako material eta aplikazio dibertsifikatuen garapena.

Proiektuak: Azken lau urteetan, euskal ekosistemako eragileek 117 proiektutan parte hartu dute (Europako 62, estatuko 31 eta autonomia-erkidegoko 24). Europako finantziak 392 milioi € ingurukoa da; estatukoa, 30 milioi € ingurukoa; eta, autonomia-erkidegokoa, 7,5 milioi €-koa, gutxi gorabehera. Europako, estatuko eta autonomia-erkidegoko partzuergoen bidez lantzen ari diren proiektuak zentratzen dira elektronika malgutan, erdieroaleetan, konputazio neuromorfikoan, material aurreratuak eta sensorika kuantikoan, eta aplikazio garrantzitsuak dituzte automobilgintzaren, osasungintzaren, robotikaren eta komunikazioen sektoreetan.

Kontsulta (inkesta) baten inguruan egituratutako prozesu partizipatiboa, elkarrizketa sakonak eta ikuspegi kualitatiboa ekarriko duen eta Euskadiko mikroelektronikarako arlo estrategikoak lehenetsiko dituen laneko lantegi bat. Ekosistemako eragileen parte-hartzeari esker, proiektuko atal hauek eraiki dira

5. Egungo egoerari buruzko lehen balantzea.

Parte hartu duten eragileek jasotako erantzunek osatzen dituzte Euskadiko mikroelektronikaren ekosistema bereizten duten alderdi nagusiak. Hona hemen:

Lanerako zumitzak. Euskadiko mikroelektronikaren ekosistema sendotze-fasean dago, elektronika orokorrean partzialki integratutako enpresa-alderdiaren eta ikerketa-eremutik (unibertsitateetako eta zentro teknologikoetako *startup*ak) datozen garapenen artean. Sektorean duen identitatea eraiki behar da; adibidez, erakundeentzat ikusgaiagoa eginez eta industrian eta I+D+G, besteak beste, mikroelektronikaren erreferentzia esplizituak bultzatuz lehentasun estrategikoen artean.

Dibertsitatetik. Mikroelektronikari lotutako eragileen talde askotarikoa, atomizaturik eta txikia (hobiko jarduerak), zeinean enpresak nagusitzen baitira; zentro teknologikoek, unibertsitateek eta oinarri zientifiko eta teknologikoa ematen duten bestelako zentro batzuek osatzen dituzte enpresak. Gainera, enpresa gehienek adierazten dute osagai mikroelektronikoen erabiltzaileak edo eskatzaileak direla eta beren azken produktuetan integratzen dituztela; aldiz, nukleo txiki batek baino ez dihardu teknologia mikroelektronikoko eskaintzaile espezializatu gisa.

Azken helmugarekiko oso gertukoak. Tokiko jardueraren parte handi bat produktuarekiko gertuko geruza teknologikoetan eta sistemen integrazioan aritzen da (adibidez, software txertatua, konektagarritasuna eta modulu eta sentsoreen integrazioa), txipen diseinuan eta erdieroaleen fabrikazioan baino gehiago. Inkestako partaideen erdiak baino gehiagok adierazi zuten sistemen integrazioan eta software txertatua zentratzen zirela, eta erakunde gutxiak egiten dute lan txip-arkitekturen diseinuan, osagai elektroniko aurreratuak fabrikazioan eta antzekoetan.

Premia teknologikoak Erakunde gehienek erabiltzen dituzte txip logikoak, memoriak, FPGAk, erdieroale diskretuak eta sentsoreak beren garapenetan. Beraz, teknologia arrotzen mende daude beren produktuak sortzeko garaian. Oro har, mikroelektronika aplikatzera eta erabiltzera bideratzen da gehiago Euskadiko ekosistema, hura modu integralean ekoiztera baino, eta horrek erronkak planteatzen ditu haren haren garapen autonomoari dagokionez.

Eta, batez ere, mikroelektronikaren garrantzi estrategikoa nabarmentzen dute. Aitortutako mugak alde batera utzita, azpimarratu beharrekoa da eragileek gero eta interes handiagoa dutela mikroelektronikarekiko eta gero eta gehiago lerrokatzen direla harekin, eremu estrategiko gisa. Hala, hiru lurraldeetako enpresek, zentro teknologikoek, unibertsitateek eta administrazioak berak parte hartu duten inkestek, elkarriketek eta baterako lantegiak erakutsi dutenez, mikroelektronikak duen garrantziaren kontzientzia dute.

Interes hori ekosistema egituratuago bat bultzatzeko oinarri sendo bilakatzen da; lankidetzan arituz eta helburu komunak definituz, gaur egungo egoera hasiberria sektore heldu eta lehiakorragoa izatera iritsi ahal izango da.

6. Mikroelektronikaren sektorearen erronkak Euskadin.

Sektore-identitaterik eta lehentasun estrategikorik eza. Adierazi denez, mikroelektronika Euskadin ez da sektore independente gisa aitortzen. Identitate falta horren ondorioz, zailagoa da mikroelektronika agenda publikoaren eta finantziazio-agenden lehentasunetako bat izatea, sortzen ari diren beste eremu batzuekin gertatzen den ez bezala. Horren guztiaren ondorioz, helburu espezifikoak eta sektorerako baliabideak ez dira hain argiak, eta sektorearen garapena moteldu dezake horrek.

Talentu espezializatu urria. Mikroelektronikako eta elektronika aurreratuko profesionalen defizita dago, eta zailtasunak daude talentua erakartzeko eta eskualdean atxikitzeko. Elkarrizketetan jaso denez, gero eta ikasle gutxiagok hautatzen dituzte diziplina horiek, eta ikasketa horiek egiten dituzten askok Euskaditik kanpo egiten dute lan-ibilbidea. Gainera, mikroelektronikan espezializazio-maila handia duten enpleguen eskaintza mugatua da eskualdean, enpresa gutxiren ildo estrategikoak baitira esparru horretakoak, eta horrek are larriagoa bihurtzen du egoera. Sorgin-gurpil bat sortzen da, talentu-masa kritikoaren faltak sektorearen hazkundea mugatzen baitu, eta alderantziz.

Kanpoko hornitzaileekiko mendekotasuna eta hornidura-katearen zaurgarritasuna. Euskadiko industria (eta Europakoa, oro har) kanpoko hornitzaileen mende dago funtsezko osagaiak (txipak, sentsoareak, etab.) hornitzeari dagokionez, eta horrek etenaldi globaletan zaurgarria izatea eragiten dio, COVID-19aren pandemiari lotutako etenaldian ikusi zenez.

Euskadiko enpresek teknologia inportatuz asetzen dituzte gaur egun dituzten premiak, baina teknologia hori tokian bertan ekoizteko ahalmenik ezak eta hornidurarako ahalmenik ezak botila-lepoa eragin dezakete eskasia-egoeretan edo tentsio geopolitikoaren kasuan. Ondorioz, garrantzitsua da mendekotasun hori nola arindu ebaluatzen saiatzea, eta, batez ere, teknologia disruptiboagoei eta esperimentazio eta garapen-fasean daudenei dagokienez, industria-sektore garrantzitsuetan nolabaiteko nagusitasun teknologikoa lortzen lagunduko bailuke.

Ekosistemaren atomizazioa eta lankidetzaren efektiborik eza. Euskadiko mikroelektronika-sektoreko eragileek (enpresak, zentro teknologikoak eta unibertsitateak) ez dute batasunik: batzuetan bakartuta lan egiten dute, eta ez dituzte ongi ezagutzen elkarren jarduerak. Atomizazio horrek zaildu egiten du sinergiak sortzea, ezagutzen transferentzia eta proiektu kolaboratibo garrantzitsuak abiaraztea. Aliantza estrategikoak eta ekosistemaren gobernantza partekatua bultzatuko dituen kohesio handiagoko komunitate gisa aritzeko premia ikusten da, bataren eta bestearen ahalegin bereziekin bat egin dezaten helburu komunean, eskura dauden baliabideak aprobetxatuta.

Azpiegitura zientifikoa eta teknologikoa berezien falta. Mota horretako azpiegiturak lortzeko ekimenak egin dira iraganean (adibidez, CIC MicroGUNE), baina ez dira sendotu lehiakortasun-tresna gisa mikroelektronikaren sektorean. Gailu mikroelektronikoak ikertzeko, diseinatzeko eta fabrikatzeko behar diren azpiegituren kostu handia dela eta, hurbilketa berritzaileak eta ardaztuak behar dira, Euskadi bezalako lurralde txiki batek industria garrantzitsu bat bultzatzeko aukera izan dezan.

7. Mikroelektronikaren alorreko aukera estrategikoak Euskadin.

Kontsulta egin zaien eragileek nabarmendu dituzte hazteko aukera handiagoa eta eskualderako desberdintze-potentzial handiagoa duten esparru teknologikoak eta merkatu-eremuak.

Sentsore aurreratuak eta teknologia kuantikoak. Badirudi sentsore-belaunaldi berrien garapena dela aukera oparoenetariko bat. Barne hartzen dira ikusmeneko eta industria-sentsorikako aplikazio aurreratuertarako sentsoreak eta, bereziki, sentsorika kuantikokoak. Sentsore kuantikoek, epe luzeagorako apustua diren arren, parametroak (adibidez, eremu magnetikoak, tenperatura eta azelerazioa) inoiz ez bezalako sentsibilitatearekin eta zehaztasunarekin neurtzeko aukera eman lezakete eta, haiei esker, aplikazio erabat berriak sortu ahal izango lirateke.

Uste da Euskadi, inbertsio ardaztuekin, errazago posizionatuko litzatekeela arlo horretan, goi-eskalako txip jeneralisten ekoizpenean baino. Izan ere, balio erantsi handiko hobiak dira sentsores horiek, bat datozenak instrumentazioaren eta material aurreratuen alorreko tokiko-ahalmenekin.

Prozesadore espezializatuak eta AA txertatua. Txip eta prozesadore espezializatuak, bereziki, adimen artifizialeko (AA) aplikazioetara eta ertzeko konputaziora (*edge computing*) bideratuak, potentzial handiko arloak dira. Gailuetan (ibilgailu autonomoak, industria-makineria adimenduna, etab.) txertatutako AArako hardwarearen eskari gero eta handiagoak bidea zabaltzen dio zeregin horietarako txip espezifikokoak garatzeari.

Testuinguru horretan, RISC-V eta bestelako arkitektura ireki batzuk bide teknologiko egokia dira: estandar irekiak direnez, tokiko eragileek beren premietara egokitu eta diseinatu ditzakete mikrokontrolagailuak eta CPUak, nagusitasun teknologikora bideratutako finantziazio-iturriak ere erabiliz.

Euskadi zentra liteke AArak azeleragailuen diseinuan, helburu espezifiko mikrokontrolagailuetan eta beste hobi-soluzio batzuetan (adibidez, sektore aeroespaziala eta defentsa), industria-elektronikako eta software txertatuko ezagutza kapitalizatuta. AA txertatua epe labur/ertaineko aukera-gune bat izan daiteke, kontuan hartuta teknologia horien heldutasun geroz eta handiagoa eta sektore publikoaren eta sektore pribatuaren arteko lankidetzaren bidez urte gutxian emaitza hautemangarriak lortzeko aukera.

Fotonika integratua eta komunikazio optikoak. Halaber, hobi-eremu gisa nabarmentzen da fotonika; bereziki, fotonika txertatua. Aukera-gune garrantzitsua da, arlo horretako esperientzia (oraingoz) mugatua den arren. Fotonika eta mikroelektronika bateratzea (adibidez, osagai fotonikoak abiadura handiko komunikazio optikoetarako txipetan, sentsores fotonikoetan, LIDARetan, etab. txertatuz) hobi interesgarria izango litzateke Euskadirentzat.

Testuinguru horretan, Euskadik fabrikazio aurreratuan, materialetan eta telekomunikazioetan dituen ahalmenak zirkuitu fotoniko txertatuak eta osagai optoelektrikoak garatzeko erabil litezke; gainera, teknologia hori bultzatzen duten Europako ekimenen babesarekin. Europako zenbait eskualde hasiak dira fotonika txertatuaren alorrean gailentzen, eta Euskadik aukera du oraindik joera horrekin bat egiteko, tokiko *expertisea* eraikiz eta fotonika-sare europarrekin lankidetzan arituz.

Erdieroaleen *advanced packaginga* eta mihiztadura. Txipak diseinatzeaz harago, erdieroaleak kapsulatze, mihiztatzeko eta *packaging* aurreratuko fasea Euskadiren industria-indarguneekin bat datorren aukera gisa ikusi izan da. Txipak edo osagaiak modulu konplexuetan (adibidez, *chipletak*, paketekako-sistemak eta 3Dko kapsulatuak) interkonektatzeko eta paketatze teknologiak barne hartzen ditu *advanced packagingak*; bilakaera bizkorreko eremua da, espazio txikietan funtzionalitate handiagoa integratzeko premia dela eta.

Paketatzeko soluzio berritzaileak garatzeko posizio onean dago Euskadi, makina-erremintaren alorrean, fabrikazio aurreratuan eta nanoteknologian duen tradizioari esker. Balio-kateko maila horretan zentratuko balitz, balioa gehituko litzaioke erdieroaleen sektore globalari. Paketatze aurreratuko erreferente bilakatzeko aukera aitortzen da (AA txertatuaren aukerari lotzen zaio): tokiko manufaktura-gaitasunak aprobetxatuko lituzke eta hornidura-kateko hurrengo etapetarako bazkideen bila ari diren txip-fabrikatzaile handien lankidetzak erakartzeko aukera izango litzateke.

Aplikazio estrategikoak: defentsa/segurtasuna eta espazioa. Aplikazio-sektore batzuk Euskadiko mikroelektronika-sektorearen trakzio-motor gisa garatzen ari dira; bereziki, nagusitasun teknologikoaren garrantzia funtsezkoa den sektoreak.

- Defentsaren eta segurtasunaren sektorea: mikroelektronikako tokiko edo estatuko hornitzaileak izateko gero eta interes handiagoa du; gaur egungo testuinguru geopolitikoan autonomia teknologikoaren inguruko lehentasunek bultzatzen dute. Defentsa-

aplikazioetarako (komunikazio seguruak, sistema militarretarako elektronika, zaintzarako sentzore aurreratuak, etab.) erdieroaleak edo sistema txertatuak garatu ditzake Euskadik, aeronautikaren eta zibersegurtasunaren alorreko tokiko industriarekin sinergian.

- Sektore espaziala; bereziki, satellite txiki eta jaurtigailu pribatuen espazio berria (New Space): espezializazio-maila handiko eskari elektronikoa behar dute (erradiazioa jasaten duten txipak, nabigazio-sistemak, sateliteen arteko komunikazio optikoak, etab.) esploratu eta garatu beharreko hobi gisa, estatuko eta Europako ekimenekin lankidetzan.
- Kontsultetan, energiaren kudeaketa (potentzia eraginkorreko elektronika, sare adimendunak) eta kriptografia kuantikoa (txip berriak eta konputazio kuantikoa jasaten duen zibersegurtasunerako hardwarea) zaindu beharreko aukera gehigarri gisa aipatu ziren. Izan ere, Euskadin dagoeneko badaude potentzia-elektronikan eta segurtasun informatikoan lanean diharduten enpresak, eta eremu berri horietara ere zabaltzeko litezke.

Nabarmendu beharrekoa da Euskadiko mikroelektronikaren ekosistemako eragileekin egindako kontraste-lantegian lehentasunezko bi eremutan zentratu zela eztabaida: AA txertatua (epe laburreko/ertaineko aukera gisa) eta sentzorika kuantikoa (epe luzerako aukera gisa). Aukera estrategiko honetan, epe laburrean/ertainean lortzeko moduko helburuak (AArako hardwarea garatzea, dagoeneko horretarako gaitasuna eta berehalako eskaria dagoen tokietan) eta etorkizun disruptibo baterako prestakuntza (sentsorikako teknologia kuantikoak; gaur hasi behar da haiek garatzen, datorren hamarkadan emaitzak jaso ahal izateko) bateratu dira.