



D3.2ren laburpen-txostena – M36 mantentze-lan prediktiboak (PdM) – Hornidura-katearen kudeaketa (SCM) – Euskadiko txostena

WP3 – Behatokia - D3.2 - M36 – Laburpen-txostena



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.



Co-funded by
the European Union

Europar Batasunak finantzatua. Hala ere, hemen adierazitako ikuspegi eta iritziak egileenak dira eta ez dute zertan Europar Batasunaren edo Hezkuntza eta Kulturaren Europako Agentzia Exekutiboaren (EACEA) jarrera islatzen. Europar Batasunak eta EACEAk ez dute haiekiko erantzukizunik.



Lan honek Ikasleengan Zentratutako Fabrikazio Aurreratuaren Plataformako (LCAMP) bazkideen lizentzia dauka eta Creative Commons Aitortu- · EzKomertziala 4.0.

Ikasleengan Zentratutako Fabrikazio Aurreratuaren Plataformako (LCAMP) bazkideak:

Euskadiko LHren Ikerketa Aplikatuko Zentroa (TKNIKA), Miguel Altuna LHII, DHBW Heilbronn – Duale Hochschule, Baden-Württemberg, Curt Nicolin High School, Makina-erremintaren Fabrikatzaileen Espainiako Elkarte (AFM), Bizialdi Osoko Ikaskuntzarako Tokiko Agintarien Europako Elkarte (EARLALL), FORCAM eta CMQE: Association campus des métiers et des qualifications industrie du future, MV: Mecanic Vallée, KIC: Ezagutzaren berrikuntza-zentroa, MADE Competence Centre Industria 4.0; AFIL: Associazione Fabbrica Intelligente Lombardia, SIMUMATIK AB; Esloveniako Goi Mailako Lanbide Heziketako Zentroen Elkarte; TSCMB: Tehniški šolski center Maribor, KPDoNE: Hezkuntza Nazionaleko Kocaeli Zuzendaritza; GEBKİM OIZ eta CAMOSUN ikastetxeak.



Dokumentuaren laburpena

Dokumentu-mota:	Txosten publikoa
Izenburua	D3.2ren laburpen-txostena – M36 mantentze-lan prediktiboak (PdM) – Hornidura-katearen kudeaketa (SCM) – Euskadiko txostena
Egileak	Pascal Pichoutou, Jesus Rebolledo
Egilekideak	Vesna Novak, Eda Ipek, Camille Leonard, Ralf Steck, Richard Gale, Pablo Marino
Berrikuslea	Hervé Danton
Data	2025ko ekainak 3
Dokumentuaren egoera	0,93
Dokumentuaren maila	Konfidentziala, argitaratu arte
Dokumentuaren azalpena	Dokumentu honek teknologia berriek mantentze-lan prediktiboen arloan duen eragina azaltzen du, baita haiek erakundeen eta trebetasunen egokitzapenean duten eragina ere.
Entrega hau nola aipatu:	Pichoutou et al., 2025. WP3 – Behatokia - D3.2 - M36 - D3.2ren laburpen-txostena – M36 mantentze-lan prediktiboak (PdM) – Hornidura-katearen kudeaketa (SCM) – Euskadiko txostenak
Dokumentuaren maila	Publikoa

Bertsioaren kudeaketa

Bertsioa	Data	Ekintza
0,1	2025-05-30	Zirriborro gisako bertsioa, diseinua definituta dago
0,5	2025-05-30	Bazkideen ekarpenak dituen zirriborro gisako bertsioa
0,93	2025-06-03	Berrikusi beharreko behin betiko bertsioa
0,95		Zuzendaritza Batzordearen onarpena
1		EBren atarira kargatu beharreko bertsioa



GLOSARIOA ETA/EDO KRONIMOAK

AFDET - Heziketa Teknikoaren Garapenerako Frantziako Elkarte
AFM - Makina-erremintaren Fabrikatzaileen Espainiako Elkarte
AFNOR - Estandarizaziorako Frantziako Elkarte
AA - Adimen artifiziala
AR - Errealitate handitua
BC report - Euskadiko txostena
CAGR - Urteko hazkunde tasa konposatua
CAM - Ordenagailuz lagundutako fabrikazioa
CMMS - Mantentze-lanen kudeaketa sistema informatizatua
CNC - Ordenagailu bidezko kontrol numerikoa
CoVE - Lanbide Bikaintasuneko Zentroak
EaaS - Zerbitzu gisako ekipamendua.
EQF - Kualifikazioen Europako Esparrua
ESCO - Europako Trebetasunak, Konpetentziak, Kualifikazioak eta Lanbideak
FCS - Gaitasun mugatuko programazioa
GSCM - Hornidura-katearen kudeaketa berdea
HVET - Goi Mailako Lanbide Heziketa eta Prestakuntza
ICS - Gaitasun mugagabeko programazioa
IoT - Gauzen Interneta
IT - Informazioaren teknologia
IUT - Unibertsitateko Teknologia Institutua
LCAMP - Ikasleengan Zentratutako Fabrikazio Aurreratuaren Plataforma
LLM - Hizkuntza Eredu Handia
MaaS - Zerbitzu gisako mantentze-lanak
MOOC - Online ikastaro masibo irekia
MPS - Ekoizpen-programa nagusia
MRP - Materialen baliabideen antolaketa
MV - *Mecanic Vallée*
HNP - Hizkuntza naturalaren prozesaketa
PdM - Mantentze-lan prediktiboak
PdMaaS - Zerbitzu gisako mantentze-lan prediktiboak
PLC - Logika programagarriaren kontrolatzailea
ROI - Inbertsioen itzulera
SCM - Hornidura-katearen kudeaketa
SCOR - Hornidura-kateko eragiketen erreferentzia
S&OE - Salmenten eta eragiketen exekuzioa
S&OP - Salmenten eta eragiketen plangintza
SLMs - Zereginen berariazko hizkuntza-ereduak
ETE - Enpresa txiki eta ertainak
TKNIKA - Lanbide Heziketari Aplikatutako Ikerketa eta Berrikuntzako Euskal Autonomia Erkidegoko Zentroa.
TPM - Mantentze-lan produktibo osoa
VR - Errealitate birtuala
XR - Errealitate handitua



EDUKIEN TAULA

LABURPEN EXEKUTIBOA.....	6
1. SARRERA	8
1.1. Txostenaren helburua	8
1.2. Metodologiak	9
1.3. Testuinguruak eta merkatuaren dinamikak	10
2. GARAPEN BIDEAN DAUDEN TEKNOLOGIAK.....	12
3. TRANTSIZIO DIGITAL ETA BERDEAREN JOEREK ETE-ENGAN ERAGITEN DUTE	16
3.1. Behaketa-eremuko aldaketa teknologikoak.....	16
3.2. Trantsizio berdearekiko ekarpenak	22
3.3. Funtzionamenduan, antolaketan eta langileengan duen eragina.....	24
3.4. Hornidura-katearen kudeaketaren integrazioa eta heldutasuna	28
3.5. Etorkizuneko joerak eta gomendio estrategikoak	34
4. TRANTSIZIO DIGITALAREN ETA TRANTSIZIO BERDEAREN JOEREK LHKO	38
ZENTROETAN DUTEN ERAGINA	38
4.1. LHko zentroen erronkak eta abaguneak	38
4.2. Trebakuntzan duten eragina eta lantzen diren trebetasunak.....	41
4.3. LHko zentroen funtzio estrategikoa	48
4.4. Ondorioak eta gomendioak	49
5. ONDORIOAK ETA ETORKIZUNERA BEGIRAKOAK.....	50
5.1. Emaiza nagusien laburpena.....	51
5.2. Irakaspen estrategikoak.....	54
5.3. Gomendioak	55
5.4. Etorkizunera begirako ikuspegia	57
6. ERREFERENTZIAK.....	59
7. TAULEN INDIZEA.....	60
8. ERANSKINA.....	61
8.1. 1. eranskina - Trebetasunei lotutako beharrak	61



LABURPEN EXEKUTIBOA

Ikasleengan Zentraturako Fabrikazio Aurreratuaren Plataformaren (LCAMP) proiektua Bokazio-bikaintasunerako prestakuntza-zentroen ekimenaren baitan dago eta lankidetzaren, erresilientziaren eta berrikuntzaren bidez eskualdeko gaitasun-ekosistemak indartzea du helburu.

Laburpen-txosten honek Ikasleengan Zentraturako Fabrikazio Aurreratuaren Plataformaren (LCAMP) proiektuaren baitan egindako hiru ikerketa-ildo sakonen ondorio nagusiak eta xehetasun estrategikoak biltzen ditu. Honako hauek dira hiru ikerketa-ildoak: **Mantentze-lan prediktiboak (PdM)**, **Hornidura-katearen kudeaketa (SCM)** eta **Lanbide Heziketako eskaintza industriaren beharrekin lerrokatzea (Euskadi)**. Txostena Ikasleengan Zentraturako Fabrikazio Aurreratuaren Plataformaren (LCAMP) Behatokiak egin du, Frantziako *Mecanic Vallée* klusterraren eta Campus des Métiers et des Qualifications Industrie du Futur-en zuzendaritzapean. Txostenak Alemania, Italia, Eslovenia eta Euskadiko herrialdeen laguntza jasotzen du eta Kanadaren parte hartzea ere badu. Haren helburua ETEei

Txosten honek Europar Batasuneko eta haragoko fabrikazio aurreratuaren jasagarritasuna eta hazkundea hobetzeko bide-orri estrategikoaren osagai gako bat eskaintzen du. Hiru ikerketak **–mantentze-lan prediktiboaren eta mantentze-lanen domeinuari buruzkoa, hornidura-katearen kudeaketari buruzkoa irabazien plangintzari eta S&OP, MPS, MRP, FCS/ICS prozesuari lotuta (txosten honetan, SCM 4.0), eta Lanbide Heziketa industriaren beharrekin lerrokatzeari buruzkoa [Euskadi]–** xehetasunak laburtzen ditu, teknologia- eta antolaketa-aldaketek enpresa txiki eta ertainen eta haien sostengu diren LHko zentroen ekosistemak nola eraldatzen dituen ebaluatzeko.

Txostenak nabarmentzen du nola ari diren digitalizazioa eta trantsizio berdea industria-prozesuak eraldatzen eta horrek nola sortzen dituen aukerak, baina baita erronkak ere. Industriaren arloan, trantsizio digitala eta berdea oso bizkor ari dira garatzen eta enpresa handiak askotariko teknologiak integratzen ari dira (besteak beste, AA, biki digitalak eta analisi aurreratuak). ETE-ek, ordea, **prozesu iteratibo eta modularragoak** jarraitu behar dituzte, finantza- eta giza baliabide mugatuak dituztelako. Hori erronka handia da LHko zentroentzat, askotariko ikasle-taldeak lan-merkatu gero eta konplexuago baterako prestatu behar baitituzte. Dikotomia hau gorabehera, LHko zentroek baldintza ezin hobeak dituzte industriaren eskaera aldakorrei erantzuteko **lankidetzaren, berrikuntzaren eta integrazio sistematiko** handiagoaren bidez.

Laburpen honen ondorio nagusi batzuk:

- **Teknologia digitala txertatzea:** ETEak pixkanaka ari dira produktuen datuak kudeatzeko hodeiko sistemak eta hornidura-katearen AA bidezko kudeaketa-plataformak integratzen. Dena dela, enpresen jakintza falta, azpiegitura eskasak eta muga finantzarioak direla eta, teknologia hauek ez dira modu egonkorrean integratzen ari.
- **Trebetasun falta eta langileen prestutasuna:** **Gaitasun teknikoaren** behar handia dago, besteak beste, datuen analisiari, gauzen Internetari (IoT), adimen artifizialari (AA) eta zibersegurtasunari lotutakoak, baita **gaitasun transbertsal eta pertsonalena** (egokitze gaitasuna, lankidetzaren, pentsamendu sistematikoa, etab.) ere. LHko zentroek hutsune horiek bete behar dituzte trebakuntza malgu eta hibridoaren bidez. Halaber, sektoreko LHko zentroen arteko lankidetzaren eta Europako LHko zentroen ahalduntze autonomoa sustatu behar dituzte.
- **Funtzionamenduaren eta antolakuntzaren eraldaketa:** Trantsizio digitala eta berdea eragiketa industrialak eraldatzen ari dira, haietan malgutasuna, funtzioen arteko lankidetzaren eta datuetan oinarritutako erabakiak txertatuz. Halako aldaketek trebakuntza-metodoak eta langileen garapenari lotutako neurriak hartzea eskatzen dute.



- **Jasangarritasunaren arloko ekarpenak:** Mantentze-lan prediktiboetako (PdM) eta hornidura-katearen kudeaketako (SCM) teknologiek trantsizio berdea babesten dute energia efizientzia hobetuz, baliabideen hondakinak murriztuz eta ekonomia zirkularreko praktikak gaituz. Gainera, teknologia horiek sektorearen erresilientzia eta epe luzeko lehiakortasuna areagotzen dute.
- **Integrazioaren oztopoak:** Besteak beste, aldaketak inplementatzeak dakartzan kostu altuak, aldaketarekiko erresistentzia, datu-sistema zatikatuak eta zibersegurtasunari lotutako kezkak. Beharrezkoa da egoera bakoitzari egokitutako estrategiak eta laguntza-mekanismoak sortzea ETEak esperimentazio-fasetik mailakako inplementazio-fasera alda daitezen.
- **Gomendio estrategikoak:** Txostenak honako gomendio hauek egiten ditu: **industria-sektorea eta arlo akademikoa hobeto lerrokatzea, LHko zentroetan inbertsioak areagotzea eta digitalizazioarekin eta jasangarritasunarekin lotutako helburuak uztartzen dituzten ekimenak** sustatzea. Oinarrizko teknologiak LHko zentroen ikasketa-planetan txertatzea eta ETE-ekiko garapen kolaboratiboa ere funtsezkoak dira etorkizunerako prest egoteko.

Ekoizpen-sektore jasangarri, sendo eta moderno bat sortu ahal izateko, beharrezkoa da **teknologia digital eta berdeak industria-eragiketetan erraz txertatu** ahal izatea eta, aldi berean, hezkuntza-ohiturak ekonomiaren behar aldakorretara egokitzea. Txosten honetan, **langileen prestutasuna areagotzeko, jardunbide jasangarriak sustatzeko eta Europan eta munduan industria-ekosistema erresiliente bat eraikitze**ko neurri egingarriak azaltzen dira. Horretarako, industriaren behar emergenteak ikaslean zentratutako LHko estrategia berritzaileekin lerrokatzen ditu.



1. SARRERA

1.1. TXOSTENAREN HELBURUA

Txostenaren helburua da ekoizpen-sektore aurreratuko joera teknologikoak, trebetasunen eskakizunak eta enplegu-ibilbideak behatu eta aztertzeke egitura eta metodologia bat sortzen laguntzea, Europar Batasuneko Lanbide Heziketako zentroetako ikasleek etorkizun arrakastatsua izan dezaten laguntzeko.

Ikasleengan Zentraturako Fabrikazio Aurreratuaren Plataformaren (LCAMP) proiektuan burututako **hiru behaketa-eremuetako** aurkikuntzetan oinarritzen da: **Mantentze-lan prediktiboen eta mantentze-lanen arloak**(Pichoutou Pascal et al., 2025a), **Hornidura-katearen kudeaketa, irabaziei eta S&OP, MPS, MRP, FCS/ICS prozesuei lotuta (txosten honetan SCM 4.0 deitzen zaie)** (Pichoutou Pascal et al., 2025b) eta **Lanbide Heziketa industriaren beharrekin lerrokatzea (Euskadi)** (Pablo Marino, 2025) -). Hala, eremu horien laburpena egiten du, industria-ekosistemak eraldatzen ari diren teknologiaren, eragiketen eta langileen garapen nagusien ikuspegi bateratu bat eskaintzeko.

Txosten honek fabrikazio aurreratuaren bi eraldaketa-dinamikatan jartzen du arreta bereziki:

- **Eraldaketa digitalean**, AA, gauzen Interneta, datuen analisia eta automatizazioa ekoizpen- eta plangintza-prozesuetan barne hartuz eta
- **trantsizio berdean**, zeinak funtzionamendu-estrategietan jardunbide jasangarriak, baliabideen efizientzia eta klimarekiko kontziente den berrikuntza sustatzen baitituen.

Illo horretatik, **enpresa txiki eta ertainek (ETE)** behaketa-eremu horietako aldaketei nola erantzuten dieten aztertzen du txostenak. Haien **jardunbideak, erronkak eta prestutasun-mailak** aztertzen ditu eremuko behaketaren, galdetegien analisien eta **negozio-kasu errealeen** dokumentazioaren bidez. Ondorio horien helburua da bi hartzaile gakoentzako erreferentzia-puntu egingarriak eta xehetasun estrategikoak eskaintzea

- ETE-entzat: **garapen bidean dauden** eta behaketa-eremuetan (batez ere mantentze-lan prediktiboen eta hornidura-kateen kudeaketaren arloetan) aplikatzen diren teknologia, **kontzeptu eta tresnen ikuspegi orokor** bat eskaintzen du, negozio-prozesuen eraginkortasuna hobetu ahal izateko.
- LHko zentroentzat:
 - Lanbide Heziketako zentroen curriculum eta erakundearen estrategiak dagokion moduan egokitzeko **gomendio estrategikoak ematen ditu** eta
 - Trebakuntza-zentroen gaitasuna hobetzen duten **gidalerro eta inbertsioei** lotutako erabakien inguruko jarraibideak eskaintzen ditu, etengabe garatzen ari diren langileen beharrak aurreikusteko eta haiei erantzuteko.

Analisi honen oinarria **ikaslerengan zentraturako berrikuntzarekiko** konpromisoa da: LHko zentroak ikasleak lan-munduaren eskakizunetarako eta **etorkizuneko industria-ingurune erresiliente, jasangarri eta digitalki integratuetarako** prestatzeko beharrezkoak diren adimenaz eta tresnez hornitzea.



1.2. METODOLOGIAK

Laburpen-txosten honek Ikasleengan Zentraturako Fabrikazio Aurreratuaren Plataformaren (LCAMP) behatokiaren marko egituratua hartzen du oinarri metodologiko gisa, Observatory Process Cycle-n (D3.1) definitu gisa. Haren helburua fabrikazio aurreratuaren testuinguruan garatzen ari diren lan-eremuak identifikatu, aztertu eta baliozkotzea da. Aurten, mantentze-lan prediktiboak (PdM) eta hornidura-katearen kudeaketa (SCM) izendatu dira behaketa-eremu gisa. Alde batetik, hainbat sektoretan duten garrantzia teknologikoagatik eta, bestetik, Ikasleengan Zentraturako Fabrikazio Aurreratuaren Plataformaren (LCAMP) 7. lan-paketean (WP7) definitutako eraldaketa digital eta berdearekin oso lerrokatuta dagoelako.

Estrategia orokor honek fase eta metodo anitzeko diseinu bat jarraitzen du, zeinak industriaren analisi kuantitatiboa, LHko zentroen parte-hartze kualitatiboa eta eskualdeko ikerketa sakona uztartzeko aukera eman baituen:

Mantentze-lan prediktiboak (PdM) eta hornidura-katearen kudeaketari (SCM) buruzko txostenen metodologia

Ikerketako mantentze-lan prediktiboen (PdM) eta hornidura-katearen kudeaketaren (SCM) arloetan teknologian oinarritutako metodo bat erabili da. Honako alderdi hauek konbinatzen ditu:

- Hainbat herrialdetako adituen arteko eztabaidak Frantzia, Alemania, Suedia, Italia, Turkia eta Esloveniako bazkideekin, lehentasunak zehazteko;
- Argitalpen zientifikoan, industriari buruzko aurreikuspen-txostenen eta nazioarteko kasu azterketen literaturaren berrikuspen ulergarria;
- Datuen bilketa triangelatua, hauek barne:
 - ETEak eta LHko zentroak helburu dituzten inkestak, teknologia txertatzeari, heldutasunari, langileen arteko aldeei, trebakuntza-beharrei eta inbertsioen mugei buruzkoak;
 - Elkarriketa erdi-egituratuak negozioburuekin eta aditu teknikoekin;
- Biak adituek aztertu eta baliozkotu dituzte

Urrats horiek teknologiaren integrazioak funtzionamenduan, antolaketan eta langileengan nola eragiten duen sakonki ezagutzeko aukera eman dute eta Ikasleengan Zentraturako Fabrikazio Aurreratuaren Plataformako (LCAMP) bazkide guztien oniritzia jaso du, koherentzia metodologikoa gordetzen dela ziurtatzeko.

Euskadiko txostenaren metodologia (Negozio-aldaketa eta hezkuntza)

Aldi berean, Euskadiko txostenean (negozio-aldaketari buruzkoan) sektorean oinarritutako eta hezkuntzan ardaztutako metodologia bat erabili da, LHko zentroak industriako aldaketetara nola egokitzen ari diren ulertzeko. Haren barruan, honako hauek egin dira:

- Eskualde-azterketa sakona egin da Euskadin, fabrikazio aurreratuaren lanen bilakaerari buruzko Ikasleengan Zentraturako Fabrikazio Aurreratuaren Plataformaren (LCAMP) 2024ko analisisian oinarrituta;
- LHko 21 irakasle elkarriketatu dira, urtebeteko espezializazio-ikastaroetako irakasleetatik hasi eta trebakuntza- eta berrikuntza-proiektu dualen aholkularietara bitarte, egokitzen pedagogikoaren eta berrikuntza-jardunbideen jarraipena egiteko;
- 12 interes-talde industrialekin (ETEak eta teknologikoak startup-ak barne) jardun dugu, talentuari dagokionez dituzten beharrak eta hezkuntzari lotutako lankidetzaren ereduak arakatzeko;
- Makina-erremintaren Fabrikatzaileen Espainiako Elkartearen (AFM) egindako inkestaren emaitzak eta hautatutako lau lanbideen inguruan egindako bigarren mailako ikerketa erabili dugu;
- ESCOrekin eta Europako beste trebetasun-marko batzuekin lerrokatu gara, kualifikazioen eta gaitasunen analisia bat datozela ziurtatzeko.



Metodologia bikoitz honek Europa eta eskualde mailako datuak biltzen ditu eta, hari esker, trantsizio digital eta berdeak trebetasunen hornidura eta eskariari nola eragiten dion uler dezakegu modu argi eta bertikalki integratuan.

Metodologia osagarri horiek integratuta, txosten honek fabrikazio aurreratuaren dinamika aldakorren **ikuspuntuko estrategiko paneuropar** bat eta **praktikara bideratutako eta ongi funtsatutako ikuspegi** bat eskaintzen ditu. Hala, dokumentu garrantzitsua da bai gidalerroen egileentzat, baita trebakuntzako profesionalentzat ere.

1.3. TESTUINGURUAK

MERKATUAREN DINAMIKAK

ETA

Azken hamarkadan, Industria 4.0ko teknologien integrazio bizkorrak eraldatu egin ditu eragiketa industrialak. Aldaketa nabarmenenak txosten honetan behatutako arloetan gertatu dira; hau da, **mantentze-lanetan** eta **mantentze-lan prediktiboetan (PdM)**, **hornidura-katearen kudeaketan (SCM)**, **ordenagailu bidezko kontrol numerikoan (CNC)** eta **kalitate-kontrollean**. Aldaketa horiek ez dira soilik teknologikoak, baita antolakuntzakoak eta estrategikoak ere. Izan ere, negozio-ereduak, merkatuaren dinamikak eta langileen itxaropenak birdefinitzen ari dira Europako fabrikazio aurreratuaren ekosisteman.

Mantentze-lan prediktiboei (PdM) buruzko txostenaren arabera, nazioarteko mantentze-lan prediktiboen merkatuak (2024an 10,93 mila milioi USDko balioa zuen) 70 mila milioi USDko balioa gainditzea espero da 2032an eta 2033. urterako 100 mila milioi USD baino gehiagora heltzea. **AAren, Gauzen Internetaren (IoT), hodeiko informatikaren eta sentsoreetan oinarritutako analisiaren** inplementazioak paper garrantzitsua jokatu dute eraldaketa honen baitan. Izan ere, baldintzak denbora errealean monitorizatzea, mantentze-lanen estrategia proaktiboak ezartzea eta bizi-zikloaren kostuak optimizatzea ahalbidetu dute. Mantentze-lan prediktiboak osagai nagusi bihurtu dira hainbat sektoretan; hala nola, automozioan, sektore aeroespazialean eta fabrikazio industrialean eta bereziki bizkor inplementatu da Ipar Amerikan eta Europan. Asian eta Pazifikon, berriz, gorakada izaten ari da gaur egun.

Hala ere, **mantentze-lan prediktiboei (PdM) buruzko txostenak** hutsune garrantzitsuak ere azaleratu ditu. Enpresa handiak izaten dira teknologia prediktiboak inplementatzen lehenak eta, aitzitik, **ETE-ek azpiegitura-mugak** izaten dituzte haiek ezartzeko: inbertsio-gaitasun mugatua, prestutasun digital eskasa, jakintza tekniko falta... Horrek denak teknologia horiek inplementatzeko prozesua mantsotzen du. Mantentze-lan errektiboetatik prediktiboetarako aldaketak, gaitasun teknologikoz gain, antolaketa-eredu eta lan-funtzio berriak eskatzen ditu.

Era berean, **hornidura-katearen kudeaketari (SCM) buruzko txostenak** nabarmentzen du azkenaldian munduan izandako gertaerek (COVID-19ak, tentsio geopolitikoek eta klima-aldaketak) nazioarteko hornidura-katearen ahultasunak azaleratu dituztela. Horri erantzuteko, enpresak **hornidura-kate digitaletan (DNSak)**, tokiko hornidura-estrategietan, hainbat teknologiatan (**bloke-katea, AA, biki digitalak, etab.**) eta **plangintza-sistema aurreratu**etan ari dira inbertitzen enpresen ikusgaitasuna, moldagarritasuna eta erresilientzia areagotzeko. Hornidura-katearen kudeaketa (SCM) kostuen optimizazioaren funtzioetik **berrikuntzaren eta jasangarritasunaren oinarri estrategiko** batera ari da eraldatzen eta arreta berezia jartzen du **3. irismen-mailako emisioetan**, zirkularitatean eta arriskuen aurrerapenean.

Ahaleginak gorabehera, **Europako ETE-ek zailtasunak dituzte erritmoari eusteko**. Hornidura-katearen kudeaketari (SCM) buruzko txostenak hainbat oztopo iraunkor identifikatu ditu. Besteak beste:

- Zaharkitutako sistema zatikatuak eta interoperabilitate teknologiko mugatua;
- Muga finantzarioak eta tresna berrien sarrerako kostu altuak;



- Zibersegurtasunari lotutako kezkak eta datuen gobernantzaren erronkak;
- Antolaketa eta prozesuak eraldatzeko barneko kontrakotasuna.

Erronka horiek eragin zuzena dute langileen bilakaeran. Rolak datuetan geroz eta gehiago ardatzen ari direnez eta geroz eta diziplinartekoagoak direnez, trebetasun tradizionalak eta tresna digitalak, sistemen pentsamoldea eta denbora errealean erabakiak hartzeko gaitasuna konbinatzeko gaitasuna izatea eskatzen zaie langileei.

Euskadiko txostenean azaldu bezala, **eskualdeko kasu ikerketan** ateratako ondorioek Europako joera horiek islatzen eta indartzen dituzte. Euskadiko fabrikazio-ekosistema, zeinak ETEak eta berrikuntzara bideratutako enpresak konbinatzen dituen, antzeko egitura-aldaketak jasaten ari da. Euskadiko txostenaren arabera, **44.000 industria-kontratazio** berri espero dira 2024rako bakarrik. Horietako **% 70 baino gehiago ekoizpenaren, mantentze-lanen, kalitatearen eta ingeniariaren arloetako funtzioetan** daude ardaztuta. Makina-erremintaren Fabrikatzaileen Espainiako Elkartearen klusterrak adierazitakoaren arabera, datu-inguruneak eta sistema interkonektatuak erabiltzeko gaitasuna duten **ordenagailu bidezko kontrol numerikoko (CNC) langileen, mantentze-lanen teknikarien eta kalitatearen ikuskatzaileen** premia handia dago.

Euskadin egindako elkarriketetan, **trebakuntza-zentroek** trebetasun hibridoen eskaerari erantzuteko duten presioa azpimarratu dute. Enpresek adierazi dute funtzioak aldakorrago bihurtzen ari direla, eta horrek aurretik isolatuta zeuden funtzioak nahasten dituela eta profesionalei prozesuetara bizkor egokitzeko eskatzen diela. Horrek **zeharkako gaitasunen** (arazoak konpontzeko gaitasuna, lankidetzatza, moldakortasuna) eta **gaitasun tekniko digitalen** garrantzia nabarmentzen du.

Aldaketok ez dira gauza bereizia. Europako joera zabalago baten isla dira: **trantsizio digitalaren eta trantsizio berdearen** konbergentzia islatzen dute eta errendimendu-estandar, antolaketa-eredu eta langileen eskakizun berriak sustatzen dituzte. Euskadiko txostenak adierazi bezala, **LHko zentroek**, aldaketa horietara egokitzeaz gain, haiek aurreikusi behar dituzte curriculum berrituz, sektorearekin lankidetzan arituz eta ikasketa-ibilbide malguak ezarriz.

Ildo horretatik **Ikasleengan Zentraturako Fabrikazio Aurreratuaren Plataformaren (LCAMP) Behatokiak** paper estrategikoa betetzen du. Izan ere, askotariko eskualdetako xehetasunak bateratzen, seinale teknologikoak baliozkotzen eta LHko zentroen sistemak garapen bidean dauden merkatuaren dinamikekin lerrotzeko dituzte. Eskala handiko aurreikuspenak eta hainbat eskualdeetako (besteak beste, Euskadiko) oinarritzko datuak konbinatuz, txosten honek **fabrikazio aurreratuaren garapenaren nondik norakoak azaltzen ditu sakonki, baita hezkuntza eta trebakuntza eraldaketa horretara nola egokitu behar diren ere.**



2. GARAPEN BIDEAN DAUDEN TEKNOLOGIAK

Teknologia aurreratuak industria eraldatzen ari dira digitalki. Fabrikazio aurreratua berritxuratzen ari dira teknologia nagusien sorta baten bidez. Berrikuntza horiek, errendimendua hobetzeaz gain, eragiketak eta jasagarritasun-helburuak lerrotzekin dituzte. Mantentze-lan prediktiboei (PdM) eta hornidura-katearen kudeaketari (SCM) buruzko txostenetan eta Euskadiko txostenean oinarrituta, behaketa-eremuetako teknologia garrantzitsuei buruzko informazio orokorra biltzen du atal honek.

- **Gauzen Internetak (IoT):** Gauzen Internetak (IoT) funtzio oso garrantzitsua betetzen du hainbat arlotan. Aktibo digitalak sistema digitalekin lotzen ditu sentsoareak eta gailuak erabiliz eta, ondorioz, elementu garrantzitsua da hainbat eremutan datuak lortzeko. Gauzen Internetaren (IoT) balio erantsia da denbora errealeko datu-aleak kostu baxuan sortzeko gai dela. Hala ere, erronkak ere baditu: sentsoaren kalibrazioa, sarearen integrazioa, zibersegurtasunari lotutako arriskuak eta, iragazki edo analisi egokirik gabe, datuen gainkarga.
- **Hodeiko eta ertzeko informatika:** Teknologia horiek datuak banatutako inguruneetan biltegitzeko, prozesatzeko eta aztertzeko aukera ematen dute:
 - Hodeiko informatikak hainbat tresna aurreratu erabiltzeko aukera ematen die ETE-ei, besteak beste, analisi prediktiboen plataformak, denbora errealeko monitorizazio-panelak, plangintza-sistema kolaboratiboak eta datu-biltegien soluzio eskalagarriak, instalazioetan azpiegitura gehiegirik inplementatu beharrik gabe. Hodeiko plataformek datuak agregatzen, AA gaitasunak eskaintzen eta erabaki deszentralizatuak onartzen dituzten panelak ostatatzen dituzte.
 - Ertzeko informatikak datu-iturburutik gertu prozesatzeko aukera ematen du eta, horri esker, latentzia eta sarearekiko mendekotasuna murrizten da, zeina funtsezkoa baiten denbora errealeko erantzunen beharretarako. Halaber, tokiko eragiketak ahalbidetzen ditu biltegitan eta fabrikazio-lerroetan.

Hodeiko plataformek eskalagarritasuna eta interoperabilitatea eskaintzen dute eta, ertzeko informatikak, berriz, autonomia eta abiadura bermatzen dute. Zerbitzu horien eragozpen nagusiak datuen segurtasuna, sistemen integrazioa eta zerbitzuaren fidagarritasuna dira; bereziki, azpiegitura ahulen kasuan.

- **Biki digitalak:** biki digitalek prozesu edo sistema fisikoak kopiatzen dituzte ingurune birtualetan eta aktibo, sistema edo prozesu fisikoak birtualki adierazten dituzte. Sentsoaren datuak, erregistro historikoak eta AAn oinarritutako iragarpenak konbinatzen dituzte mundu errealeko portaera simulatzeko:
Biki digitalek balio erantsi nabarmena ematen dute eragiketa errealek eta birtualak konbinatzeari esker. Hala ere, badituzte mugak ere: ereduaren konplexutasuna, kalitate handiko datuen beharrak eta zaharkitutako sistemekiko integrazioa.
- **Adimen artifiziala (AA):** AA iragarpen-sistemen oinarri bihurtzen ari da gune handietan. Datuetatik ikasteko, eredu konplexuak identifikatzeko, iragarpenak egiteko eta erabakiak hartzen laguntzeko aukera ematen die sistemei. AAk aukera ematen du arauetan oinarritutako automatizazioetik ikasteko, egokitze eta erabakiak optimizatzeko aukera ematen duten sistemetara aldatzeko. AAk mantentze-zikloak optimizatzen, ekoizpena sinplifikatzen eta hornidura-katearen erantzuteko gaitasuna optimizatzen bultzatzen ditu sektoreak.



Adimen artifizialaren alor zabalak metodo eta arkitektura aurreratu sorta bat biltzen du. Ondorengo informazio orokorrean, honako kategoria gako hauek nabarmentzen dira: ikasketa automatikoa eta ikasketa sakona, sare neuronalak eta transformadoreak, AA sortzailea eta datuen gehikuntza, **HNP eta elkarriketazko AA**, AA azalgarria (XAI) eta ikasketa automatiko interpretagarria (IML), **optimizaziorako multzokatze-algoritmoak** eta optimizazio-algoritmoak. Horietako bakoitzak funtzio nabarmena betetzen du industria-testuinguruetan erabakiak modu prediktibo, moldakor eta gardenean hartzeko.

Ikasketa automatikoa (ML) eta ikasketa sakona (DL)

Ikasketa automatikoko ereduak (hala nola, erabaki-zuhaitzak, ausazko basoak eta euskarri bektoredun makinak) oso erabiliak dira hainbat eremutan. Ekipoen narriadura aurreikusten, osagaien hutsegiteak sailkatzen, eskaeren gorabeherak iragartzen eta inbentarioa eta antolaketa optimizatzen laguntzen dute.

- Erabaki-zuhaitzek arauetan oinarritutako erabaki interpretagarriak hartzen laguntzen dute.
- Ausazko basoak erabaki-zuhaitz multzoak dira eta iragarpenen zehaztasuna hobetzen dute hainbat zuhaitz gehituta.
- Euskarri bektoredun makinak sailkapenak egiteko zereginetan (adb., inbentarioa zatikatzeko) eta erregresio-ereduetan (adb., eskaera aurreikusteko) erabiltzen dira. Oso eraginkorrak dira dimentsio handiko datu-multzoetan.
- Balio erantsia: zehaztasun eta malgutasun handia dute ingurune egituratueta.
- Mugak: kalitate handiko datu-multzo handiak behar dira eta parametroak egokitzea eskatzen dute.

Sare neuronalak eta transformadoreak

Sare neuronalak (sare neuronal errepikariak eta epe labur eta luzeko sare neuronalak barne) bereziki egokiak dira denbora-serieak aurreikusteko eta plangintza prediktiborako. Horiek funtsezkoak dira ereduen ekoizpenaren eskaeretan, mantentze-zikloetan edo hornidura-joeretan.

- Transformadore-ereduak (adibidez, BERT edo GPT) testuetan oinarritutako azterketa konplexuak egiteko inplementatzen ari dira; hala nola, txostenak interpretatzeko edo kontratuak aztertze.
- Balio erantsia: mendekotasun sekuentzialak eta egiturarik gabeko datuak iragarpen-ahalmen handiarekin kudeatzen dituzte.
- Mugak: baliabide asko behar dituzte eta interpretatzen zailak dira berariazko tresnarik gabe.

Adimen artifizial sortzailea eta datuen gehikuntza

Hizkuntza-eredu handiek (LLM), hala nola, BERT eta GPTk, datu-multzo handiak prozesatzen dituzte eta antolakuntzarekin lotutako irregularitasunak detektatzen dituzte denbora errealean. Datuetan irismen handiko mendekotasunak kudeatzeko bereziki eraginkorrak dira. Besteak beste, honako hauek egiteko balio dute:

- Programazio dinamikoa egokitze
- Hutsegite-datu sintetikoak sortzeko eta, horri esker, sailkapen-datu historikoen gabeziari aurre egiteko. Datu-multzo historikoak falta arren, eredu sendoak onartzen ditu.
- AA ereduen trebakuntza hobetua egiteko, ohiz kanpokoak baina era berean garrantzitsuak diren gertaerak simulatuz.
- Hizkuntza naturala sortzeko (adibidez, mantentze-erregistroak laburtuz, lan-eskaerak sortuz edo teknikoentzako jarraibideak sortzeko).
- Balio erantsia: AAren sustatzen du, baita datu gutxiko egoeretan ere, eta orokortzea hobetzen du.
- Mugak: ereduen trebakuntzarako marko sendoak eta baliozkotze-mekanismoak eskatzen ditu.



HNP eta elkarrizketazko AA

Hizkuntza naturalaren prozesaketak AARI aukera ematen dio egituratu gabeko datuak (hala nola, mezu elektronikoak, txaten erregistroak edo teknikoen oharrak) aztertzeko:

- Txatbotek hornitzaileekiko komunikazioa sinplifikatzen dute.
- Izendatutako entitateen aitortpenak (NER) datu egituratuak ateratzen ditu testuetatik.
- Gaikako modelaketak (LDA) eta Sentimenduen analisiak arriskuak hautematen eta langileak kudeatzen laguntzen dute.
- Balio erantsia: jakintzaren erauzketa eta komunikazioa automatizatzen dituzte.
- Mugak: hizkuntzaren fidagarritasuneko eta datuen pribatasunaren inguruko kezkekiko sentikorrak dira.

AA azalgarria (XAI) eta ikasketa automatiko interpretagarria (IML)

Adimen artifizialaren (AA), Gauzen Internetaren (IoT) eta gizakia-makina interfazeen integrazioak hardware- eta software-sistemak konektatzen ditu negozio-prozesuen automatizazioa optimizatzen. Industriak Industria 5.0-rako trantsizioa egiten ari diren heinean, fokua makinetan oinarritutako eragiketetatik gizakian oinarritutako AARI aldatzen ari da, non AA bidezko teknologiek gizakiek hartutako erabakiak areagotzen baituten produktibitatea hobetzeko.

Hala ere, haiek modu eraginkorrean inplementatu ahal izateko, beharrezkoa da kalitate handiko datuak edukitzea, ereduak garatu eta mantentzeko langile trebeak izatea eta erabiltzaileek sistemaren emaitzetan konfiantza izatea. ETE askoren kasuan, aurrebaldintza horiek traba izaten jarraitzen dute. Bereziki, kanpoko laguntza-egiturarik edo integratzeko errazak diren soluzio modularrik ez badago.

Fidagarritasunarekin eta erabilgarritasunarekin lotutako kezkei heltzeko, estrategia berriak ari dira sortzen ulergarritasun- eta interpretagarritasun-soluzioen bidez AA gardenago eta erabilerrazago bihurtzeko:

- AA azalgarriak (SHAP, LIME, etab.) modu argian azaltzen du nola ateratzen dituzten ondorioak AARI sistemek, erabiltzailearen konfiantza areagotzeko. Horri esker, langileek AARI hartutako erabakien argudiaketa uler dezakete eta, hala, halako tresnekiko konfiantza areagotzen eta haien inplementazioa errazten da.
- Ikasketa automatiko interpretagarriak (IML) berez interpretagarriak diren ereduak erabiltzen ditu; besteak beste, erabaki-zuhaitzak, eredu gehigarri orokortuak (GAM) eta gehikuntza-makina azalgarriak (EBM). Ikasketa automatiko interpretagarriak (IML) erabiltzen diren erabaki-erduak gardenak eta interpretagarriak direla bermatzen du. Erabiltzaileei iragarpen eta gomendioen azpian dagoen logikaren jarraipena egitea ahalbidetuz, AA eragiketa-testuinguruetan modu arduratsu eta kontrolagarriagoan integratzen laguntzen du ikasketa automatiko interpretagarriak (IML)
- Balio erantsia: gardentasuna areagotzen du eta arauak gordetzea onartzen du.
- Mugak: ereduaren arkitektura espezifikoetara egokitzea eskatzen du.

Optimizaziorako algoritmoak taldekatzea

AARI taldekatze-teknikak erabiltzen ditu planifikazioa, sailkapena eta programazioa hobetzeko:

- K-Means, DBSCAN (dentsitatean oinarritutako clustering espaziala zaratan oinarritutako aplikazioetarako) eta nahasketa gaussiarren ereduak (GMM) oso erabiliak dira ikuskapen gabeko ikasketa-algoritmoetan, antzeko datu-puntuak taldekatzeko.
- Balio erantsia: sailkapena automatizatzen eta prozesuen eraginkortasuna hobetzen du.
- Mugak: muturreko balioekiko sentikorra da eta doitu egin behar da.

Optimizazio-algoritmoak

AA bidezko optimizazioa baliabideen esleipen-arazo konplexuak orekatzeko erabiltzen da:

- Algoritmo genetikoak (GA): Helburu anitzeko programazioa eta baliabideen oreka.
- Inurrien kolonia bidezko optimizazioa (ACO): bideratze eta sekuentziario dinamikoa.



- Partikula-multzo bidezko optimizazioa (PSO): Lan-kargaren orekatze moldakorra eta horniduraren planifikazioa.

Laburbilduz, metodo hauek oso garrantzitsuak dira ekoizpena planifikatzeko, hornidura lerrokatzeko eta gai logistikoetarako.

- Balio erantsia: denbora errealeko esleipen-arazo handiak konpontzen ditu.
- Mugak: eskaera informatiko altua eta parametroaren ezarpenekiko sentikorra.

- **Zibersegurtasuna:** zibersegurtasuna ez da kezka tekniko bat soilik; sistema digitalez fidatu ahal izateko oinarritzko osagaia da. AA, hodeia eta Gauzen Internetarekiko (IoT) mendekotasuna areagotzen ari denez, funtsezkoa da erresilientzia zibernetiko handia izatea; bereziki, beharrezko azpiegitura edo jakintza falta duten ETE-en kasuan. Aurrerakuntza horiek ahultasunak areagotzen dituzte eta kontrol industrialerako sistemak (ICS) eta eragiketa-teknologiak (OT) zibererasoak jasateko arrisku handiagoan jartzen ditu. Txosten honek hiru arrisku nagusi nabarmentzen ditu:
 - Hornitzaileen kontuzko datuak edo logistikari lotutakoak jomuga dituzten **etengabeko mehatxu aurreratuak (APT)**.
 - **Hornidura-katea pozoitzea**. Kasu horretan, asmo txarreko osagaiak sartzen dira goranzko prozesuetan.
 - **Datuen isilpekotasuna urratzea**, zeinak eragiketak etetea eta ospea galtzea baitakartzan.

Arrisku horiek arintzeko, ekimen batzuek (adibidez, DETECTA 2.0k) zibersegurtasun-neurriak integratzen dituzte mantentze-lan prediktiboetan, enpresa txiki eta ertainen erresilientzia hobetzen laguntzeko.

- **Bloke-katea:** ETEak bloke-kateak integratzen hasi berri diren arren, etorkizun handiko soluziotzat jotzen dira trazabilitatari, gardentasunari, sistema dezentralizatuak datuen integritateari eta kontratuen kudeaketari dagokienez. Halaber, zibersegurtasuna babesteko osagai estrategikoa dira, transakzioen erregistro aldagaitz eta dezentralizatuak eskaintzen baitituzte.

Bloke-kateen balio erantsia gardentasuna eta fidagarritasuna dira. Hala ere, haien integrazioak konplexua izaten jarraitzen du eta, oztopo tekniko eta ekonomikoak direla eta, ez dira oraindik ETE-en ingurune askotan inplementatu.



3. TRANTSIZIO DIGITAL ETA BERDEAREN JOEREK ETE- ENGAN ERAGITEN DUTE

3.1. BEHAKETA-EREMUKO ALDAKETA TEKNOLOGIKOAK

Aurretik azaldutako teknologia aurreratuetan oinarrituta, mantentze-lan prediktiboei (PdM) eta hornidura-katearen kudeaketari (SCM) buruzko txostenean eta Euskadiko txostenean aztertutako eremuetan izan ditzaketen erabilera espezifikoak helduko diegu.

Teknologia aurreratu sorta honek mantentze-lan prediktiboak (PdM) eta hornidura-katearen kudeaketa eta (SCM) eraldatzen ari dira. Bakoitzak irismen eta eragiketa-logika desberdina du, baina

Teknologia digital hauek ez dira tresnak bakarrik, baita jardunbide industrial berrien katalizatzaile ere, mantentze-lan prediktiboen (PdM) eta hornidura-katearen kudeaketaren (SCM) eremuetan teknologia aurreratu horiek integratzearen bidez. Nahiz eta eremuok negozio-helburu desberdinak eduki, geroz eta ohikoagoa da teknologiak eta berrikuntza-ereduak gainjartzea: Adimen artifizialarekiko (AA), Gauzen Internetarekiko (IoT), hodeiko informatikarekiko eta biki digitalekiko geroz eta mendekotasun handiagoa dute. Teknologia horiek, eragiketak automatizatzen laguntzaz gain, erabakiak hartzeko, baliabideak esleitzeko eta errendimendua optimizatzeko modua birdefinitzen ari dira.

Mantentze-lan prediktiboen teknologiak ekipoen hutsegiteak iragartzeko, makinen jardun-denbora hobetzeko eta planifikatu gabeko esku-hartzeak murrizteko erabiltzen dira nagusiki. Enpresek ekipak nola kontrolatzen, mantentzen eta hornitzen dituzten birdefinitzen dute. Gauzen Internetaren (IoT) sentsoerek baldintzen denbora errealeko jarraipena egiteko aukera ematen dute. AAk degradazioa eta hutsegiteen arriskua berehala detektatzeko aukera ematen du. Biki digitalek eragiketen portaera simulatzen dute eta hodeiko plataformek datuak eskalan biltzen eta analizatzen dituzte.

Hornidura-katearen kudeaketako (SCM) teknologiak, berriz, iragarpenak, plangintzak eta programazioak egiteko eta sarea kudeatzeko erabiltzen dira. Bistakoa da teknologia hauen erabilerak gorakada handia izan duela: AAren kasuan, eskaera iragartzeko eta arriskuen analisisa egiteko, Gauzen Internetaren (IoT) kasuan aktiboen eta bidalketen jarraipena egiteko eta hodeiko sistemen kasuan, berriz, hornitzaileen eta bezeroen arteko eragiketak sinkronizatzeko. Plangintzaren, exekuzioaren eta monitorizazioaren esparruetako behaketari lotutako hornidura-katearen kudeaketa-prozesuak birdefinitzen ari dira, ahalmen digitalei etekina atera eta bizkorragoak eta erresilienteagoak izan daitezen.

3.1.1. NARRATIBA TEKNOLOGIKOAK ETA IKUSPEGI ESTRATEGIKOA

Mantentze-lan prediktiboen (PdM) erabilera barne-errendimenduan, sistemaren fidagarritasunean eta kostuen optimizazioan ardazten da. Hornidura-katearen kudeaketak, berriz, sarean koordinazioa, malgutasuna eta jasagarritasuna ditu oinarri. Horrek narratiba desberdinak islatzen ditu:



- Mantentze-lan prediktiboak (PdM) jardun-denbora eta prozesuen bikaintasuna lehenesten dituzte eta planifikatu gabeko jardun-denborarik ez izatea eta mantentze-lanetan kostuen eraginkortasuna areagotzea dituzte helburu.
- Hornidura-katearen kudeaketak (SCM) bizkortasuna, muturretik muturrerako koordinazioa eta errendimendua nabarmentzen ditu, bereziki merkatu ezegonkorretan edo testuinguru erregulatzaileetan.

Bi arloak zerbitzuetan oinarritutako sistema autonomo eta azalgarriagoen alde egiten ari dira. Hala ere, ez dira aldaketak modu berean inplementatzen ari:

- Enpresa handiak AA integratuarekin eta biki digitalen plataformekin hasi dira.
- ETEak, berriz, soluzio modularrak, hodeian oinarritutako zerbitzuak eta lankidetz- inguruneak integratzen ari dira. Tresna horien inplementazio-prozesua luzeagoa den arren, potentzial handia ere badute.

3.1.2. MANTENTZE-LAN PREDIKTIBOEN TEKNOLOGIAK

Mantentze-lan prediktiboak bizkor ari dira eraldatzen denboran oinarritutako mantentze-lan erreaktiboaren metodo tradizionaletik datuetan eta baldintzetan oinarritutako eredueta. Jarraian azaltzen den bezala, aldaketa hori aurretik azaldutako teknologia digitalen inplementazioari esker egin da nagusiki.

Gauzen Interneta (IoT)

IoT gailuek makineriaren denbora errealeko datuak biltzen dituzte eta haien etengabeko jarraipena egiteko aukera ematen dute. Horretarako, hainbat parametro gako monitorizatzen dituzte; besteak beste, dardara, temperatura, presioa, energiaren erabilera eta lubrikazio-maila. Datuok eredu prediktiboetan sartzen dira gorabeherak detektatzeko eta mantentze-lanak modu proaktiboan programatzeko.

Datuk oso garrantzitsuak dira baldintzen jarraipena egiteko eta AA eredueta eta diagnostiko-plataformetan txertatzen dira zuzenean.

Gauzen Internetak (IoT) hutsegiteak aurreikustea ahalbidetzen du haiek ekoizpenari eragin aurretik. Halaber, urrunetik gainbegiratzeko aukera ematen du.

Hodeiko eta ertzeko informatika

Hodeiko plataformek datuen biltegitratze eskalagarria, analisiak eta mantentze-lanen panelak onartzen dituzte. Hala, ETE-ek mantentze-lan prediktiboak (PdM) integra ditzakete euren IT azpiegitura propioa eraikitze beharrik gabe. Mantentze-lan prediktiboak zerbitzu gisa (PdMaaS) inplementatzeko aukera ematen du.

Ertzeko informatikak ekipo-mailan prozesatzen ditu datuak. Horri esker, erabakiak denbora errealean hartzeko eta latentzia murrizteko aukera ematen du, zeina funtsezkoa baten abiadura handiko ekoizpen-inguruneetan.

Biki digitalak

Biki digitalek aktiboen portaera dinamika simulatzen dute eta egoera hipotetikoaren analisiak eta bizi-zikloen iragarpenak egiteko aukera ematen dute.

Mantentze-lan prediktiboaren software batekin erabilita, estres-faktoreei, energia-kontsumoari eta hutsegiteak gertatzeko esperotako denborari buruzko xehetasunak eskaintzen ditu.

Simulazio horiek esku-hartze prebentiboak optimizatzen eta ordeko piezen plangintza egiten laguntzen dute.



Adimen artifiziala (AA)

Mantentze-lanetan, ekipamenduen hutsegiteak iragartzen, gorabeherak detektatzen eta mantentze-neurri optimizatuak gomendatzen dituzten eredu prediktiboak sortzeko erabiltzen da AA.

Testuinguruaren arabera, AAKo metodo mota desberdinak inplementatzen dira:

- Ikasketa automatikoa (ML): Ikasketa automatikoko algoritmoak hutsegiteak iragartzeko, gorabeherak detektatzeko eta joerak analizatzeko erabiltzen dira mantentze-lan prediktiboetan. Datu historikoetatik ikasiz, sistema hobetu egiten da denboran zehar.
- Ikasketa sakona (DL): Ikasketa automatikoaren azpimultzo bat da eta mantentze-lan prediktiboetan erabiltzen da sentsoreen datuak prozesatzeko eta antzeman ezin diren patrioiak detektatzeko; adibidez, dardara, temperatura-aldaketak edo presio-irakurketa.
- Ikasketa automatikoko eredu handiak (LMM): Ereduok datu-multzo handiak integratzen dituzte, xehetasun eskalagarriak eskaintzeko. Mantentze-lan prediktiboetan, sentsore anitzeko datu konplexuak interpretatzen laguntzen dute ikasketa automatikoko eredu handiek.
- AA sortzailea / Hizkuntza-eredu handiak (LLM): Mantentze-lan prediktiboetan, hizkuntza-eredu handiek interfaze berri bat eskaintzen die teknikariei. Horretarako, hizkuntza naturalarekin interakzioan aritzeko aukera ematen du diagnostiko-tresnak edo mantentze-lanetarako jarraibideak erabiliz. Mantentze-lan historikoen erregistroak laburtu edo prozedura-kontsultak erantzun ditzakete.

Fidagarritasuna eta erabilgarritasuna:

- Adimen artifizial azalgarria (XAI): Mantentze-lan prediktiboetan, GradCAM, DIFFI eta ARCANA bezalako teknikak erabiltzen dira langileei AA ereduak osagaiak akatsdun bezala zergatik markatzen dituzten ulertzen laguntzeko. Metodo horiek nabarmentzen dute gorabehera aurre egiteko edo hutsegiteak iragartzeko zein aldagai (adb., dardara edo temperatura) izan diren lagungarrien. DIFFIk, adibidez, denbora-serieetan datuetan irregularitasunak detektatzea eragiten duten eginbideak sailkatzen ditu. ARKANAK, berriz, erroko arazoak identifikatzen ditu kodetzaile automatikoetan oinarritutako ereduak berreraikitze-erroreak analizatuz. Halako tresnek konfiantza areagotzen dute eta erabakiak modu informatuagoan hartzeko aukera ematen dute.
- Ikasketa automatiko interpretagarria (IML): Mantentze-lan prediktiboetan (Pdm), ikasketa automatiko interpretagarriak (IML) arauetan oinarritutako iragarpen argi eta logikoak eskaintzen dituzten ereduak erabiltzen ditu nagusiki; besteak beste, erabaki-zuhaitzak, LionForest-ak eta gehikuntza-makina azalgarriak (EBM). Adibidez, LionForest-ek gizakiek irakur ditzaketen BADA-ORDUAN arauak sortzen dituzte ausazko basoetatik okerreko sailkapenak azaltzeko. Gehikuntza-makina azalgarriek (EBM), berriz, sarrerako egibide bakoitzak irteerako mantentze-lanei nola laguntzen dien erakusten dute. Metodo horiek iragarpenen azpiko argudiaketaren jarraipena egiten laguntzen die langile eta ingeniariak eta AAren integrazio arduratsua sustatzen dute testuinguru industrialetan.

Bloke-katea:

Mantentze-lan prediktiboetan (PdM), bloke-katea oso gutxitan erabiltzen da, baina mantentze-lanen edo bermearekin edo jarraipena egiteko aukerarekin lotutako piezen ordeztuen erregistro segurua egiteko aukera ematen dute.

Zibersegurtasuna

Mantentze-lan prediktiboak (PdM) automatikoki sortutako datuen babesa eta eragiketen jarraikortasuna nabarmentzen dituzte.



Mantentze-lan prediktiboetan (PdM) azaldutako bi kasu azaltzen dute denboran oinarritutako eredu errektiboetatik datuetan oinarritutako sistema aurreratueterako bilakaera. AA, kalitatearen integrazioa eta automatizazio modularra mantentze-lan prediktiboen estrategietan eragiten ari diren aldaketak nabarmentzen ditu. Bi kasu ikerketa horiek punta-puntako ereduaren integrazioa eta haiek hainbat sektoretan izan ditzaketen abantaila praktikoak azaltzen dituzte.

- 1. kasua - Mantentze-lan prediktibo (PdM) hobetuak produktuaren kalitatearen integrazioa erabiliz
 - Erabilitako metodoak:
 - Ikasketa automatikoaren eta produktuaren kalitatearen integrazioa mantentze-lan prediktiboetan (PdM)
 - % 91eko zehaztasuna daukan hiru urratseko markoaren garapena.
 - Emaizak:
 - Hutsean nahasteko gailua izendatu zen produktuaren kalitateari gehien eragiten zion elementu nagusi gisa (hondakinen % 85)
 - Marko honek erakutsi du produktuaren kalitatearen aldaketetan oinarrituta mantentze-lanak iragartzeak diru asko aurrezten laguntzen eta errendimendua hobetzen duela.
 - Eragin finantzarioa:
 - Makinen atsedeen-denboraren kostua % 50 murrizten du.
 - Zatiekin lotutako kostuak % 64 murrizten ditu.
- 2. kasua - irregulartasunen detekzioa indukziozko motorretan denbora errealeko IoT datuak erabiliz
 - Erabilitako metodoak:
 - Ikerketak ikasketa automatikoko hiru algoritmo konparatzen ditu euren sentikortasunean, zehaztasunean eta inferentzia-denboran (baliozkotzeen eta probako datu-multzoen batez besteko errendimendua) oinarrituta.
 - Emaizak:
 - Ikerketak denbora errealeko mantentze-sistema merke bat garatu du, IoT sentsoareak eta ikasketa automatikoko algoritmoak erabiliz indukziozko motorretan irregulartasunak detektatzeko.

3.1.3. HORNIDURA-KATEN KUDEAKETAKO TEKNOLOGIAK

Hornidura-katearen kudeaketan, balio-katean abiadura, ikusgaitasuna eta erantzuteko gaitasuna areagotzea du helburu nagusi eraldaketa teknologikoak. Jarraian azaldu bezala, teknologiak behaketa-eremuan analizatutako maila guztietan inplementatzen dira, hornidura-katearen kudeaketaren (PdM) plangintza eta exekuzioaren arloen baitan.

Gauzen Interneta (IoT)

IoT sentsoreek exekuzio operatiboa onartzen dute, honako hauen bidez:

- Bidalketen eta edukiontzien denbora errealeko jarraipena,
- Biltegien baldintzen jarraipena (adb., tenperaturarekiko sentikorrak diren gaiak),
- Inbentarioaren zenbaketaren eta berriz hornitzeko abiarazleen automatizazioa.

Denbora errealeko ikusgaitasuna, alertak eta monitorizazioa ahalbidetzen ditu.

IoT oso teknologia lagungarria da eta tresna estandarra da jada enpresa handi askotan. Adibidez, emaitza pilotuen arabera, ekoizpen-inguruneetan IoT-n oinarritutako monitorizazioa erabiltzeak % 12-20 murriztu dezake alferrik botatzen den material kopurua.

Hodeiko informatika



Hodeiko plataformek plangintza-programak eta hornidura-katearen ikusgaitasun-tresnak integratzeko oinarria ematen dute:

- Hodeiko sistemek panelak, denbora errealeko KPlak eta plangintza-interfaze kolaboratiboak ostatatzen dituzte.
- Sailetan eta kanpoko bazkideekin (hornitzaileak, garraiolariak, bezeroak) datu-fluxuak sinkronizatzeko erabiltzen dira eta sarren artean datuak partekatzeko eta erabakiak modu deszentralizatuan hartzeko aukera ematen dute.

Ertzeko informatika-sistemek tokiko eragiketetan edo fabrikazio-lerroetan lagun dezakete.

Biki digitalak

Hornidura-katearen kudeaketaren (SCM) arloan hastapenean egon arren, hauek egiteko erabiltzen dira biki digitalak:

- Hornidura-katearen sareak eta ekoizpen-fluxuak simulatzeko,
- Ahalmen-aldaketak edo hornidura-eteteak ebaluatzeko,
- Jasangarritasun-neurrien eragina edo denbora-aldaketak bideratzeko.

Askotan, kontrol-dorrekin batera erabiltzen dira, hornidura-katearen kudeaketako eragiketen ikuspegi orokorra eskaintzeko.

Bloke-katea:

Hornidura-kateen kudeaketan (SCM), bloke-kateak merkantziaren mugimenduen jatorriaren jarraipena egiten, arau-gordetzea egiaztatzen eta kontratu adimendunen bidez transakzioak automatizatzen laguntzen du. Oso erabilgarria da industria araututan edo jasangarritasun-ziurtagiria duten hornidura-kateetan. Datuak modu seguru eta gardenean trukatzeko ahalbidetzen du, kontratua betetzen dela ziurtatzeko.

Zibersegurtasuna

Hornidura-katearen kudeaketari (SCM) buruzko inkestan, estrategia digitalen euskarri nagusia eta enpresen kezka nagusia dela identifikatu da. Enpresa ertainen % 100k eta enpresa txikien % 60k "erabakigarri" gisa daukate. Hornidura-katearen kudeaketaren arloan, hornitzaile-ingurune konplexuetako arrisku handiei lotzen zaie eta bloke-kateak etorkizun handiko soluziotzat jotzen dira.

Adimen artifiziala (AA)

AAk iragarpen adimendunak egiteko, arriskuak kudeatzeko eta plangintza sinkronizatzeko aukera ematen du:

- hornidura-katearen kudeaketaren (SCM) alorrean, iragarpenak egitea, inbentarioa optimizatzea, inbentario dinamikoa kontrolatzea eta plangintza eta programazioa antolatzea ahalbidetzen du. Hornidura-katearen kudeaketari (SCM) buruzko txostenaren arabera, 31 erabilera-kasutatik 9tan aipatu da AA. Logistikarekin lotutako kostuak % 15 murriztu ditu eta % 35 areagotu du inbentarioaren zehaztasuna. Hala ere, AAren integrazioa mugatua da hornidura-katearen kudeaketan (SCM), baina jakina da ahalmen estrategiko handia duela
Testuinguruaren arabera, AAKo metodo mota desberdinak inplementatzen dira:
 - Ikasketa automatikoa (ML): Hornidura-kateen kudeaketan (SCM), iragarpenak egiteko, arriskuak kudeatzeko eta plangintza moldakorrak egiteko erabiltzen da. Datu historikoetatik ikasiz, sistema hobetu egiten da denboran zehar.
 - Ikasketa sakona (DL): Ikasketa automatikoaren azpimultzo bat da eta, hornidura-kateen kudeaketaren (SCM) arloari dagokionez, irudiak antzemateko (adb., produktuaren kalitateari lotuta) eta datu-multzo handietatik ereduak erauzteko aukera ematen du.
 - Ikasketa automatikoko eredu handiak (LMM): Hornidura-kateen kudeaketan (SCM), nazioarteko eskaria iragartzeko eta sara optimizatzeko aukera ematen dute.



- AA sortzailea / Hizkuntza-eredu handiak (LLM): Hornidura-kateen kudeaketan (SCM), dokumentuen automatizazioa eta bezeroentzako laguntza-zerbitzuko txatbotak onartzen dituzte.

Fidagarritasunarekin eta erabilgarritasunarekin lotutako kezkei heltzeko, metodo berriak ari dira sortzen AA gardenago eta erabilerrazago bihurtzeko:

- Adimen artifizial azalgarria (XAI): Hornidura-kateen kudeaketan (SCM), arriskuak kudeatzeko sistemek geroz eta gehiago erabiltzen dituzte **adimen artifizial azalgarriko (XAI)** metodoak (hala nola, **SHAP**, **LIME** eta **GradCAM**) AA ereduak erabakiak nola hartzen dituzten azaltzeko; adibidez, bideratze-denboraren, ESG irizpideak betetzearen edo kostuaren araberrako sailkapenak egiteko. Tresna horiek iragarpen edo ebaluazio automatikoak ulertzen eta haiez fidatzen laguntzen die interes-taldeei. Hala, AAn oinarritutako gomendioak gardenagotzat eta onargarriagotzat jotzen dituzte erabakiak hartzen dituztenek.
- Ikasketa automatiko interpretagarria (IML): Iragarpenen eta logistikaren arloetan, plangintzen inguruko gomendioen azpiko argudiaketa argi eta identifikagarria emateko erabiltzen dira **ikasketa automatiko interpretagarrien (IML) ereduak**; besteak beste, **erabaki-zuhaitzak**, **gehikuntza-makina azalgarriak (EBM)** eta **eredu gehigarri orokortuak (GAM)**. Adibidez, **DIFFIK** eta **LionForest-k** hornidura-katearen irregulartasun edo eteteen jatorria identifikatzen laguntzen dute eta erabakiak azaldu eta ikuska daitezkeela bermatzen dute. Hori bereziki garrantzitsua da industria arautuetan edo plangintza-prozesu kolaboratiboetan.

Behaketa-eremuan definitutako hornidura-katearen kudeaketa-mailei aplikatuta, honela labur genezake AAn erabilera:

- Onuraren planifikazioa (PP): AAK emaitza finantzarioak simulatzen ditu eta agertokiak planifikatzeko aukera ematen du.
- Salmenten eta eragiketen planifikazioa (S&OP): AAK eskariaren iragarpenak optimizatzen ditu eta, hala, salmenta-iragarpenak eta ekoizpen-planak hobeto koordina daitezke.
- Ekoizpen-programa nagusia (MPS) eta MRP: AAK ekoitzi eta hornitu beharreko kopuru egokiak kalkulatzeko dituzte zalantzarik dagoenean.
- Ahalmen mugatuen/mugagabeen programazioa (FCS/ICS): AAn oinarritutako algoritmoek baliabideen esleipena eta sekuentziak hobetzen dute.

Errendimenduarekiko onurak:

AA integratzen duten hornidura-kateen kudeaketako (SCM) erabilera-kasu batzuetan, % 15 murriztu dira logistikarekin lotutako kostuak eta % 35eko hobekuntza egon da inbentario-mailan.

3.1.4. GARAPEN BIDEAN DAUDEN ERAGIKETA- ETA BERRIKUNTZA-TEKNOLOGIAK

Teknologietatik harago, eragiketa-eredu berriak lekua hartzen ari dira:

- Plataformetan oinarritutako lankidetzak ETE-en eta zerbitzu-hornitzaileen artean; adibidez, mantentze-lan prediktiboen plataformak edo hornidura-kateen kudeaketan integratutako logistikaren kontrol-dorreetan.
- Barneko azpiegituren beharrak murrizten dituzten zerbitzuetara bideratutako arkitekturak. Zerbitzu gisako mantentze-lan prediktiboak (PdMaaS), adibidez, gaitasun prediktiboak azpikontratatzeko aukera ematen diete enpresei (batez ere ETE-ei), azpiegituraren jabe izan gabe. Errentagarria da eta hodeiko plataformen edo jatorrizko ekipamenduen hornitzaileen (OEM) bidez ematen da. Diagnostikoak ekipamenduekin multzokatzen ditu (zerbitzu gisako ekipamendua).



- ETE-ei esperimentazio-arriskuak murrizten laguntzen dieten proba-bankuak eta bazkidetza publiko-pribatuak.

Euskadiko txostenak ere azpiegitura digital, kapsulatutako zerbitzu edo trebakuntza-modulu partekatua eskualdeko ekosistemen bidez atzitzen dituzten ETE-en adibide zehatzak ere ematen ditu. Eredu eta ekosistema hauek azpiegitura, trebakuntza eta laguntza-zerbitzuetarako sarbide partekatua eskaintzen dute, bereziki industria-kluster aktiboak dituzten eskualdeetan. Hala, paper garrantzitsua betetzen dute kalitatezko teknologiak eragile txikien eskura jartzeari dagokionez.

3.2. TRANTSIZIO EKARPENAK

BERDEAREKIKO

Fabrikazio aurreratuaren eraldaketa digitala eta hiru txostenetan behatutako esparruak hertsiki lotuta daude trantsizio berdearekin. Azaldutako teknologiek, eragiketen eraginkortasuna hobetzeaz gain, ingurunearen aldeko neurriak ere sustatzen dituzte. Atal honetan azaltzen da nola aztertutako jardueretan teknologia aurreratuak aplikatzeak jasangarritasunari lotutako helburuak lortzen laguntzen duen (emisioak murriztuz, baliabideak optimizatuz eta ekonomia zirkularreko jarduerak sustatuz) eta nola dauden lerrokatuta marko politiko eta erregulatzailer zabalagoekin.

3.2.1. JASANGARRITASUNA: ABAGUNEA ETA BETEBEHARRA

Mantentze-lan prediktiboen (PdM) txostenak zein hornidura-kateen kudeaketari (SCM) buruzkoak jasangarritasunarekiko narratiba bikoitza nabarmentzen dute:

- Mantentze-lan prediktiboen (PdM) testuinguruan, berrikuntzaren eta eraginkortasunaren gidari gisa aurkezten da jasangarritasuna. Errendimendua hobetzen du, kostuak murrizten ditu eta lehiakortasuna areagotzen du. Hala, nolabait bere burua finantzatzeko duen hobeak bat dela esan liteke.
- Hornidura-kateen kudeaketaren (SCM) testuinguruan, nahitaezkoa da jasangarritasunari lotutako araudiak gordetzea. Enpresek ESG (ingurunea, gizartea ta gobernantza) irizpideak, EBren Itun Berdearen helburuak eta garapen bidean dauden lege-markoak (hornidura-kateetako eginkizunak betetzea, 3. irismen-mailako emisioak kontrolatzea, etab.) gorde behar dituzte.
- Hornidura-kateen kudeaketaren (SCM) testuinguruan, ez dira urrats gehiegi eman eraldaketa digitala eta inguruneari lotutako helburuak uztartzeari dagokionez. Enpresa txiki eta ertain (ETE) askok ez daukate jasangarritasuna kudeatzeko behar adina ezagutzarik; bereziki, sistemak ekonomia zirkularra oinarri hartuta aplikatzeari lotuta. Ingurunearekin lotutako helburuez geroz eta gehiago hitz egiten den arren, inguruneari lotutako gogoetak negozio-eragiketetan eta langileen garapen-programetan txertatzen dituzten trebakuntza-metodo praktikoek hutsune handiak dituzte.

Horrek abagune estrategikoak eta arauak gordetzeko beharra sortzen ditu: teknologia digitalek inguruneari lotutako eskakizun geroz eta zorrotzagoak aurreikusten eta betetzen laguntzen die enpresei, berrikuntza berdean aitzindari gisa kokatzen diren bitartean.

3.2.2. MANTENTZE-LAN PREDIKTIBOAK (PDM) INGURUNE- EFIZIENTZIAREN KATALIZATZAILE

Mantentze-lan prediktiboei (PdM) buruzko txostenaren arabera, mantentze-lan prediktiboak denontzat dira onuragarriak: eragiketen errendimendua hobetzen dute eta, aldi berean, jasangarritasunari lotutako helburuetan aurrerapausoak ematen laguntzen dute. Ingurunearekiko onurak errealak eta neurgarriak dira:



- Energia-kontsumoa murrizten dute: Eraginkortasunik eza garaiz detektatzen bada eta makinak baldintza optimoetan mantentzen badira, energia alferrik xahutzea saihesten dute mantentze-lan prediktiboek (PdM).
- Alferrikako material-hondakinak gutxitzen dituzte: Behar errealean oinarritutako mantentze-lan programatuei esker, ezinbesteko konponketak egitea eta piezak garaia baino lehen ordezteka ekidin daiteke eta, hala, ordezeko zati eta material lehengai gutxiago erabiltzen dira.
- Aktiboen balio-bizitza luzatzen dute: Akatsak garaiz hautemateak eta konpontzeak ekipamenduaren balio-bizitza luzatzen du eta, hala, ekonomia zirkularraren helburuekin lerrotzen da.
- Logistika eta garraioen emisioak optimizatzen dituzte: Matxurak aurreikusten badira, planifikatu gabeko konponketa eta ordezeko zatien presazko bidalketa gutxiago egin beharko dira. Hala, logistikari lotutako emisioak murrizten dira.
- Ekonomia zirkularra sustatzen dute: Mantentze-lan prediktiboek (PdM) materialak berrerabili eta zaharberritzeko aukera ematen dute. Horri esker, ekipamendu berriaren beharra murrizten dute eta aktiboen kudeaketa jasangarria sustatzen dute.

Orokorrean, mantentze-lan prediktiboek (PdM) CO₂ murrizteko helburuak betetzen lehiakortasun ekonomikoa areagotzen laguntzen dute eta, hala, inguruneari lotutako helburuak eta errentagarritasuna orekatzen laguntzen diete ETE-ei. Txostenek bultzada estrategiko gisa aurkeztzen dituzte mantentze-lan prediktiboak (PdM), klima babesteko neurriak eta industria-efizientzia uztartzen dituztelako.

3.2.3. HORNIDURA-KATEAREN KUDEAKETA (SCM) 4.0 ETA HORNIDURA-KATEAREN KUDEAKETA BERDEA

Hornidura-katearen kudeaketari (SCM) buruzko txostena harago doa. Izan ere, Hornidura-katearen kudeaketa (SCM) 4.0 izendatzen du hornidura-katearen kudeaketa berdearen (GSCM) bideratzaile nagusi gisa. Digitalizazioaren bidez, enpresek ingurunearekiko eraginarekiko ikusgaitasun eta kontrol handiagoa lortzen dute balio-kate osoan zehar: bai ekoizpenean, bai garraioan eta baita produktuen balio-bizitzaren amaieran ere.

Ekarpen nagusiak, besteak beste:

- Materialen hondakinak % 12-20 murrizten dira IoT gaituta daukan baliabide-fluxuen jarraipenaren bidez.
- CO₂ % 5-10 murrizten da arlo logistikoan AAn oinarritutako ibilbideen optimizazioari eta kargaren konpentsazioaren bidez.
- Gardentasuna eta hornitzaileen erantzukizuna hobetzeari esker, bloke-katea gaituta daukan trazabilitateak % 15 areagotzen du ekoizpenean erabiltzen den birziklatutako materialen kopurua
- Ekonomia zirkularraren integrazioa. Tresna digitalek zirkuitu itxiko logistika, birfabrikazioa eta bizi-zikloaren jarraipena ahalbidetzen dituzte.
- Diseinu ekologikoak onartzea. Horri esker, hornidura-katearen interes-taldeak lankidetzan aritu daitezke produktu berdeagoen garapenean diseinuaren fasetik aurrera.

Aurrerapauso horiek gorabehera, inkestan parte hartu duten enpresen % 27k baino gutxiagok lerrotatu ditu formalki estrategia digitalak eta jasangarritasunezkoak, sinergiarako aukera handi bat adieraziz.



3.3. FUNTZIONAMENDUAN, ANTOLAKETAN ETA LANGILEENGAN DUEN ERAGINA

Aurreko ataletan, garapen bidean dauden teknologiek negozio-jarduerak nola hobetu ditzaketen azpimarratu dugu eta jasangarritasunari egiten dioten ekarpena nabarmendu. Atal honetan, berriz, haien eraginaz jardungo gara, modu zabalagoan. Garapen bidean dauden teknologiak, erronka espezifikoetarako soluzio digitalak eskaintzeaz gain, erakundeen funtzionamendua eta egituraketa eraldatzen eta langileak garatzen ari dira. Jarraian, hiru txostenetan identifikatutako aldaketa nagusiak laburtu ditugu, mantentze-lan eta mantentze-lan prediktiboetan (PdM), hornidura-katearen kudeaketan (SCM), **automatizazioan, kalitatearen kontrolean eta ordenagailu bidezko kontrol numerikoaren (CNC) funtzionamenduan** agertzen diren moduan.

Mantentze-lan prediktiboak (PdM) eta hornidura-katearen kudeaketa (SCM) lan-fluxu eta antolaketa-egituretako aldaketa handiagoen katalizatzaile dira, zeintzuk erakundeen eta langileen egokitzapen nabarmena eskatzen baituten.

Bi esparruetan, ingeniari-trebetasunak eta gaitasun digitala konbinatzen dituzten funtzio berriak ari dira sortzen. Geroz eta ohikoagoa da mantentze-lanen eta logistikaren arloko langileei panelak interpretatzeko, AAn oinarritutako sistemekin interakzioan aritzeko eta sailen artean lankidetzan jarduteko eskatzea.

Mantentze-lan prediktiboetan (PdM), zerbitzu gisako mantentze-lan prediktiboak (PdMaaS) bezalako ereduak datu-analistei eta urruneko zerbitzu-operadoreei esleitzen dizkie izatez teknikarienak diren zereginak.

Hornidura-katearen kudeaketaren (SCM) alorrean ere antzeko aldaketak gertatzen dira. Erabakiak hartzeko geroz eta maizago hartzen dira datuak oinarri gisa eta horrek, IT, logistika, hornidura eta plangintza sailak koordina daitezen eskatzen du. Langileek integratutako plataformak kudeatu, algoritmoen iradokizunak baliozkotu eta kanpoko interes-taldeekin lankidetzan aritu behar dute. Aldaketa horiek zeharkako trebetasunen eta alfabetatze digitalaren garrantzia gorakorra azpimarratzen dute.

3.3.1. FUNTZIONAMENDUAN DUEN ERAGINA

Funtzionamenduari dagokionez, Mantentze-lan prediktiboak (PdM) eta Hornidura-katearen kudeaketa (SCM) 4.0 ekimenek hornidura-katearen kudeaketak nabarmenki aldatu dute erabakiak hartzeko, lan-fluxuak egituratzeko eta baliabideak denbora errealean kudeatzeko modua.

Mantentze-lan prediktiboen (PdM) kasuan, eragiketak ohiko errutina prebentiboetatik **datuetan oinarritutako metodo** dinamikoago batera ari dira aldatzen. Mantentze-lan prediktiboetan (PdM), esku-hartzeak erabilera-patroi errealean edo sentsoreek detektatutako irregulartasunetan oinarritzen dira. Horrek makinaren atseden-denbora murrizten du eta baliabideak modu eraginkorragoan erabiltzen laguntzen.

Trantsizio honek hainbat hobekuntza erreal dakartzkio funtzionamenduari:

- **Planifikatu gabeko atseden-denbora murrizten du** baldintzak etengabe monitorizatzearen eta denbora errealeko alerten bidez.
- Mantentze-zereginak **modu estrategikoan programatzeko** aukera ematen du planifikatutako atseden-denboran edo jarduera gutxiko tarteetan.
- **Datuetan oinarritutako erabakiak** hartzeko aukera ematen du eta intuizioa sentsoreetan oinarritutako diagnostiko eta iragarpen-panelek ordeztzen du.



- **Ohiko erabakien automatizazioa**; adibidez, atalaseak gainditzen direnean mantentze-eskaerak abiaraztea.

Era berean, hornidura-katearen kudeaketan (SCM), tresna digitalek (besteak beste, AAK, Gauzen Internetak eta hodeiko plataformek) hornidura-katearen bizkortasuna eta erantzuteko gaitasuna areagotzen dute. Denbora errealeko datuei eta agertokiaren ereduaren automatizazioari esker, plangintza aurretiaz egiten da, modu errektiboan egin ordez.

Funtzionamendu-aldaketak, besteak beste:

- Logistikaren eta inbentario-fluxuen **denbora errealeko ikusgaitasunak** etenaldiei erantzuteko gaitasuna hobetzen du.
- **Plangintza eta birplangintza dinamikoa** egiteko aukera, IoT gailuen eta biki digitalen zuzeneko edukian oinarrituta.
- **AAk lagunduta erabakiak hartzeko** aukera, hornikuntza automatikoa eta entrega-ibilbideen optimizazioa barne.
- **Muturretik muturrerako lan-fluxuen integrazioak**. sailen (besteak beste, salmentak, ekoizpena eta logistika) arteko bereizketak desagiten ditu.

Aldaketa horiek sakonago azaltzen dira Euskadiko eskualdeko txostenean. Eraldaketa digitalak funtzionamenduan dituen ondorioak langileen eguneroko lana eta teknologia-sistemekin lan egiteko modua itxuraldatzen ari dira. Metodo prediktiboetarako aldaketa nabaria ari da gertatzen profil guztietan. Mantentze-lan errektiboak alde batera utzi eta baldintzen arabera mantentze-lan prediktiboak eta sentore-sareak, denbora-alertek eta monitorizazio-sistema aurreratuek ahalbidetutako kalitate-kontrola geroz eta leku gehiago hartzen ari dira.

Bistakoa da horrek guztiak zereginak birbanatzea dakarrela. Adibidez, makinekin edo ekoizpen-lerroan lan egiten duten langileek tradizionalki kalitate-kontrolaren sailari zegozkion zeregin batzuk bereganatu dituzte eta, hala, kalitatea ekoizpen-taldearen erantzukizun partekatu bihurtu da. Mantentze-lanen teknikariek ohiko konponketa-zereginetatik harago doazen erantzukizunak dauzkate gaur egun eta prozesuen optimizazioan automatizazio-sistemen integrazio teknologikoan ere laguntzen dute.

3.3.2. ANTOLAKETAN DUEN ERAGINA

Funtzionamenduan hobekuntzak egin ahal izateko, beharrezkoa da **antolaketa-egitura eta aldaketa kultural** egokiak ezartzea. Mantentze-lan prediktiboak (PdM) eta Hornidura-katearen kudeaketa (SCM) 4.0ko tresnen inplementazioak hierarkia tradizionalak ezbaian jartzen ditu eta eredu kolaboratibo eta bizkorragoak sustatzen.

Bi esparrutan, erakundeak **funtzio arteko talde-lana** eta **lan-metodo bizkorrak** inplementatzen ari dira pixkanaka. Proiektu luze eta linealak egin ordez, atzeraelkadura-begizta iteratibodun ziklo pilotu laburretan oinarritzen dira. Horri esker, berrikuntzak bizkorrago egin ditzakete eta hobeto lerroka daitezke bizkor garatzen ari den testuinguru teknologikoarekin.

Erakundearen aurrerapauso nagusiak, besteak beste:

- **Bereizitako sailetatik funtzio arteko lankidetzara** aldatu dira, zeinak IT, eragiketak, mantentze-lanak eta datu-taldeak barne hartzen baitituen.
- **Proiektu-eredu bizkorrak garatu dira** esperimentazio eta eskalatze bizkorrean oinarrituta.
- **Plataforma digitalen erabilera areagotu da**, zeinak gardentasuna eta taldeen arteko koordinazioa sustatzen baitituen.
- **Aldaketen kudeaketako gidaritz-funtzioak indartu dira**, non kudeatzaileek integrazio digitala errazten baitituen.

Euskadiko kasu ikerketari jarraikiz, mantentze-lanen, automatizazioaren eta kalitatearen sailetan bereizita egon ohi ziren funtzioak uztartzen dituzten funtzio hibridoaren agerpena ere barne hartzen du erakunde-mailako eraldaketak. Automatizazioa ez dago isolatuta, ekoizpen- eta datu-



plataforma zabalagoekin interkonektatuta baizik. Horrek gizakia-makina interfazeetan eta komunikazio-protokoloetan nabigatzera behartzen ditu langileak.

Funtzioak bateratzeari esker, lankidetzaren dinamika berriak sortzen dira, non langileek ohiko mugetan lan egin eta sistema integratuekin modu aktiboan jardun behar baituten. Gainera, datuetan oinarritutako erabakiak hartzeko prozesuen integrazioak eguneroko eragiketen erdigunera eraman ditu denbora errealeko analisiak.

Enpresak AArekin, zibersegurtasunarekin eta mantentze-lan prediktiboekin lotutako geroz eta zerbitzu gehiago kontratatzen dituztenez, kontzientzia digitala duten barne-funtzioen geroz eta behar handiagoa dago. Langile horiek, teknikari adituak izan ez arren, oinarritzko jakintza nahikoa dute kanpoko teknologia-hornitzaileekiko komunikazioa erraz gauzatzen dela bermatzeko. Haien funtzioa berrikuntza teknologikoak erakundearen barneko beharrek eta helburu estrategikoekin lerrokatzen diren jardunbideetara eramatea da.

Aldaketen artean, zerbitzu gisako mantentze-lanak (MaaS) bezalako negozio-eredu berrien agerpena nabarmen dezakegu. Mantentze-lan prediktiboak (PdM) esker, eredu honek ekipamenduen jardun-denboraren bermeak edo errendimenduaren araberako kontratuak eskaintzeko aukera ematen die saltzaileei. Hala, bezeroen eta hornitzaileen arteko harremana birdefinitzen dute:

- Mantentze-lanak **balio erantsidun zerbitzu** bihurtzen dira, ez soilik kostuen zentro.
- Fabrikatzaileak **zerbitzuetara bideratutako eredu**etara eraldatzen dira, non diagnostiko prediktiboak urrunetik integratzen baitituzten.
- Eraldaketa honek **diru-iturri errepikariak** eta **bezeroekiko gertuagoko lankidetzaren** ahalbidetzen ditu.

Hala ere, aldaketa horiek erronkak ere ekartzen ditu. Hornidura-katearen kudeaketari (SCM) buruzko txostenean, **eraldaketak gauzatzeko hainbat oztopo** identifikatu dira antolaketari lotuta:

- **Teknologia integratzeko arazoak**, bereziki sistema zaharkituak dituzten ETE-etan.
- **Zibersegurtasunari lotutako kezkak**, zeintzuk areagotu egiten baitiren espazio digitala handitu ahala.
- **Aldaketarekiko erresistentzia**, batez ere langile zaharragoen edo esperientzia gehiago dutenen kasuan.
- **Muga finantzarioak**, ETE-ek azpiegiturretan edo talentuan inbertitzeko duten gaitasuna murrizten baitute.

Oztopo horiek gorabehera, barneko gaitasunak sortuz eta **ikasketa-kultura, datuekiko konfiantza eta esperimentazioa** sustatuz aldaketak modu proaktiboan kudeatzen dituzten enpresak dira arrakasta lortzen dutenak.

3.3.3. LANGILEENGAN DUEN ERAGINA

Teknologiaren integrazioa hertsiki lotuta dago lanaren eraldaketarekin. Mantentze-lan prediktiboak (PdM) eta Hornidura-katearen kudeaketa (SCM) 4.0 ekimenek **funtzio, trebetasun eta pentsamolde berriak** integratzea eskatzen dute.

Mantentze-lan prediktiboak (PdM) arloan, mantentze-lanetako profesionalak zeregin mekanikoetatik **monitorizazio, analisi eta estrategiari lotutako zereginetara** aldatzen ari dira. Geroz eta ohikoagoa da teknikari tradizionalei sentsoreen datuak interpretatzeko, estatistika-patroiak ulertzeko eta IKT sistemekin batera lan egiteko eskatzea.

Aldaketa horrek honako ondorio hauek dakartza:

- **Funtzioen eraldaketa**; besteak beste, mantentze-lan prediktiboak analitzen eta mantentze-lan prediktiboak estrategien postuak sortu dira.



- **ITko eta eragiketa-teknologiako (OT) trebetasunen integrazioa**, teknikariek baldintzen monitorizazio-softwareekin eta AA tresnekin jardun behar dutelako.
- **Sailen arteko trebakuntza gurutzatua**, mantentze-lan, datu eta ingeniari-tza saileko taldeen elkarlana sustatuz.

Era berean, Euskadiko ikerketak jakintza tekniko tradizionala eta gaitasun digitalak uztartzen dituen langileen profil hibrido gehiago behar direla erakutsi du. Adibidez:

- Gaur egun, ikuskapen-trebetasunak kudeaketa digitalarekin eta datuen kudeaketarekin lotutako trebetasunekin konbinatzeko eskatzen zaie ikusmen artifizial bidezko ikusmen-sistemak 3D eskanerrak eta egiaztapen-tresna digitalak erabiliz.
- Ordenagailu bidezko kontrol numerikoko (CNC) langileek geroz eta maizago jarduten dute fabrikazioko exekuzio-sistemekin (MES) eta enpresaren baliabideen plangintza-sistemekin (ERP). Halaber, programak egokitzen eta datuak aztertzeko teknikak aplikatzen dituzte, mantentze-lan prediktiboak barne.

Hornidura-katearen kudeaketan (SCM), langileengan ematen ari diren aldaketetan islatzen dira aurrerapauso horiek. Datuak eskuz sartzeko prozesuak eta arauetan oinarritutako plangintza geroz eta gehiago ari dira automatizatzen. Orain, langileek algoritmoen emaitzak ikuskatzen, salbuespen konplexuak kudeatzen eta erabakien plangintzan elementu estrategikoak sartzen dituzte.

Hornidura-katearen kudeaketari (SCM) buruzko txostenak langileengan nabarmenki eragiten duten hainbat alderdi identifikatu ditu:

- **Rol hibridoen sorrera**; besteak beste, arlo digitalean eta eragiketetan adituak diren hornidura-katearen analistak.
- **Datuen eta sistemen inguruko ezagutzaren eskaeraren gorakada**, baita tradizionalki teknikoak ez diren roletan ere.
- **Zibersegurtasunarekiko kontzientzia handiagoaren beharra**, konektatutako sistemak oso sentikorrek direlako.
- **Ikasketa-kurba eta etengabeko trebakuntzarekiko enfasi handiagoa**, teknologia curriculum baina bizkorrago garatzen ari delako.

Hala ere, enpresa askok, bereziki, ETE-ek, erronka handiei egin behar diete aurre:

- **Trebetasun digital faltak eta talentu nahikoa ez egoteak** mugatu egiten du Hornidura-katearen kudeaketa (SCM) 4.0ko tresnak modu eraginkorrean integratzeko gaitasuna.
- **Trebakuntza-programak eta denbora errealeko sistemak bat ez etortzeak** inbertsioetatik eratorritako irabaziak murrizten ditu.
- **Langileen automatizazioarekiko erresistentzia**, zeina askotan lanpostua galtzearekin edo konplexutasunarekin lotzen baiten eta, ondorioz, desadostasunak sortzen dituen.

Ingurune berri honetan arrakasta izateko, langileek trebetasun **tekniko** eta **pertsonalak** garatu behar dituzte:

Trebetasun tekniko eta analitiko nagusiak, besteak beste:

- Datuen analisisa eta bistaratzea (adb., panelak erabiliz)
- Algoritmo prediktiboak eta eredu akastunak
- Hodeiko plataformen eta diagnostiko-tresnen ezagutza

Konpetentzia pertsonal garrantzitsuak, besteak beste:

- Moldagarritasuna eta etengabeko ikasketa
- Sailen arteko talde-lana
- Aurkikuntza teknologikoen komunikazio eraginkorra

Emaitza horrek nabarmentzen du premiazkoa dela enpresek **langileen garapena eta aldaketen kudeaketa** euren estrategia digitaletan txertatzea.



3.4. HORNIDURA-KATEAREN KUDEAKETAREN INTEGRAZIOA ETA HELDUTASUNA

Enpresa txiki eta ertainak (ETEak) geroz eta bizkorrago ari dira aurretik azaldutako trantsizio berdearen aldeko teknologia eta ekarpen aurreratuak integratzen. Hala ere, prozesua ez da modu jarraian egiten ari eta funtzionamenduari, kulturari eta estrategiari lotutako hainbat muga ditu. Atal honetan, integrazio-mailen, muga nagusien eta trebetasunak garatzearen ondorioen laburpena egiten da.

Hemen adierazitako datuak eta zifrak hiru txostenetan aipatutako ikerketetatik eta ETE-etan egindako berriarazko inkestetatik atera dira.

3.4.1. UNEKO INTEGRAZIO-MAILAK ETA ZIFRA NAGUSIAK

Orokorrean, ETE-ek geroz eta balio estrategiko handiagoa ematen diete Mantentze-lan Prediktiboen (PdM) eta Hornidura-katearen Kudeaketa (SCM) 4.0ko teknologiei. Egoera berri honetara egokitzeko arrazoiak barnekoak (eraginkortasun hobetua eta kostuen murrizketa) zein kanpoko presioaren ondoriozkoak (arau-gordetzeari lotutako eskakizunak, bezeroen itxaropena eta hornidura-katearen integrazioa) dira.

3.4.1.1. MANTENTZE-LAN PREDIKTIBOEN (PDM) INTEGRAZIOAREN EZAUGARRI NAGUSIAK:

- Mantentze-lan prediktiboen (PdM) nazioarteko merkatuak hazkunde sendoa erakutsi du, fabrikazioaren sektorean bereziki.
 - Mantentze-lan prediktiboetako (PdM) buruzko txostenaren arabera, 2018an enpresen % 81 ari zen metodo prediktiboetan inbertitzen eta % 40k zeukan lehentasun estrategiko gisa, baina praktika ohikoenak denboraren arabera mantentze-lanak edo mantentze-lan osagarriak ziren.
 - Mantentze-lan prediktiboetako (PdM) bilaketa-interesa hirukoiztu egin da 2017tik eta horrek garbi uzten du eduki beharreko soluzio gisa geroz eta garrantzia handiagoa daukala sektorean.
 - Mantentze-lan prediktiboen (PdM) metodoen artean, dardararen monitorizazioa da erabiliena (implementazioen % 28 osatzen dute).
- Inkestaren emaitzen arabera, ETEek mantentze-lan prediktiboetako (PdM) eraginkortasuna eta lehiakortasuna areagotzeko duten garrantzia aitortzen duten arren, enpresa asko haiek integratzeko hasierako urratsak ematen ari dira oraindik.
- Hala ere, aitzindari batzuek inplementatu dituzte mantentze-lan prediktiboen (PdM) sistema pilotuak, bereziki aktibo garrantzitsuetan.

3.4.1.2. HORNIDURA-KATEAREN KUDEAKETAREN (SCM) INTEGRAZIOAREN EZAUGARRI NAGUSIAK:

- Inkestaren emaitzen arabera, alde handia dago heldutasun digitalari dagokionez. Izan ere, enpresa batzuek erabat konektatutako sare logistikoak erabiltzen dituzte eta beste batzuek, berriz, Excel dokumentuetan oinarritutako eskuzko lan-fluxuak.



- ETE-en ehuneko txiki batek soilik txertatu ditu hornidura-katearen kudeaketa-estrategia digital eta berde integratuak: EBko ETE-en % 3k intentsitate digital handia erakutsi dute enpresa handien % 98ekin alderatuta.
- ETE-en % 64k adierazi du euren eragiketa-datuak aztertzeko zailtasunak dituztela eta % 74aren arabera, ez dira irabazi nahikoak lortzen ari egindako inbertsio digitaletatik.
- Hornikuntza-katearen kudeaketari buruzko inkestaren emaitzen arabera, exekuzioarekin eta planifikazioarekin lotutako funtzioak dira gehien digitalizatzen direnak. Hala ere, iragarpenen, salmenta- eta eragiketen-plangintzaren (S&OP) eta ekoizpen-programa nagusien (MPS) funtzioak gutxiago integratu dira.
- Hornidura-katearen kudeaketaren (SCM) integrazioa exekuzioan eta programazioan ardatzen da eta hainbat tresna erabiltzen ditu horretarako; besteak beste, AA, IoT eta hodeian oinarritutako informatika.
- Iragarpen eta salmenta- eta eragiketen-plangintzaren (S&OP) funtzioak azpigaratuta daude; bereziki, enpresa txikietan.

3.4.2. OZTOPOAK ETA MUGAK

Nahiz eta ETE-ek mantentze-lan prediktiboen (PdM) eta hornidura-katearen kudeaketako (SCM) 4.0 teknologien balio-proposamena aitortzen duten, **bata edo bestea integratzeko zailtasunak desberdin samarrak dira.**

3.4.2.1. MUGA FINANTZARIOAK

Mantentze-lan prediktiboen kasuan, hauek izan ohi dira oztopoak:

- Sentsoreek, monitorizazio-ekipamenduak eta analisi-plataformek **kostu altua** dute hasieran, baita haiek lehendik dagoen mantentze-plataforman integratzeak ere.
- **Zerbitzu espezializatuak edo kanpoko aholkularien** beharra, zeinak eragiketa-kostuak areagotzen dituen erakundean horretarako trebatutako langilerik ez badago. Hodeiko edo zerbitzu gisako ereduaren kasuan ere, eragiketa-kostu etengabeek kezka sortzen jarraitzen dute.
- Kontzientzia edo **mantentze-lan prebentiboen (PdM) berrikuntzara bideratutako finantzaketa** mugatua. Ondorioz, ETE asko ez dira eskuragarri dauden dirulaguntzen jakitun edo haiek lortzeko zailtasunak dituzte.

Hornidura-katearen kudeaketaren (SCM) kasuan, honako alderdi hauek dira zailtasun finantzarioak eragiten dituztenak:

- **Funtzioak (hornidura, inbentarioa, logistika, etab.) digitalizatzeak dakartzan kostu metagarriak**, plataformak berrikusi edo hodeira migratu beharra ekar baitezakete.
- **Tresna digitalak nahikoa ez erabiltzeagatik** inbertsioa ez berreskuratzea. ETE askok enpresaren baliabideen plangintza-sistemen (ERP) luzapenetan edo paneletan inbertitzen dute, baina ez dute haiek guztiz integratzen amaitzen.
- **Trantsizio berdearen osagaietan** (hala nola, karbonoaren jarraipena edo logistika zirkularra) egindako inbertsioak arrazoitzeko zailtasunak, epe laburreko irabazirik ez dagoelako.

Bi alorretan:

- ETE-en inbertsio-gaitasun mugatuak oztopo handia izaten jarraitzen du, askotan cash flow murriztua izaten baitute. Erabili ahala ordaintzeko edo zerbitzu gisako ereduak ere gastu errepikari arriskutsu gisa hartzen dira batzuetan.
- ETE askok ez daukate finantzaketa publikorik edo inbertsio pribaturik jasotzeko aukerarik eta horrek mantsotu egiten du halako teknologien integrazio-prozesua.



3.4.2.2. OZTOPO TEKNIKOAK

Mantentze-lan prediktiboen (PdM) arloan, honako hauek izaten dira erronka askoren jatorri:

- **Integratzeko zailtasunak:** Sentsore eta datu-sistema modernoak makina zaharretara edo mantentze-lanen kudeaketa sistema informatizatuen (CSSM) tresnak desberdinetara konektatzea.
- **Interoperabilitate-arazoak:** Bateragarriak ez diren datu-formatuek edo makinaren interfazeek monitorizazioa oztopatzen dute.
- **Zibersegurtasunari lotutako arriskuak:** Konektagarritasuna areagotzeak arriskuak ere handitzen ditu; bereziki, artatu gabeko ertzeko gailuetan.

Hornidura-katearen kudeaketan, honako muga tekniko hauek egon ohi dira:

- denbora errealeko lankidetza edo automatizazioa onartzen ez duten sistema zaharkituak.
- **Plangintza-sistemak eta eragiketak lotzeko** zailtasunak; adibidez, inbentario-panelak biltegiaren edo garraioaren datuekin integratzeko.
- Datuen kalitate eskasa eta gobernantza-marko falta, zeinak erabaki okerrak hartzea edo haiek atzeratzea ekartzen baituen.

Bi alorretan:

- **Barneko IT laguntza-egitura sendoen faltak** muga tekniko horiek handitzen ditu. ETEak langile ez-espezializatuak edo hirugarrenen laguntzaren menpe egon ohi direnez, erabakiak hartzeko eta berrikuntzak egiteko prozesuak atzeratu egiten dira.
- Zibersegurtasunaren inguruko kezka transbertsala da. Izan ere, enpresa ertainen % 100k eta enpresa txikien % 60k afera "larriztat" jotzen baitute. Langileen espezializazio faltak ere areagotu egiten du zibersegurtasunarekiko ardura
- **Zaharkitutako IT azpiegitura konplexu eta zatikatuek** oztopatu egiten dute mantentze-lan prediktiboen/hornidura-katearen kudeaketako soluzioen integrazioa

3.4.2.3. ANTOLAKETARI LOTUTAKO OZTOPOAK ETA OZTOPO ESTRATEGIKOAK

Mantentze-lan prediktiboen (PdM) kasuan, antolaketari lotutako oztopo hauek egon ohi dira, besteak beste:

- **Mantentze-lan digitalen estrategia falta**, zeinak ekintza pilotuak zatikatzea edo isolatzea ekartzen baituen.
- **Mantentze-lan prebentiboen (PdM) balioak ikusgaitasun gutxi** du kudeaketa-mailan eta ondorioz, ez zaio lehentasun handirik ematen.
- Metodo prebentibo edo erreaktibo tradizionalak alde batera uzteko gogorik eza, batez ere esperientzia handiko teknikarien artean.

Hornidura-katearen kudeaketan (SCM), oztopo estrategikoak funtzioen artekoak izan ohi dira nagusiki:

- **Ez dago ibilbide-orri digital bateraturik** sailen artean eta, ondorioz, integrazioa pixkanaka eta sailen arteko koordinaziorik gabe egiten da.
- Excelen edo paperean oinarritutako sistemetara ohituta dauden langileek ez dute sistemaz aldatu nahi; bereziki, logistikari eta hornidurari lotutako langileek.
- **Lerrokatze estrategiko falta** dela eta, ez dago lotunerik hornidura-kate berdearekin erlazionatutako helburuen eta eguneroko eragiketen inguruko erabakien artean
- ETE askotan lanpostu batzuk falta dira; besteak beste, Datuen Zuzendariarena, Hornidura-Katearen Kudeaketa-prozesuen jabearena edo ITen Segurtasun Zuzendariarena. Hori dela eta, berrikuntzarako barne-gaitasun mugatua dute.



Bi arloetan, **aldaketarekiko erresistentzia kulturala** eta eraldaketa digitalari lotutako lidergo falta dira behin eta berriz agertzen diren arazoak. Kasu askotan, erakundearen babes handirik gabeko aitzindari bakanek egiten dituzte eraldaketa digitalerako lehen ahaleginak.

3.4.2.4. TREBETASUNEI LOTUTAKO BEHARRAK

Adierazitako muga horiek guztiek trebetasun eta ahalmen berrien beharra handitzen ari dela azpimarratzen dute.

Trebetasun gabezia horiek **dimentsio anitzekoak** izan daitezke eta lehen lerroko langileei zein kudeaketa-erakundeei eragin diezaiekete.

Mantentze-lan prediktiboei (PdM) eta hornidura-katearen kudeaketari (SCM) buruzko txostenetan eta Euskadiko txostenean oinarrituta, emaitzak bateratu ditugu haiek 5. Lan-paketearekin partekatzeko, zeina Ikasleengan Zentraturako Fabrikazio Aurreratuaren Plataformako (LCAMP) trebakuntzaren arduradun baiten. Esparru bakoitzaren berariazko gaitasun nagusiak identifikatzeari esker, haiek sustatzeko datuak erabili ahal izango ditu lan-paketeak. Ikasleengan Zentraturako Fabrikazio Aurreratuaren Plataformaren (LCAMP) proiektuarentzat oso garrantzitsua da lan-paketeen arteko elkarlana.

Taula osoa ikusteko, joan 1. eranskinera:

- Trebetasunak, gaitasunak eta jarrerak azaltzen dituzten **44 sarrera**.
- **9 lanbide barne hartzen ditu**.
- Kategorizazio ohikoena **gaitasunarena** da eta, haren atzetik, trebetasunarena eta jarrerarena.
- **4 trebetasun-mota** identifikatu dira, behar diren askotariko gaitasunen erakusle: AAren ezagutza, digitala, profesionala eta zeharkakoa.
- Analisiak **AArekin eta zibersegurtasunarekin lotutako gaitasunak** nabarmentzen ditu hainbat arlotan.

Hona hemen 1. eranskinean erabilgarri dagoen informazio mota islatzen duen zati bat:



1 taula. Trebetasunei lotutako beharrak (zatia)

Ikasleengan Zentratutako Fabrikazio Aurreratuaren Plataformak o (LCAMP) gaitasunen eremua	Kategorizazioa	Ikasleengan Zentratutako Fabrikazio Aurreratuaren Plataformaren (LCAMP) markoan gomendatutako azpikategoriak	Lanbidea/txostenaren jatorria	Trebetasuna / Gaitasuna / Jarrera
AAren ezagutza	Gaitasuna	Gaitasun digital garrantzitsuak	Mantentze-lan prediktiboak (PdM)	Oinarrizko AA edo ikasketa automatikoa - AAKo/ikasketa automatikoko ereduen inguruko oinarrizko ezagutzak
	Trebetasuna	Ikusmen artifiziala	Kalitate-kontroleko teknikaria (Euskadi)	Akatsak detektatzeko ikusmen artifiziala eta sare neuronal artifizialak (CNN) - sare neuronalak aplikatzea kalitatea automatikoki kontrolatzeko
Digitala	Jarrera	Zibersegurtasuna	Hornidura-katearen kudeaketa (SCM)	Zibersegurtasunarekiko kontzientzia - ITen segurtasunarekiko kontzientzia
		Arazoak konpontzea	Mantentze-lan prediktiboak (PdM)	Arazoak konpontzea (mantentze-lanak) - datuetan oinarritutako erabakiak hartzeko arazoiketa analitikoa
	Gaitasuna	Sistemaren diseinua	Automatizazio-roboten teknikaria (Euskadi)	Robotika industrialaren integrazioa - robotak ekoizpen-lerroaren sistemekin konektatzea
		Trebetasuna	Datuen ezagutza	Sentsoreen datuen interpretazioa - IoT sentsoreen datuak irakurri eta erabiltzeko gaitasuna
			IT	Komunikazio-protokoloak (OPC-UA, Ethernet) - komunikazio-estandar industrialak inplementatzea
			Ordenagailu bidezko kontrol numerikoko (CNC) langilea (Euskadi)	Interfaze digitalak eta HMIak - ordenagailu bidezko kontrol numerikoko (CNC) makinaren ukipen-pantaila erabiltzea.
			Mantentze-lan teknikaria (Euskadi)	Gauzen Interneteko (IoT) sentsoreak instalatu eta konfiguratzea - konektatutako sentsoreak konfiguratzea datuak biltzeko
			Arazoak konpontzea	Datu-konexioari lotutako arazoak konpontzea Gauzen Interneteko (IoT) inguruneetan - konektatutako sistemetako komunikazio-arazoak konpontzea
			Datuen ezagutza	Ikuskapen-sistema digitalen eragiketa - neurketak eta probak egiteko ekipamendu automatizatua erabiltzea
				Fabrikazioko exekuzio-sistemen (MES) eta enpresaren baliabideen plangintza-sistemen (ERP) integrazioa - makinaren eragiketarak enpresa-sistemekin konektatzea



			Mantentze-lan teknikaria (Euskadi)	Hodeian oinarritutako plataformak erabiltzea makinaren errendimenduaren jarraipena egiteko - urruneko monitorizazio-sistemak atzitzea
		Fabrikazio digitala	Ordenagailu bidezko kontrol numerikoko (CNC) langilea (Euskadi)	Ordenagailuz lagundutako diseinuko (CAD)/ Ordenagailuz lagundutako fabrikazioko (CAM) softwarearen funtzionamendua - ordenagailuz lagundutako diseinu- eta fabrikazio-programak erabiltzea
Zeharkakoa	Jarrera	Komunikazioa	Hornidura-katearen kudeaketa (SCM)	Komunikazioa eta koordinazioa - eraldaketa digitala onartzeko jarrera irekia eta gogo ona
		Malgutasuna/bizkortasuna	Mantentze-lan prediktiboak (PdM)	moldagarritasuna - funtzio/teknologia aldakorretara egokitzeko borondate ona
	Gaitasuna	Lankidetzataldelana	Mantentze-lan prediktiboak (PdM)	Lankidetzat - sailen arteko lankidetzat (mantentze-lanak, IT, eragiketaketak)
		Pentsamendu kritikoa	Hornidura-katearen kudeaketa (SCM)	Pentsamendu estrategikoa - hornidura-kate konplexuen ulermen holistikoa
	Trebetasuna	Lankidetzat / Talde-lana	Zeharkakotrebetasunak (Euskadi)	Funtzioen arteko lankidetzat - modu eraginkorrean lan egitea diziplinarteko taldeekin ingurune digitaletan
		Komunikazioa	Zeharkakotrebetasunak (Euskadi)	Komunikazioa eta koordinazioa - informazioa modu garbian partekatzea sail eta lanaldietan
		Malgutasuna/bizkortasuna	Zeharkakotrebetasunak (Euskadi)	Garapen bidean dauden teknologietara egokitzea - tresna teknologiko berriak erabiltzen ikasteko eta erabiltzeko borondate ona
		Arazoak konpontzea	Zeharkakotrebetasunak (Euskadi)	Arazoak konpontzea eta erabakiak hartzea - egoerak aztertu eta erabaki tekniko eraginkorrak hartzea
		Etengabeko hobekuntza	Zeharkakotrebetasunak (Euskadi)	Etengabe hobetzeko jarrera - optimizazio-aukerak identifikatzea fabrikazio-prozesu digitaletan
Profesionala	Gaitasuna Trebetasuna	Sistemaren diseinua	Automatizazio-roboten teknikaria (Euskadi)	Robotika industrialaren integrazioa - robotak ekoizpen-lerroaren sistemekin konektatzea
		Sistemaren diseinua	Automatizazio-roboten teknikaria (Euskadi)	Ikusgaitasun-sistemen konfigurazioa - kamerak eta irudiak prozesatzeko tresnak konfiguratzea robotak gidatzeko eta automatizatzeke

Funtsezkoa da ikasketa-kultura lantzea. ETE-ek, tresnetan trebatzeaz gain, jakin-mina, kritika eta esperimentazio digitala normalizat jotzen diren inguruneak sustatu behar dituzte.



3.4.3. MUNDU ERREALEKO DESBERDINTASUNAK: EUSKADIKO ADIBIDEAK

Euskadiko txostenak berretsi du integrazio-prozesua desberdina izan dela hainbat eskualde eta sektoretan:

- Sektore digitalki aurreratuetan, ETE-ek plataforma partekatuak, eskualdeko guneak eta zerbitzu-hornitzaileak kontratatzen dituzte mantentze-lan prediktiboen (PdM) eta hornidura-kateen kudeaketako (SCM) gaitasunetarako.
- Bestelako sektoreetan, berriz, prozesua zatika edo azaletik egin da eta, barruko estrategiak gidatuta baino, kanpoko eskakizunak direla eta.

Alde horiek eskualdeko berrikuntza-sistemen garrantzia nabarmentzen dute. Izan ere, egitura-murritzapenak gainditzeko laguntzen die ETE-ei esperimentazio eta ikasketa kolaboratiboaren bidez.

3.5. ETORKIZUNEKO JOERAK ETA GOMENDIO ESTRATEGIKOAK

Trantsizio digital eta berdeak ETE-en industria-testuingurua eraldatzen jarraitzen dute. Hiru txostenetatik ondorioztatutako etorkizuneko joeren eta gomendioen artean, aurrerapen teknologikoak, antolaketa-eredu berriak eta ETE-ek eta ekosistemako eragileek hartu beharreko jarraibide estrategikoak azpimarratzen dira. Behatutako esparruek argibide berdinak dituzten arren, arlo bakoitzak ibilbide desberdina dauka eragiketa-logikaren eta aplikazio teknologikoaren arabera.

3.5.1. MANTENTZE-LAN PREDIKTIBOEN (PDM) ETORKIZUNERAKO JARRAIBIDEAK

Mantentze-lan prediktiboei (PdM) buruzko txostenak pertsonengan ardaztutako eta errendimenduan oinarritutako estrategia eskalagarriak sortzearen garrantzia azpimarratzen du, haien bidez mantentze-lan prediktiboak erabilgarriagoak izan daitezen eta eragin handiagoa izan dezaten ETE-etan.

- Laguntza ekonomikorako sarbidea eta integrazio teknologikoa areagotzea:
Kostuak, arriskuak edo konplexutasuna direla eta, ETE askok ez dituzte mantentze-lan prediktiboak integratu nahi. Txostenak oztupo finantzario eta teknikoak murrizteko neurri zehatz batzuk gomendatzen ditu:
 - Finantza-pizgarriak eta mantentze-lan prediktiboen (PdM) teknologia merkeetarako sarbidea eskaintzea, bereziki, bazkidetza publiko-pribatuen edo EB mailako programen bidez.
 - Hodeian oinarritutako zerbitzu gisako mantentze-lan prediktiboen (PdM) ereduak sustatzea, kapitalaren gastua murrizteko eta integrazio-atalasea gutxitzeko.
 - Frogak egiteko plataforma kolaboratiboak sustatzea, non ETE-ek mantentze-lan prediktiboen (PdM) soluzioen erabilera errealak behatu eta probatu ditzaketen.
- Langileen trebakuntzan eta trebetasun digitalen garapenean inbertitzea:
Giza kapitala faktore garrantzitsua da mantentze-lan prediktiboek (PdM) arrakasta izan dezaten. Txostenak trebakuntza eta mantentze-lanen praktiken bilakaera lerrokatzeko beharra azpimarratzen du:
 - Trebetasun digitalak eta mantentze-lanen analisisien inguruko trebakuntza zabalduz, batez ere teknikari eta langileengana.



- LHko zentroekin elkarlanean arituz, mantentze-lan prediktiboekin (PdM) lotutako modulu espezifikoak ikasketa-planean txertatzeko.
- Etengabeko ikasketa eta zeharkako trebetasunak sustatzea, mantentze-lanen taldeak garapen bidean dauden tresnekin (AAk lagundutako diagnostikoak, urruneko monitorizazioa, etab.) lerrokatzeko.
- Epe luzera lehiakor izateko mantentze-lan prediktiboen (PdM) estrategiak optimizatzea: Epe luzerako balioa sortzeko, mantentze-lan prediktiboek (PdM) erabilera-kasu isolatu izateari utzi eta aktiboen kudeaketa estrategikoaren oinarri izan behar dute:
 - Mantentze-lan prediktiboen (PdM) erabilera-kasu isolatuetatik enpresa-mailako mantentze-lanen eraldaketa estrategikoko planetara aldatu behar da.
 - Datuen gobernantzako eta zibersegurtasuneko protokoloak mantentze-lan prediktiboen (PdM) sistemen diseinuan txertatu behar dira.
 - Mantentze-lan prediktiboen (PdM) KPlak jarraitu eta optimizatu behar dira, denboran zehar negozio-balioan eta jasagarritasunean duten eragina erakusteko.

3.5.2. HORNIDURA-KATEAREN KUDEAKETA (SCM) 4.0REN ETORKIZUNERA BEGIRAKOAK ETA GOMENDIOAK

Hornidura-katearen kudeaketari (SCM) buruzko txostenak hornidura-katearen digitalizazioaren inguruko ikuspegi holistikoa eskaintzen du. Bertan, gardentasuna, lankidetzaren eta bezeroekiko eta inguruneari lotutako espektatibekiko lerrokatze estrategikoa nabarmentzen dira

- Konfiantza sortzea, gardentasuna eta informazioa partekatzea: Hornidura-kateak geroz eta digitalagoak eta deszentralizatuagoak direnez, hornidura-katearen kudeaketari (SCM) buruzko txostenak konfiantzaren oinarritzko funtzioa nabarmentzen du:
 - Digitalizazioa ez litzateke automatizazioan soilik erabili beharko, baita bazkideen artean komunikazio ireki eta jarraigarria ahalbidetzeko ere.
 - Konfiantza areagotzeko mekanismoak (besteak beste, lankidetzaren tresnak, panel partekatuak eta koberrikuntza-plataformak) sustatu behar dira.
 - ETE-ek eraginkortasun teknologikoa eta giza interakzio pertsonalizatua orekatzeko laguntza jaso beharko lukete, epe luzerako fideltasuna eta lankidetzaren mantentzeko.
- Gomendio estrategikoak (10 neurri nagusi): Eraldaketa digitalean eta munduaren konplexutasunean murgiltzeko, hamar abiarazledun marko egituratu bat proposatzen du txostenak:
 - Horniketa eta hornitzaile-erlazioen kudeaketaren digitalizazioa - Plataforma kolaboratiboak eta tresna modularrak (hala nola, zerbitzu gisako ekipamendua [EaaS]) inplementatu, gardentasuna eta erantzuteko gaitasuna areagotzeko.
 - Gardentasuna mantentzeko tresna digitalei etekina ateratzea – Sortu Hornidura-katearen kudeaketa (SCM) 4.0ko eskualdeko saltzaileak eta erabili bloke-katea edo AA informazio-fluxu irekietarako.
 - Datuen gobernantza eta informazioaren segurtasuna sendotzea - Ziurtatu datuak modu seguruan eta araudiaren arabera trukatzeko direla hornidura-kateko bazkideen artean.
 - Hornitzaileen zerbitzuak bezeroen itxaropenarekin lerrokatzea - Erabili atzeraelikadura-begizta digitalak bezeroen behar aldakorretara egokitzea.
 - Eraginkortasun digitala giza interakzioekin orekatzea - Lehenetsi adimen emozionala, negozioazioa eta bitartekaritza digitaleko interakzioekiko konfiantza.
 - Bazkidetzaren kultura kolaboratiboa sustatzea - Baztertu bazkidetzaren eredu transakzionalak eta sustatu balio partekatua eta koberrikuntza.
 - Langileen trebetasunen garapenean eta harremantzeko gaitasunetan inbertitzea - Eskaini logistika digitalari, plangintzari eta harremantzeko gaitasunei buruzko trebakuntza LHko zentroen eta ikasketa hibridoaren bidez.



- Katearen kudeaketari lotutako laguntza indartzea - Eskaini diagnostikoak, aholkularitza-zerbitzuak eta aldaketak egiteko baliabideak, ETE-ei eraldaketa-prozesuan laguntzeko.
- Eraldaketa digitala estrategia berdeekin konbinatzea - Integratu jasagarritasun KPlak proiektu digitaletan; adibidez, 3. irismen-mailako emisioetan edo logistika zirkularrean.
- Aldian-aldean konfiantzari eta harremanei buruzko auditoretzak egitea - Ebaluatu lankidetzaren heldutasuna eta egin aurre hornitzaileekiko harremanetan sor daitezkeen arriskuei.

3.5.3. FABRIKAZIO AURRERATURAKO ERALDAKETA DIGITALEKO ESTRATEGIAK: EUSKADIKO XEHETASUNAK

Euskadiko txostenak fabrikazio aurreratuaren eraldaketa digitaleko errealitate praktikoein xehetasunak eskaintzen ditu eta ETE-en garapenerako erronkak eta abaguneak nabarmentzen ditu. Analisiaren arabera, aldaketarekiko erresistentzia da eraldaketa digitalerako oztopo nagusi, konplexutasun teknologikoaren eta muga finantzarioen aurretik. Enpresak jakintza tekniko tradizionala eta ezagutza digitalak edukitzea eskatzen duten laneko profil hibridoetara aldatzen ari dira. Aldaketa horrek eragin bereziki nabarmena du hainbat lanpostutan; besteak beste, mantentze-lanen teknikariaren, automatizazio-teknikariaren, ordenagailu bidezko kontrol numerikoko (CNC) teknikariaren eta kalitate-teknikarien postuetan, trebetasun digitalek geroz eta garrantzia handiagoa baitute laneko errendimenduan eta ibilbide profesionalean.

Ondorio horietan oinarrituta, digitalki eraldatzeko bidean dauden enpresentzako estrategia gako batzuk sortu dira:

- Inplementatu pertsonengan ardaztutako aldaketaren kudeaketa-estrategiak eta hartu kontuan egokitzapen kulturala trebakuntza teknikoarekin batera.
- Sortu barneko rolak LHko programetatik datozen eta kontzientzia digitala duten langileentzat. Izan ere, eragiketa tradizionalak eta garapen bidean dauden teknologiak lotzeko gaitasuna izan dezakete eta egokiak izan daitezke kanpoko teknologia-hornitzaileekin (adibidez, AAn edo mantentze-lan prediktiboetan adituekin) bitartekaritza-lanak egiteko.
- Erabili teknologia gradualki integratzeko metodoak, finantzaketa publikoaz eta lankidetzaproiektuez baliatuz arrisku gutxiko inguruneetan garapen bidean dauden teknologiak arakatzeko
- Aitortu Euskadiko LHko zentroek eraldaketa digitala sustatzeari lotuta daukaten balio estrategikoa. Zentrook berrikuntza-proiektu aplikatuetan aktiboki hartzen dute parte eta langileen trebetasunak hobetzeko eta trebetasun berriak ikasteko funtsezko babesa eskaintzen dute.

3.5.4. ETE-EN EPE LUZEKO ERALDAKETARAKO LEHENTASUN PARTEKATUAK

Alor bakoitzerako berariazko metodoez gain, zeharkako hainbat lehentasun ondorioztatu dira hiru txostenetan:

- Funtsezkoa da irisgarritasun finantzarioa izatea: ETE-ek bidea erraztuko dieten dirulaguntzak, leasing-a edo zerbitzu partekatuak behar dituzte, besteak beste, sentsoreetarako, softwareetarako edo aholkularitzarako.
- Oso garrantzitsua da langileak eraldatzea: trebetasun digitalak eta konpetentzia pertsonalak aldi berean landu behar dira. Hornidura-katearen kudeaketaren (SCM) arloan, pentsamendu sistemikoa, konfiantzaren kudeaketa eta AAn ezagutza barne hartzen ditu horrek. Mantentze-lan prediktiboen (PdM) arloan, berriz, baldintzen monitorizazioa, diagnostikoa eta analisi prediktiboak.



- Helburu digital eta berdeen integrazioa: etorkizuneko estrategiek inguruneari lotutako neurriak hartu behar dituzte; besteak beste, energia-efizientzia, hondakinen murrizketa eta karbono-aztarnaren monitorizazioa.
- Giza faktoreak erdigunean jarraitzen du: mantentze-lanetako zein hornidura-kateko erlazioetan, lidergoaren, lankidetzaren eta erabiltzaileen aldeko integrazioaren mende dago eraldaketa.



4. TRANTSIZIO DIGITALAREN ETA TRANTSIZIO BERDEAREN JOEREK LHKO ZENTROETAN DUTEN ERAGINA

Atal honetan, trantsizio digitalak eta berdeak trebakuntza-zentroetan duten eraginari lotuta ateratako ondorio nagusiak laburtzen ditu, egindako hiru txostenetan (mantentze-lan prediktiboek, hornidura-katearen kudeaketari eta Euskadiri buruzkoetan) azpimarratu gisa. Analisia berrikuspen literarioan eta txosten hauen baitan egindako inkesta eta elkarrizketen emaitzetan oinarrituta dago.

4.1. LHKO ZENTROEN ERRONKAK ETA ABAGUNEAK

4.1.1. SARRERA

Trantsizio berdea eta trantsizio digitala industria erabat aldatzen ari direnez, haien programak eta estrategiak egokitu behar dituzte trebakuntza-zentroek. Aldaketak abiadura handian gertatzen ari dira eta, hori dela eta, funtsezkoa da zentroentzat eguneratuta egotea, ikasleei lan-merkatuak eskatzen dituen trebetasunak eman ahal izateko. Hurrengo atalean, trantsizio honek ekarri dituen abagune eta erronka nagusiak laburtzen dira.

4.1.2. BAZKIDE INDUSTRIALEKIN ELKARLANA INDARTZEA

Ekoizpen-sektorearen eskakizunekin lerrokatuta egoteko beharrari erantzuteko, industriarekin geroz eta lankidetzaz zuzen gehiago egin nahi dute trebakuntza-zentroek. Erakunde batzuek programetan esperientzia praktikoak (hala nola, trebakuntza duala, praktikak eta proiektu bateratuak) txertatzen dituzten negozio-bazkideen sareak dituzte dagoeneko.

Egindako inkestek joera horiek berretsi dituzte: mantentze-lan prediktiboen (PdM) eta hornidura-katearen kudeaketaren (SCM) arloetan, inkestan parte hartu duten trebakuntza-zentro gehienek enpresekin lankidetzan aritzea lehenesten dute trebakuntza-zentro batzuekin elkarlanean aritzearen bidez, euren programak industriaren gaur egungo behar errealekin lerrokatzeko.

LHko zentroak sektoreko bazkideekin elkarlan handiagoan aritzearen bidez lerrokatzea funtsezkoa da trebakuntza-programak eta lantokietako eskakizunak bat etor daitezzen. Gertuko lankidetzari esker, ikasketa-ibilbideen garapen bateratuak eta sortze bidean dauden teknologiak curriculumean integra daitezke eta baita trebetasunei lotutako behar aldakorrei hobeto erantzun diezaiekete. LHko zentroetako ikasleak eta sektoreko bazkideak elkartuta, elkarren arteko ulermena hobetzen da, berrikuntza-gaitasunak areagotzen dira eta ikasleak prestatzen dira enpresaren eraldaketa digital eta industrialean aktiboki parte hartzeko.

4.1.3. IRAKASLEENTZAKO TREBAKUNTZA

Hornidura-katearen kudeaketari buruzko inkestatik ateratako ondorioen artean, bereziki garrantzitsua da garapen bidean dauden 4.0 teknologia digitalak trebakuntza-zentroetan



integratzeko oztopo nagusiak identifikatu izana. Parte-hartzaile gehienek adierazi dute irakasleen trebakuntza dela oztopo nagusia eta, horren atzetik, trantsizioarekin lotutako kostu altuak

Arazo hori ez da herrialde bakarrera mugatzen; aitzitik, Europako hainbat industria-sektoreri eragiten die. "Tensions on Workforce and Skills in Industry and Associated Training Schemes" txostenak lehendik ere azpimarratu zuen Frantzia hutsune hori zegoela. Ondorioz, irakasleen trebakuntza sendotzeko premia handia dago herrialdean. Era berean, hornidura-katearen kudeaketari (SCM) buruzko ikerketaren inkestan parte hartu zuen Turkiako trebakuntza-zentro bateko honako hau adierazi zuen: «Ministerioak lanbide heziketako ikastetxe guztietako irakasleak behartu beharko lituzke trantsizio digitalaren eta trantsizio berdearen inguruko trebakuntza bat egitera».

Euskadin, lanbide heziketako irakasleei zuzendutako trebakuntzak ezarri dituzte, garapen industrial eta hezkuntza-metodo modernoan eta garapen teknologikoen gaineko jakintza izan dezaten. Programaren helburua gaitasun teknikoak eta hezkuntza-metodo modernoak irakastea da, bai proiektuen bidez, baita ikasketa-metodo hibridoak erabiliz ere. Beharrezkoa da uneko ekimenak hedatu eta sistematizatzea eta haietan parte hartzeko aukera zabaltzea, irakasleak ingurune industrial adimendun eta konektatuetarako presta daitezen.

4.1.4. TREBAKUNTZA-ZENTROEN AUTONOMIA

Halaber, trebakuntza-zentroak joera berrietara egokitu behar dira, autonomia mugatua izanda ere. Europako hainbat herrialdetan, zentrook goragoko agintaritzek (adibidez, hezkuntza ministerioek) ezarritako gidalerroak jarraitu behar dituzte. Horren ondorioz, programei eta irakaskuntza-metodoei buruzko erabakiak euren kabuz hartzeko gaitasun gutxiago dute.

Mantentze-lan prediktiboen (PdM) inguruko inkestaren arabera, trebakuntza-zentroen % 44k autonomia mugatua dutela adierazi dute eta % 36k euren autonomia beste norbaiten kontrolpean dagoela. Era berean, hornidura-katearen kudeaketari (SCM) buruzko inkestaren arabera, zentroen % 29k bakarrik du autonomia osoa.

4.1.5. TREBAKUNTZA HIBRIDOAK

Eraldaketa digitalak trebakuntza-ibilbide malguagoak eta erabilerrazagoak ahalbidetu ditu, online eta aurrez aurreko ikasketa konbinatzen duten eredu hibridoak gorakadari esker. Eredu honek, trebetasun digitalak transmititzen laguntzeaz gain, saretzea eta integrazio profesionala sustatzen ditu.

Gainera, trebakuntza hibridoa bereziki egokia da langileentzat, lanean jarraitu bitartean ikasteko eta kualifikazio ofiziala lortzeko aukera ematen baitie. Malgutasun horri esker, eredu hibridoak estrategia gako bihurtzen dira etengabeko ikasketari, trebakuntzari eta langileak konektatutako ingurune industrial adimendunen behar aldakorretara egokitzeari dagokionez.

4.1.6. HAZTEN ARI DEN ESKARIA

Ikasketa espezializatuaren eskariak eta izen-emateek gora egin dute trebakuntza-zentroetan eta, hala, euren programak eraberritzeko eta dibertsifikatzeko aukera dute zentroek. Joera horren adibide da, adibidez, Espainian hornidura-katearen kudeaketako masterra sortu izana 2024an, nahiz eta Kualifikazioen Europako Esparruko 7. maila ez izan txosten honen ardatz.

Hori dela eta, LHko zentroek zeharkako trebetasunak sendotu eta ikasleen modalgarritasuna sustatu behar dituzte. Euskadiko LHko zentroak proiektuetan oinarritutako ikasketa-metodologia prediktiboak aplikatzen ari dira, gaitasun teknikoak eta zeharkakoak garatzeko helburua dutenak. Izan ere, zeharkako trebetasunek garrantzia handia dute gaur egungo garapen-testuinguru industrial honetan. Enpresek geroz eta gehiago estimatzen dituzte arazoak konpontzeko gaitasuna, komunikazioa, talde-lana, ikasketa autonomia eta sormena, bereziki eraldaketa



digitalaren eta etengabeko aldaketaren testuinguruan. Gaitasun horiek, moldagarritasun profesionala areagotzeaz gain, teknologia, lan-fluxu eta antolaketa-eredu berrietara bizkor egokitzeko aukera ematen die gradudunei.

4.1.7. ERRONKA FINANTZARIOAK ETA SOLUZIO FINANTZARIOAK

Trebakuntza-zentroek teknologia berrietan inbertitzea funtsezkoa den arren, muga finantzarioak izaten dituzte askotan. Muga horiei aurre egiteko, finantzaketa-iturri alternatiboen beharra izaten dute zentro askok. Mantentze-lan prediktiboei (PdM) buruzko inkestaren arabera, zentroak finantzaketa publikoaz eta lankidetzaz industrialaz baliatzen dira eta, neurri txikiagoan, beste Lanbide Heziketako zentroekin egiten duten elkarlanaz. Hornidura-katearen kudeaketari (SCM) buruzko inkestaren arabera, finantzaketa publikoa eta industria-finantzaketa dira iturri nagusi eta barneko finantzaketak mugatua izaten jarraitzen du. Nabarmentzekoa da hornidura-katearen kudeaketako (SCM) zentro batek ere ez duela adierazi LHko beste zentroekin elkarlanean jarduten duenik. Beste batzuek, babesletzak eta EBren proiektuak (adibidez, Ikasleengan Zentratutako Fabrikazio Aurreratuaren Plataforma [LCAMP]) aipatu dituzte laguntza-mekanismo baliotsu gisa.

4.1.8. ESTRATEGIA PEDAGOGIKOETAKO TEKNOLOGIA BERRIAK

Txosten honetan aipatutako garapen bidean dauden teknologiek, trebakuntza-programen edukia aldatzeaz gain, estrategia eta baliabide pedagogikoetan ere eragina izaten hasi dira. Jarraian, teknologia horiek arlo pedagogikoan izan ditzaketen erabilera batzuk azaltzen dira laburki:

- **Adimen artifiziala - Ikasketa pertsonalizatua:** AA ikasle bakoitzaren ikasketa-erritmoraren eta beharretara egokitu daiteke eta ikaslearen errendimenduaren araberrako baliabideak eskaintzen ditu.
- **Errealitate birtuala eta handitua - Murgiltze segurua:** Errealitate birtualak eta handituak zuzenean praktikatzeko aukera ematen dute. Ondorioz, ezin egokiagoak dira benetako arriskurik gabe arlo teknikoetan trebatzeko.
- **Online plataformak eta online ikastaro masibo irekiak (MOOC) - Malgutasuna eta sarbidea:** Tresna horiek urruneko ikasketa ikasle bakoitzaren erritmoraren egokitzeko aukera ematen du eta, hala, ikasle gehiagok eduki dezake hezkuntzarako sarbidea, edonon eta edonondik.
- **Makrodatuak (Big Data) eta errendimenduaren analisia - Etengabeko hobekuntza:** Makrodatuak ikaslearen datuak analizatzeko erabil daitezke eta, horri esker, irakaskuntza-metodoak findu eta trebakuntzen emaitzak etengabe hobetu daitezke.
- **Mantentze-lan prediktiboen (PdM) sektorean bereziki:**
 - **Zerbitzu gisako mantentze-lanak trebakuntzan - Mantentze-lan prediktiboen (PdM) teknologietarako sarbidea hodeiko plataforma kolaboratiboen bidez:** Hodeian oinarritutako soluzioek datu errealekin eta mantentze-lan prediktiboen tresnekin lan egiteko aukera ematen diete ikasleei. Hala, ikasleek trebetasun praktikoak garatzen dituzte teknologia horiek erabili bitartean.
 - **Zerbitzu gisako mugikortasuna (MAAS) - Simulazioen eta kasu ikerketa errealean erabilera:** Simulazioek eta biki digitalek mantentze-lan prediktiboko (PdM) teknikak modu seguruan jarduteko aukera emate diete ikasleei, benetako makinekin lan egin aurretik haien trebetasunak hobe ditzaten.

4.1.9. EUROPAKO EKIMENAK

Bigarren mailako ikerketa honek EBk finantzatzen dituen eta fabrikazio aurreratuaren arloko joera teknologikoetan eta trebetasunen garapenean jarduten duten hainbat ekimen eman ditu ezagutzera. Proiektuek hainbat espezializazio-arlotako trebakuntza-material ugari sortu dute. Hurrengo taulan, Europa mailan eduki pedagogikoa eta jardunbide egokiak sustatzen dituzten



hainbat baliabide biltzen dira. LHko zentroek eta beste interes-talde gako batzuek baliabide horiek erabil ditzakete inspirazio eta oinarri gisa.

2 taula. Fabrikazio aurreratuaren arloko joera teknologikoei eta trebetasunen garapenei lotutako Europako proiektuen adibideak

PROIEKTUA	AZALPENA
OPTIMAI	Kalitate eta eraginkortasun industrialak hobetzen du AAn oinarritutako akatsen detekzioan, biki digitaletan eta errealitate handituan oinarrituta; Industria 4.0/5.0 trebakuntza ematen du.
I4MS	Fabrikazioaren sektoreko ETE-ei teknologia digitalak integratzen laguntzen dien Europako ekimena.
DATA.ZERO	Datuetan oinarritutako soluzioekin eta AAKo, Gauzen Interneteko (IoT) eta ikasketa automatikoko trebakuntzarekin akatsik gabeko fakturazioa sustatzen duen EBko proiektua.
PreMETS	Tresnen, mikrokredentzialen eta doako Moodle ikastaroen bidez mantentze-lan prediktiboan heziketa hobetzen duen Erasmus+ proiektua.
DRIVES	Mantentze-lanei, zibersegurtasunari, AARI eta robotikari buruzko online ikastaro masibo irekien (MOOS) bidez automozioari lotutako trebetasunak sustatzen dituen Erasmus+ proiektua.
4CHANGE	Metalgileek falta dituzten trebetasunak lantzen ditu enpresa-trebakuntza digitalaren eta lanean oinarritutako ikasketaren bidez.

4.2. TREBAKUNTZAN DUTEN ERAGINA ETA LANTZEN DIREN TREBETASUNAK

4.2.1. MANTENTZE-LAN PREDIKTIBOEN (PDM) ARLOAN BEHAR DIREN TREBETASUNAK

Trebakuntza-programetan teknologia berriak pixkanaka txertatzen ari dira maila desberdinetan. Jarraian dagoen taulan mantentze-lan prediktiboei (PdM) lotuta dauden eta garapen bidean dauden teknologia eta eremuak integratu dituzten programen adibideak azpimarratzen dira.

3 taula. Mantentze-lan prediktiboan (PdM) trebakuntzari lotutako teknologia eta arlo berriak

TEKNOLOGIA	TREBAKUNTZA / IKASTAROAK
Jasangarritasuna	- Zientzia eta Teknologia Industrialeko eta Garapen Jasangarriko Batxilergoa (Kualifikazioen Europako Esparruko 4. maila) (Frantzia) - Zientzia eta Teknologia Industrialeko eta Garapen Jasangarriko Goi-mailako Teknikari-ziurtagiria (Kualifikazioen Europako Esparruko 5. maila) (Frantzia)
Zibersegurtasuna	Zibersegurtasun, Konputazioaren Zientzia eta Sare Elektronikoko Batxilergoa eta Goi-mailako Teknikari-ziurtagiria (Kualifikazioen Europako Esparruko 4. maila) (Kualifikazioen Europako Esparruko 5. maila) (Frantzia)
Gauzen Interneta (IoT)	Ingeniaritza Mekanikoko eta Ekoizpen Ingeniaritzako Teknologiako Gradua, espezializazioa industriarako berrikuntzan (Kualifikazioen Europako Esparruko 6. maila) (Frantzia)
Gauzen Interneta (IoT) eta AA	Mantentze-lan Industrialeko Goi-mailako Teknikari-ziurtagiria



Gauzen Interneta (IoT), AA, zibersegurtasuna	• Ekipamendu Biomedikoaren Mantentze-lanen Lanbide Heziketako Gradua (Kualifikazioen Europako Esparruko 6. maila) (Frantzia) • Industria 4.0ren Mantentze-lanen Lanbide Heziketako Gradua (Kualifikazioen Europako Esparruko 6. maila) (Frantzia)
Gauzen Interneta (IoT), AA, zibersegurtasuna, jasangarritasuna, hodeia	• Produktu Mekanikoen Fabrikazioko Teknikari izateko Batxilergo Teknikoa, espezializazioa ekoizpenaren exekuzioan eta monitorizazioan (Kualifikazioen Europako Esparruko 4. maila) (Frantzia) • Goi-mailako Teknikari-ziurtagiria Produktuen Garapen-prozesuaren Sorreran (Kualifikazioen Europako Esparruko 5. maila) (Frantzia) • Goi-mailako Teknikari-ziurtagiria Sistema Automatizatuaren Diseinuan eta Ekoizpenean (Kualifikazioen Europako Esparruko 5. maila) (Frantzia) • Sistema Elektronikoen Diseinu eta Ekoizpeneko Lanbide Heziketako Gradua (Kualifikazioen Europako Esparruko 6. maila) (Frantzia) • Prozesu eta Prozedura Industrialen Diseinu eta Hobekuntzako Lanbide Heziketako Gradua (Kualifikazioen Europako Esparruko 6. maila) (Frantzia) • Produktu Industrialen Diseinuko Goi-mailako Teknikari-ziurtagiria (Kualifikazioen Europako Esparruko 5. maila) (Frantzia)
Arloetako ikastaroen adibideak: Gauzen Interneta (IoT), AA, zibersegurtasuna, jasangarritasuna, hodeia	• Frantzia: robotika-modulua. • Eslovenia: irakaskuntza digitala; Jasangarritasuna; Erabiltzaile-interfazea; Tresnen erabilera eraginkorra; Hakeatze etika - Trebakuntza praktikoa; Zibersegurtasuna; Adimen artifiziala informazioaren teknologian - Trebakuntza praktikoa; Adimen artifiziala; Zerbitzari-sistemak; Sare informatiko aurreratuak; Gauzen Interneteko (IoT) instalazio elektriko adimendunak; Jasangarritasuna; Erabilera eraginkorra eta energia-iturri berriztagarriak; Zibersegurtasuna, segurtasuna eta babesa; Zibersegurtasuna, sistema informatikoen babesa; Zibersegurtasuna, sistema informatikoen babesa. • Italia: sistemak eta sareak; Teknologia eta informazioaren diseinua eta telekomunikazio-sistemak; Konputazioaren zientzia; Telekomunikazioak; Proiektuen kudeaketa, negozioen antolaketa.

4.2.2. HORNIDURA-KATEAREN KUDEAKETAREN (SCM) ALORREAN LANDUTAKO TREBETASUNAK

Hornidura-katearen kudeaketaren (SCM) alorrean, geroz eta nabarmenagoa da teknologia berrien integrazioa. Jarraian dagoen taulan, arlo honi lotutako trebakuntza-programak eta trebetasunak laburtzen dira.

4 taula. Hornidura-katearen kudeaketako (SCM) trebakuntzari lotutako teknologia eta arlo berriak

TEKNOLOGIAK	TREBAKUNTZA	TREBETASUNAK
Jasangarritasuna	• Logistika eta Garraioen Teknologiaren Kudeaketako Gradua: Mugikortasuna eta Hornidura-kate Jasangarria • Jasangarritasuna hornidura-katearen kudeaketan	• Logistika eta garraio-katea kudeatzea jasangarritasuna ardatz hartuta • Baliabideen erabilera optimizatzea • Garapen-estrategia jasangarriak inplementatzea • Logistikan eta mugikortasunean jardunbide arduratsuak integratzea • Logistika-auditoretza jasangarriak egitea • Soluzio berritzaileak garatzea ingurune-irizpideak kontuan izanda • Erantzukizun Sozial Korporatiboko (ESK) estrategiak arlo logistikoa aplikatzea • Hornidura- eta ekoizpen-kateak sozialki, ekologikoki eta ekonomikoki jasangarri bihurtzea • Araudiak interpretatu eta aplikatzea (hala nola, Hornidura-kateari dagokion diligenzia-legea eta laster ezarriko den EBko zuzentarauak) jasangarritasun-neurriak ebaluatze eta optimizatze tresnak erabiliz • Jasangarritasuna plangintza estrategikoa eta eragiketen kudeaketan integratzea eta alderdi ekonomikoa, ekologikoa eta soziala orekatzea



		Hornidura-katea epe luzera jasangarria izateko lege-markoa eta estrategiak ulertzea
Zibersegurtasuna	- Kalitatea, logistika industrialak eta antolaketa, espezializazioa antolaketan eta hornidura-katean - Logistika eta garraioaren kudeaketa, espezializazioa mugikortasunean eta hornidura-kate jasangarrietan - Logistikako eta Fluxuen Kudeaketako Gradu Profesionala - ITen azpiegitura- eta segurtasun-teknikaria	- ITen segurtasuna eta sistemen babesa ziurtatzea - Tresna digitalak eta zibersegurtasun-arauak erabiltzea informazioa lortu, prozesatu, sortu eta zabaltzeko - Hodeiko azpiegiturretan gordetako datuak babesteko segurtasun-gidalerroak inplementatzea - Konfiguratu informazio-sistema bidegabeko sarreren, iruzurren, datuen urratzeen edo filtrazioen kontrako prebentzio-neurriak aplikatzeko - Enpresaren sare informatikoei eta telekomunikazioei behar bezala funtzionatzeko dutela ziurtatzea - Datu logistikoak babestea - Hodeiko azpiegitura segurua - Zibersegurtasun-estrategiak aplikatzea - Ziberarriskuak murriztea
AA	- Zientzia eta Ingeniaritzako Gradua, espezializazioa konektatutako sistema adimendunen mantentze-lanetan - Zientzia eta Ingeniaritzako Gradua - Informazio-sistemak (Kualifikazioen Europako Esparruko 6. maila) - Zientzia eta Ingeniaritzako Gradua - Konputazioaren zientzia eta sistema digitalak (Kualifikazioen Europako Esparruko 6. maila) - IT Proiektuen Koordinatzailea (hodeiko azpiegiturak, aplikazioak edo datuak) (Kualifikazioen Europako Esparruko 6. maila) - Logistika eta adimen artifiziala (AA)	- Mantentze-lan prediktiboak, robotika, mekatronika eta ordenagailuz lagundutako mantentze-lanen kudeaketa optimizatzea - Datuak prozesatu eta analizatzea, haietatik informazio estrategikoa ateratzeko eta hura lankideei emateko, erabakiak errazago har ditzaten. - Datuen prozesaketa eta sintesia - Datu-baseak garatu eta kudeatzea - AA aplikazioen garapenean integratzea - Industriarako adimen artifizialeko soluzioak diseinatu eta optimizatzea - AAko proiektuak antolatu eta kudeatzea - Adimen artifizialeko tresnak garatzea - Datuen analisi prediktiboak egitea adimen artifiziala erabiliz - Prozesu logistikoak automatizatzea robotika eta prozesuen automatizazio robotikoa (RPA) erabiliz - Makrodatuak erabiliz datuak kudeatzea - Eskaera aurreikusteko analisi prediktiboak aplikatzea - Entrega-ibilbideak optimizatzea algoritmo aurreratuak erabiliz eta sistema automatizatueta zibersegurtasun-estrategiak inplementatzea - AA erabiltzerakoan printzipio etikoak aplikatzea - Eragiketen eraginkortasuna maximizatzea eta inbertsioen itzulera bermatzea Logistika 4.0ra eta sektorean automozioaren etorkizunera begirako ikuspegiarekin
Hodeiko informatika	ITko Proiektuen Koordinatzailea (hodeiko azpiegiturak, aplikazioak edo datuak)	- Hodeiko azpiegitura kudeatzea - Informazioaren segurtasuna kudeatzea - Hodeiko informatika-zerbitzuak inplementatu eta mantentzea - Hodeiko azpiegiturretan gordetako datuak babesteko segurtasun-gidalerroak inplementatzea
Bloke-katea	Bloke-katearen Soluzioen Proiektu-kudeatzailea (Kualifikazioen Europako Esparruko 6. maila)	- Bloke-katearen berriazko sistemak diseinatu, kodetu eta hobetzea, programazio-hizkuntza egokiak erabiliz (adibidez, Solidity, C++ edo JavaScript) - Web-aplikazioak eta markoak garatzea - Bezeroen beharrak aztertzea eta bloke-katearen arkitektura sendo eta seguruak inplementatzea - Bloke-kateari eta kriptografiari buruzko ezagutza aurreratuak aplikatzea - Soluzio berritzaileak sortzea hainbat sektoretan (besteak beste, finantzen, logistikaren eta osasunaren sektoreetan) - Bloke-katearen proiektuak kudeatzea, helburuak betetzeko koordinazio egonkorra bermatuz eta bezeroaren beharrei erantzunez



		• Teknikoki fidagarriak eta eskalagarriak diren soluzioak eskaintzea
Gauzen Interneta (IoT)	• Gauzen Interneteko (IoT) Soluzioen Diseinatzaile eta Integratzailea	• Konektatutako gailuen arkitekturak inplementatzea, seinaleak, informazioa edo argibideak bidali, jaso eta prozesatu ahal izan ditzaten. • Negozioen erronka espezifikoak lantzea, negozioaren, zuzendaritzaren edo funtzionamenduaren beharretan oinarrituta • Jardueren automatizazioa erraztea, negozio-prozesuak optimizatzea eta erabakiak hartzeko kudeatzaileen gaitasuna indartzea

Hurrengo taulan, hornidura-katearen kudeaketako (SCM) edo harekin erlazionatutako arloetako trebakuntza-programei eta bertan lantzen dituzten trebetasun nagusiei buruzko informazio xehatua biltzen da.

5 taula. Hornidura-katearen kudeaketari (SCM) lotutako trebakuntzak eta lantzen diren trebetasun nagusiak

HERRIALD EA	TREBAKUNTZA	TREBETASUNAK
Frantzia	Logistika eta Garraioaren Kudeaketako Unibertsitate Diploma (Kualifikazioen Europako Esparruko 6. maila)	Logistika, garraioa, ingurunearekiko erantzukizuna, jasangarritasuna, trantsizio digitala, fluxuen kudeaketa
	Gaitasun profesionalen ziurtagiria: Technicien Logistique Industrielle (Kualifikazioen Europako Esparruko 6. maila)	Informazio-fluxuen kudeaketa, koherentzia industrial, horniduraren eta banaketaren ikuskapena, sistema informatizatuak
	Teknologiako Gradua: Management de la logistique et des transports, spécialité Mobilité et supply chain durables (Kualifikazioen Europako Esparruko 6. maila)	ITen segurtasuna, jasangarritasuna, logistika berritzailea eta garraio-estrategiak
	Teknologiako Gradua: Espezializazioa Logistika eta Garraioaren Kudeaketan, Mugikortasun Jasangarrian eta Hornidura-katean (Kualifikazioen Europako Esparruko 6. maila)	Teknologia berritzaileak eta soluzio digitalak logistikaren eta garraioen arloetan
	Zientzia eta Ingeniaritzako Gradua, espezializazioa Sistema Adimendun eta Konektatuen Mantentze-lanetan (Kualifikazioen Europako Esparruko 6. maila)	Trantsizio digitala eta energetikoa, AA, mekatronikoa, mantentze-lan prediktiboak, mantentze-lanen kudeaketa-sistema konputarizatuak (CMMS)
	Logistikako eta Fluxuen Kudeaketako Gradu Profesionala (Kualifikazioen Europako Esparruko 6. maila)	Biltegien automatizazioa, logistika jasangarria, zibersegurtasuna, ESK (Erantzukizun sozial korporatiboa), fluxuen kudeaketa
	Teknologiako Gradua: Kalitate, Logistika Industrial eta Antolaketa, Hornidura-kate eta Antolaketa Espezializazioa (Kualifikazioen Europako Esparruko 6. maila)	Tresna digitalak, ITen segurtasuna, informazio-fluxuen kudeaketa, hornidura-katea, prozesuen optimizazioa



	Zientzia eta Ingeniaritzako Gradua - Informazio-sistemak (Kualifikazioen Esparruko 6. maila)	Ingurunearekiko erantzukizuna, ekonomia zirkularra, datuen kudeaketa eta analisia, AA, digitalizazioa
	Zientzia eta Ingeniaritzako Gradua - Konputazioaren zientzia eta sistema digitalak (Kualifikazioen Esparruko 6. maila)	AA, Ikasketa sakona, Ikusmen artifiziala, HNP, datu-baseak, eraldaketa digitala
	AA eta Datu Zientzietako Garatzailea (Kualifikazioen Esparruko 6. maila)	AA garapena, Datu Zientzia, prozesuen optimizazioa, mantentze-lan prediktiboak, marketin digitala
	ITko proiektuen koordinatzailea (hodeiko azpiegiturak, aplikazioak edo datuak) (Kualifikazioen Esparruko 6. maila)	Informazioaren segurtasuna, hodeiko informatika, automatizazioa, AA, zibersegurtasuna, datuen babesa
	Datu Zientzietako Garatzailea eta Diseinatzailea (Kualifikazioen Esparruko 6. maila)	Analisi prediktiboa, AA, makrodatuak, ikasketa automatikoa, datuen prozesaketa
	Bloke-kateko soluzioen proiektu-kudeatzailea (Kualifikazioen Esparruko 6. maila)	Bloke-katea, kriptografia, sendotasuna, bloke-kateko aplikazioen garapena, kontratu adimendunak
	Gauzen Interneteko (IoT) soluzioen diseinatzaile integratzailea (Kualifikazioen Esparruko 6. maila)	Gauzen Interneta (IoT), automatizazioa, konektatutako gailuen sareak, datuen prozesaketa, prozesuen optimizazioa
	IT Azpiegituren eta Segurtasunaren Teknikaria (Kualifikazioen Esparruko 5. maila)	Sareak, zibersegurtasuna, hodeia, azpiegituren ikuskapena, ITko gorabeheren kudeaketa
	Unibertsitate-ikasketa zientifiko eta teknikoetako diploma: Webguneen kudeatzailea eta Interneti lotutako lanbideak (Kualifikazioen Esparruko 5. maila)	Webguneen garapena, konektatutako objektuak, errealitate birtuala, errealitate handitua, eduki digitalaren sorrera
	Prozesu Industrialen Diseinu eta Hobekuntzako Lanbide Heziketako Gradua (Kualifikazioen Esparruko 6. maila)	Trantsizio digitala, ekoizpen-lerroa, mantentze-lanak, robotika, tresna digitalak, zibersegurtasuna, etika, ingurunearekiko erantzukizuna.
	Logistikako Batxilergoa (Kualifikazioen Esparruko 4. maila)	Harrera, biltegiratzea, eskaeren prestakuntza, bidalketa, karga-jasogailuen erabilera, errepide bidezko garraioa, segurtasuna, kalitatea, inguruneari buruzko araudia, enpresa logistikoak, banaketa-plataformak, zerbitzu logistiko korporatiboak.
	Eragiketako Hornidura-katearen Kudeatzailearen Ziurtagiria (Kualifikazioen Esparruko 6. maila)	Logistikaren kudeaketa, negoziazioa, hornidura-katea, garraioa, biltegiratzea, hornidura, plangintza, kontrolatzailea, bidalketen kudeatzailea
Eslovenia	Mekatronika Teknikaria (Kualifikazioen Esparruko 4. maila)	Ingeniaritza mekanikoa, ingeniaritza elektrikoa, konputazioaren zientzia, automatizazioa eta robotika



	Logistika-teknikaria (Kualifikazioen Europako Esparruko 4. maila)	Logistika, gordailuak eta hornidura-katearen kudeaketa
	Logistikako (Kualifikazioen Esparruko 5. maila)	Ingeniaria Europako
	Mekatronika (Kualifikazioen Esparruko 5. maila)	Ingeniaria Europako
		Automatizazioa, robotika eta teknologia aurreratuen integrazioa ekoizpen-prozesuetan.
Turkia	Logistikako Gradua (Kualifikazioen Europako Esparruko 6. maila)	Hornidura-katearen kudeaketa, inbentarioaren kontrola, banaketa, logistikako informazio-sistemak
	Logistikako Teknikari Gradua (Kualifikazioen Esparruko 5. maila)	Biltegiatzea, garraioa, aduanako prozedurak, inbentarioaren kudeaketa
	Logistikako Goi-mailako Lanbide Heziketako Programa	Bidalketa, gordailua, biltegia, logistika-softwarea, praktikak, gordailuen ikuskatzailea, bidalketako langileak
Alemania	Hornidura-katearen kudeaketa	Hornidura-katearen kudeaketa, kostuen optimizazioa, bezeroen asebetetzea, hornidura-kateko eragiketen erreferentzia-eredua (SCOR)
	Jasangarritasuna hornidura-katearen kudeaketan	Araudiak, jasagarritasun sozial eta ekologikoa, optimizazio-estrategia jasagarriak
	Hornidura-katearen kudeaketa estrategikoa (Kualifikazioen Europako Esparruko 6. maila)	Logistika-sareen plangintza eta kudeaketa, kostuen murrizketa, simulazioa eta plangintza estrategikoa
	Hornidura-katearen kudeatzaile ziurtatua (Kualifikazioen Europako Esparruko 6. maila)	Balio-katearen optimizazioa, kostuen murrizketa, proiektu logistikoen kudeaketa
	Hornidura-katearen kudeatzaile ziurtatua izateko ikastaroa (Kualifikazioen Europako Esparruko 6. maila)	Balio-kateen optimizazioa, kostuen murrizketa, bezeroari bideratutako prozesuak, hornidura-katearen kudeaketaren oinarriak, proiektuen kudeaketa, tresna praktikoak.
	Ekoizpenaren Plangintzako SAP erabiltzaile ziurtatua (Kualifikazioen Europako Esparruko 4. eta 6. maila bitarte)	SAP sistemen nabigazioa, datu nagusien kudeaketa, ekoizpen-eskaerak, materialen mugimendua, inbentarioaren kudeaketa, SAP moduluekiko integrazioa (materialen kudeaketa, salmentak), txostenak egiteko tresnak, gaitasunen/baliabideen kudeaketa
	Lanaren prestakuntza eraginkorra -ekoizpen-prozesuaren plangintza eta jarraipena (Kualifikazioen Europako Esparruko 4. eta 6. maila bitarte)	Eskaeren programazioaren optimizazioa, ekoizpen-kontrola, materialen kudeaketa, enpresaren baliabideen plangintza-sistemak (ERP)/fabrikazioko exekuzio-sistemak (MES), gaitasunen plangintza, sorten neurketa, ITko plangintza-tresnak, entrega-zerbitzuaren hobekuntza.
Italia	Hornidura-katea, logistika eta eragiketak (Kualifikazioen Europako Esparruko 6. maila)	Hornidura-kateari lotutako trebetasunak, fluxu logistikoen optimizazioa, inbentarioaren kudeaketa, enpresaren baliabideen plangintza (ERP), bloke-katea, RFID, datuen analisia, erabaki estrategikoak, arriskuen kudeaketa
	Hornidura-katearen kudeaketa (Kualifikazioen Europako Esparruko 5. maila)	Horniduraren kudeaketa, jardunbide kolaboratiboak, eskaeratik entregatu bitarteko prozesuak, eskaririk hornidurara bitarteko prozesuak, negozio-bazkideen integrazioa, efizientzia, eraginkortasuna eta erantzuteko gaitasuna



	Hornidura-katearen kudeaketa	Materialen hornidura, ekoizpenaren kudeaketa, produktuen banaketa, muturretik muturrerako hornidura-katearen kudeaketa, gobernantza-eredu korporatiboak
--	------------------------------	---

4.2.3. EUSKADIKO ESPEZIALIZAZIO-PROGRAMAK

Euskadin, urtebeteko espezializazio-programa sorta oso bat sortu dute (Kualifikazioen Europako Esparruko 5. maila), formatu dualekoa eta ikasgelako ikasketa eta enpresetan oinarrituta trebakuntza konbinatzen dituen. Ikastaro hauek bi urteko goi-mailako lanbide heziketako ikasketak amaitu dituzten eta fabrikazio aurreratuaren eta eraldaketa digitalaren beharrekin lerrotuta dauden gaitasun aurreratuak eskuratu nahi dituzten ikasleei zuzenduta daude. Programa hauek Euskadiko LHko sistemaren etorkizunera begirako estrategiaren isla dira, zeinak trebakuntza industriaren benetako eta etorkizuneko beharrekin lerrotatzea baituen helburu. Xehetasun gehiago lortzeko, kontsultatu Euskadiko LHko zentroei buruzko informazioa.

Honako espezializazio-ikastaro hauek eskaintzen dira gaur egun, industria adimendunari eta digitalari lotutakoak barne:

6 taula. Euskadiko espezializazio-programak

PROIEKTUA	TREBETASUN OROKORRA
Fabrikazio adimenduna	Ekoizpen-helburuak identifikatuz, errendimendu-adierazle (KPI) gakoak aplikatuz eta ekoizpena kontrolatzeko teknologia aurreratuak erabiliz ekoizpen-prozesuak egokitzen dituzten proiektuak garatu eta kudeatzea, kalitate- eta segurtasun-eskakizunak bermatuz.
Mantentze-lan industrialen digitalizazioa	Ingurune industrialetan mantentze-lanak egiteko digitalizazio-proiektuak inplementatu eta kudeatzea, punta-puntako teknologiak aplikatuz eta kalitate-, segurtasun- eta ingurune-estandarrek betez.
Robotika kolaboratiboa	Beso robotikoak eta robot mugikor autonomoak barne hartzen dituzten robotika-proiektu kolaboratiboak garatzea eta robot horiek muntatu, eskatu eta mantentzea.
Zibersegurtasuna Informazioaren eta komunikazioaren teknologian (IT)	Segurtasun-estrategiak eta informazio-sistemak definitu eta inplementatzea eta, horretarako, zibersegurtasun-diagnostikoak egitea, ahultasunak identifikatzea eta indarreko araudiekin eta sektoreko estandarrekin bat datozen arriskuak murrizteko neurriak hartzea, aldi berean kalitateari, langileen segurtasunari eta ingurunearen babesari lotutako protokoloak gordez.
Zibersegurtasuna Eragiketa-teknologian (OT)	Diagnostikoak eginez, ahultasunak identifikatuz eta sektoreko araudiak eta estandarrei jarraikiz erasoak arintzeko neurriak aplikatuz erakunde eta azpiegitura industrialetan zibersegurtasun-estrategiak definitu eta inplementatzea, kalitatea, langileen segurtasuna eta ingurune-protokoloak gordetzen direla bermatuz.
Kalitate-kontrol metrologikoa	Produktuen, ekoizpen-sistemen eta neurketa-sistemen kalitatea ebaluatzea, kalitate-estandar aplikagarrien araberako proben eta egiaztapenen bitartez neurketak baliozkoak direla bermatuz eta dagokion dokumentazioa eginez, segurtasunari eta inguruneari lotutako araudia errespetatzearekin batera.
Adimen artifiziala eta makrodatuak	Informazioaren kudeaketa eta makrodatuen erabilera optimizatzen duten sistema adimendunak diseinatu eta aplikatzea, datuetarako sarbide segurua dela eta ezarritako eskuragarritasun-, erabilgarritasun- eta kalitate-estandarrek eta printzipio etiko eta legalak gordetzen direla bermatuz.



4.2.4. LEHENTASUNAK ETA TREBETASUN FALTA

Mantentze-lan prediktiboei (PdM) buruzko txostenaren arabera, trebakuntza-zentroentzat adimen artifiziala eta jasangarritasuna dira lehentasunezko arlo garapen bidean dauden teknologien baitan. Hornidura-katearen kudeaketaren (SCM) arloan, berriz, Gauzen Interneta (IoT), jasangarritasuna eta zibersegurtasuna dira lehentasun nagusi. Zentroen ia % 70k azpimarratu dute Gauzen Interneteko (IoT) sistemei, AAko tresnei eta datuen analisiari otutako trebetasun garrantzitsuen arrakala. Halaber, % 40k aipatu ditu hodeiko informatikari lotutako trebetasunak eta lankidetzari lotutakoak, berriz, % 14k bakarrik. Beraz, ondoriozta daiteke konpetentzia pertsonal horiek dagoeneko lantzen direla. Herrialde bakoitzeko emaitzen ondorioak:

- Frantziar AAri eta datuen analisiari lotutako trebetasunak falta dira,
- Italian Gauzen Interneteko (IoT) sistemei lotutakoak,
- Turkian hodeiko informatikari eta datuen analisiari lotutakoak,
- Esloveniar Gauzen Internetari (IoT) eta AA tresnei lotutakoak.

Frantziako trebakuntza-zentro bateko ordezkari batek adierazi zuen garrantzitsua dela trebetasunen garapena jakintza teorikoaren aurretik lehenestea. Halaber, hasierako formakuntza eta lanbide heziketa integratzearen balioa azpimarratu zuen, baita AAren eta errealtate handituaren (XR) gaitasuna ere; ez soilik trebakuntza-tresna gisa, baina baita ikasketa-prozesu osorako euskarri gisa ere.

4.3. LHKO ZENTROEN FUNTZIO ESTRATEGIKOA

Lanbide Heziketako zentroak eragile dinamiko eta estrategiko gisa hartzen dira gaur egun, zeintzuk trantsizio digital eta berdearen katalizatzaile izan baitaitezkeen. Ezin bizkorrago garatzen ari diren teknologien eta lan-merkatuaren behar aldakorren aurrean, zentrook paper garrantzitsua jokatzen dute trebetasunak egokitzeari eta eraldatzen ari diren sektore industrialen alde egiteari dagokionez.

Atal honetan azpimarratu bezala, eta erronkak egon badauden arren, teknologia berriak pixkanaka integratzen ari dira trebakuntza-programetan eta trebetasunak irakatsi egiten dituzte.

Erronka horien jakitun izanik, sektorearekin eta LHko beste zentroekin zituzten lankidetzak estrategikoak sendotu dituzte trebakuntza-zentroek, bigarrenen kasuan neurri txikiagoan. Halako lankidetzek, ezagutzaren trukea sustatzeaz gain, finantzaketa-iturri osagarrietarako sarbidea ere eskaintzen dute. Iturri horiek funtsezkoak dira trantsizioaren oztipo handienari, finantza-kostuei, aurre egiteko.

Testuinguru honetan, trebakuntza-zentroak babesletzez eta EBk finantzatutako proiektuez baliatu dira; bereziki, Erasmus+ programaren baitako programez.

Horrez gain, zentroek euren trebakuntza-eskaintza areagotzeko erabili dute aukera hori. Hala, trebakuntza espezifiko eta espezializatuagoak eskaintzen ari dira pixkanaka eta, aldi berean, teknologia berriak euren irakaskuntza-estrategian integratu dituzte. Aldaketa horiei esker, zentroek ikasketa-metodo moderno, interaktibo eta industriara egokituagoak eskaini ditzakete, gaur egungo lan-testuinguruaren errealtateekin hobeto lerrotatzen direnak.

LHko zentroak ezinbesteko eragileak dira industria eraldatzeko. Izan ere, berrikuntza eta talentuaren garapena sustatzen dituzte eta, aldi berean, eskualdeko lehiakortasuna areagotzen dute. Gaur egun, oinarritzko trebakuntza eskaini baino gehiago egiten dute LHko zentroek: negozioekin aktiboki elkarlanean jarduten dute soluzioak sortzeko, programa espezializatuak garatzen dituzte eta ikerketa aplikatuak eta berrikuntza-proiektuak egiten dituzte fabrikazio aurreratuaren eta digitalizazioaren testuinguruetan.



4.4. ONDORIOAK ETA GOMENDIOAK

4.4.1. ONDORIOAK

Aho batez berretsi da Lanbide Heziketako zentroek trantsizio digital eta berderako eragile dinamiko gisa duten funtzio estrategikoa. Erakundeok garapen bidean dauden teknologia eta eremuak integratzen ari dira pixkanaka; besteak beste adimen artifiziala (AA), jasangarritasuna, Gauzen Interneta (IoT), zibersegurtasuna, bloke-katea, hodeiko informatika, errealitate birtuala eta handitua, ikasketa sakona eta robotika.

Trebakuntza-zentroekin egindako inkestan arabera, AA eta jasangarritasuna dira lehentasun nagusiak mantentze-lan prediktiboen (PdM) arloan. Hornidura-katearen kudeaketaren (SCM) arloan, berriz, Gauzen Interneta (IoT), jasangarritasuna eta zibersegurtasuna lehenesten dituzte.

Eraldaketa berde eta digitalak hainbat aukera eskaini dizkie LHko zentroi, besteak beste:

- Trebakuntza-eskariaren gorakadak eskaintzen dituzten aukerak zabaltzea ahalbidetu du.
- Trebakuntza-programak are gehiago dibertsifikatzeko eta espezializatzeko aukera. Programa horiek, trebetasun teknikoak sartzeaz gain, diziplinarteko gaitasunak ere barne hartzen dituzte gaur egun. Horren adibide da, besteak beste, Euskadin sortutako urtebeteko espezializazio programa duala. Programa horrek fabrikazio adimendunaren, digitalizazioaren, robotika kolaboratiboaren, zibersegurtasunaren eta kalitate-kontrolaren arloetako trebetasun aurreratuak ditu ardatz.
- Gertuagoko lankidetzak industria-sektorearekin.
- Teknologia berriak tresna pedagogiko gisa erabiltzearen gorakada.
- Online eta aurrez aurreko irakaskuntza konbinatzen duten ikasketa-eredu hibridoek eskuragarriago eta malguago egin dituzte trebakuntzak. Formatuok bereziki onuragarriak dira langileentzat.
- LHen eraberritzea sustatzen duten Europako ekimenen bultzada.
- EBko programen bidez finantzaketa lortzea.
- Finantzaketa-iturriak dibertsifikatzea, beste trebakuntza-zentro eta sektoreekin lankidetzan jarduteari esker.
- Euskadin, nahiz eta enpresen kultura digital faltak oztopo izaten jarraitzen duen, LHko zentroek paper garrantzitsua joko dezakete eraldaketaren bultzatzaile gisa, langileak industriaren digitalizazioak dakartzan erronkei aurre egiteko prestatuz

Hala ere, teknologia berrien integrazioak erronka nabarmenak ere ekarri ditu, hala nola:

- Erakundeen autonomia mugatua, zeinak etengabeko aldaketei modu eraginkorrean erantzuteko gaitasuna mugatzen baituen.
- Teknologia berrien integrazioak dakartzan kostuak etengabe handituz joatea.
- Irakasleentzako trebakuntza espezializatu falta, zeinak teknologiak modu eraginkorrean implementatzeko gaitasuna mugatzen baituen.
- Hornidura-katearen kudeaketaren (SCM) eremuan hainbat trebetasun-arrakala identifikatu dira arlo gakoetan. Herrialdearen arabera ondorioetan hutsune hauek nabarmentzen dira: Frantzia, AAri eta datuen analisiari lotutako trebetasunen falta dago; Italian IoT sistemen integrazioarena; Turkia, hodeiko informatika eta datuen analisiarena eta Eslovenia, berriz, IoT eta AArak tresnena.
- Euskadiko LHko zentroek ez dituzte oraindik LHko tituludunak eraldaketa digitala sustatzeko aukera gisa hartzen. Nahiz eta zentro askok automatizazio- eta digitalizazio-programa aurreratuak (Kualifikazioen Europako Esparruko 5. maila) eskaintzen dituzten, sektoreak askotan ez ditu kualifikazio horiek aitortzen edo eskatzen. Ondorioz, ikasleek



aukera mugatuak izaten dituzte goi-teknologiako funtzioetan eta LHko zentroek ez diote sektorearen berrikuntzari ahal bezainbeste ekarpen egiten.

4.4.2. GOMENDIOAK

- Ikasketa-eredu hibridoak sustatzea: Online eta aurrez aurreko ikasketa konbinatzen dituzten ikasketa-ibilbide malguak zabaldu, askotariko ikasle profilei, bereziki profesionalei, aukerak eskaintzeko eta bizi osoko ikasketa sustatzeko.
- Trebakuntza-aukera zabaldu eta programa espezializatu kopurua handitzea.
- Trebetasunen arrakala garrantzitsuei aurre egitea.
- Irakasleen trebakuntza sendotzea.
- Enpresekin eta beste trebakuntza-zentroekin lankidetzat indartzea.
- Finantzaketa-iturriak dibertsifikatzea: LHko zentroak finantzaketa publikoa, sektoreko babesletzak, Europako proiektuak eta finantzaketa-mekanismo kolaboratiboak mobilizatzea bultzatzea, muga finantzarioei aurre egin ahal izateko.
- Europako ekimenez baliatzea: Europar Batasunak trantsizio digital eta berdeari eta, orokorki, hezkuntza sustatzeko erabilgarri jarri dituen tresna eta baliabideei ahalik eta etekin handien ateratzea.
- Herrialde bakoitzera egokitutako trebakuntza-ekimenak gauzatzea, hornidura-katearen kudeaketako trebetasun-arrakalei aurre egiteko: AA eta datuen analisia Frantzia, Gauzen IoT sistemak Italia, hodeiko informatika eta datuen analisia Turkian eta IoT eta AA tresnak Eslovenian.
- Trebetasunen garapena jakintza teorikoaren aurretik lehenestea. Horretarako, hasierako trebakuntza eta lanbide-heziketa integratzea eta AA eta errealitate handitua (XR) erabiltzea; ez soilik heziketa-tresna gisa, baizik eta baita ikasketa-prozesu osorako euskarri gisa ere.

5. ONDORIOAK ETA ETORKIZUNERA BEGIRAKOAK

Europar Batasuneko eta haragoko fabrikazio aurreratuko sektorearen hazkundera, erresilientzia eta jasangarritasuna sustatzeko, funtsezkoa da langileen behar aldakorak aurreikustea, heziketa- eta trebakuntza-programak hobetzea eta industriaren eta LHko hornitzaileen arteko lerrokatzea indartzea. Txosten honek mantentze-lan prediktiboei (PdM), hornidura-katearen kudeaketari (SCM) eta Euskadiko eskualdeko xehetasunei buruzko hiru ikerketa osagarriren laburpena egiten du. Halaber, trantsizio digital eta berdeak industria-testuinguruan eta hari lotutako hezkuntza-ekosistemetan duten eraginari buruzko ikuspegi integratua eskaintzen du.

Lan honek gaur egun gertatzen ari den eraldaketaren ikuspegi dinamiko eta xehatua eskaintzen du. Horretarako, eremu-ikerketa sakonaz, herrialde askotako inkestez, kasu ikerketa instituzionalez baliatzen da, baita ETE-ekin, fabrikatzaile handiekin, LHko zentroekin eta irakasleekin izandako interakzio zuzenez ere. Txostena fabrikazio aurreratuko bi arlo nagusitan ardatzen da; hain zuzen, mantentze-lan prediktiboetan (PdM) eta hornidura-katearen kudeaketan (SCM). Hala, industria eraldatzen ari diren teknologiez gain, egokitzapenak arrakasta izan dezan funtzionamenduari, antolaketari eta langileei lotuta egin beharreko aldaketak ere aztertzen ditu txostenak.

Txostena sei gaitan banatuta dago: aldaketa teknologikoak eta funtzionamendu-aldaketak, integrazio berdea eta digitala, ETE-en oztopo espezifikoak, garapen bidean dauden trebetasunak eta langileen itxaropena, berrikuntza-eredu estrategikoak eta LHko sistemen eraldaketa. Bertatik ateratako ondorioek helburu bera dute: etorkizunerako prest dagoen fabrikazio-ekosistema bat



sortzea, heziketa dinamikoan, trebetasunen garapen inklusiboan eta sektore arteko lankidetzan sendoan oinarritua. Hala, irakaspen estrategikoak laburtzen eta zeharkako gomendioak azpimarratzen dira amaierako atal honetan. Era berean, etorkizunera begirako ikuspegi bat ematen da Europak berrikuntza industrialak pertsonengan ardaztutako garapenarekin nola lerroka dezakeen azaltzeko.

5.1. EMAITZA NAGUSIEN LABURPENA

Digitalizazioak, jasangarritasunari lotutako eskakizunek eta langileen dinamika aldakorrek bultzatuta, fabrikazio aurreratua bizkor ari da eraldatzen. Mantentze-lan prediktiboetatik (PdM), hornidura-katearen kudeaketatik (SCM) eta Euskadiko eremu-ikerketatik ateratako xehetasunek joera komunak, erronka estrukturalak eta ETE-en eta LHko ekosistemetak aukera egingarriak azpimarratzen dituzte. Ondorio horiek sei gai nagusitan banatzen dira:

5.1.1. ALDAKETA TEKNOLOGIKOAK ETA ERAGIKETA-ALDAKETAK

AA, Gauzen Interneta, biki digitalak, ertzeko informatika eta hodeian oinarritutako soluzioak mantentze-lan prediktiboetako (PdM) eta hornidura-katearen kudeaketako (SCM) eragiketa-prozesuak eraldatzen ari dira. Mantentze-lan prediktiboek (PdM) aktiboen fidagarritasuna areagotzen, atseden-denbora murrizten eta bizi-zikloaren kostuak optimizatzen dituzte. Hornidura-katearen kudeaketa (SCM), berriz, erresilienteago eta bizkorrago bihurtzen ari da hornidura-sare digitalen (DNS) bidez. Testuinguru desberdinetan erabiltzen diren arren, zerbitzuetan oinarritutako sistema autonomo azalgarrietan egiten dute bat bi arloek. Sistemok lan-fluxuak berregituratzea, zeharkako lankidetzak eta datuetan oinarritutako erabakiak hartzea eskatzen dute. Eredu berriek (hala nola, plataformetan oinarritutako ekosistemek, zerbitzuetara bideratutako arkitekturek eta proba-bankuek) esperimentatzeko, arriskuak murrizteko eta interes-taldeetan berrikuntza eskalagarria zabaltzeko aukera ematen dute.

5.1.2. TRANTSIZIO DIGITAL ETA BERDEAREN ERAGINA

Mantentze-lan prediktiboen (PdM) eta hornidura-katearen kudeaketako (SCM) teknologiek, eragiketen eraginkortasuna hobetzeaz gain, jasangarritasunaren alde ere egiten dute. Mantentze-lan prediktiboek (PdM) inguruneari lotutako helburuak betetzea ahalbidetzen dute. Horretarako, ekipamenduaren bizia luzatzen, energia-kontsumoa murrizten, garraioari lotutako emisioak murrizten eta zirkulartasunare alde egiten dute. Hornidura-katearen kudeaketa (SCM) ingurumenaren aldeko jardunbideekin lerrokatzen da emisioen jarraipena eginez, alferrikako material-hondakinak murriztuz, hornidura zirkularreko estrategiak ezarri eta diseinu kolaboratiboaz baliatuz. Tresna digitalei esker, enpresek geroz eta gaitasun handiagoa dute inguruneari lotutako betebeharrak aurreikusi eta betetzeko eta, hala, eragiketen optimizazioa inguruneari lotutako helburuekin lerroka dezakete.

5.1.3. OZTOPOAK ETA HORNIDURA-KATEAREN KUDEAKETAKO (SCM) BERARIAZKO ERRONKAK

Mantentze-lan prediktiboek (PdM) eta hornidura-katearen kudeaketak (SCM) egiturari lotutako oztopo berberak dituzte. Muga finantzarioek oztopo nagusi izaten dute. Izan ere, ETE-ek zailtasunak izaten dituzte teknologiak hobetzeko finantzaketa lortzeko; bereziki, sistema modular edo interoperagarrien kasuan. Erronka teknikoak, besteak beste: zaharkitutako azpiegitura, interoperabilitate falta eta zibersegurtasun-arriskuak. Antolaketari dagokionez, ETE-ek heldutasun digital baxuari, ITen barneko laguntza mugatuari, aldaketarekiko erresistentziari eta ikuspegi



estrategiko argiaren faltari egin behar diote aurre. Mantentze-lan prediktiboen (PdM) inplementazioaren kasuan, enpresek ez dute haren inguruko aholkularitza nahikorik jasotzen eta inbertsioen itzulera ere ez da ziurra. Hornidura-katearen kudeaketa (SCM), berriz, oso abiadura geldoan ari da eraldatzen, plangintza-sistema zatikatuen, nahikoa erabiltzen ez diren tresnen eta datuen gobernantzari lotutako arrakalen ondorioz.

5.1.4. GARATZEN ARI DIREN TREBETASUNAK ETA LANGILEEN BEHARRAK

Eragiketa digital eta berdeetarako aldaketa trebetasun industrialen egoera eraldatzen ari da. Rolak hibrido bihurtzen ari dira eta horrek ezagutza tradizionala, pentsamendu sistemikoa eta plataforma digitalen ezagutza uztartzea eskatzen du. AAri, diagnostikoei, zibersegurtasunari, hodeiko interfazeei eta datuen interpretazioari lotutako gaitasunek gero eta garrantzia handiagoa hartzen ari dira. Langileei etengabe ikasteko, bizkor egokitzeko eta alorren artean elkarlanean jarduteko eskatzen zaie. Zeharkako trebetasunak eta konpetentzia pertsonalak (hala nola, komunikazioa, arazoak konpontzeko gaitasuna eta moldakortasuna) ere geroz eta gehiago eskatzen dira, bereziki lan-fluxuak garatzen eta automatizazioa zabaltzen ari den heinean.

Hala ere, oztopo nabarmenak daude oraindik ere: trebetasun digitalen arrakala, langileen erresistentzia eta trebakuntza-programen eta industria sistemen arteko lerrokatze falta. Erronka horiei aurre egiteko, beharrezkoa da pertsonengan ardaztutako aldaketaren kudeaketa-estrategiak inplementatzea, trebakuntza teknikoan egokitzapen kulturala kontuan hartzen dutenak. Metodo horiek, langileen prestutasuna areagotzeaz gain, antolaketa-prozesuetan teknologia berriak modu jasangarrian integratzen direla bermatzen dute.

5.1.5. IKUSPEGI ESTRATEGIKOA ETA BERRIKUNTZA-EREDUAK

Etorkizunera begira, Europako fabrikazio-ekosisteman aurrerapausoak emateko, trantsizio digital eta berdeari lotuta, beharrezkoa izango da garapen teknologikoa langileen garapenarekin eta erakundeen moldagarritasunarekin lerrokatzen duten aurrera begirako estrategia integratuak sortzea. Txosten hau Europako analisiak (mantentze-lan prediktiboei eta hornidura-katearen kudeaketari buruzko txostenak) eta Euskadik emandako eskualdeko azterketa sakona hartzen ditu oinarritzat, berrikuntza-eredu estrategikoak, garapen bidean dauden jardunbide egokiak eta xehetasun egingarriak identifikatzeko. Euskadiko txostenak garrantzia berezia ematen dio eskualdeko LHko zentroek industriaren berrikuntzaren sustatzaile gisa duten paperari eta trebetasunen garapen kolaboratiboko ahaleginen eta arrisku baxuko esperimentazio-markoen adibide errealak ematen ditu.

Mantentze-lan prediktiboetan (PdM), epe luzeko lehiakortasuna mantentzeko beharrezkoa da finantzaketa-aukera gehiago eskaintzea, langileen trebakuntzan eta jakintza digitalean inbertitzea eta datuetan oinarritutako estrategiak optimizatzea. **Hornidura-katearen kudeaketaren (SCM)** arloan, gardentasuna sustatu, bazkideen artean konfiantza sortu, helburu digitalak eta berdeak lerrokatu eta datuen gobernantza sendotu behar dira etorkizuneko arrakasta bermatzeko.

Helburu horietarako, berrikuntza-eredu eta gaitzaile ari dira sortzen:

- **Eraldaketa-estrategia modular eta kolaboratiboak:** ETE-ak berrikuntza eta arrazoizko prezioak orekatzen dituzten estrategia gradualak hartzen ari dira. Estrategia horiek azpiegitura partekatuetan, partzuergoek bideratutako garapen-proiektuetan eta bazkide-taldean arteko plataformetan oinarritzen dira askotan, arriskuak denen artean banatzea eta, aldi berean, denak irabazten ateratzea ahalbidetzen baitute.
- **Zerbitzuetara bideratutako arkitekturek** (adibidez, **zerbitzu gisako mantentze-lan prediktiboek**) ETE-ei aukera ematen die azpiegitura garestietan inbertitu beharrik gabe gaitasun prediktiboak erabili izateko. Soluzio horiek ekipamenduen jatorrizko fabrikatzaileek (OEM) edo hodeiko plataformek eskaini ohi dituzte eta barneko teknikarien



erantzukizunak datuen analistei eta kanpoko zerbitzu-hornitzaileei esleitzen dizkie. Hala, malgutasuna areagotzen da eragiketen fidagarritasuna mantendu bitartean.

- **Proba-bankuek eta bazkidetza publiko-pribatuak** geroz eta protagonismo handiagoa dute arriskuak murrizteko, ikerkuntza eta garapen aplikatua ahalbidetzeko eta LHko sektorean lankidetzak sustatzeko mekanismo gisa. Euskadiko txostenak horixe berresten du. Izan ere, frogatzen du tokiko LHko zentroak berrikuntzaren aitzindari direla ETE-ekin eta kluster industrialekin batera.
- **Finantzaketa pribatuak eta EBko proiektu kolaboratiboak** babestutako **integrazio-estrategia gradualek** (adibidez, LCAMP) garapen bidean dauden teknologiak arrisku gutxiagoko ingurune kontrolatuetan probatzeko aukera ematen diete ETE-ei. Estrategia bereziki baliotsua da barneko gaitasun mugatuak dituzten enpresentzat.
- **LHko zentroak katalizatzaile gisa:** Euskadiko txostenak eta EBko ikerketa zabalak bat datoz LHko zentroen funtzio estrategikoan. Zentrook, berrikuntza aplikatua sustatzeaz gain, zubi lanak egiten dituzte behar industrialen eta trebakuntza-eskaintzen artean. Ikasketa-plana egokitzeko, ikasketa hibridoa sustatzeko eta langileak lanpostu pedagogiko modernoetarako trebatzeko duten gaitasunari esker, eragile gakoak dira sektorearen eraldaketan.
- **Jakintza digitala duten tarteko rolak** funtsezko bihurtzen ari dira bai mantentze-lan prediktiboan (PdM) arloan, baita hornidura-katearen kudeaketarenean (SCM) ere. Laneko profil berri horiek (askotan LHko trebakuntzen eragina dutenak) ekoizpen-eremu tradizionalak jakintza eta gailu digital aurreratuak lotzen dituzte. Halaber, lankidetzan jarduten dute AAKo kanpoko hornitzaileekin, mantentze-lan prediktiboetako adituekin edo software-integratzaileekin.

Azkenik, **hornidura-katearen kudeaketako berrikuntza-ereduek konfiantzan oinarritutako elkarlanak duen paper garrantzitsua azpimarratzen dute.** Tresna digitalek gardentasuna, denbora errealeko komunikazioa eta trazabilitatea sustatzen dituzten bitartean, **konfiantzaren alderdi humanoak ere funtsezko** izaten jarraitzen du hornidura-katearen epe luzeko lankidetzetan. Lerrokatze kulturalaren, harremanen jarraitutasunaren eta helburu partekatuen bidez konfiantza sortzeak geroz eta aitortza handiagoa du erresistentzia eta berrikuntza industrialeko funtsezko osagai gisa.

5.1.6. LHKO SISTEMEN ETA HEZKUNTZAREN ERALDAKETA

Lanbide Heziketako zentroek geroz eta aitortza handiagoa jasotzen dute fabrikazio aurreratuaren trantsizio digital eta berdeari dagokionez. European –eta, aipatu bezala, Euskadin, bereziki– zentrook hezkuntza-erakunde huts izatetik berrikuntza aplikatuko, langileen garapeneko eta lankidetzak industrialeko gune dinamiko izatera pasatu dira.

Emaizten arabera, **trebakuntza-hornitzaileek industriarekiko lankidetzak areagotzen ari dira**, baita oinarritzko teknologiak (besteak beste, AA, IoT, hodeiko informatika eta zibersegurtasuna) integratzen dituzten ikasketa-planak elkarlanean diseinatzen ere. Halaber, **eredu pedagogiko hibridoak** probatzen ari dira, non aurrez aurreko eta online ikasketa konbinatzen baitituzten malgutasuna eta erabilerraztasuna areagotzeko. Eraldaketa horiek funtsezkoak dira trebetasunei lotutako behar aldakorrei erantzuteko eta ikasleak (bai ikasle berriak, bai trebetasunak hobetzen ari direnak) ingurune industrial modernoek konplexutasunetarako prestatzeko.

Hala ere, gainditu beharreko erronkak daude oraindik. **LHko zentroek muga estrukturalak egin behar diete aurre askotan;** besteak beste, programak sortzeko autonomia mugatuari, irakasleentzako trebakuntza (bereziki tresna digitalei eta irakaskuntza-metodologia berriei lotutakoa) faltari, curriculumaren egitura zaharkituei eta ekipamendua eta azpiegiturak berritzeko finantzaketa mugatuari. Ondorioz, zentro askok ez daukate sektorearen eraldaketaren erritmoari eusteko gaitasunik.



Arrakala horiei aurre egiteko, LHko zentroak formatu berriak arakutzen ari dira izen-emateen gorakadari eta enplegatzaileen kualifikazio oso espezializatuen eskariari erantzuteko; hala nola, **mikrokredentzialak, trebakuntza-ibilbide modularrak eta zentroen arteko lankidetzak**.

Euskadiko txostenak azaltzen du nola ari diren erronka horiei aurre egiten **finantzaketa publikoak eta lankidetzak-proiektuek** babestutako **teknologia gradualki integratzeko estrategien** bidez. Ekimen hauek arrisku gutxiko ingurune seguruak eskaintzen dituzte garapen bidean dauden teknologiak probatu eta berrikuntza sustatzeko. Horrez gain, **Euskadiko LHko zentroak aktiboki ari dira berrikuntza-proiektu aplikatuetan parte hartzen**. Hala, eragile garrantzitsu bihurtu dira eskualdeko estrategia industrialetan. **Langileen trebetasunen hobekuntza eta hedapenari** egindako ekarpenek LHko zentroek tokiko ekosistemak sustatzeari eta eraldaketa bertan sustatzeko joka dezaketen paper garrantzitsua nabarmentzen dute.

Azkenik, **EB mailako ekimenek (adibidez, Ikasleengan Zentraturako Fabrikazio Aurreratuaren Plataformak [LCAMP])** funtsezko koordinazioa eta laguntza eskaintzen dute, tokiko esperimentazioa kontinenteko helburu estrategikoekin lerrotuz. Industria, gidalerroak eta hezkuntza uztartuz, programa hauek LHko zentroek fabrikazio aurreratuaren etorkizunari begira **berrikuntzaren, jasangarritasunaren eta inklusioaren katalizatzaile** gisa jarduteko duten gaitasuna hobetzen dute.

5.2. IRAKASPEN ESTRATEGIKOAK

Fabrikazio aurreratuaren teknologia digital eta berdeen bidezko eraldaketak hiru irakaspen estrategiko ematen ditu aditzera, denak ala denak industriaren bilakaera langileen garapenarekin eta hezkuntza-berrikuntzarekin lerrotatzeko garrantzitsuak:

- **Teknologia ez da neutrala. Haren integrazioa testuinguruaren arabera da eta desorekatua da.**
Enpresa handiak buru izan ohi dira berrikuntzan, barneko azpiegitura sendoez eta inbertitzeko gaitasunaz baliatzen direlako. ETE-ek, aitzitik, denbora gehiago behar dute teknologia horiek integratzeko, muga finantzario eta teknikoak eta antolaketari lotutakoak direla eta. Gauzak horrela, eraldaketa-estragiek hasierako puntu bereizi horietara egokitu eta zerbitzuetara bideratutako soluzio modular eta eskalagarriak lehenetsi behar dituzte.
- **Trantsizio digitala eta berdeak bat egin dute eta elkar indartzen dute.**
Gaur egun, jasangarritasunari lotutako helburuak teknologiaren arloko gai-zerrenda ez daude berezita. Mantentze-lan prediktiboek (PdM) energiaren erabilera, alferrik galtzen diren materiala eta emisioak murrizten dituzte mantentze-lan proaktiboek bidez. Hornidura-katearen kudeaketaren (SCM) digitalizazioak ekonomia zirkularreko ereduak eta emisioen monitorizazioa ahalbidetzen ditu. Tresna digitalek inguruneari lotutako helburuak betetzen jarraitzen dute, elkarrekin bereganatu beharreko sinergiak sortuz.
- **Mantentze-lan prediktiboek (PdM) eta hornidura-katearen kudeaketaren (SCM) arloetan, geroz eta maizago eskatzen dira lanpostuen deskribapenean trebetasun teknikoak eta ezagutza digitalak, datuak interpretatzeko gaitasuna, AA erabiltzeko erraztasuna eta ikasketa-eremuetatik kanpo lankidetzan aritzeko gaitasuna.**
Eskakizun berri horiek garbi islatzen dute arlo jakinetako ezagutza sakona eta funtzio eta pertsona arteko trebetasunak eta trebetasun digitalak konbinatzen dituzten profil hibridoek behar gorakorra.
- **LHko sistemak eragile estrategiko bihurtzen ari dira berrikuntza-ekosistemetan.**
LHko zentroen funtzioa trebakuntza eskaintzetik harago doa. Euskadin argi ikus daitekeen moduan, berrikuntza industriaren sustatzaile, teknologia aplikatuen proba-banku eta tokiko erresilientzia ekonomikoaren eragile bihurtu dira LHko zentroak. Haien autonomia, gaitasun teknikoak eta industriarekiko loturak sendotzea funtsezkoa da trantsizio-ibilbide inklusiboak bermatzeko.
- **Trebetasunak dira eraldaketaren eguneroko oigia eta haiek ere eraldatzen ari dira.**



- **AAko, hodeiko informatikako eta Gauzen Interneteko (IoT) gaitasun teknikoak izatea funtsezko bihurtzen ari da.** Dena dela, zeharkako gaitasunak ere garrantzitsuak dira: moldakortasuna, pentsamendu kritikoa, lankidetzeta eta ikasteko autonomia. Rol hibridoak sortzen eta laneko inguruneak datuetan aberats bihurtzen ari diren heinean, eragiketen inguruko ezagutza gaitasun analitikoekin eta konpetentzia pertsonalen erresilientziarekin konbinatu behar dituzte langileek.
- **Aldaketaren kudeaketa da eraldaketaren ardatz.**
- **Teknologiaren integrazioa kulturala bezain teknikoa da.** Trantsizio industrialaren eta hezkuntza-trantsizioaren arrakasta lidergoaren, komunikazioaren eta konfiantzaren mende daude. Automatizazioarekiko erresistentziatik eredu pedagogiko zaharkituetara bitarte, beharrezkoa da pertsonak eta instituzioak etengabe eraberritzea aurrerapausoak eman ahal izateko.

5.3. GOMENDIOAK

Irakaspen estrategiko horiei guztiei erantzuteko, zeharkako gomendio hauek proposatzen zaizkie fabrikazio aurreratuaren ekosistemako interes-taldeei:

Gidalerro-egile eta finantza-agintariei

- Ziurtatu eraldaketa digital eta berdean etengabe inbertitzen dela. Horretarako, sustatu ETE-en integrazio-prozesua bazkideztza publiko-pribatuen, berrikuntza-kupoiaren eta arriskurik gabeko esperimentazio-plataformen bidez.
- Aitortu LHko zentroek eraldaketarako eragile estrategikoak direla eta sustatu haien autonomia, azpiegituren hobekuntza eta berrikuntza-ekosistemetan jarduteko gaitasuna.
- Bultzatu herrialdeko kualifikazio-markoak eta garapen bidean dauden lanbide-profilak lerrokatzea eta ziurtatu aldatzen ari diren laneko rola eta trebetasun sorta hibridoak Europa mailan aitortzen dituztela eta herrialde batetik bestera transferitu daitezkeela.

ETE eta interes-talde industrialei

- Integratu teknologia modular eta eskalagarriak (adibidez, zerbitzu gisako mantentze-lan prediktiboak eta hodeian oinarritutako hornidura-katearen kudeaketako [SCM] plataformak) inbertsioen arriskuak murrizteko eta bizkortasuna areagotzeko.
- Inbertitu langileen trebetasunen garapenean mikrokredentzialen eta bizi osoko ikasketaren bidez (adibidez, AAren, datuen interpretazioaren eta eragiketa jasagarrien arloetan).
- Sustatu elkarlanaren kultura. Horretarako, elkartu plataformen ekosistemak, parte hartu eskualdeko berrikuntza-sareetan eta areagotu konfiantza hornidura-katean.

LHko zentroei eta trebakuntza-hornitzaileei

- Garatu eta integratu online eta aurrez aurreko ikasketa konbinatzen dituzten trebakuntza-eredu hibridoak, ikasle zein profesionalei malgutasun handiagoa emateko.
- Lagundu enpresei curriculum diseinatzeko eta trebetasunak mundu errealean aplikatzeko, bereziki proba-bankuen, kasu-ikerketen eta berrikuntza-proiektuen bidez.
- Sendotu irakasleen trebakuntza, haiei ezagutza digitalak eta metodo pedagogiko modernoak irakatsiz.

EB mailako koordinazioari

- Eman jarraipena joera teknologikoak, behar diren trebetasunak eta trebakuntzaren beritasunak behatzeko metodologia egituratuak sortzen dituzten ekimenei –adibidez, Ikasleengan Zentratutako Fabrikazio Aurreratuaren Plataformari (LCAMP)–.



- LAgundu Estatu Kideetan trantsizio digital eta berderako estrategiak bateratzen eta, horretarako, eman LHko zentroeiei eta ETE-ei helburu- eta laguntza-marko koherente batean jarduteko aukera.

Gomendio horiek jarraituta, fakturazio aurreratuaren sektoreak nazioartean lehiakorra, jasagarria eta sozialki inklusiboa izaten jarraitzen duela berma dezake Europak, etorkizuneko erronkei aurre egiteko gai den LHko ekosistema baten laguntzarekin.



5.4. ETORKIZUNERA IKUSPEGIA

BEGIRAKO

Fabrikazio aurreratuaren sektorea eraldatzen ari diren trantsizio berdea eta digitala ez datza erronka teknologikoetan bakarrik; giza aukerak eta aukera sistemikoak ere badira. Etorkizunera begira, garbi dago tresna berriak ez direla aski eraldaketak arrakasta izan dezan; aitzitik, berrikuntza horiek eguneroko eragiketetan, langileen itxaropenean eta hezkuntza-sistemetan txertatzeko gaitasuna eduki behar da.

Mantentze-lan prediktiboaren (PdM) eta hornidura-katearen kudeaketaren (SCM) arloetan, konbergentziak definitzen du etorkizunera begirako ikuspegia. Helburu berde eta digitalek gero eta lotura handiagoa dute; ez soilik jasangarritasun-metrikeri dagokienez, baina baita efizientzia-, zirkulartasun-, gardentasun- eta erresilientzia-estrategiei dagokienez ere. Bi alorretan, ETEak eta antzeko enpresa handiak soluzio hibridoak probatzen ari dira: tokiko trebetasunak hodeian oinarritutako azpiegiturekin, rol tradizionalak AA bidez hobetutako sistemekin eta integrazio-estrategia modularrak balio-katearen lerrokatze zabalagoarekin konbinatzen dituzte.

LHko zentroek trantsizio hori egitea ahalbidetzen dute. Lanbide Heziketaren etorkizuna ez da jada irakaskuntza teknikora edo sektoreko berariazko ziurtagirietara mugatzen; aitzitik, gaitasunen garapen integratura ari da zabaltzen. Zentroek hainbat sistema ulertzeko, hainbat domeinutan elkarlanean jarduteko eta jasangarritasunera bideratutako industria digitalen behar aldakorretara etengabe egokitze prestatu behar dituzte ikasleak. Horrek ikasketa-ibilbide malguak sustatzea, sektorean elkarlana indartzea eta irakasleei esperimendatzeko, garatzeko eta ikasleak gidatzeko behar dituzten trebetasunak –eta askatasun instituzionala– ematen zaizkiela bermatzea esan nahi du.

Era berean, garapen bidean dauden lankidetzak eta esperimendazio-ereduek eraldaketaren hurrengo fasea itxuratuko dute. LHko zentroek industriarekin batera diseinatu behar dituzte ikasketa-esperientziak eta ibilbide-orri teknologikoak, dela proba-bankuak, dela bazkidetza publiko-pribatuak, dela zentroen arteko ekimenak, dela finantzaketa-eredu esperimendalak erabiliz. Hainbat LHko zentroekin eta bazkide industrial askorekin lanean aritzeari esker, heziketa akademikoa, prestakuntza praktikoa, lanbide heziketa eta langileen prestutasuna biltzen dituen espazioari buruzko xehetasun baliotsuak jaso ahal izan ditu lan-pakete honek. Ikasketa- eta irakaskuntza-jarduera eta aspirazioetarako sarbide zuzenak eta ETE-en eta industria handiaren pertzepzio eta protokoloek fabrikazioaren esparruko bi arlo gako sakonki aztertzea ahalbidetu du. Txosten honek argi utzi du LHko zentroen trebakuntzaren balioa oso errotuta dagoela, premiazkoa dela hezkuntza-arloaren eta industriaren artean elkarlanean jardutea eta konpromiso partekatua dugula ikasleek ikasketen arrakastari eta laneko gogobetetzeari dagokionez. Mantentze-lan prediktiboaren eta hornidura-katearen kudeaketaren ikuspegitik, eraldaketa digitalak eta berdeak konpromiso berak bultzatutako etorkizuna partekatzen dute.

Horretarako, bi alderdi horiek (eta helburu horiek sustatzen dituzten bi erakundeak) etorkizunean elkarlanean integratzea positiboa bezain egingarria da. Banakako erakunde eta hezkuntza-sektore kolektibo gisa, gure esku dago tamaina guztietako fabrikazio-enpresekin elkarlanean ikasketa, irakaskuntza, trebakuntza eta enplegua eraldatzea. Gomendio praktikoa eta aspirazionala, ikasleek zentratutako eta sektorerantz zabaldukoen eta tokiko eta eskualdeko eta nazioarteko bidez, fabrikazio aurreratuaren lanbide heziketaren etorkizuna berrasmatzeko aukera daukagu, bai Europa mailan, baita mundu mailan ere.

Txosten hau eta bertako xehetasunak ez lirateke existituko bertan parte hartu duten kide guztien ezagutza kolektibo, ahalegin eta dedikazioagatik izan ez balitz. Hainbat herrialde, ordu-zona eta erakundetako laguntzailek euren ezagutza eta bikaintasunarekiko konpromiso partekatua adierazi dute. Europar Batasunaren bihotzetik inguruko eskualdeetara zabaltzen den grina honek Erasmus+ misioaren ezaugarri onenak islatzen



ditu: elkarlana, pertsonak erdigunean jartzea eta etorkizunera begirako ikuspegia. Ohore handia da Europaren izaeraren isla den ekimen bizi honen lekuko izatea eta bertan parte hartzea.



6. ERREFERENTZIAK

- Pablo Marino. (2025ko ekaina). Euskadiko LHko zentroen eskaintzen eta fabrikazio aurreratuaren industriaren beharren lerrokatzea. Ikasleengan Zentraturako Fabrikazio Aurreratuaren Plataformaren (LCAMP) proiektua - WP3 Behatokia - D3.2 - M36. <https://lcamp.eu>
- Pichoutou Pascal, Ralf Steck, Camille Leonard eta Jésus Rebolledo. (2025, ekaina). Teknologia digitalak 4.0k eta trantsizio berdeak mantentze-lan prediktiboetan duten eragina. Ikasleengan Zentraturako Fabrikazio Aurreratuaren Plataformaren (LCAMP) proiektua - WP3 Behatokia - D3.2 - M36. <https://lcamp.eu>
- Pichoutou Pascal, Ralf Steck, Camille Leonard eta Jésus Rebolledo. (2025, ekaina). Teknologia digitalak 4.0k eta trantsizio berdeak hornidura-katearen kudeaketan duten eragina. Ikasleengan Zentraturako Fabrikazio Aurreratuaren Plataformaren (LCAMP) proiektua - WP3 Behatokia - D3.2 - M36. <https://lcamp.eu>



7. TAULEN INDIZEA

<i>Table 1. Skills needs (extract)</i>	32
<i>Table 2. Examples of European Projects in technological trends and skills development in advanced manufacturing</i>	41
<i>Table 3. New technologies and fields into trainings related to PdM</i>	41
<i>Table 4. New technologies and fields into trainings related to SCM</i>	42
<i>Table 5. Trainings related to SCM and its main skills trained</i>	44
<i>Table 6. Specialisation programmes in the Basque Country</i>	47
<i>Table 7. Skills needs (from PdM, SCM and Basque Country reports)</i>	61



8. ERANSKINA

8.1. 1. ERANSKINA - TREBETASUNEI LOTUTAKO BEHARRAK

7 taula. Trebetasunei lotutako beharrak (mantentze-lan prediktiboak eta hornidura-katearen kudeaketari buruzko txostenetan eta Euskadiko txostenetan oinarrituta)

Ikasleengan Zentraturako Fabrikazio Aurreratuaren Plataformako (LCAMP) gaitasunen eremua	Kategorizazioa	Ikasleengan Zentraturako Fabrikazio Aurreratuaren Plataformaren (LCAMP) markoan gomendatutako azpikategoriak	Lanbidea/txostenaren jatorria	Trebetasunei lotutako beharrak
AAren ezagutza	Gaitasuna	Gaitasun digital garrantzitsuak	Mantentze-lan prediktiboak (PdM)	Oinarrizko AA edo ikasketa automatikoa - AAko/ikasketa automatikoko ereduaren inguruko oinarrizko ezagutzak
	Trebetasuna	Ikusmen artifiziala	Kalitate-kontrolerako teknikaria (Euskadi)	Akatsak detektatzeko ikusmen artifiziala eta sare neuronal artifizialak (CNN) - sare neuronalak aplikatzea kalitatea automatikoki kontrolatzeko
		Ikasketa automatikoa	Kalitate-kontrolerako teknikaria (Euskadi)	AAren oinarritutako ikuskeren-tresnak - adimen artifiziala erabiltzea akatsak detektatzeko
Digitala	Jarrera	Zibersegurtasuna	Mantentze-lan prediktiboak (PdM)	Zibersegurtasunarekiko kontzientzia - ITen segurtasunarekiko kontzientzia
			Hornidura-katearen kudeaketa (SCM)	Zibersegurtasunarekiko kontzientzia - ITen segurtasunarekiko kontzientzia
		IT	Ordenagailu bidezko kontrol numerikoko (CNC) langilea/Kalitate-kontrolerako teknikaria/Automatizazio-	Zibersegurtasuna eragiketa-teknologiaren (OT) inguruneetan - ekoizpen-sistemen



			roboten teknikaria (Euskadi)	segurtasun-arriskuak ulertzea
Gaitasuna	IT		Hornidura-katearen kudeaketa (SCM)	Hodeiko plataforma - hodeiko tresnak erabiltzeko gaitasuna Arazoak konpontzeko gaitasuna - hodeiko tresnak erabiltzeko gaitasuna
		Arazoak konpontzea	Mantentze-lan prediktiboak (PdM)	Arazoak konpontzea (mantentze-lanak) - datuetan oinarritutako erabakiak hartzeko arrazoiketa analitikoa
		Sistemaren diseinua	Mantentze-lan prediktiboak (PdM)	Eredu prediktiboen kudeaketa (hutsegiteen patroien analisia, arrisku-atalaseak)
			Automatizazio-roboten teknikaria (Euskadi)	Robotika industrialaren integrazioa - robotak ekoizpen-lerroaren sistemekin konektatzea
	Trebetasuna	Datuen ezagutza	Mantentze-lan prediktiboak (PdM)	Sentsoreen datuen interpretazioa - IoT sentsoreen datuak irakurri eta erabiltzeko gaitasuna Datuen diagnostikoak egiteko gaitasunak (mantentze-lanak) - diagnostiko akastunetako datuen analisia
			Hornidura-katearen kudeaketa (SCM)	Datuen ezagutza - Hornidura-katearen kudeaketako datu orokorren ezagutza
			Hornidura-katearen kudeaketa (SCM)	Profil hibridoak (hornidura-katea + gaitasun digitalak) - adb., gaitasun digitalak dituzten hornidura-katearen analistak
		IT		Enpresaren baliabideen plangintza-sistemen (ERP) eta hornidura-katearen



				kudeaketa-sistemen (MES) inguruko ezagutza - ERP/SCM softwareen eguneroko erabilera
			Automatizazio-roboten teknikaria (Euskadi)	Komunikazio-protokoloak (OPC-UA, Ethernet) - komunikazio-estandar industrialak implementatzea
			Ordenagailu bidezko kontrol numerikoko (CNC) langilea (Euskadi)	Interfaze digitalak eta HMIak - ordenagailu bidezko kontrol numerikoko (CNC) makinaren ukipen-pantaila erabiltzea.
			Automatizazio-roboten teknikaria/Mantentze-lanen teknikaria (Euskadi)	Oinarrizko zibersegurtasun-protokoloak eragiketa-teknologiaren (OT) inguruneetan aplikatzea - segurtasun-prozedurak eta sarbide-kontrolak ekoizpen-sistemetan implementatzea
			Mantentze-lan teknikaria (Euskadi)	Gauzen Interneteko (IoT) sentsoreak instalatu eta konfiguratzea - konektatutako sentsoreak konfiguratzea datuak biltzeko
				Mantentze-lanen kudeaketa-sistema konputarizatuak (CMMS) erabiltzea - mantentze-lanen lan-fluxuak digitalki kudeatzea
		IT	Mantentze-lan prediktiboak (PdM)	Mantentze-lan prediktiboetarako (PdM) plataformen erabilera - Mantentze-lan prediktiboetarako (PdM) panelen, mantentze-lanen kudeaketa sistema



				informatizatueta (CMMS) tresnen eta abarren erabilera.
		Arazoak konpontzea	Mantentze-lan prediktiboak (PdM)	Datuen interpretazioa (mantentze-lanak) - diagnostiko akastunetarako datuen analisia
			Mantentze-lan teknikaria (Euskadi)	Datu-konexioari lotutako arazoak konpontzea Gauzen Interneteko (IoT) inguruneetan - konektatutako sistemetako komunikazio-arazoak konpontzea
		Datuen ezagutza	Kalitate-kontroleko teknikaria (Euskadi)	Ikuskapen-sistema digitalen eragiketa - neurketak eta probak egiteko ekipamendu automatizatua erabiltzea
				Dokumentazio eta monitorizazio digitala - kalitateari buruzko daten erregistro elektronikoak mantentzea
				Ikuspegi-sistemen konfigurazioa - kalitate-kontroleko kamerak eta irudien prozesaketa konfiguratzeko
			Ordenagailu bidezko kontrol numerikoko (CNC) langilea (Euskadi)	Fabrikazioko exekuzio-sistemen (MES) eta enpresaren baliabideen plangintza-sistemen (ERP) integrazioa - makinaren eragiketaren enpresa-sistemekin konektatzea
				Datuen lorpena eta interpretazioa - optimizazioarako ekoizpen-datuak bildu eta analizatzea



			Mantentze-lan teknikaria (Euskadi)	Sentsoreen datuak monitorizatzea (IoT) - konektatutako sentsore industrialen denbora errealeko datuak aztertzea
				Hodeian oinarritutako plataformak erabiltzea makinen errendimenduaren jarraipena egiteko - urruneko monitorizazio-sistemak atzitzea
		Ikusmen artifiziala	Kalitate-kontroleko teknikaria (Euskadi)	Makinen ikuspegi-sistema - kameretan oinarritutako kalitatearen ikuskapen-sistemak erabiltzea
		Fabrikazio digitala	Ordenagailu bidezko kontrol numerikoko (CNC) langilea (Euskadi)	Ordenagailuz lagundutako diseinuko (CAD)/ Ordenagailuz lagundutako fabrikazioko (CAM) softwarearen funtzionamendua - ordenagailuz lagundutako diseinu-eta fabrikazio-programak erabiltzea
Zeharkakoa	Jarrera	Komunikazioa	Hornidura-katearen kudeaketa (SCM)	Komunikazioa eta koordinazioa - eraldaketa digitala onartzeko jarrera irekia eta gogo ona
		Malgutasuna/bizkortasuna	Mantentze-lan prediktiboak (PdM)	moldagarritasuna - funtzio/teknologia aldakorretara egokitzeko borondate ona
	Gaitasuna	Lankidetzat/talde-lana	Mantentze-lan prediktiboak (PdM)	Lankidetzat - sailen arteko lankidetzat (mantentze-lanak, IT, eragiketak)
		Pentsamendu kritikoa	Hornidura-katearen kudeaketa (SCM)	Pentsamendu estrategikoa - hornidura-kate konplexuen ulermen holistikoa



	Trebetasuna	Lankidetza/talde-lana	Zeharkako trebetasunak (Euskadi)	Taldean modu eraginkorrean lan egitea - diziplinarteko lantaldeetan lankidetzan aritzea
				Funtzioen arteko lankidetza - modu eraginkorrean lan egitea diziplinarteko taldeekin ingurune digitaletan
		Komunikazioa	Zeharkako trebetasunak (Euskadi)	Komunikazioa eta koordinazioa - informazioa modu garbian partekatzea sail eta lanaldietan
		Malgutasuna/bizkortasuna	Zeharkako trebetasunak (Euskadi)	Garapen bidean dauden teknologietara egokitzea - tresna teknologiko berriak erabiltzen ikasteko eta erabiltzeko borondate ona
		Arazoak konpontzea	Zeharkako trebetasunak (Euskadi)	Arazoak konpontzea eta erabakiak hartzea - egoerak aztertu eta erabaki tekniko eraginkorrak hartzea
		Etengabeko hobekuntza	Zeharkako trebetasunak (Euskadi)	Etengabe hobetzeko jarrera - optimizazio-aukerak identifikatzea fabrikazio-prozesu digitaletan
Profesionala	Gaitasuna	Sistemaren diseinua	Automatizazio-roboten teknikaria (Euskadi)	Robotika industrialaren integrazioa - robotak ekoizpen-lerroaren sistemekin konektatzea
	Trebetasuna	Sistemaren diseinua	Automatizazio-roboten teknikaria (Euskadi)	Ikusgaitasun-sistemen konfigurazioa - kamerak eta irudiak prozesatzeko tresnak konfiguratzea robotak gidatzeko eta automatizatzen





Learner Centric Advanced Manufacturing Platform



**Co-funded by
the European Union**

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.