



1.2 INDUSTRIA 4.0

Eraldaketa digitalaren aroa industrian

"Industria 4.0" terminoa gero eta gehiagotan entzuten dugu, eta ez da kasualitatea. Laugarren Industria Iraultza deitzen zaion fenomeno honen atarian gaude, non teknologiak produkzio moduak eta negozio ereduak errotik aldatzen ari diren. Gidaliburu honek kontzeptu konplexu honen ateak ireki nahi dizkizu, ikasle gisa zure etorkizun profesionalean funtsezkoa izango den errealitate bat ulertzen laguntzeko. Izan ere, Industria 4.0 ez da soilik makinaren arteko konektibitatea; harago doa, negozioen eta produkzio prozesuen erabateko eraldaketa globala planteatzen baitu, eraginkortasuna, pertsonalizazioa eta jasangarritasuna bezalako alderdiak nabarmen hobetuz.

Industriaren bilakaera

Industria 4.0 hobeto ulertzeko, ezinbestekoa da atzera begiratzea eta industriak historian zehar izan dituen eraldaketa handiak gogoratzea. Lehen Industria Iraultza, **Industria 1.0**, XVIII. mendearen amaieran hasi zen, 1718 inguruan, lurrin makinaren asmakuntzarekin, produkzioa mekanizatuz eta tailer txikiak fabrika handi bihurtuz. Ondoren, XIX. mendearen amaieran, 1870etik aurrera, **Industria 2.0** etorri zen, elektrizitatearen eta serieko fabrikazio-kateen eskutik, Fordismoa bezalako sistemekin produkzio masiboa ahalbidetuz. XX. mendearen bigarren erdian, 1969tik aurrera, **Industria 3.0** garatu zen, automatizazioa eta robotika fabriketara eramanez, ordenagailuen eta lehen kontrolagailu logiko programagarrien (PLC) bidez. Azkenik, gaur egungo **Industria 4.0** dugu, 2018tik aurrera indarra hartzen ari dena, digitalizazioan, datuen kudeaketan eta sistemen interkonektibitatean oinarritzen dena, produkzio-prozesu adimendunagoak eta autonomoagoak sortuz.

Industria 4.0-ren zutabe nagusiak: Eraldaketaren oinarria

Laugarren Industria Iraultza hau hainbat zutabe teknologiko eta filosofikoetan oinarritzen da, elkarrekin modu sinergikoan lan egiten dutenak:

Lehenik eta behin, **automatizazioa** dugu. Industria 3.0-k automatizazioa ekarri bazuen ere, Industria 4.0-n maila berri batera eramaten da. Ez da soilik zeregin errepikakorrek makinaren esku uztea, baizik eta sistema automatizatu adimendunak sortzea, inguruneko aldatetara egokitzeko eta erabakiak autonomiaz hartzeko gai direnak, datu-fluxu etengabeetan oinarrituta.

Bigarren zutabea **konektibitatea** da. Makinak, produktuak, sistemak eta pertsonak elkarri konektatuta daude sare digitalen bidez, informazioa denbora errealean partekatuz. IoT (Gauzen Interneta) da konektibitate honen ahalbidetzaile nagusia, sentore eta gailu adimendunen sare zabal bat sortuz.

Hirugarrenik, eta agian garrantzitsuena, **datuetan oinarritutako erabakiak** hartzeko gaitasuna dago. Konektibitateak sortzen duen datu-bolumen izugarria (Big Data) bildu, prozesatu eta



aztertzen da, patroiak identifikatzeko, aurreikuspenak egiteko eta produkzio-prozesuak etengabe optimizatzeko. Datuak bihurtzen dira enpresen aktibo estrategiko.

Teknologia gaitzaile nagusiak: Iraultzaren erremintak

Industria 4.0 hainbat teknologia disruptiboren bateratze eta heldutasunari esker posible da. Teknologia horiek dira eraldaketa hau bultzatzen duten motorrak, eta horien ulermena funtsezkoa da:

- **IoT (Gauzen Interneta):** Teknologia hau funtsezkoa da konektibitatearen zutabea eraikitzeko. IoT delakoak edozein "gauza" edo objektu fisiko (makina batetik hasi eta kontsumo-produktu bateraino) Internetera konektatzea ahalbidetzen du sentore, eragingailu eta komunikazio-gaitasunen bidez. Horrela, objektu horiek datuak bildu, bidali eta jaso ditzakete, ingurunearekin eta beste sistema batzuekin elkarrenerginez. IoT gailu batek, funtsean, objektu fisiko bat, datuak prozesatzeko elektronika eta komunikazio-modulu bat integratzen ditu. Gailu horiek sortutako datuak IoT plataforma batera bidaltzen dira, non gorde, aztertu eta kudeatzen diren, ondoren aginduak edo ekintzak abiarazteko.
- **Big Data eta datuen analitika:** IoT gailuek eta beste iturri digitalek sortzen duten datu-jario etengabeak Big Data fenomenoaren elikatzen du. Big Data ezaugarritzen duten hainbat faktore daude: **Bolumena**, datu-kopuru izugarria adierazten duena, milioika argazki, bideo, sentore-irakurketa eta mezu izan daitezkeelarik; **Aniztasuna**, datuak formatu askotakoak izan daitezkeelako (testua, irudiak, bideoak, audioak, datu egituratuak eta egituratu gabek); **Aldakortasuna**, datuak etengabe eta abiadura handian sortu eta aldatzen direlako, adibidez, eguraldiaren iragarpenak edo sare sozialetako mezuak; Hodeiko **biltegiatzea** ezinbestekoa bihurtzen da datu kopuru handi hauek modu eskuragarri eta eskalagarrian gordetzeko, jada ez ordenagailu lokaletan bakarrik; **Konplexutasuna**, datu asko elkarrekin erlazionatuta daudelako eta haien arteko harremanak kudeatzea erronka delako; **Globaltasuna**, datuak mundu osoko iturrietatik etor daitezkeelako, ez soilik gure inguruetatik; **Iturri aniztasuna**, informazioa hainbat gailu eta plataformatatik datorrelako (telefonoak, sentore industriak, sare sozialak, webguneak); eta **Anbiguotasuna**, datu batzuk ez direlako guztiz argiak eta interpretazio konplexua behar dutelako. Datu horiek guztiak analizatzeko teknikak (datuen analitika) erabiltzen dira, ezkutuko informazioa eta ezagutza baliotsua ateratzeko.
- **Adimen artifiziala (AA):** Adimen Artifizialak algoritmo eta modelo konputazionalak erabiltzen ditu makinei gizakien antzeko gaitasun kognitiboak emateko, hala nola ikastea, arrazoitzea, arazoak ebaztea eta erabakiak hartzea. Industria 4.0-n, AA funtsezkoa da datu-multzo handietatik ezagutza erauzteko eta prozesuak automatikoki optimizatzeko. Enpresek beren Adimen Artifizialeko ereduak sor ditzakete helburu espezifikoetarako. AAren aplikazioak anitzak dira industrian: adibidez, ikusmen artifizialeko sistemek erroreak detektatu ditzakete produkzio-kateetan denbora errealean; sistemek gauzak zenbatu ditzakete inbentarioa kudeatzeko; produktuak edo



osagaiak automatikoki sailkatu ditzakete ezaugarri desberdinen arabera; eta kalitatea egiaztatu dezakete, giza ikuskapena baino zehaztasun eta abiadura handiagoarekin.

- **Robotika aurreratua:** Industria 3.0-ko robotak zurrunkak eta programazio finkokoak baziren ere, Industria 4.0-ko robotak askoz aurreratuagoak dira. Ezaugarri nagusiak honako hauek dira: **Adaptagarritasuna**, ingurune aldaketetara eta ustekabeko egoeretara egokitzeko gaitasuna baitute, sentso aurreratuei eta AARI esker; **Adimendunak** dira, beren kabuz ikasi eta erabakiak har ditzaketelako; **Kolaboratiboak** (kobota edo "collaborative robot" izenekoak), gizakiekin espazio berean modu seguruan lan egiteko diseinatu daudelako, hesi fisikoen beharrik gabe; **Mugikorrak**, fabrikako edo biltegiko espazioetan autonomiaz mugitu daitezkeelako (AGV - Automated Guided Vehicles, AMR - Autonomous Mobile Robots); eta **Autonomoak**, zeregin konplexuak giza interbentzio minimoarekin burutzeko gai direlako.
- **Biki Digitalak (Digital Twins):** Biki digitala produktu, prozesu edo sistema fisiko baten erreplika birtual zehatza da. Errealitate fisikoan dauden sentsoetatik jasotako datuekin etengabe elikatzen da, eta horri esker, eredu birtualak uneoro sistema fisikoaren egoera islatzen du. Biki digitaletan garatutako logika eta simulazioak ondoren sistema errealean aplikatu daitezke. Teknologia honek aplikazio ugari ditu: Abiarazte birtuala (Virtual Commissioning) egiteko aukera ematen du, hau da, makina edo instalazio berri bat fisikoki martxan jarri aurretik, haren funtzionamendua birtualki probatu eta optimizatzeko; Hezkuntza eta trebakuntzarako tresna oso baliotsua da, ikasleek ingurune seguru eta kontrolatu batean esperimendu dezaketelako; Diseinuen hobekuntza errazten du, aldaketak birtualki probatu eta haien inpaktua ebaluatu baitaiteke fabrikazio fisikoa egin aurretik; eta beste hainbat esparrutan, hala nola mantentze-lan prediktiboan edo prozesuen monitorizazioan.
- **Zibersegurtasuna:** Sistema guztiak konektatuta eta digitalizatuta dauden heinean, zibersegurtasuna erronka kritiko bihurtzen da. Fabrikak gero eta digitalizatuago daude, eta horrek esan nahi du datu sentikorrak asko mugitzen direla sareetan zehar, bai barne sareetan (OT - Operational Technology) bai kanpoko sareetan (IT - Information Technology). Zoritxarrez, hackerrak gero eta gehiago ari dira fabrikak erasotzen, datuak lapurtzeko, sistemak bahitzeko (ransomware) edo produkzio-makinak blokeatzeko asmoz. Zibereraso batek ondorio katastrofikoak izan ditzake, hala nola ekoizpena erabat gelditzea, galera ekonomiko handiak eragitea, enpresaren ospea kaltetzea edo baita langileen segurtasuna arriskuan jartzea ere.
- Arrisku nagusien artean, **pasahitz ahulak** erabiltzea dago, hackerrei sistemetan sartzea errazten baitie; **konexio segururik** ez izateak datuak bidean lapurtuak izateko arriskua dakar; **langileek akatsak** egin ditzakete nahi gabe, hala nola USB kutsatu bat konektatzea edo phishing mezu susmagarriak irekitzea; eta **sarean konektatutako makinak** eraso baten bidez geldiarazi daitezke.

Horregatik, ezinbestekoa da zibersegurtasun neurri sendoak ezartzea:

- **Pasahitz sendoak** erabili behar dira (gutxienez 12 karaktere, zenbakiak, maiuskulak eta karaktere bereziak konbinatuz)



- **MFA (Multi-Factor Authentication)** ezarri behar da sarbide-kontrolerako; pasahitz-kudeatzaileak erabiltzea gomendatzen da (Bitwarden, 1Password, KeePass...)
 - Sare pribatuetara konektatzeko **VPN (Virtual Private Network)** bidez egin behar da
 - **Datuen enkriptazioa** erabili behar da (AES-256, TLS 1.3 bezalako algoritmoak)
 - Webgune eta zerbitzuetan **HTTPS erabilera derrigorrezkoa** izan behar da
 - **Segurtasun-prestakuntza** eman behar zaie langile guztiei
 - **Phishing detekziorako e-mail iragazkiak** ezarri behar dira
 - **USB sarbideen kontrola eta blokeoa** ezarri behar da beharrezkoa denean
 - **Firewall eta IDS/IPS (Intrusion Detection/Prevention Systems)** sistemak instalatu eta eguneratuta eduki behar dira (adibidez, pfSense, Snort, Suricata)
 - eta, azkenik, **OT eta IT sareen segmentazioa** egitea oso garrantzitsua da, eraso bat sare batetik bestera hedatzea zailtzeko.
-
- **Hodeiko konputazioa (Cloud Computing):** Teknologia honek datuak eta aplikazioak Internet bidezko zerbitzarietan gordetzeko eta prozesatzeko aukera ematen du, enpresek beren azpiegitura informatiko propioa kudeatu behar izan gabe. Horrek malgutasuna, eskalagarritasuna eta kostuen murrizketa dakar.
 - **Errealitate birtuala (VR) eta errealitate areagotua (AR):** VR-k erabiltzailea ordenagailuz sortutako ingurune batean murgiltzen du, eta AR-k informazio digitala (testua, irudiak, 3D ereduak) mundu errealean gainean proiektatzen du. Bi teknologiak aplikazio interesgarriak dituzte industrian, hala nola langileen trebakuntza, mantentze-lanetarako laguntza gidatua, produktuen diseinua eta prototipo birtualak.

Industria 4.0 Kontzeptuaren hedapena beste sektoreetara

Industria 4.0-ren printzipioak eta teknologiak ez dira soilik fabrikazio-sektorerara mugatzen; aitzitik, beste hainbat arlotara hedatzen ari dira, bakoitzari bere "4.0" bertsioa emanez. Adibidez, **Nekazaritza 4.0** delakoak sentsoreak, dronak, GPSa eta datuen analisia erabiltzen ditu laboreen kudeaketa optimizatzeko eta elikagaien ekoizpena modu efizienteago eta jasangarriagoan egiteko. **Eraikuntza 4.0** kontzeptuak BIM (Building Information Modeling), robotika eta aurrefabrikazioa bezalako teknologiak barne hartzen ditu, eraikuntza-prozesuak eraginkorragoak, seguruagoak eta kalitate handikoagoak izan daitezen. **Hezkuntza 4.0** delakoak teknologia digitalak baliatzen ditu ikaskuntza-prozesuak pertsonalizatzeko, interaktibitatea sustatzeko eta gaitasun digitalak garatzeko. Eta dagoeneko **Industria 5.0** kontzeptuaz hitz egiten hasi gara, non giza-langilea eta makina adimendunen arteko lankidetzak estua eta pertsonen ongizatea jartzen diren erdigunean, teknologia gizakiaren zerbitzura jarritz modu jasangarriago eta inklusiboago batean.



Abantailak eta erronkak: aldaketaren bi aurpegiak

Industria 4.0-ren ezarpenak abantaila ugari eskaintzen dizkie enpresei eta gizarteari, baina, aldi berean, erronka garrantzitsuak ere planteatzen ditu, eta bi alderdi horien arteko oreka bilatzea funtsezkoa da.

Alde batetik, abantaila nabarmenak daude: **eraginkortasuna handitzea** prozesuak optimizatuz eta baliabideen erabilera hobetuz; **kostuen murrizketa** automatizazioari eta akatsen gutxitzeari esker; **kalitate hobetua** monitorizazio eta kontrol sistema aurreratuen bidez; produktu eta zerbitzu berriak **merkaturatzeko denbora azkarragoa**; **produktuen pertsonalizazio masiboa** ahalbidetzea bezeroen behar espezifikoetara egokituz; datuetan oinarritutako **erabaki hobeak** hartzea; eta, ondorioz, **produktibitatearen areagotzea**.

Bestetik, erronkak ere ez dira txikiak:

- **Inbertsio ekonomiko handia** behar da teknologia berriak eskuratu eta ezartzeko, batez ere enpresa txiki eta ertainentzat (ETE)
- **Langileen trebakuntza** eta egokitzapena ezinbestekoa da, gaitasun digital berriak behar baitira
- **Zibersegurtasun arriskuak** areagotu egiten dira sistemen interkonektibitatearekin
- **Sistema eta teknologia desberdinak integratu beharra** konplexua izan daiteke
- eta, azkenik, **aldaketa kultural eta estrategikoa** behar da enpresaren barruan, lan egiteko modu berriak eta pentsamolde digitala sustatuz.

Industria 4.0 enpresa guztietan ezartzea: aukera unibertsala ala jauzi selektiboa?

Galdera gakoa da ea Industria 4.0 enpresa guztietan ezarri daitekeen. Erantzuna bai da, printzipioz enpresa mota eta tamaina guztietan aplika daitezke Industria 4.0-ren kontzeptuak, baina ñabardura garrantzitsuekin. Ez da enpresa guztiek aldi berean eta modu berean egin behar duten jauzi bat. Euskal Herriko enpresa-sarea, adibidez, mikroenpresa eta enpresa txikiz osatuta dago hein handi batean, eta horiek zailtasun handiagoak izan ditzakete teknologia konplexu eta garesti hauek bereganatzeko.

Horregatik, enpresa bakoitzak bere buruari galdera garrantzitsu batzuk egin behar dizkio digitalizazio-prozesuari ekin aurretik:

- **Zein arazo zehatz konpondu nahi ditut** teknologia hauen bidez? Helburuak argi definitzea funtsezkoa da.
- **Zer baliabide (ekonomikoak, teknikoak, giza baliabideak) ditut** proiektu honi aurre egiteko?
- **Langileak, zuzendaritza eta enpresako beste eragileak prest al daude aldaketarako** eta prozesu honetan parte hartzeko? Aldaketaren kudeaketa kritikoa da.
- **Zeintzuk dira nire lehentasunak digitalizazioan?** Non lortuko dut inpaktu handiena inbertsio txikienarekin hasteko? Pausoz pauso joatea komeni da, proiektu pilotuekin hasiz.



Industria 4.0 eredua: ISA-95 eredu piramidalaetik sare interkonektatura

Tradizionalki, industria-automatizazioa ISA-95 eredu piramidalaren arabera antolatu izan da. Eredu honetan, maila desberdinak bereizten ziren, behetik gora: **Field Level** (sentsoreak eta eragingailuak); **Kontrol Maila** (PLCak, DCSak); **Gainbegiraketa** (SCADA sistemak); **Plangintza** (MES/MOM sistemak); eta **Kudeaketa** (ERP sistemak). Maila hauen arteko komunikazioa hierarkikoa eta askotan mugatua zen.

Industria 4.0-k eredu hau eraldatzen du. Piramidea lautu egiten da eta sare interkonektatu bihurtzen da, non OT (Operazio Teknologiak, fabrikako sistemak) eta IT (Informazio Teknologiak, enpresa-sistemak) sistemak erabat integratzen diren. Datuak askatasun handiagoz mugitzen dira maila guztien artean eta baita sistemen artean ere, bai lokalean (On-Premise), bai Edge Computing sistemetan (datuak sortzen diren tokitik gertu prozesatzea), bai Laino Pribatuan edo Hodei Publikoan. Aldaketa honek malgutasun, eraginkortasun eta erabakiak hartzeko gaitasun handiagoa ematen du.

Etorkizun Digitalerako Prestakuntza

Industria 4.0 ez da etorkizuneko kontu bat soilik; hemen dago, eta gure inguruko errealitate industrial eta ekonomikoa sakonki eraldatzen ari da. Ikasle gisa, funtsezkoa da paradigma berri hau ulertzea, haren teknologiak ezagutzea eta etengabeko ikaskuntzarako eta egokitzapenerako jarrera proaktiboa garatzea. Zuen prestakuntza eta gaitasun digitalak izango dira etorkizuneko lan-merkatuan arrakasta izateko giltzarrietako bat.

(azken eguneraketa: 2025/06/03)

Eusko Jaurlaritzaren Lanbide Heziketako Sailburuordetza. Lan honek Creative Commons Aitortu-EzKomertziala-PartekatuBerdin 4.0 Nazioarteko Baimena dauka (CC BY-NC-SA 4.0).

