

Comissió Indústria 4.0 Enginyers de Catalunya

Enginyers
Industrials de Catalunya

informàTICs
Enginyers en informàtica
de Catalunya

Telecos.cat
enginyers de telecomunicació

Indústria 4.0

STATUS REPORT



Document de treball

Marc de referència sobre la Indústria 4.0

Indústria 4.0 / Status Report
Marc de referència sobre la Indústria 4.0 octubre 2016
Comissió Indústria 4.0

© Col·legi d'Enginyers Industrials de Catalunya
Via Laietana 39, 08003 Barcelona
Tel. 93 319 23 00 / atencioeic@mail.eic.cat

© Col·legi d'Enginyers en Informàtica de Catalunya
Plaça Ramon Berenguer el Gran 1, entresòl 1a, 08002 Barcelona
Tel. 93 451 64 94 / informacio@coeinf.cat

© Associació Catalana d'Enginyers de Telecomunicació de Catalunya
Plaça Ramon Berenguer el Gran 1, entresòl dret. 08002 Barcelona
Tel. 935513322 / e-mail: secretaria@telecos.cat

Comissió Indústria 4.0 Enginyers de Catalunya

Enginyers
Industrials de Catalunya

informàTICs
Enginyers en informàtica
de Catalunya

Telecos.cat
enginyers de telecomunicació

Indústria 4.0

STATUS REPORT



Document de treball

Marc de referència sobre la Indústria 4.0

Índex

Introducció	3
La quarta Revolució Industrial	5
Revolució o evolució?	7
Els sistemes ciberfísics i la IoT	7
Posicionaments institucionals	9
Europa	9
Estats Units	11
Àsia	11
Proposta de la Industrie 4.0 Plattform	11
Integració horitzontal	11
Integració vertical	11
Enginyeria consistent	11
Les persones, la clau de la cadena de valor	13
El repte de la seguretat: Safety & Security	15
Marcs de treball a la Comissió Europea	15
RAMI 4.0	17
Antecedents: IEC 62264/ISA-95, IEC 62794 i IEC 62832	17
i4.0 Components (IEC/PAS 63088)	17
<i>Administration Shell = Resource Manager + Manifest</i>	17
IIRA27	19
Arquitectura per dominis funcionals	19
Negoci, Informació i Aplicació	19
Operacions i Control	19
Harmonització de RAMI i IIRA	21
Model proposat per la Comissió Indústria 4.0	21
Grups de treball de la Comissió Indústria 4.0	23
GT de Robòtica	23
GT Impressió 3D i manufactura avançada	23
GT Intralogística	27
GT Embedded Systems & IoT	29
GT Software i integració	31
Eficiència operativa	31
El repte	31
Integració	31
Glossari de termes	32
Autors	33
Bibliografia	34

Introducció

L'objecte d'aquest document és donar a conèixer els elements de la Indústria 4.0 als enginyers, al teixit industrial català i a la societat, podent ser utilitzat com a instrument que faciliti el debat i la construcció d'un discurs normalitzat al voltant de la mateixa.

Existeix el debat sobre fins a quin punt el màrqueting de la Indústria 4.0 va per davant de la realitat o a l'inrevés. En qualsevol cas, l'objectiu de la Comissió i4.0 d'Enginyers de Catalunya és contribuir a l'establiment de bases sòlides i a la formalització del cos de coneixent de la Indústria 4.0.

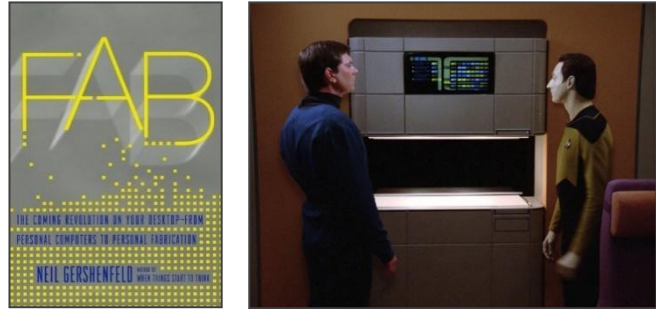


Fig. 1. La utopia de referència del MIT

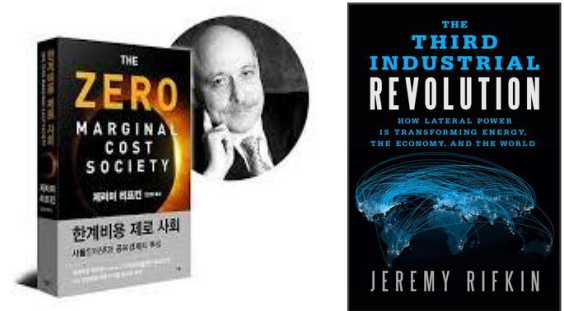


Fig. 2. El model de les tres revolucions industrials

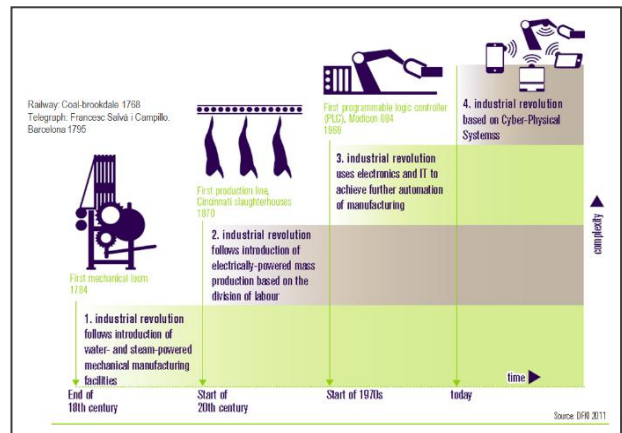


Fig.3. El model de les quatre revolucions industrials



Fig.4. Models de dos, quatre i cinc revolucions industrials

La quarta Revolució Industrial

Durant l'última dècada les publicacions i referències a una nova revolució industrial han anat augmentant progressivament de forma evident.

El discurs d'una nova revolució industrial emergeix a l'any 2005 amb la publicació "Fab: The Coming Revolution on Your Desktop. From Personal Computers to Personal Fabrication" [18].

El llibre és el resultat dels treballs realitzats al CBA (*Center of Bits and Atoms*) del MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) on en Neil Gershenfeld i el seu equip van teoritzar sobre el futur dels sistemes productius, establint com a utopia de sistema de fabricació totalment flexible i automatitzat el *Replicator* descrit a l'obra de ciència ficció *Star Trek*, inicialment concebut per a replicar aliments i posteriorment utilitzat per a replicar peces de recanvi de la nau espacial *Enterprise*. Part de la fascinació que genera el món de la impressió 3D és deguda a la seva semblança amb la utopia del *Replicator*, on és habitual que les peces de les impressores 3D les fabriquin les pròpies impressores 3D.

Des de llavors fins ara s'han publicat diverses obres que argumenten la imminència d'una nova revolució industrial, de les quals se'n fa un recull a continuació.

L'any 2011 es publica "The Third Industrial Revolution" [35] on l'autor, Jeremy Rifkin, planteja que les revolucions industrials es deuen a la confluència de noves fonts d'energia amb noves formes de comunicació. L'autor identifica una primera revolució industrial basada en la màquina de vapor (combustibles fòssils sòlids) i l'emergència de la premsa escrita. També identifica una segona revolució basada en el motor de combustió (combustibles fòssils líquids) i l'energia elèctrica i en els mitjans de comunicació basats amb l'electricitat de forma analògica incloent el telèfon, la ràdio i la televisió. Finalment argumenta que estem entrant en una tercera revolució en la que la part de les comunicacions ja ha emergit amb l'eclosió d'Internet, però que està a l'espera de la part energètica on les renovables estan cridades a emergir definitivament.

El mateix autor publica a l'any 2014 "The Zero Marginal Cost Society" [36] on amplia el discurs de les tres revolucions industrials amb la "Metàfora del tallafocs" juntament amb el discurs dels comuns d'Elinor Ostrom, premi Nobel d'Economia de 2009. En el món digital la replicació d'objectes es pot fer amb un cost marginal molt petit ja que es tracta de processar i moure bits, al contrari del que passa en el món físic en el que cal processar i moure materials. Segons Rifkin, el "tallafocs" que semblava que hi havia entre els dos mons s'ha saltat degut als nous sistemes de fabricació que comencen a fer de forma progressiva un enfocament productiu basats en la replicació a partir de models digitals. La combinació amb comuns digitals com la pròpia Internet, Linux,

protocols i eines obertes defineixen un escenari de canvi encara més revolucionari, segons l'autor.

L'any 2011 la DFKI (Centre Alemany de Recerca d'Intel·ligència Artificial) representa en un diagrama seminal les quatre revolucions industrials, el qual és la base del model en el que es basa el terme Indústria 4.0 [25]. Utilitzat per primer cop a la Fira de Hannover de 2011 aquest terme ja es va començar a utilitzar en el projecte RES-COM (Resource Conservation by Context-Activated M2M-Communication) de la DFKI iniciat el mateix any.

La primera revolució industrial s'inicia al final del segle XVIII i es va basar en la màquina de vapor la qual va possibilitar per primer cop disposar d'energia mecànica en qualsevol lloc on es pugui transportar carbó i en el moment en què es necessiti, superant les limitacions de l'energia provinent dels rius o d'origen animal. L'aplicació de la màquina de vapor a mitjans de transport com el ferrocarril o vaixells va actuar amb un efecte multiplicador ja que va servir per transportar persones, altres màquines de vapor o el propi carbó [13].

La segona revolució industrial es situa a principis del segle XX basant-se en l'aplicació de l'energia elèctrica combinada amb la divisió del treball i la producció en massa. L'obtenció d'energia mecànica a petita escala mitjançant motors elèctrics fa possible dividir les tasques així com desenvolupar activitats en petits espais com tallers, i posteriorment arribant als particulars en forma d'electrodomèstics. Paral·lelament emergeix una primera generació del moviment DIY (*Do It Yourself*) amb revistes com *Popular Mechanics* (1902) i joguines com el *Meccano* (1909). La producció en massa arriba al màxim nivell tal i com es mostra a la (Fig. 16).

La tercera revolució industrial es va iniciar a finals dels anys 60 i es va fonamentar amb la irrupció del microprocessador, l'electrònica i la informàtica. Inicialment en el camp industrial i de l'empresa, introduint el control numèric, el CAD/CAM i els programes de gestió, però que posteriorment arriba als particulars en forma d'ordinador personal. La introducció del PC va suposar una onada de DIY en el camp digital on als anys 80 i 90 els quioscs s'omplien de revistes d'informàtica. Finalment, la quarta revolució industrial [25], a la que estem entrant, es basa en els denominats sistemes ciberfísics i amb la Internet de les Coses.

Els sistemes ciberfísics es defineixen pel maridatge dels móns físic i digital a través dels sistemes computacionals i les xarxes de comunicació [40]. La robòtica ha estat pionera en el desenvolupament dels sistemes ciberfísics en la tercera revolució industrial, i a la quarta revolució industrial aquests sistemes ciberfísics esdevindràn connectats, fet que en permetrà la col·laboració.

A l'any 2012 es publica "Makers, The New Industrial Revolution" [3] on l'autor, Chris Anderson aprofundeix en el fenomen de l'impacte social que suposa la

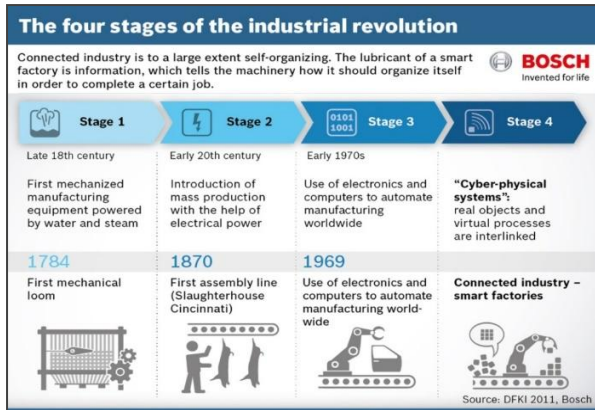


Fig. 5. Model d'una revolució industrial amb quatre fases

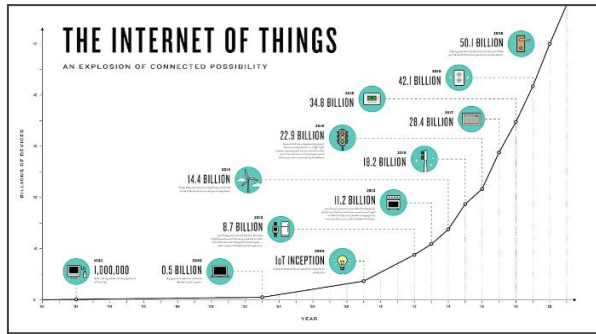


Fig. 6. Caràcter exponencial de la Internet de les coses. Font: The Connectivist

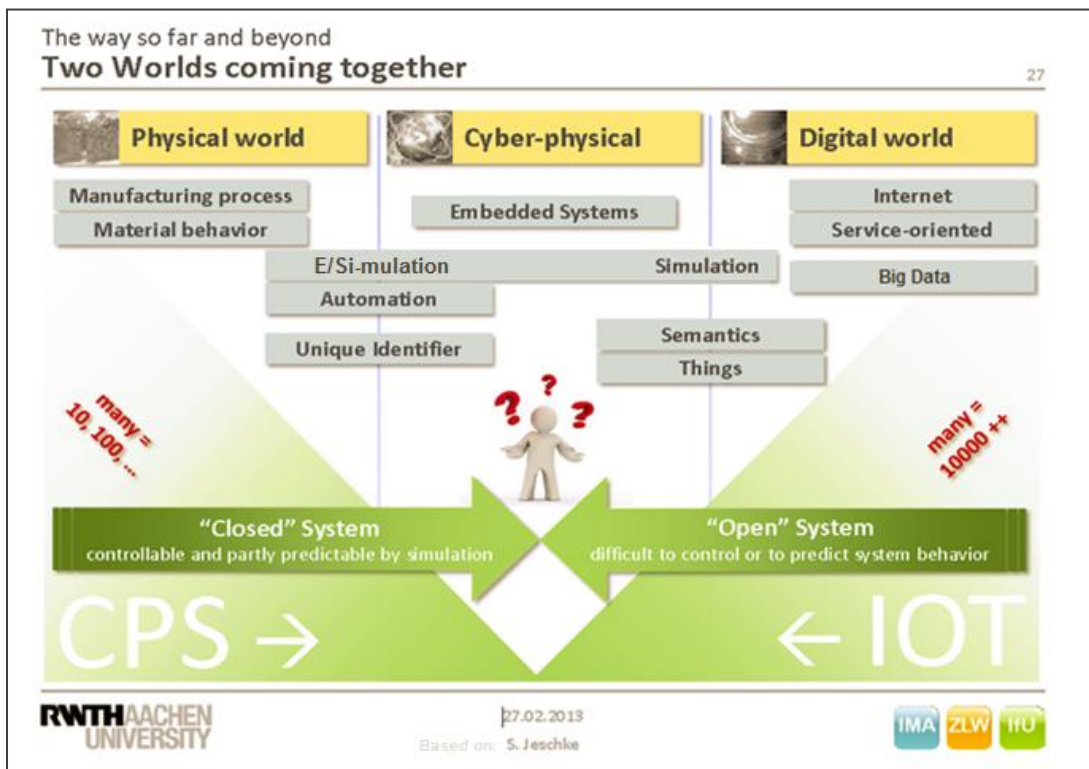


Fig. 7. Anatomia dels sistemes ciberfísics i la Internet de les coses. Basat en [26]

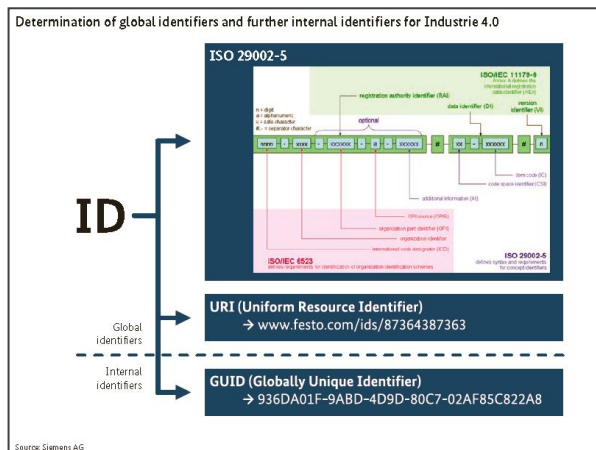


Fig. 8. Identificadors únics per la Indústria 4.0

popularització de les tecnologies digitals i de fabricació plantejades pel MIT. Emergeix la figura del “maker” que és la versió actualitzada del moviment DIY. El “maker” actual és la combinació dels dos moviments DIY anteriors i obté el coneixement a Internet i combina el món físic amb el món digital, donant lloc a un DIY ciberfísic. També a 2012 es publica “The New Industrial Revolution. Consumers, Globalization and the End of the Mass Production” [30], on Peter Marsh, que va ser Manufacturing Editor al Financial Times, exposa un model de 5 revolucions industrials.

El model de les quatre revolucions pot ser utilitzat per a explicar els altres models: Jeremy Rifkin considera que la tercera encara no ha acabat degut a la qüestió energètica. Chris Anderson considera que la primera i la segona són la revolució industrial clàssica i que la tercera i la quarta són la nova revolució industrial, basada en les tecnologies digitals, on la informàtica i la Internet d’una banda, i els *embedded systems* i la Internet de les Coses de l’altre, en són la base. Peter Marsh considera que estem entrant en la cinquena revolució industrial ja que divideix la primera en dos en considerar que l’aplicació de la màquina de vapor al transport i les comunicacions van tenir entitat de revolució.

La taxonomia de les quatre revolucions, que és considerada un model europeu, ha anat guanyant acceptació. El llibre “The Fourth Industrial Revolution” [38] del director del World Economic Forum, Klaus Schwab, publicat a l’any 2016 n’és una mostra.

Revolució o evolució?

En el món industrial l’ús del terme revolució és objecte de debat. Per exemple, la interpretació que inicialment va fer Bosch del model de la DFKI parla d’una sola revolució industrial amb quatre etapes.

Peter Troxler, investigador i professor de la Universitat de Ciències Aplicades de Rotterdam, sosté que a diferència de les revolucions polítiques on no és estrany veure processos de desplaçament quasi totals dels règims anteriors, les denominades revolucions industrials es produeixen de forma incremental en el sentit que una etapa aprofita gairebé tot el coneixement científic i la tecnologia de les etapes anteriors [41]. No tots els processos industrials estan pressionats per passar a la quarta, per exemple la fabricació de components estandarditzats de gran consum com la cargolaria, tubs, cables etc. poden continuar en la tercera ja que el sistema poden estar totalment automatitzats, amb gran productivitat i sense demanda de flexibilitat. Un dels reptes és determinar què cal aplicar en cada procés industrial, si cal fer un gran salt a la quarta o si només cal aplicar una part de la quarta com incorporant sensors a instal·lacions existents per fer manteniment predictiu fent servir Big Data, per exemple.

El propi terme revolució industrial no va ser una invenció britànica ja el seu origen està en el terme francès “révolution industrielle” [21]. En el nostre cas, el terme Indústria 4.0 plantejat en aquest document es refereix al context derivat de la quarta revolució industrial.

Els sistemes ciberfísics i la IoT

Els pilars sobre els que descansa la quarta revolució/etapa són els sistemes ciberfísics (Cyber-physical Systems = CPS) i la Internet de les coses (IoT), que donen lloc a la indústria connectada [25].

La Internet de les Coses es defineix per la interconnexió d’objectes a la xarxa i actualment té un creixement que segueix una llei exponencial. En conseqüència, el volum de dades que genera el conjunt d’objectes també creix de forma exponencial donant lloc a l’anomenat *Big Data*, el qual pot ser emmagatzemat, processat i analitzat gràcies a les capacitats computacionals i les tècniques d’anàlisi de dades. Segons Wim Elfrink, vice-president de Cisco, a l’any 2014 es connectaven 300.000 nous dispositius cada hora. El diagrama proposat per Sabina Jeshcke, de la Universitat d’Aachen, és la base per a explicar la relació entre els dos conceptes:

Els sistemes ciberfísics integren els processos de fabricació i el comportament dels materials amb la dimensió digital (dimensió ciber) mitjançant la incorporació dels *embedded systems* (electrònica

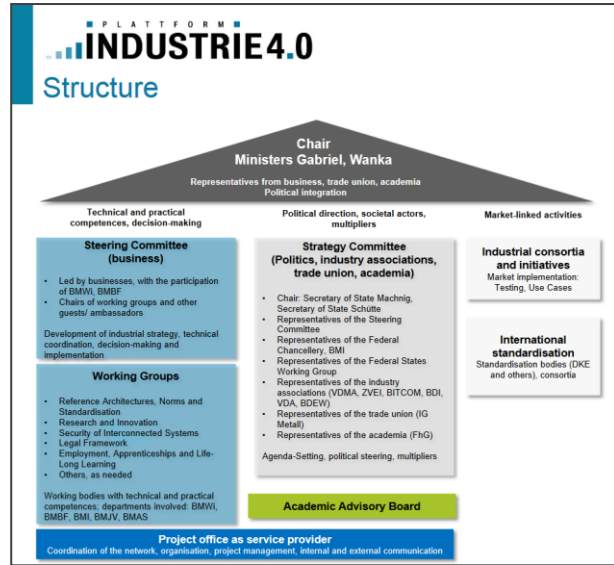


Fig. 9. Organització de la Plattform Industrie 4.0. Font: Plattform Industrie 4.0



Fig. 10. Fira de Hannover 2013



Fig. 11. Documents de referència d'Indústria 4.0 de diferents països

encastada) i l'intercanvi de dades mitjançant les tecnologies de comunicació. La relació entre els mons físic i ciberfísic es produeix en tres àmbits: el problema de l'únic identificador, la simulació i l'automatització.

En relació a la identificació, estàndards tradicionals de codificacions com la ISO-29002 s'han vist complementats amb estàndards oberts provinents del món Internet, gestionats per la IETF (*Internet Engineering Task Force*) tal i com és el cas de les URI (*Uniform Resource Identifier*), que són la base de les populars URLs definides al estàndard RFC 3986.

El segon àmbit de relació entre els mons físic i ciberfísic és la parella automatització/simulació. L'automatització es defineix com el control d'objectes físics a través d'objectes de software. D'una altra banda, la simulació es defineix com el trasllat d'objectes reals a un món virtual, on es pot experimentar amb ells inclús alterant les regles de funcionament i sense cap risc físic. Aquestes definicions que van en sentit contrari fan que l'automatització i la simulació formen un cercle virtuós ja que es retro alimenten. El camp de la simulació multi física permet experimentar simultàniament amb diversos models dels objectes des dels punts de vista mecànic, tèrmic, electromagnètic, etc. Finalment, l'emulació va més enllà de la simulació ja que afegeix els elements necessaris per a poder substituir físicament l'element emulat. Podríem dir que una emulació és una simulació ciberfísica [44].

A la dreta del diagrama de la (Fig. 7) es troba la *IoT* amb la frontera entre els mons ciberfísic i el món digital. La simulació (virtualització) torna a aparèixer com a element transversal, en aquest cas aplicada a processos i models abstractes. Els altres dos àmbits de relació són el camp de les coses (models conceptuals) i el camp de la semàntica o regles de negoci (models de comportament), que són els dos pilars tradicionals de l'enginyeria del software.

A la dreta de tot del diagrama de la (Fig. 7) es troba la Internet, el Big Data i l'orientació als serveis, entroncant amb l'enginyeria i ciència dels serveis [8].

Posicionaments institucionals

Europa

El terme *Industrie 4.0* es va començar a utilitzar l'any 2011 a Alemanya en relació a la quarta revolució industrial (en sentit ampli). A l'abril de l'any 2013, durant la Fira de Hannover, Angela Merkel en presència de Vladimir Putin (Rússia era el país convidat en aquella edició) va rebre de les mans de representants de l'Acatech (Acadèmia de Ciències Alemanya) i de l'empresa Bosch el document fundacional de la iniciativa governamental alemanya anomenat "Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0" [25], en el que hi va col·laborar la DFKI (Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz - Centre de Recerca Alemany per la Intel·ligència Artificial). Durant la fira també es va presentar la Platform Industrie 4.0, una organització presidida per la ministra d'Educació i Recerca Johana Wanka i pel ministre d'Economia i Energia Sigmar Gabriel, que aglutina a associacions de professionals, associacions d'empreses, centres de recerca i acadèmia i a l'administració pública.

Durant la Fira de Hannover de 2016 es va presentar el "Standardization Council i4.0" (<https://sci40.com>), organisme que té vocació global més enllà de l'àmbit d'actuació alemany i té per finalitat el impuls d'estàndards a nivell internacional.

Pocs mesos després, el setembre de 2013, l'associació industrial francesa d'equipaments elèctrics i de control Gimélec publica el document "*Industrie 4.0. L'usine connectée*" [20]. A diferència del document alemany, presenta un format de recull d'articles de diverses firmes del món industrial francès i també de referents com el propi Jeremy Rifkin. El document constata que independentment del nom que cada autor li posi a la revolució hi ha consens de que es tracta de la mateixa.

Més endavant, al 2015, es va presentar a França l'aliança *Industrie du Futur* formada per institucions acadèmiques, centres de recerca i associacions empresarials entre les que figura Gimélec. L'aliança ha establert un preacord amb la *i4.0 Plattform* per a utilitzar la seva arquitectura de referència anomenada RAMI 4.0 [2].

Pel que fa Espanya, al juliol de 2015 es va presentar el document "*Industria conectada 4.0. La transformación digital de la industria española*" [32] a la seu del Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Aquest document, que compta amb el recolzament del Banc Santander, Telefónica i Indra, també adopta els conceptes teòrics plantejats en el document alemany [25].

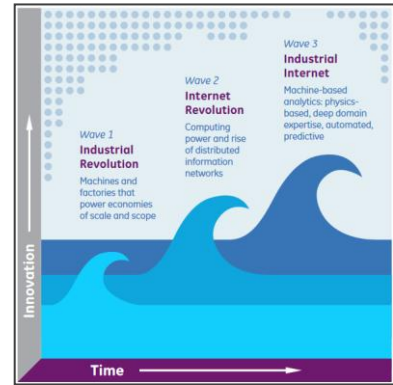


Fig. 12. Model de les tres onades de GE. Font: General Electric

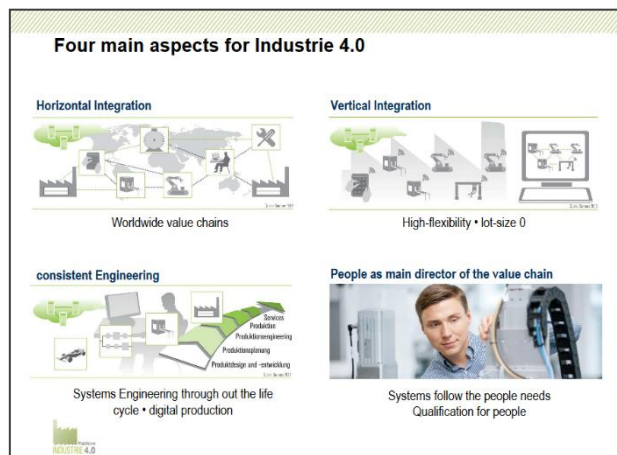


Fig. 13. Els quatre aspectes principals de la Indústria 4.0. Font: Plattform Industrie 4.0

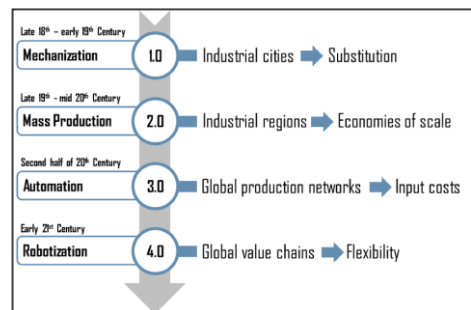


Fig. 14. Cadenes de valor globals Font: Jean-Paul Rodrigue – Hofstra University NY

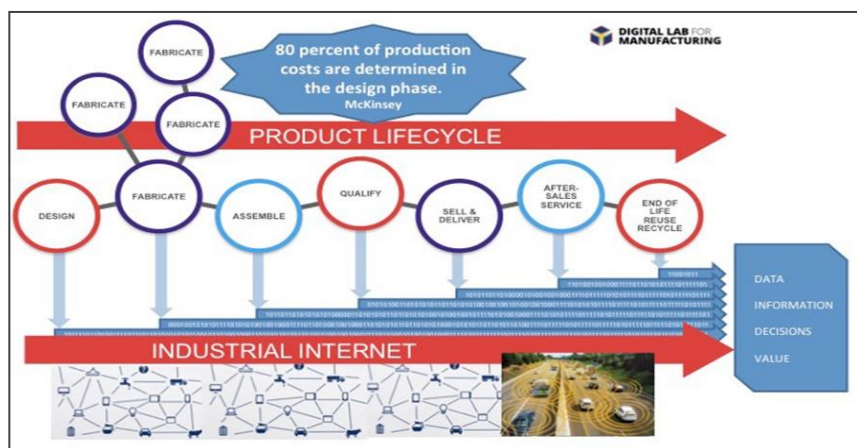


Fig. 15. Cadenes de valor globals Font: Digital Lab for Manufacturing

Estats Units

Als Estats Units s'ha seguit un procés diferent. L'any 2014 les empreses General Electric (GE), IBM, Intel, Cisco i AT&T, juntament amb l'organització sense ànim de lucre anomenada OMG (Object Management Group), dedicada a l'estandardització en el camp del software, van fundar la Industrial Internet Consortium (IIC). Es basen en el document de referència titulat "Industrial Internet: Pushing de Boundaries of Minds and Machines" desenvolupat el 2012 per GE [15]. Aquest document defineix un model basat en tres onades: la primera onada correspon al món físic, es denomina "Revolució Industrial" i es produeix durant la segona revolució industrial del model i4.0. La segona onada correspon al món digital, es denomina "Revolució d'Internet" es produeix al final de la tercera revolució del model i4.0. La tercera onada, resultat de la combinació de les dues anteriors, correspon al món ciberfísic, s'anomena Industrial Internet i es produeix a la quarta revolució del model i4.0.

Àsia

L'any 2015 a Japó es va presentar dues iniciatives relacionades amb la Indústria 4.0; la IVI (*Industrial Value Chain Initiative* – www.iv-i.org) i la *Robot Revolution Initiative*. La primera està liderada per empreses com Mitsubishi, Fujitsu, Nissan o Panasonic a l'estil de l'IIC, però limitada a l'àmbit japonès, adoptant els fonaments teòrics la *Industrie 4.0* i fent èmfasi en la indústria connectada. La segona iniciativa és de caire governamental i està orientada a recolzar la competitivitat de la robòtica japonesa.

Finalment, durant l'any 2015 es va presentar la iniciativa xinesa MiC2025 (Made in China 2025), que també està inspirada en el model de la *Industrie 4.0*.

Proposta de la *Industrie 4.0* Plattform

La i4.0 Plattform ha identificat els quatre aspectes clau de la Indústria 4.0 [1]:

La integració horitzontal

La integració vertical

L'enginyeria consistent

Les persones, claus en la cadena de valor

Integració horitzontal

El professor Jean-Paul Rodrigue de la Hofstra University NY analitza l'evolució des de la primera revolució industrial amb l'emergència de les ciutats industrials fins a les cadenes de valor globals de la quarta revolució industrial. Aquestes últimes són percebudes com una vacuna contra la deslocalització provocada per les cadenes de producció globals de la tercera revolució industrial.

A les cadenes de valor de la quarta revolució industrial les dades són conduïdes mitjançant un "fil conductor" digital i aquestes són agregades per una Internet industrial de productes connectats segons es mostra a la (Fig. 15), on la flexibilitat és un factor clau.

Integració vertical

La noció de flexibilitat en la producció industrial va ser representada per Boër i Dulio l'any 2007, segons el qual el punt àlgid de la producció en massa es va produir l'any 1955 coincidint amb el punt màxim de l'onada del model de GE utilitzat per l'IIC [7].

A la quarta revolució industrial el sistema intenta satisfer la demanda al nivell de la personalització si fa falta. Un dels objectius centrals de la Indústria 4.0 és poder fer produccions tant amb lots de gran mida (resolt a la segona revolució industrial) com amb lots petits fins arribar en el límit a una sola unitat [6] alhora que es manté una competitivitat en costos com a la segona i tercera revolució industrial.

Enginyeria consistent

L'enginyeria concurrent gestionada sistemàticament de forma consistent ha estat batejada per Siemens com a *Closed Loop Manufacturing* [39]. La idea és que les enginyeries de producte, fabricació i l'equip d'operacions comparteixin un mateix model de dades entre les enginyeries de producte, procés i execució durant tot el cicle de vida del producte, de forma que cap d'aquests equips es desconnecti totalment de la resta en cap moment (Fig. 18). L'elevat nombre de components implicats i la voluntat de garantir la no

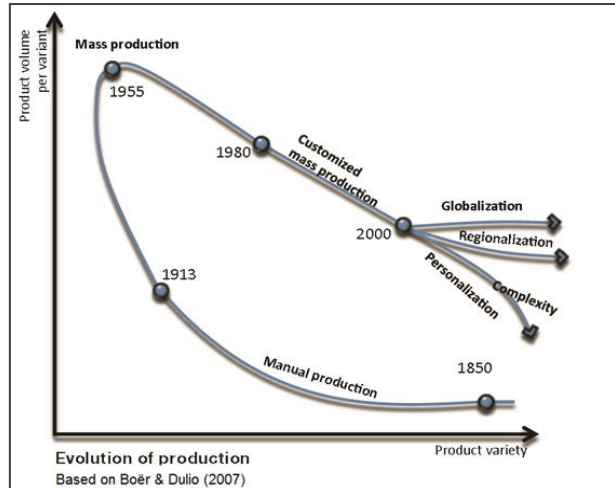


Fig. 16. Alta flexibilitat. Font: Boër & Dulio

Maximum data transparency in kitchen manufacturing through PC-based control technology

Nobilia: Series production with lot-size-1 flexibility demonstrates the true potential of Industry 4.0

Nobilia manufactures an enormous number of kitchens per year, with over 580,000 produced in the two manufacturing plants located in Verl in East Westphalia, Germany. That may be series production in the truest sense of the words, but the real specialty here is the customization that is implemented at the same time. PC-based control from Beckhoff offers the ideal foundation for universal transparency of the parts and production data, allowing individual kitchens to be supplied flexibly and efficiently in a lot size of 1 – entirely in keeping with the ideals of Industry 4.0.



Fig. 17. Cas d'estudi de Nobilia. Font: Beckhoff

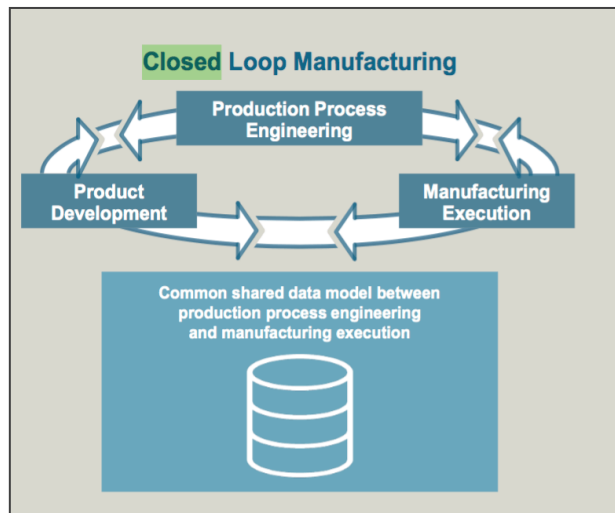



Fig. 18. Sistema integral d'enginyeria consistent. Font: Siemens

Press release 

National IT Summit, November 18-19, Berlin
Bosch board of management member Struth on the IT Summit:
Industry 4.0 needs an education offensive
 15 Bosch projects featured on new Industry 4.0 map

November 18, 2015
 PI 9117 RB Res/Sekr

- ▶ Schools should be supported with better technical equipment
- ▶ Sensors enable valuable analysis of production data
- ▶ Hundreds of millions of euros can be saved annually

Fig. 19. Indústria 4.0 i l'educació. Font: Bosch

inconsistència del sistema requereix un ús intensiu de solucions de software i un hardware adequat que ho suporti.

Les persones, la clau de la cadena de valor

El factor humà és un element clau, tant a l'oferta com a la demanda. D'una part el sistema s'orienta a satisfer les necessitats de la gent (demanda) i d'una altra part el sistema requereix i requerirà de forma creixent perfils professionals que facin possible la i4.0.

Respecte a la disponibilitat d'aquests perfils s'han identificat tres problemes principals, sobre tot en les economies occidentals:

- Manca de vocacions tècniques en els nens i joves, especialment femenines.
- Cal dotar al sistema educatiu dels elements necessaris per a impartir aquest coneixement.
- La pròpia indústria té problemes amb la formació de perfils híbrids degut a les barreres existents entre col·lectius i en l'adaptació a nous perfils emergents.

Pel que fa a les vocacions tècniques dels joves, un estudi realitzat per Everis [16] amb la col·laboració del Departament d'Ensenyament de la Generalitat de Catalunya determina que la decantació cap a estudis tècnics es produeix en l'etapa de formació d'ensenyament primari i no secundari on les accions ja arriben massa tard.

En relació als mitjans necessaris per al sistema educatiu, l'empresa Bosch, un dels actors referents de la i4.0, va publicar a finals de 2015 un manifest

demanant una ofensiva en la formació del professorat i dotació de mitjans als centres de formació. En el nostre àmbit, la complicitat de la indústria amb iniciatives per fomentar vocacions científic/tècniques entre els nostres joves com mSchools, YoMo o Impulsem la Robòtica són una oportunitat per sumar-nos a la idea proposada per Bosch.

Finalment, en relació a barreres existents entre àmbits de la indústria, el document 800-82 publicat per la NIST titulat "*Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security*" posa de manifest les diferents visions del món dels professionals d'IT (Tecnologies de la Informació - "bata blanca") i dels professionals d'OT (Operacions - "bata blava"). La taula recull 10 àmbits que van des de la percepció del temps a la percepció del risc i contrasta la divergència en les prioritats que cada visió estableix sobre cada categoria.

La denominada convergència IT/OT descrita al 2009 per *Rockwell Automation* [37] és un dels reptes de la i4.0 i des de fa anys diverses empreses estan treballant en la recerca d'aquests perfils híbrids. La tasca és complexa i el fenomen es podria descriure amb l'expressió "impedància IT/OT", mostrada a la (Fig. 20). Els països i cultures que més avancin en aquesta convergència obriran finestres d'oportunitats en el desenvolupament industrial [9].

En relació a l'adaptació de nous perfils emergents els denominats sistemes semiautomàtics tenen un gran potencial en la creació de nous tipus de llocs de treball, en els que les màquines i automatismes són elements potenciadors de les persones, com és el cas de la robòtica col·laborativa. Els sistemes semiautomàtics ofereixen a les persones finestres de temps per a desenvolupar idees mentre la màquina treballa.

Category	Information Technology System	Industrial Control System
Performance Requirements	<p>Non-real-time</p> <p>Response must be consistent</p> <p>High throughput is demanded</p> <p>High delay and jitter may be acceptable</p> <p>Less critical emergency interaction</p> <p>Tightly restricted access control can be implemented to the degree necessary for security</p>	<p>Real-time</p> <p>Response is time-critical</p> <p>Modest throughput is acceptable</p> <p>High delay and/or jitter is not acceptable</p> <p>Response to human and other emergency interaction is critical</p> <p>Access to ICS should be strictly controlled, but should not hamper or interfere with human-machine interaction</p>
Availability (Reliability) Requirements	<p>Responses such as rebooting are acceptable</p> <p>Availability deficiencies can often be tolerated, depending on the system's operational requirements</p>	<p>Responses such as rebooting may not be acceptable because of process availability requirements</p> <p>Availability requirements may necessitate redundant systems</p> <p>Outages must be planned and scheduled days/weeks in advance</p> <p>High availability requires exhaustive pre-deployment testing</p>
Risk Management Requirements	<p>Manage data</p> <p>Data confidentiality and integrity is paramount</p> <p>Fault tolerance is less important – momentary downtime is not a major risk</p> <p>Major risk impact is delay of business operations</p>	<p>Control physical world</p> <p>Human safety is paramount, followed by protection of the process</p> <p>Fault tolerance is essential, even momentary downtime may not be acceptable</p> <p>Major risk impacts are regulatory non-compliance, environmental impacts, loss of life, equipment, or production</p>
System Operation	<p>Systems are designed for use with typical operating systems</p> <p>Upgrades are straightforward with the availability of automated deployment tools</p>	<p>Differing and possibly proprietary operating systems, often without security capabilities built in</p> <p>Software changes must be carefully made, usually by software vendors, because of the specialized control algorithms and perhaps modified hardware and software involved</p>
Resource Constraints	<p>Systems are specified with enough resources to support the addition of third-party applications such as security solutions</p>	<p>Systems are designed to support the intended industrial process and may not have enough memory and computing resources to support the addition of security capabilities</p>
Communications	<p>Standard communications protocols</p> <p>Primarily wired networks with some localized wireless capabilities</p> <p>Typical IT networking practices</p>	<p>Many proprietary and standard communication protocols</p> <p>Several types of communications media used including dedicated wire and wireless (radio and satellite)</p> <p>Networks are complex and sometimes require the expertise of control engineers</p>
Change Management	<p>Software changes are applied in a timely fashion in the presence of good security policy and procedures. The procedures are often automated.</p>	<p>Software changes must be thoroughly tested and deployed incrementally throughout a system to ensure that the integrity of the control system is maintained. ICS outages often must be planned and scheduled days/weeks in advance. ICS may use OSs that are no longer supported</p>
Managed Support	<p>Allow for diversified support styles</p>	<p>Service support is usually via a single vendor</p>
Component Lifetime	<p>Lifetime on the order of 3-5 years</p>	<p>Lifetime on the order of 10-15 years</p>
Components Location	<p>Components are usually local and easy to access</p>	<p>Components can be isolated, remote, and require extensive physical effort to gain access to them</p>

Fig. 20. Factors de la "impedància IT/OT". Font: NIST

El repte de la seguretat: Safety & Security

El món anglosaxó disposa de dues paraules per a referir-se a la seguretat: *safety* i *security*. En canvi, en alemany hi ha només una paraula: *Sicherheit*. L'entitat certificadora alemanya TÜV, defineix els termes anglosaxons de la següent forma; *safety* és la protecció de les persones respecte al sistema i *security* és la protecció del sistema respecte a les persones [42].

Durant cinquanta anys les comunitats de *safety* (seguretat funcional) i *security* (seguretat de sistemes) han viscut pràcticament d'esquenes una de l'altra en el camp industrial. L'estàndard de referència de la seguretat funcional (*safety*) és la IEC 61508 que defineix cinc nivells de seguretat anomenats SIL basats en un criteris probabilístics de risc, utilitzant tècniques com els Arbres de Fallada. D'una altra banda, l'estàndard de referència en el camp de la seguretat informàtica industrial és la IEC 62443 (ISA 99), que també defineix quatre nivells, en aquest cas denominats SL, que no tenen res a veure amb els SIL i que es refereixen al nivell d'intencionalitat dels atacs [19]. A l'any 2016 el IIC publica un marc de referència per la seguretat de la *Industrial Internet of Things* que es basa en la IEC 62443 [24].

No és fins l'any 2010 que ambdós estàndards (i, per tant, els comitès que hi ha al darrera) es reconeixen l'existència l'una a l'altra. D'una banda a l'IEC 61508 es recomana introduir el factor de risc d'un "ciberatac" fent servir l'IEC 62443 i, per contra, la segona reconeix a la primera com a font de coneixement.

En els mons *Maker* i DIY els desenvolupaments són de potència limitada per qüestions de seguretat

funcional, però en entorns de simulació el camp de possibilitats no té límit. A partir de certs nivells de risc derivats d'altres potències, materials perillosos o problemes d'escalabilitat, cal enginyeria per avançar. D'una altra banda, en el món ciber els perills derivats dels ciberatacs són uns dels reptes de la quarta revolució industrial, que requereixen d'enginyeria de primer nivell per fer-los front limitant les vulnerabilitats dels sistemes.

Els enginyers podem realitzar una tasca d'acompanyament per fer el salt de la dimensió *maker* a la dimensió industrial ajudant a garantir el correcte disseny i funcionament dels sistemes que formaran part de la Indústria 4.0, així com el compliment de les diferents regulacions de seguretat, tant funcional com informàtica utilitzant els instruments de què disposen els col·legis professionals com InfoCentre, serveis relacionats amb la ciberseguretat, telecomunicacions, etc.

Marc de treball a la Comissió Europea

En el document "*Platforms for Connected Factories of the Future*" [14] la Comissió Europea identifica un conjunt d'iniciatives que es mostren a la taula inferior.

Actualment hi ha dues iniciatives que compleixen les condicions de ser una arquitectura de referència oberta, amb alt nivell d'estandardització i amb *testbeds* (bancs de proves, prototips i instal·lacions de demostració) disponibles: RAMI 4.0 i IIRA.

Ambdues arquitectures són recolzades per les seves respectives organitzacions: RAMI 4.0 és l'arquitectura de la *i4.0 Platform* i IIRA ho és del *Industrial Internet Consortium* (IIC).

Summarising existing initiatives										
Name system	Type	Domain	Status	Level of standardisation	Openness	Value creation	Ecosystem	Stakeholders	User range	Test beds available
RAMI	Operational	Manufacturing industry	Reference Architecture	High	Open	With system		Industry, Software vendors	Vertical	Yes
Virtual Fort Knox	Technological, operational	Manufacturing industry	Implemented	High	Open	With and within system	Yes	Industry, Software vendors, Government	Vertical	Yes
BEInCPPS	Technological	Manufacturing industry	Under construction	Low	Open	Within system	Yes (5 ecosystems)	University of Milan, industrial companies, SMEs, EC	Horizontal	Yes
FIWARE - FITMAN	Technological	Manufacturing industry	Implemented	High	Open	With system	Yes	Industry, Software vendors, machine producers	Vertical	Yes
Industrial Data Space	Technological, operational	Pharmaceutical, Automotive, Retail, and Production Industry	Reference Architecture	High	Closed	With system	Yes	Big (industrial) companies, Government,	Horizontal	Yes
IIRA	Technological	Energy, Healthcare, Manufacturing, Public Sector, Transportation	Reference Architecture	High	Open	With system	Yes	Business decision makers, System engineers, product managers, developers	Horizontal	Yes
CyPros	Technological, operational	Manufacturing industry	Reference Architecture	Low	Open	With and within system		Manufacturing industry (big and small companies)	Vertical	
Arrowhead	Technological	Manufacturing industry, Buildings and Infrastructures, Smart and Energy (production and Virtual Markets of Energy)	Reference Architecture	High	Open	With system		Service providing and consuming companies in diverse sectors	Horizontal	

Fig. 21. Marcs de treball identificats per la Comissió Europea

IEC 61508 SIL LEVELS		
SIL: "The Safety Integrity Level is a measure for the effectiveness of the risk reduction that each individual Safety Function is expected to provide"		
Safety Integrity Level	Risk Reduction Factor	PFDD _{avg} : Average Probability of Failure on Demand (Demand Mode)
SIL 4	100,000 – 10,000	$\geq 10^{-6}$ to $< 10^{-4}$
SIL 3	10,000 - 1,000	$\geq 10^{-4}$ to $< 10^{-3}$
SIL 2	1,000 - 100	$\geq 10^{-3}$ to $< 10^{-2}$
SIL 1	100 to 10	$\geq 10^{-2}$ to $< 10^{-1}$

Source: Exida

ISA 99 / IEC 62443 SECURITY LEVELS	
SL 1	PROTECTION AGAINST CASUAL OR COINCIDENTAL VIOLATION (i.e. changing a setpoint to a value outside engineering defined conditions, interception of a password send over the network in clear text)
SL 2	PROTECTION AGAINST INTENTIONAL VIOLATION USING SIMPLE MEANS (i.e. virus infection, exploiting commonly known vulnerabilities of DMZ hosts)
SL 3	PROTECTION AGAINST INTENTIONAL VIOLATION USING SOPHISTICATED MEANS (i.e. exploits in operating systems, protocols. Attacker requires advanced security knowledge, advanced domain knowledge, advanced knowledge of the target system. i.e. password cracking.)
SL 4	PROTECTION AGAINST INTENTIONAL VIOLATION USING SOPHISTICATED MEANS WITH EXTENDED RESOURCES (Similar to SAL 3 but attacker now has extended resources to their disposal. i.e. StuxNet attack)

Source: Honeywell

Fig. 22. Nivells de seguretat funcional vs nivells de seguretat informàtica. Fonts: Exida, Honeywell

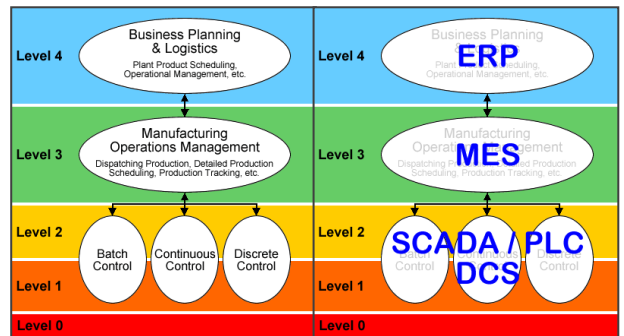


Fig. 23. Capes de l'estàndard ISA-95. Font: www.batchcontrol.com

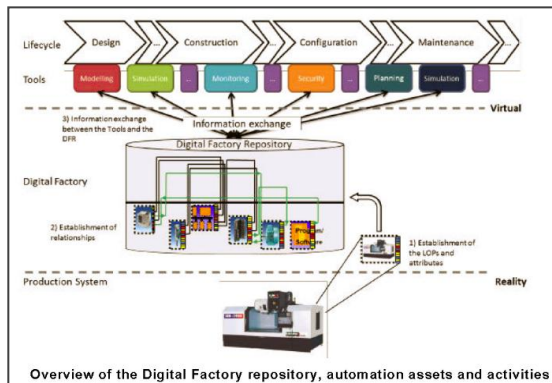


Fig. 24. Noció de DFR. Font: IEC 62832

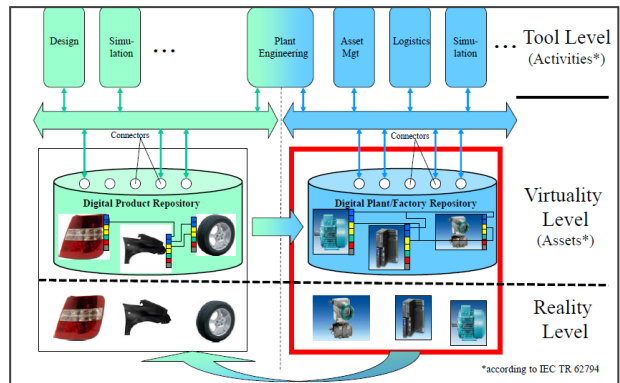


Fig. 25. DFR pels productes i pels mitjans

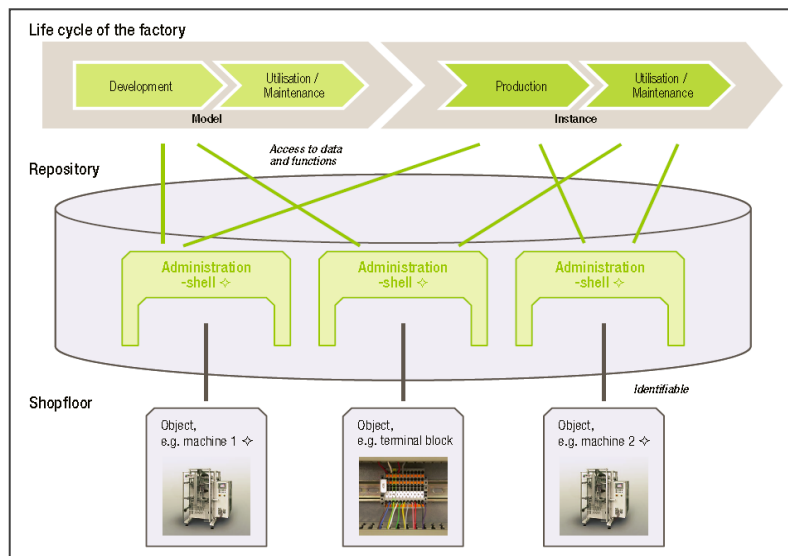


Fig. 26. DFR en el model RAMI 4.0. Font: VDI/VDEde producció. Font: IEC 62794

RAMI 4.0

RAMI 4.0 (*Reference Architecture Model Industrie 4.0*) és l'arquitectura de referència de la Indústria 4.0 en sentit ampli. Està descrita en el document "*Status Report: Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0)*" publicat per la VDI, VDE i ZVEI a l'any 2015 i té per origen el món de les operacions (OT) [43].

Antecedents: IEC 62264/ISA-95, IEC 62794 i IEC 62832

A l'any 1992 es va publicar el model de capes de l'arquitectura de referència industrial anomenada de Purdue, sobre la que es va basar la ISA-95 al 2000 i posteriorment la IEC 62264 al 2003 i que ha estat àmpliament adoptada per la indústria. Els sistemes de software en sentit genèric es poden situar a les seves capes corresponents, com els ERP (*Enterprise Resource Planning*), els sistemes MES (*Manufacturing Execution Systems*) i els sistemes SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*).

Vint anys més tard, a l'any 2012 es van publicar les normes IEC 62794 i la IEC 62832 que descriuen la *Digital Factory*, un model que planteja una organització més flexible que la ISA-95 (IEC 62264) al superar l'esquema d'una única jerarquia rígida de capes. La idea de base és disposar d'un repositori central (*Digital Factory Repository - DFR*) de representacions virtuals d'objectes reals (*digital twins*) tant dels productes com dels mitjans productius amb l'objectiu de fer possible portar a la pràctica l'enginyeria concurrent a tots els àmbits al llarg de tot el cicle de vida. S'introdueix la noció de "actiu d'automatització" o actius intel·ligents.

Segons la IEC 62794 el *Digital Factory Repository* pot ser tant pels elements productius com pels elements produïts, on la resiliència és un dels reptes centrals a assolir.

i4.0 Components (IEC/PAS 63088)

L'aportació fonamental de RAMI 4.0 és el i4.0 Component, que combina la part ciber, anomenada *Administration Shell*, amb la part física, anomenada objecte. L'ús d'*i4.0 Components* com a elements del DFR permet la convivència del món físic (real) amb el món digital (virtual). L'arquitectura RAMI 4.0 està actualment descrita a la norma DIN 91345, que va ser presentada a la Fira de Hannover de 2016, i és la base de la IEC/PAS 63088.

El model de *Digital Factory* es pot aplicar tant pels elements del sistema productiu com als propis productes que es fabriquen.

Les fàbriques del futur seran més intel·ligents i els productes estaran interconnectats, de manera que la producció industrial personalitzada serà un fet [10]. Els i4.0 Components són una formalització dels blocs constructius que ho farà possible [43].

Una característica del model dels i4.0 Components és que es pot desplegar gradualment, ja que una primera versió d'*Administration Shell* pot oferir inicialment serveis molt bàsics del tipus on/off, i gradualment anar incorporant noves funcions. El mateix passa amb el "Manifest" que pot anar des d'una documentació clàssica fins a una virtualització basada en un model de simulació multifísica. D'una altre banda, components existents actualment com PLCs poden ser absorbits per *Administration Shells* donant lloc a i4.0 Components [28].

Administration Shell = Resource Manager + Manifest

Un *i4.0 component* consta de dos elements: un objecte físic (o més d'un) i una *Administration Shell*.

Els objectes físics, mitjançant sensors i actuadors connectats/integrats amb *Embedded Systems* o bé fent servir recursos computacionals externs, disposen d'una representació digital d'ells mateixos, de forma que tota interacció amb els objectes físics d'un *i4.0 Component* es faci a través de l'*Administration Shell*. L'*Administration Shell* es veu des de fora com una capa de software, però internament consta de dos elements: el *Resource Manager* i el Manifest.

D'una banda, el *Resource Manager* es defineix com el conjunt de recursos necessaris que permeten:

- Executar programes (una màquina de Turing)
- Comunicar-se amb altres components

D'altra banda, el **Manifest** és un enllaç a la descripció de la informació del component tant de la part física com de la digital (meta-data). La descripció pot anar des d'una documentació tècnica fins a un model (o conjunt de models) digitals que permetin la seva simulació, és a dir la seva virtualització.

Així doncs, els i4.0 Components poden ser niats ja que per definició suporten el patró de disseny Composite, raó per la qual poden definir una jerarquia de composició amb subcomponents i així successivament. Un i4.0 component pot anar des d'una vàlvula, a un robot, una màquina o una planta sencera.

Els i4.0 components es comuniquen entre sí utilitzant les tecnologies de les telecomunicacions fent servir protocols de baix i d'alt nivell, ja siguin els clàssics busos de camp industrials com estàndards provinents d'Internet com el TCP/IP. Estàndards sense fils robustos com *WirelessHART* o *TSCN* estan cridats a tenir un fort protagonisme en l'evolució del *IoT* industrial (*IIoT*). Les capes de comunicació d'alt nivell

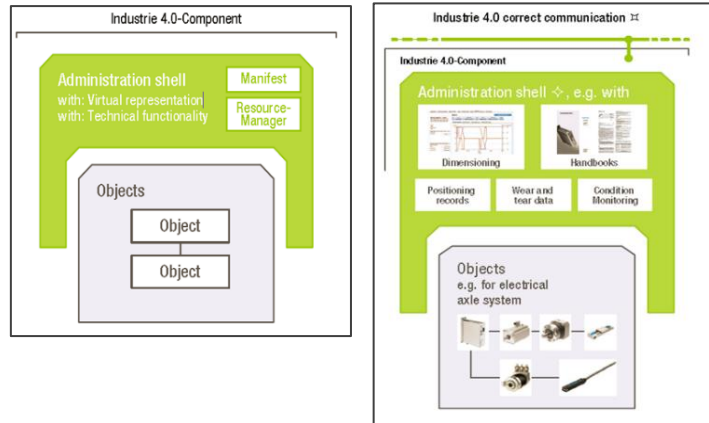


Fig. 27. i4.0 Component, pedra angular de la Indústria 4.0. Font: VDI/VDE/VDI/VDE de producció. Font: IEC 62794

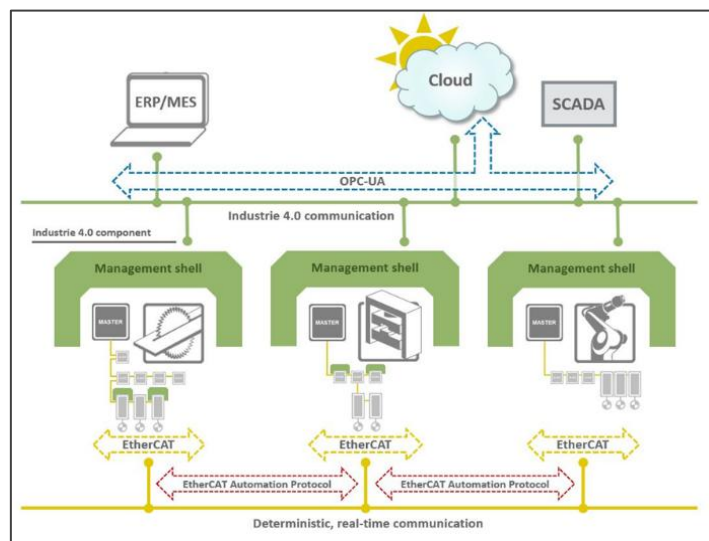


Fig. 28. Organització basada en i4.0 Components. Font: EtherCAT

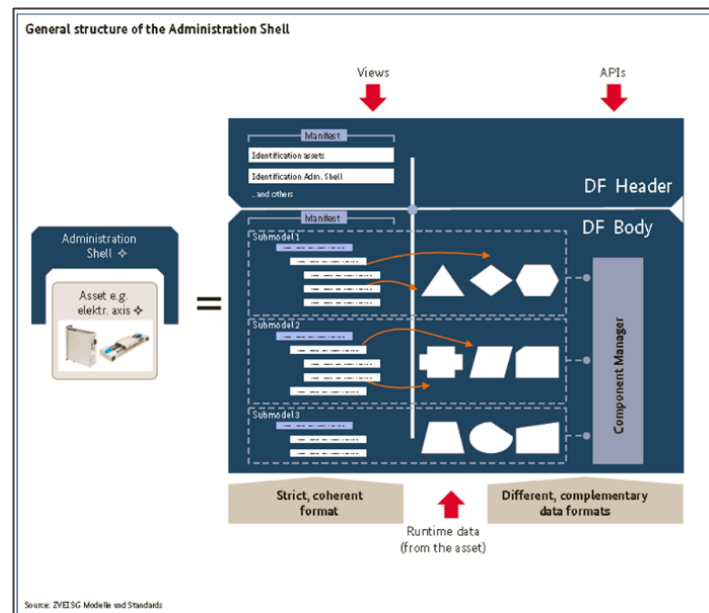


Fig. 29. Anatomia d'una Administration Shell. Font: ZVEI

incorporen esquemes d'informació amb orientació a objectes, que poden ser menys o més sofisticats, anant des d'APIs REST amb intercanvi d'objectes amb JSON fins a estàndards com OPC-UA (IEC 62541), tal com es mostra a la (Fig. 28).

Així doncs, RAMI 4.0 permet obtenir flexibilitat en base a la modularitat. La idea és evitar “monòlits” productius propis de la segona i tercera revolució industrial i anar a sistemes modulars descentralitzats formats per i4.0 components interconnectats entre sí. Si tots els components operen en mode real, la possibilitat d'activar-ne uns i desactivar-ne uns altres ja ofereix flexibilitat. Si tots els components operen en mode simulat estem en un cas de *Virtual Factory*, molt apropiada per a tasques de formació. Finalment, si només una part dels components operen en mode real es permet el desenvolupament de noves solucions en el sistema, podent fer proves en simulacions totals o parcials abans de passar al mode real.

L'estructura del manifest es compon d'una capçalera amb dades invariants del component i d'un detall amb les diverses configuracions que pot tenir un component, des d'estar en mode real, estar en mode simulat o estar en mode semi-simulat. I cada una de les opcions esmentades poden oferir varies configuracions alternatives.

Els i4.0 components són un model de sistemes ciberfísics, però també serveixen per a modelar els denominats “actius intel·ligents” (*technical assets*), terminologia utilitzada a l'àmbit de la gestió.

IIRA

IIRA (*Industrial Internet Reference Architecture*) és l'arquitectura de referència de l'*Industrial Internet Consortium* (IIC). Està descrita en el document “Industrial Internet Reference Architecture”[23] publicat per l'IIC l'any 2015 i té per origen el món de les TIC (IT).

Arquitectura per dominis funcionals

L'arquitectura IIRA defineix una arquitectura per dominis funcionals amb capes on a la part superior hi ha la capa de negoci, que descansa sobre tres pilars: les operacions, la informació i les aplicacions.

A la part inferior hi ha la capa de control que interactua amb el món físic utilitzant sensors i actuadors, terminologia també utilitzada en el camp de les *Smart Cities*.

Negoci, Informació i Aplicació

El document de l'IIRA detalla els diferents sistemes d'informació utilitzats per la capa de negoci com els ERP, CRM, etc. La capa d'Informació s'orienta a l'anàlisi de dades (*data analytics*) i al *Big Data*, un dels camps que té més potencial i que es vincula amb el camp de la Intel·ligència Artificial.

A la capa d'aplicació es troben els elements que poden portar a les organitzacions a un procés de servitització gràcies a les TIC.

Operacions i Control

La capa d'operacions i control, tot i que està sota de la de Business, és la responsable de les accions amb el món físic, assumint la part de la seguretat funcional del sistema, que inclou la seguretat física de les persones i els actius.

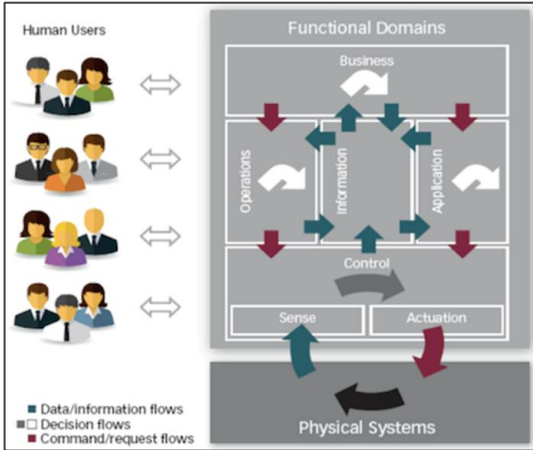


Fig. 30. Dominis funcionals de l'Arquitectura de referència IIRA. Font: IIC

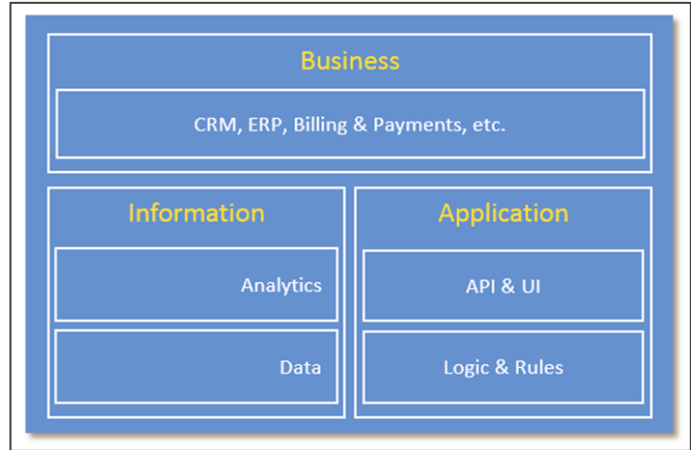


Fig. 31. Subdominis funcionals del domini de IT i de Negoci de la IIRA. Font: IIC

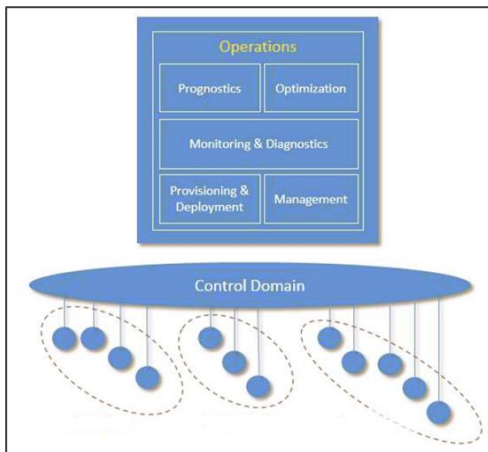


Fig. 32. Subdominis funcionals del domini d'Operacions de la IIRA. Font: IIC

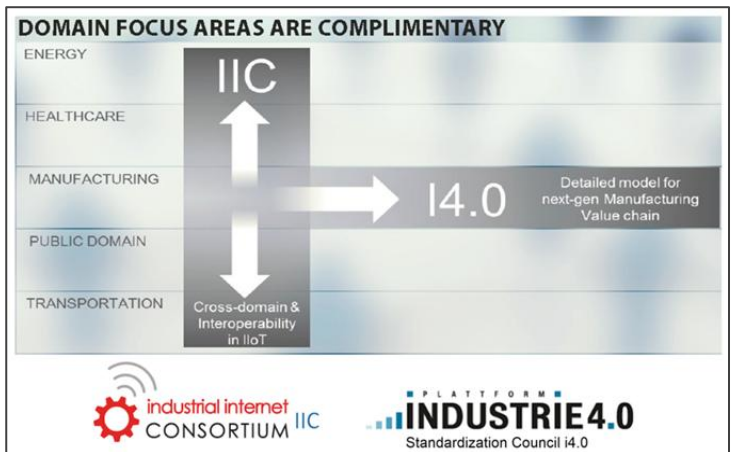


Fig. 33. Encaix a alt nivell de RAMI 4.0 i IIRA. Font: IIC

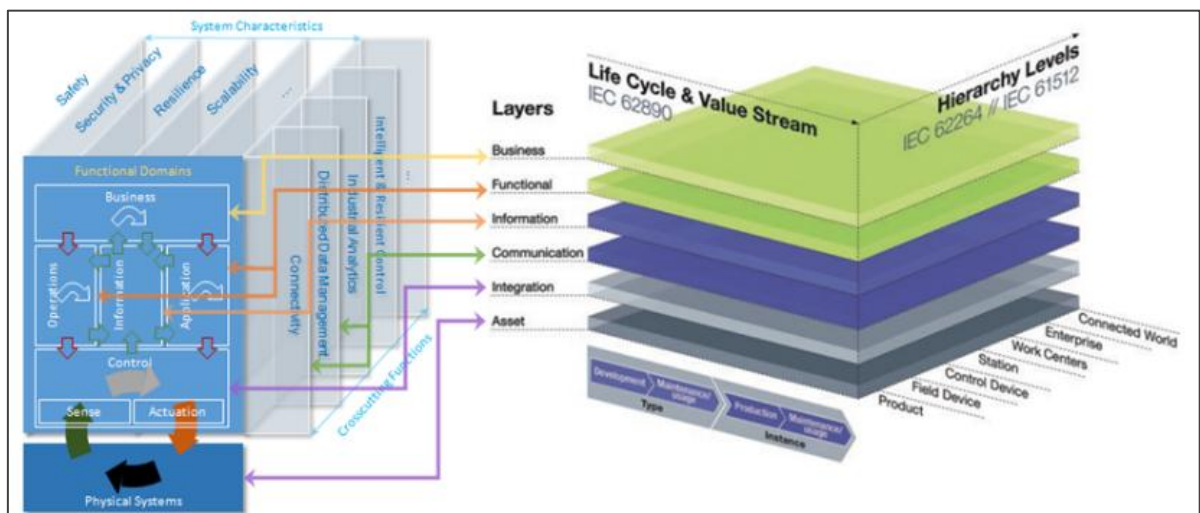


Fig. 34. Encaix a nivell de capes de RAMI 4.0 i IIRA. Font: IIC

Harmonització de RAMI i IIRA

A finals de 2015 es va iniciar un procés d'aproximació entre els comitès d'ambdues arquitectures, el qual es va fer evident durant la Fira de Hannover de 2016 en una presentació conjunta de la cancellera Angela Merkel i el president Barak Obama (en aquesta edició els Estats Units era el país convidat) on van comunicar la voluntat política d'harmonitzar els estàndards. S'ha realitzat trobades a Zurich i Chicago i hi ha programat un calendari de trobades per al grup de treball conjunt, el qual ja ha començat a produir els primers resultats.

La integració es mostra en el següent diagrama en el que es veu l'encaix d'IIRA amb RAMI 4.0 segons els diferents àmbits d'aplicació [22].

RAMI 4.0, a l'igual que IIRA, també defineix un esquema de capes, que han estat mapejades entre sí.

En aquests moments la Indústria 4.0 encara no ha arribat a l'etapa de maduresa. La ZVEI (associació alemanya d'empreses de electrotècnia/electrònica) estima que el desplegament de la Indústria 4.0 es produirà en tres etapes: una primera anomenada Basic, on es desenvolupen *testbeds* de demostració; una segona denominada Ready, on ja es disposarà d'una massa inicial de mercat (proveïdors i clients) i una tercera denominada Full, on s'estima que s'entrarà a la zona de màxima pendent de la corba S [11] cap l'any 2020.

Ambdues organitzacions disposen d'inventaris de *testbeds* com a elements demostradors tangibles, als quals s'hi pot accedir mitjançant les seves respectives planes web.

Els *testbeds* poden ser experimentals o estar en producció. Dels segons destaquen les línies de de la planta de Bosch Rexroth a Homburg [34], on es fabriquen components pel sector de l'automoció, de les quals es van mostrar diversos elements a la Fira de Hannover de 2016.

OPC-UA (*Open Platform Communications – Unified Architecture*) es perfila com l'estàndard amb més projecció per a recolzar la implementació d'*Administration Shells* (o *Management Shells*). El seu disseny està orientat a objectes i proposa una extensió del UML (IEC 19505) com a llenguatge de modelat. Una altre de les seves característiques és que incorpora el protocol de seguretat per disseny, permetent connexions segures entre equips no segurs.

Històricament Microsoft va desenvolupar l'especificació OPC, ara denominada OPC Classic, però a l'any 2010 s'inicià l'estandardització del OPC-UA en forma de norma IEC 62541, la qual es va publicar a l'any 2012 en règim obert. Des de llavors l'estàndard està evolucionant contínuament gràcies a la tasca de la OPC Foundation (<http://www.opcfoundation.org>), formada per 437 membres (216 a Europa). Pràcticament totes les

empreses d'automatització industrial en formen part i els seus grups de treball especifiquen connectors per a estàndards com MDIS (integració amb la indústria del procés amb MCSs i DCSs), PLCOpen (integració amb els PLCs) o BACNet (edificis intel·ligents). Al sector de la robòtica, Kuka es va fer membre de la OPC Foundation a l'any 2015, i ABB ofereix un OPC-UA server per a comunicar amb robots.

La naturalesa d'estàndard obert d'OPC-UA és una magnífica oportunitat per a tothom d'implementar blocs constructius per a la Indústria 4.0. Des del lloc web de l'OPC Foundation es pot obtenir el codi font en els llenguatges C++, C# i Java d'una implementació del client i del servidor per qui la vulgui descarregar i fer-la servir. El seu origen nord-americà i la bona acceptació que té a Europa fa pensar que OPC-UA és un gran candidat a ser utilitzat àmpliament a la Indústria 4.0.

L'harmonització entre les arquitectures RAMI 4.0 i IIRA va ser un dels temes de debat a la Fira de Hannover celebrada a l'abril, i on l'*I4.0 Platform* juga "a casa", i aquest debat té continuïtat al *IoT World Congress* de Barcelona, que és l'esdeveniment on la *Industrial Internet Consortium* juga "a casa", i que es celebra al mes d'octubre.

Model proposat per la Comissió Indústria 4.0

Tècnicament la integració proposada a nivell orgànic entre les dues arquitectures RAMI i IIRA es basa en la definició d'una àlgebra recursiva [12].

Dit col·loquialment es tracta d'una estructura de composició, on no se sap qui és primer, l'ou o la gallina. La IT inclou l'OT i la OT inclou la IT:

$$OT \subset IT \wedge IT \subset OT$$

La representació de la propera pàgina, en forma de tauler (Fig 37-38), permet visualitzar el terreny de joc des del punt de vista d'una organització. Però de cara a ser integrada en una organització externa pot ser convenient representar-la com a un i4.0 Component amb el que es pot tenir un enfocament de cadenes de valor transversals.

La transversalitat és un dels valors que vol preservar la proposta d'integració. En un context ciberfísic, cadascuna de les àrees definides en el tauler requereixen la participació de totes les branques de l'enginyeria.

El "Tauler de la Indústria 4.0", que defineix de forma gràfica tots els dominis tècnics i organitzatius de la mateixa, planteja una integració entre RAMI 4.0 i IIRA "a la catalana", i té per finalitat ser instrument formal que faciliti el debat i la construcció de discurs al voltant de la Indústria 4.0.



Fig. 35. Perspectiva temporal de la Indústria 4.0. Font: ZVEI



Fig. 36. Panel de demostració de i4.0 Components a la Fira de Hannover 2016

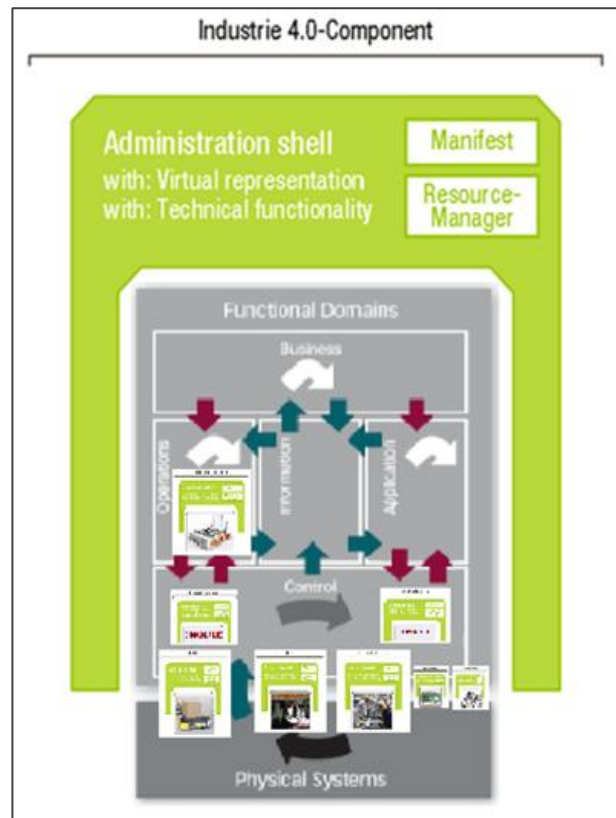
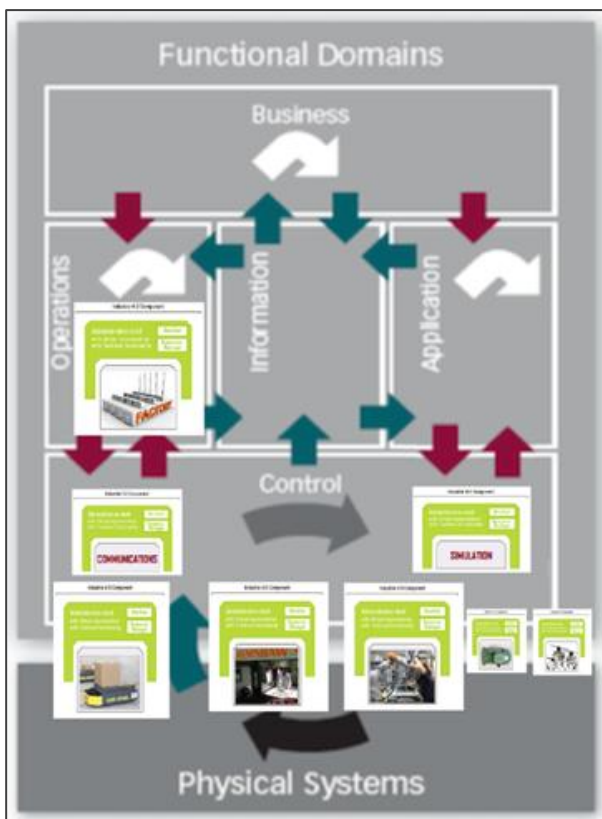


Fig. 37-38. Tauler de la Indústria 4.0 i encaix a nivell orgànic de RAMI 4.0 i IIRA. Font: Comissió i4.0 d'Enginyers de Catalunya

Grups de treball de la Comissió Indústria 4.0

La Comissió Indústria 4.0 d'Enginyers de Catalunya disposa actualment de cinc Grups de Treball:

- GT Robòtica
- GT Embedded Systems & IoT
- GT Impressió 3D i Manufactura avançada
- GT Intralogística
- GT Software i integració

La evolució dels grups de treball és un procés dinàmic obert a la incorporació de nous àmbits com la Realitat augmentada i altres camps emergents.

Els grups de treball operen transversalment amb membres de Enginyers Industrials de Catalunya, Enginyers en Informàtica de Catalunya, Telecom.cat i d'altres organitzacions com ISACA. La pròpia Comissió i4.0 d'Enginyers de Catalunya també forma part d'un procés dinàmic on la col·laboració amb grups d'interès tant interns com externs així com amb altres institucions està permanentment oberta.

L'estructura dels grups de treball de la Comissió Indústria 4.0 com a punt de partida coincideix amb les àrees de futur identificades pel *Fraunhofer Institute*.

Són objectius dels Grups de treball fer difusió i *networking* transversal a la indústria catalana sobre la Indústria 4.0 des de la participació en construcció formal del seu discurs.

GT de Robòtica

Un robot és el sistema ciberfísic per excel·lència i, per tant, un element central en el concepte Indústria 4.0.

Específicament en l'àmbit del que podríem anomenar "Robòtica 4.0", en aquest moment les empreses estan seguint tres aproximacions estratègiques:

- Alguns fabricants, especialment els de petita dimensió corporativa, estan expectants per veure com es va concretant el concepte en el sector, i reconeixen més o menys obertament que, de moment, no ha afectat directament a la seva estratègia de desenvolupament de producte. És un *wait and see* dual, ja que elimina riscos d'error però implicarà un sobreesforç per recuperar el temps perdut un cop s'entri en el període de consolidació.
- Un segon grup d'empreses han descobert, de sobte, que la Indústria 4.0 està en línia o recull les propostes que presenten al mercat des de fa temps, de manera que, de moment, en tenen prou posant en valor la seva oferta actual. Així, per exemple, certs fabricants de robots col·laboratius

defensen que estan a l'avançada de la Indústria 4.0, perquè aquesta va de flexibilitat en els processos i els seus robots són els més flexibles. Altres fabricants fa temps que ofereixen la possibilitat de generar moltes dades, però just ara que s'ha posat de moda és quan els gerents d'empresa comencen a estar interessats en analitzar-les.

- Finalment, un tercer grup està desenvolupant les seves noves propostes específicament en clau 4.0, per exemple proposant sistemes que permetin obtenir en temps real múltiples dades d'un conjunt de robots en producció distribuïts arreu del món, i mostrar-les de manera gràfica. A manca d'estàndards consolidats són propostes que estan lluny del que imaginem que arribarà a ser el 4.0, però estan en línia amb els conceptes bàsics de la nova estratègia industrial.

GT Impressió 3D i manufactura avançada

Un dels vessants més visualitzables del concepte Indústria 4.0 és el de la fabricació digital, el que permet explicar el relat de que els bits passen a ser àtoms, en paraules de Neil Gershenfeld del MIT. Un dibuix tridimensional a l'ordinador, que no deixa de ser un conjunt al final de zeros i uns, arriba a una màquina que, alimentada de matèria prima, produeix la peça que veiem en pantalla, i ara evidentment constituïda per àtoms.

Val a dir que, com molts altres aspectes de la Indústria 4.0, l'assistència de l'ordinador a la fabricació no és un concepte nou: l'ús de la impressió 3D per assistir al prototipatge de nous productes ja es presentaven en el concepte CIM (*Computer Integrated Manufacturing*) dels anys 90. La revolució CIM integrava, com ara la Indústria 4.0, tots aquells aspectes tecnològics i organitzatius que varen permetre a moltes empreses fer un salt en la seva competitivitat: comunicació digital entre l'oficina tècnica i el taller, metodologies de desenvolupament de producte (enginyeria concurrent, anàlisi del valor, QFD, DEE, etc.), tecnologies CAD-CAE-CAM, *rapid prototyping* (així anomenàvem a la fabricació additiva), mecanitzat per control numèric, robòtica, automatització i fàbrica flexible (lots menors, canvi ràpid d'utilitatge SMED), entre d'altres.

El factor comú de tots aquests termes era que la combinació de les TIC amb els medis de producció feien possible nous productes amb més valor afegit, on el temps de desenvolupament i llançament s'havia escurçat considerablement i que, finalment, eren viables encara que la seva producció no fos massiva.

D'una o altra forma la indústria catalana ha anat incorporant molts aspectes d'aquesta revolució. Els EIC van tenir també el seu paper en la creació del que ara és la Fundació CIM de la UPC, que en els seus 27 anys d'existència ha transformat el seu

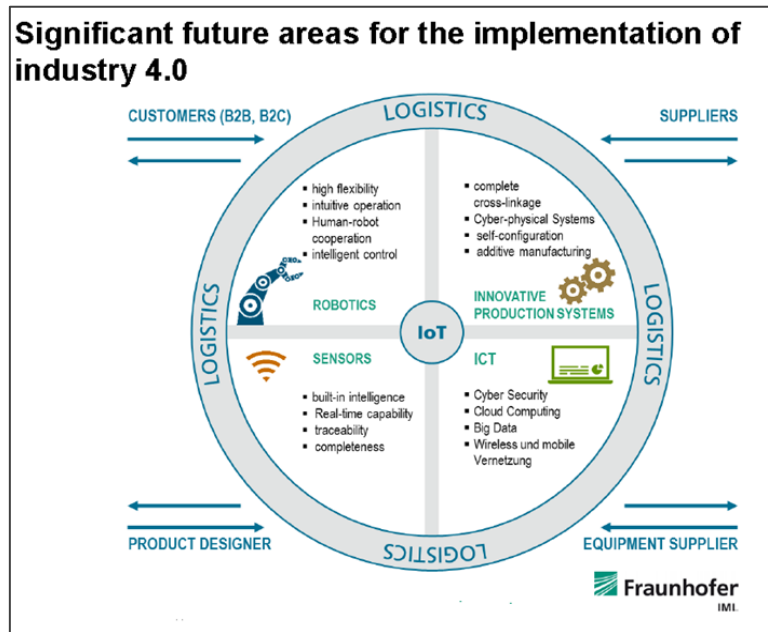


Fig. 39. Àrees d'implementació de la Indústria 4.0. Font: Fraunhofer Institute

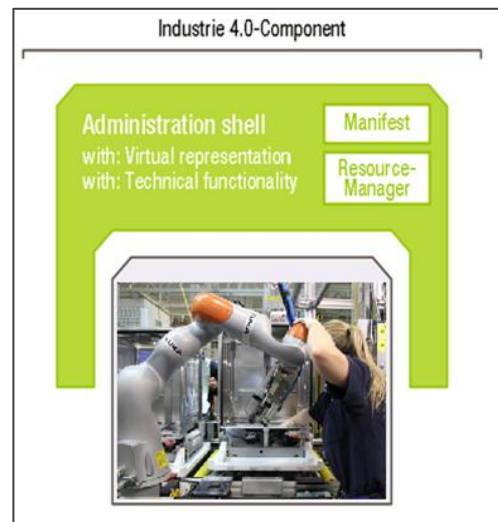


Fig. 40. Els robots a la i4.0. Font: Comissió i4.0 d'Enginyers de Catalunya

paper d'impulsor de tot el que suposava el concepte CIM a liderar actualment la integració de la fabricació additiva a l'entorn industrial.

La incorporació de la fabricació additiva al concepte Indústria 4.0 es fa després de que aquesta tecnologia hagi superat diverses fites rellevants. La primera d'elles és que va deixar l'àmbit de l'assistència al desenvolupament ràpid de productes (*rapid prototyping*) per passar al de fabricació ràpida d'aquests (*rapid manufacturing*).

Les primeres tecnologies, com la estereolitografia (SLA), utilitza resines epoxy fotopolimèriques que solidifiquen a l'exposar-se a la llum ultraviolada. A partir del fitxer CAD 3D, un làser de raigs UV traça cada secció del model a fabricar sobre una cubeta plena de resina, materialitzant el model capa a capa. El resultat és un prototip amb bon acabat, apte per guiar el procés de desenvolupament del producte, però amb característiques limitades per a ser usat com a producte final.

L'aparició d'altres tecnologies com la del Sinteritzat Selectiu per Làser, en què el material és pols de termoplàstic (generalment poliamida), va fer que el resultat d'una impressió 3D pogués ser també comercialitzat producte final. Això va permetre albirar un canvi de paradigma radical a la indústria, i de fet el gruix de les expectatives posades a la fabricació additiva venen d'aquí.

Tot i això, els costos unitaris elevats de produir els objectes per capes superposades deixaven aquesta expectativa en desig. La velocitat de treball tampoc ha experimentat grans canvis en els darrers anys, de forma que la productivitat associada a aquesta tecnologia és a anys llums de procediments tant madurs com la injecció de plàstic o l'estampat de peces metàl·liques que, certament exigeixen a canvis sèries més llargues per a ser competitives.

Però la situació actual que ens presenta la Indústria 4.0 pel que fa a la fabricació additiva és que no falta gaire per a que l'expectativa de la producció unitària personalitzada sigui real, a condició que el valor afegit del component sigui rellevant: no imprimirem *commodities*, aquests es seguiran fent en països amb costos laborals menors i amb els medis clàssics de producció massius ja esmentats.

En materials plàstics, cada cop és més competitiu imprimir peces aptes com a producte final. Als fabricants consolidats d'equips d'impressió 3D industrials s'hi afegeixen cada dia nous jugadors, molts provinents simptomàticament del món de la impressió 2D. I avançant-los per la dreta hi ha una multitud de productors d'equips de fabricació additiva per deposició de fil de plàstic basats en conceptes de codi obert inicialment pensades per a ser usades a casa com a hobby, però que avui dia són a l'avantguarda de la introducció de la impressió 3D a les pimes de tot el món.

En materials metàl·lics, molt més difícils de processar, en els darrers deu anys s'ha consolidat la

tecnologia necessària per obtenir peces impreses. Sense que hagi de sorprendre, Alemanya ha liderat el seu desenvolupament. Tot i que els costos resten molt elevats, i ho seguiran sent durant els propers anys, les possibilitats de disposar de peces metàl·liques impreses ha obert la caixa de Pandora sobre la possibilitat de materialitzar dissenys que cap altre tecnologia de fabricació permetria. Sense entrar en detalls, una de les característiques singulars de la fabricació additiva és que permet que qualsevol disseny, qualsevol forma, sigui materialitzada. Aquesta possibilitat, pel cas de plàstics, permet crear dissenys en els que el valor és estètic o de simplificació de muntatges. En el cas del metalls, el sector automobilístic, aeronàutic i mèdic han vist de seguida els avantatges més rellevants de la tecnologia, vinculats principalment a la capacitat resistent del metalls enfront els plàstics. El repte passa a ser, per exemple, com crear a l'ordinador formes orgàniques lliures que optimitzin la resistència sense perjudici de la rigidesa i emprant la menor quantitat de material possible.

Avui dia ja podem fabricar ossos amb l'estructura escumada interior però, paradoxalment, malgrat tenir la tecnologia no tenim els enginyers preparats per treure'n partit. A les generacions actuals d'enginyers ens han ensenyat a dissenyar pensant en deixar angles de desemmotllatge i gruixos mínims per peces de fosa i resulta que ens podem oblidar de tot: els bits passen a àtoms sense dificultat.

El temari dels futurs estudiants del màster (ara inexistent) en Enginyeria en Fabricació Additiva de la Indústria 4.0 tindria com a part central l'estudi de la resistència i elasticitat dels materials, l'estudi de formes biològiques els sistemes de simulació CAD/CAE, entre d'altres.

Altres sectors que no serien evidents d'integrar dins de la Indústria 4.0 també fan prospeccions sobre els beneficis que la fabricació additiva els hi podria aportar: impressió de materials biològics, d'aliments, o per a fer cases ja són a les portes.

La penúltima fita de la fabricació additiva és la que, en el marc de l'entorn de la Indústria 4.0, la connecta a Internet. Si fins ara la producció de peces impreses es centralitzava en instituts tecnològics i empreses especialitzades (i encara es així a nivell d'equips industrials i de serveis per empresa), avui dia es pot enviar el fitxer CAD a qualsevol de les planes web que ofereixen serveis d'impressió 3D. El més grans dels portals no té cap impressora, i el que fa és relacionar la demanda amb alguna de les 30.000 impressores de particulars que ofereixen la seva capacitat, publicant-se a la plana web a canvi d'un percentatge del servei que es queda el portal.

Com a últim possible graó, la fabricació additiva obre la porta a nivell industrial a l'"*ultrapostponement*" i la conseqüent eliminació del concepte d'estocs. Les empreses dissenyaran i vendran, i només en el darrer moment fabricaran per impressió 3D el producte que serà immediatament lliurat, potser

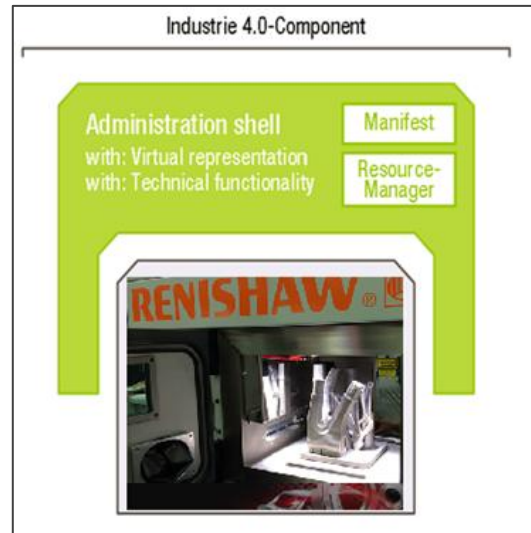


Fig. 41. La impressió 3D a la i4.0. Font: Comissió i4.0 d'Enginyers de Catalunya



Fig. 42. Transport automatitzat. Font: SSI-Schaefer

inclús sense que calgui transport donat que la part productiva de les empreses consistirà en una xarxa de petits centres de reprografia 3D basada en impressores especialitzades. Això significa també que no caldrà guardar referències físiques de productes descatalogats: amb el fitxer digital hi haurà prou per garantir que, en cas de demanda, es fabriqui àgilment aquell producte antic, sense haver d'engegar cap complex cicle de fabricació.

En el moment actual però, la fabricació additiva està resultant una eina eficaç per a relocalitzar la producció industrial al nostre país de la mà de les empreses que l'apliquen, donat que torna a ser competitiu fabricar aquí si tenim sèries curtes de productes amb valor afegit. I és que darrere de totes les altres vessants de la Indústria 4.0 (*Big Data, IoT, robòtica...*) acaben havent objectes sofisticats que cal fabricar. Hem d'estimular que la indústria catalana dissenyi afegint tot el valor possible als productes: tindrà llavors al seu abast els medis de fabricació digital locals que li permetran sobreviure al mercat, i així aconseguir que els llocs de treball industrials, que són els de qualitat, tornin a augmentar.

GT Intralogística

Segons el model del *Fraunhofer Institute* (Fig. 39) la logística defineix la interfície per la que els clients, proveïdors, proveïdors d'equipaments i dissenyadors de productes es comuniquen amb una organització.

La intralogística, o logística interna, basats en la gestió, emmagatzematge, moviment, preparació i expedició de comandes a clients o altres centres, s'està transformant, de manera accelerada, en un model flexible i d'alta velocitat, i els seus actius ja no són considerats com a centres de cost, sinó com a actius cada vegada més estratègics per a proporcionar un avantatge competitiu.

Durant molt de temps, l'automatització ha ofert solucions rendibles per satisfer necessitats de la intralogística, com l'estalvi d'espai o la millora de la productivitat, Processos com la identificació automàtica, despaletització i paletització o l'emmagatzematge de paquets i palets han estat àmpliament automatitzats, així com determinades tasques de transport, preparació, i càrrega / descàrrega.

Tradicionalment, amb l'objecte d'assegurar la viabilitat econòmica, l'automatització en magatzems s'ha limitat al maneig de grans volums de productes amb un elevat component d'estandardització. A més, la majoria de maquinària i robots s'han mantingut separats de les persones per motius de seguretat, el que limita les formes en les que aquestes eines podrien ajudar a racionalitzar i millorar els processos. Però la manera en com s'utilitzen els centres de distribució està canviant, evolució que comporta una necessitat cada vegada més gran d'automatització més flexible, adaptable i intel·ligent.

La automatització de la logística interna ja va arribar amb la tercera revolució industrial. Els magatzems automatitzats, circuits d'AGVs (vehicles guiats automàticament), circuits de transport automàtic de caixes i palets, identificació per codi de barres i RFID, i sistemes de *picking pick to light* i *pick to voice* (selecció d'articles assistida per senyals lluminosos o per veu) són components comuns a les grans i mitjanes empreses, amb una cadena de valor (fabricant, consultoria, integrador, client) madur.

S'espera dels centres de distribució que siguin capaços d'adaptar-se a cicles de producte més curts i ràpids, que puguin transportar mercaderies diverses amb la major velocitat, que ofereixin capacitats crítiques en la cadena de subministrament com el servei omnicanal, la logística inversa (la gestió de devolucions), i que proveeixin de serveis de valor afegit com l'acoblament, l'etiquetatge, el reempaquetat o la reparació. A més, s'espera dels centres de distribució que emmagatzemen un rang creixent de productes amb requeriments específics diferents en dimensions, temperatura, fragilitat o seguretat.

A mesura que el mercat exigeix major personalització, temps de lliurament més curts, millor control de qualitat, reducció dels costos laborals i major rendiment de la producció, les tecnologies avançades i adaptables de la Indústria 4.0 emergeixen com una solució per aconseguir aquests objectius.

Degut a l'*e-Commerce*, els volums de comerç estan passant de punts de venda físics a plataformes mòbils i en línia. A mesura que els consumidors compren cada vegada més productes a través d'ofertes omnipresents a la web, el flux de mercaderies a través de la xarxa de transport ja s'ha fet més complexa. Els lliuraments directes a les llars estan substituint als lliuraments a les botigues al detall.

Els actors de logístics necessiten ampliar els seus serveis d'extrem a extrem i preparar-se per la competència agressiva de noves empreses especialitzades en la realització i lliurament d'última milla, així com els minoristes que estableixen les seves pròpies operacions de logística. La logística interna s'ha de preparar per aquesta tipologia de preparació, amb comandes de poques línies, variats, urgents, i amb grans fluctuacions de demanda.

Els sistemes de gestió de magatzems (*Warehouse Management Systems – WMS*) son mòduls integrats en el ERP com per exemple SAP EWM (*Extended Warehouse Management*), o del proveïdor del hardware (WAMAS de *SSI-Schaeffer* per exemple), o bé "*Best in Class*" (millor del mercat), tal com el Manhattan SCOPE o Red Prairie. Alguns sistemes ja funcionen al núvol. La selecció de WMS depèn del volum i complexitat del negoci, la funcionalitat desitjada, possiblement personalitzada, i qüestions d'integració amb el ERP, i finalment, el cost.



Fig. 43. Sistemes d'intralogística a la i4.0. Font: Comissió i4.0 d'Enginyers de Catalunya

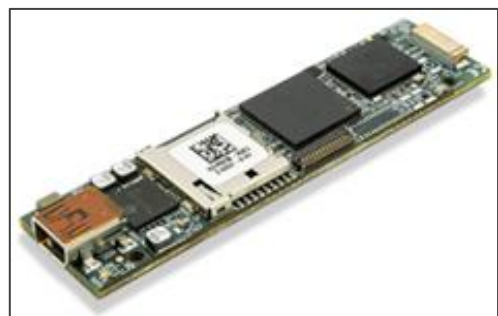


Fig. 44. Embedded system d'escala sofisticada. Font: isee.biz Catalunya

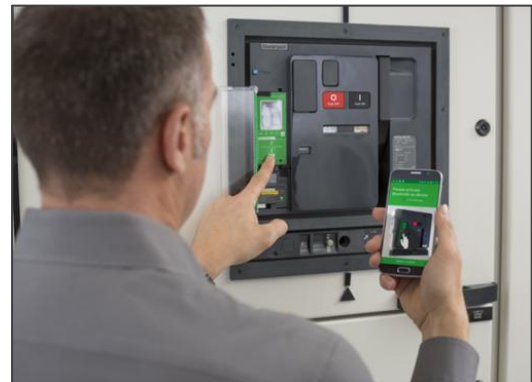


Fig. 45. Masterpact NTZ. Font: Schneider Electric

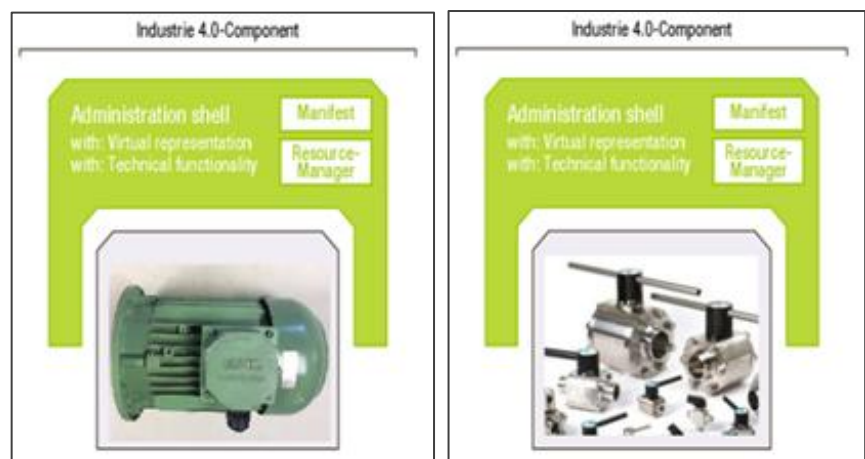


Fig. 46. Embedded systems a la Indústria 4.0. Font: Comissió i4.0 d'Enginyers de Catalunya

La digitalització de la logística interna presenta una sèrie de reptes per afegir valor als processos:

- **Actius:** La digitalització dels actius de la logística interna (*stacker cranes, forklifts, AGVs, robots, transportadors, operaris*) permet optimitzar la operativa, implementar manteniment predictiva, i treure informació de valor de l'anàlisi d'un gran volum de dades (Big Data) en una unitat de negoci consolidada.
- **Productes o existències.** La identificació de inventari amb *smart tags* (on el valor ho permet), es una oportunitat de realitzar un *tracking* exhaustiu de cada existència i de reduir els errors d'expedició i inventari.
- **Smart devices:** Les *tablets, glasses*, i altres *smart devices*, amb Realitat Augmentada i Realitat Virtual, ajudaran als operaris a realitzar les tasques i processos amb més eficiència i menys errors. *Pick by Vision* serà un nova eina, amb escàner integrat, connectivitat amb el WMS per rebre instruccions, i confirmar les operacions realitzades

La logística mou "coses", i la oportunitat de l'internet de les coses portarà molts beneficis en un entorn dinàmic i canviant que requereix una resposta immediata i una gestió a temps real. Queda per veure quins parts d'aquesta gestió s'han d'executar en un entorn "edge", o local, i quins es poden portar al núvol per treure valor de les coses com a conjunt.

GT Embedded Systems & IoT

Al grup de treball els classifiquem segons tres criteris: l'escala, el factor de forma i el mode de propietat intel·lectual.

Segons la seva escala els embedded systems poden ser [27]:

- D'escala petita
- D'escala mitjana
- D'escala sofisticada

Els sistemes d'escala petita executen un sol programa que forma part d'un bucle principal com és el cas del microcontroladors. Els sistemes d'escala mitjana executen funcions més complexes com per exemple els DSP (*Digital Signal Processor*) o FPGA (*Field Programmable Gate Array*), amb funcions de càlcul sofisticades d'execució ràpida implementades en silici, o sistemes amb sistemes operatius amb funcions en temps real (RTOS – *Real Time Operating Systems*). Finalment, els sistemes d'escala sofisticada disposen d'un sistema operatiu complet, com per exemple Linux [27]. Qualitativament, tota la informàtica hi cap en un *embedded system* d'escala sofisticada.

Segons el mode de propietat intel·lectual es poden classificar en oberts i en tancats, tant en el que respecta al *software* com al *hardware*. El desenvolupament obert (*open source*) permet compartir i aplicar coneixement afavorint la sobirania tecnològica de la comunitat [29]. El desenvolupament del sistema operatiu Linux, molt utilitzat en el camp dels *embedded systems*, és el projecte d'enginyeria concurrent més gran realitzat en règim obert. Només el nucli del mateix (*kernel*) acumulava a la versió 2.6.25 de 2008 un cost estimat de 90.000 mesos/home [31].

Finalment, la tercera classificació és segons el factor de forma (*form factor*) que pot ser estàndard (com SMARC o Qseven) o personalitzat. L'objectiu principal dels factor de forma estàndard és disposar d'ecosistemes amb àmplia oferta de múltiples fabricants de plaques compatibles, de manera que s'optimitzen el temps de desenvolupament i els costos, alhora que permet centrar-se en el seu encaix.

Els *embedded systems* d'escala petita inclouen un emergent tipus de xips que són els denominats "sub-mil·limètrics". Les seves petites dimensions permeten un nivell d'integració de la part ciber amb la part física desconeguda fins ara, on el impacte que poden tenir provindrà del seu ultra baix cost, les seves reduïdes mides i la seva auto-suficiència energètica. Si aquest escenari esdevé realitat, la indústria podrà incorporar aquest tipus de tecnologia sense pràcticament sobrecost en tota la seva gama de productes.

Els *embedded systems* d'escala sofisticada encaixen perfectament com a hardware del *Resource Manager* d'un i4.0 Component, amb la implementació d'*Administration Shells* basades en l'estàndard OPC-UA. Uns tipus de components especialitzats són els de comunicacions, tant en àmbits de recintes d'espai limitat com els dedicats a cobrir àmplies zones geogràfiques com els *gateways* de xarxes tipus LoRa o les xarxes mesh [5].

A Catalunya disposem d'un teixit d'empreses d'alta qualitat en el sector dels *embedded systems*, el que ens dóna la possibilitat de participar en primera línia del procés de construcció i desplegament de blocs constructius de la Indústria 4.0.

En el camp industrial, elements que ja es denominaven interruptors intel·ligents ara són més intel·ligents amb la incorporació de *embedded systems* en convertir-se en objectes connectats segons el model de la IoT.

Qualsevol objecte físic és susceptible incorporar *embedded systems* per esdevenir un sistema ciberfísic. La determinació dels nivells de granularitat a aplicar és un debat que haurà de realitzar la indústria, en el que la Comissió i4.0 d'Enginyers de Catalunya hi vol contribuir identificant actors i eines per afrontar-lo amb les màximes opcions possibles.

Cloud & Platforms	<p>L'emmagatzematge massiu de les dades al núvol permet l'anàlisi per extreure valor a escala massiva.</p> <p>Portar les dades al núvol facilita el accés a resultats des de dispositius mòbils i de manera ubiqua.</p> <p>El ecosistema de plataformes permet a tercers desenvolupar solucions que aportin valor afegit.</p>
Analítica - Big-Data	<p>Recol·lecció, organització, i anàlisi de dades (estructurades i no estructurades) per extreure coneixement d'un procés industrial de manera que aportin valor i un avantatge competitiu pel negoci.</p>
Ciberseguretat	<p>La seguretat de les dades i dels sistemes connectats és un dels aspectes més importants de qualsevol plantejament Indústria 4.0, on es considera que les dades poden sortir de la organització, i a gran escala.</p>
Integració	<p>La digitalització de la empresa requereix la integració de dades de tots els components; sensors, sistemes ciberfísics, ERPs, MES, MOM, etc.</p>
ERPs	<p>L'impacte dels nous paradigmes d'Indústria 4.0 afectarà l'arquitectura dels sistemes informàtics actuals</p>

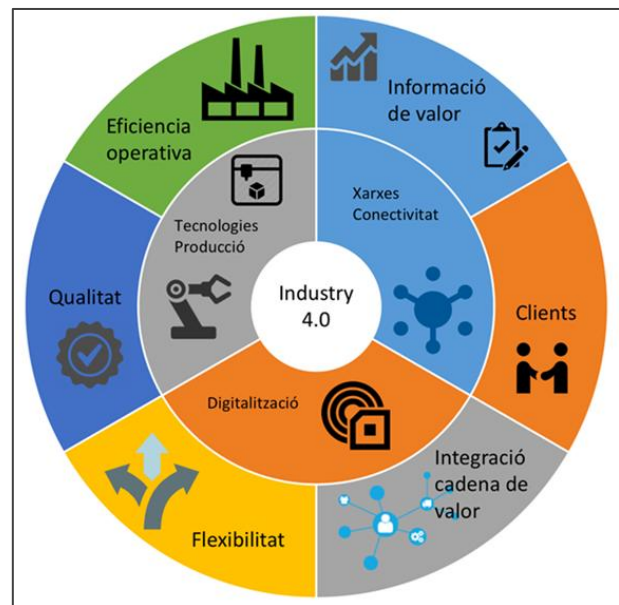


Fig. 47. Habilitadors i beneficis de la Indústria 4.0. Font: Comissió i4.0 d'Enginyers de Catalunya

GT Software i integració

El software és un element fonamental en tots els àmbits, des dels *embedded systems*, al anàlisi de les dades en temps real per generar informació de valor, i el lliurar informació al destí final, sigui persona o element ciberfísic.

Les tecnologies específiques a software en el àmbit de la indústria 4.0 que hem identificat al grup de treball es mostren a la taula de la pàgina anterior.

Eficiència operativa

La digitalització de la empresa en el àmbit de l'Indústria 4.0 té com objectiu millorar la competitivitat i la flexibilitat productiva, i garantir la integració en la cadena de valor. En concret, implementar iniciatives Indústria 4.0 ha de lliurar millores tals com:

- Millorar l'eficiència operativa (estimació d'un 18% global [17])
- L'optimitzar la utilització d'actius, i consum d'energia.
- Implementar manteniment predictiu, per minimitzar o eliminar els temps de parada.
- Recollir informació de valor del procés de producció, o bé per afegir valor al propi producte

Permetre nous models de negoci, tal com "Maquina com a servei, o robòtica com a servei", permetent "llogar" els actius de producció enlloc de comprar-les, impactant al les despeses operatives (OpEx – *Operational Expenditure*) a favor de les despeses de capital (CapEx – *Capital Expenditure*) del negoci.

El repte

La major part de les empreses industrials de Catalunya, tant grans com petites, al igual que passa en altres zones de la geografia espanyola i europea, posseeixen una deficiència en els sistemes d'informació de gestió de planta, el que els americans anomenen Sistemes MES [10].

La major part de les empreses ja posseeixen un sistema de gestió ERP, mes o menys sofisticat, que els permet efectuar les transaccions administratives i comercials d'una manera integrada (compres, vendes, valors, comptabilitat, finances, etc.). D'igual manera, a la planta de producció tenen les màquines i autòmats, a vegades molt avançats, però els manca un sistema intermedi, enfocat a l'optimització de la gestió de la planta en temps real. Al seu lloc sovint manegen fulls d'Excel, Access, paper, o sistemes específics inconnexos entre sí [10], limitant així la capacitat d'obtenir dades i utilitzar-les per la optimització del procés productiu.

Així doncs, cal un sistema MES que, a partir de la captura automàtica i sistemàtica de dades de les màquines i dels PLC's industrials, monitoritzi la

planta, gestioni el manteniment, ajudi a la planificació a mitjà termini dels recursos productius, ajudi a l'optimització de la programació o seqüenciació dels treballs (programació), doni suport a la qualitat, traçabilitat i gestió de la mà d'obra, gestioni la documentació associada i els costos industrials, entre d'altres. A més aquest sistema MES ha de ser capaç d'integrar-se amb l'ERP de l'empresa de manera coordinada per tal de poder guiar les decisions a la planta.

El discurs al voltant de la Indústria 4.0 es una oportunitat de revisar el estat operativa de les empreses Industrials del territori, per definir les mancances i elaborar un plantejament estratègic i un full de ruta d'implementació identificant els indicadors KPIs objectius (*Key Performance Indicators*).

L'organització amb *i4.0 Components* de RAMI 4.0 ubicats sobre el tauler funcional de la IIRA fa que aquests requeriments esmentats es puguin assolir de forma més ràpida i menys costosa degut al salt qualitatiu en connectivitat i flexibilitat de la Indústria 4.0.

Integració

La integració en el sentit més ampli comença amb la integració dels Grups de treball dels Enginyers Industrials de Catalunya, Enginyers en Informàtica de Catalunya i Enginyers de Telecomunicacions de Catalunya donant lloc a la Comissió Indústria 4.0 d'Enginyers de Catalunya.

Aquesta integració pot ser un multiplicador en un context de Plataforma Industrial 4.0 (www.anellaindustrial.cat), el Pacte Nacional per la Indústria o la TSFI (Taula Sectorial Formació Industrial).

Les arquitectures de referència RAMI 4.0 i IIRA ofereixen un marc de treball i uns instruments per a abordar qualsevol tipus d'integració, tant en aspectes organitzatius, de valor, funcionals o tecnològics, començant per la de les tres associacions professionals d'enginyers reflectida a la figura (Fig. 47).

Glossari de termes

administration shell

Representació digital i activa virtual d'un I4.0 component en el sistema I4.0 [43].

actiu

Ítem que té un valor per a una organització [43].

actuador

Dispositiu que recull informació digital a fi efecte d'efectuar un canvi sobre alguna propietat d'una entitat física [23].

embedded system (sistema encastat)

Sistema basat en la combinació d'hardware (maquinari) i software (programari) orientada a suportar un conjunt finit i numerat de funcions ben definides, sovint amb capacitats de procés en temps real i integrat en un sistema més gran [33].

entitat física

Entitat que subjecte d'accions de monitoratge i control [23].

entitat virtual (digital twin)

Element computacional o dades representant una entitat física [23].

Industrial Internet

Una Internet de coses, màquines, ordinadors i persones, que possibilita fer operacions industrials intel·ligents utilitzant anàlisi de dades avançat per a obtenir resultats mitjançant transformacions [23].

ítem

Unitat que existeix objectivament, ben delimitat i identificable [43].

Nota 1: Un ítem pot ser de naturalesa virtual (ciber) o física

Nota 2: Un ítem pot ser un dispositiu, un subsistema, un programa, un pla, un organisme viu, una organització o similars.

Nota 3: Un ítem té un cicle de vida.

i4.0 component

Element d'un sistema i4.0 amb identificador únic global i amb capacitats de comunicació que consisteix en una administration shell i en un actiu tal que ofereix serveis amb un determinat nivell de qualitat de servei [43].

Indústria 4.0

Model industrial basat en els sistemes ciberfísics i en la Internet de les coses i serveis [25].

Nota 1: El terme Indústria 4.0 fa referència al model de la quarta revolució industrial.

Nota 2: El terme Indústria 4.0 fa referència a la iniciativa impulsada pel govern alemany basada en el model de la quarta revolució industrial.

manifest

Meta informació accessible externament, que proveeix informació sobre les propietats funcionals i no funcionals d'un I4.0 component [43].

model

Abstracció d'aspectes d'un camp d'aplicació coherent i suficientment detallada [43].

model de referència

Model que és generalment utilitzat i reconegut com apropiat (amb caràcter de recomanació) a fi efecte de derivar models específics [43].

resource manager

Organitzador de l'autogestió i de l'accés als els recursos del i4.0 component, tant virtuals (ciber) com físics [43].

Nota: En un futur s'hauria d'utilitzar el terme administrador de components en lloc d'administrador de recursos.

resiliència

Condició d'un sistema de ser capaç d'evitar, absorbir i/o gestionar condicions dinàmiques adverses a la vegada que és capaç de culminar les missions assignades i de reconstituir les capacitats operacionals després de les incidències.

risc

Efecte de la incertesa sobre els objectius [23].

seguretat (security)

Protecció del sistema de les persones [42].

seguretat funcional (safety)

Protecció de les persones del sistema [42].

sensor

Dispositiu que percep certes característiques del món real i les converteix en una representació digital [23].

sistema

Construcció o col·lecció d'elements disposats de tal forma que produeixen resultats no obtenibles per sí sols [4].

sistema ciberfísic

Sistema que vincula els objectes reals (físics) i processos amb objectes de processament d'informació (virtuals) i processos mitjançant xarxes d'informació constantment interconnectades, obertes i en alguns casos globals [43].

Nota: Un CPS utilitza opcionalment serveis disponibles tant localment com remotament, té interfícies home-màquina, i ofereix la possibilitat d'adaptació dinàmica del sistema en temps d'execució.

sistema de producció ciberfísic

Sistema ciberfísic utilitzat en tasques de producció [43].

vulnerabilitat

Feblesa d'un actiu o control de seguretat que pot ser explotat per una o més amenaces [23].

Autors

Aquest **Status Report** presenta els resultats de discussions en els grups de treball de la “Comissió Indústria 4.0 d’Enginyers de Catalunya”, havent posat èmfasi en una aproximació basada en el consens i en el foment de l’estandarització.

Són membres de la Comissió i4.0:

Jordi Ayza i Ballester (Tecnocampus Mataró-Maresme)

David Badia i Sendra (Inlean)

Conrad Cardona i Cadirat (SSI Schaeffer)

Joan Carles Casas i Sanchis (SEAT)

Benito Cerrillo Molina (Grupo Vichy Catalán)

Felip Fenollosa i Artés (Fundació CIM-UPC)

Pau Fonseca i Casas (UPC)

Manel Frigola i Bourlon (UPC)

Samuel Galcerán i Arellano (UPC)

Pere Homs i Ferret (EIC)

Michael Loughlin (Nelmia)

Josep M. Peiró i Alemany (Enginyer Ind. en exercici lliure)

Xavier Pi i Palomés (Enginyer Ind. en exercici lliure)

José Luis Rubiés Viera (ISACA BCN Chapter)

Carles Soler i Puig (Casiopea Robotics)

Pere Tuset i Peiró (UOC)

La Comissió Indústria 4.0 d’Enginyers de Catalunya està formada per:

Enginyers Industrials de Catalunya

www.eic.cat

Enginyers en Informàtica de Catalunya

www.enginyeriainformatica.cat

Enginyers de Telecomunicació, electrònica i multimèdia-audiovisual

www.telecos.cat

Exempció de responsabilitat i altres consideracions

Aquest document ha estat elaborat pels membres dels grups de treball de la Comissió Indústria 4.0 d’Enginyers de Catalunya mencionada a l’apartat Autors de manera voluntària i sense cap contraprestació econòmica. Aquest document és públic citant la font i té per objecte la contextualització, conscienciació i difusió del concepte Indústria 4.0 a l’àmbit català i l’establiment d’un marc de treball de referència. L’única còpia actualitzada d’aquest document és la publicada en els llocs web oficials dels col·legis professionals impulsors del document. Les imatges contingudes en aquest document han estat obtingudes de fonts públiques. Les marques registrades i logotips aquí mostrats són propietat dels seus respectius propietaris legals i són utilitzats únicament amb fins enunciats. Les referències a terceres parts (institucions, empreses, marques, consorcis, etc.) no pressuposen la conformitat de les mateixes amb el contingut d’aquest document.

Bibliografia

- [1] Adolphs, Peter (2015). *RAMI 4.0. An architectural Model for Industrie 4.0. Plattform Industrie 4.0*. Berlin, 18th of June 2015 – OMG Technical Meeting
- [2] Alliance Industrie du Futur – Plattform Industrie 4.0 (2016) *Plan d'Action Comun - Commun Gemeinsamer Aktionsplan*.
- [3] Anderson, Chris (2012) *The New Industrial Revolution*. Crown Publishing Group, 2012. ISBN 0307720977,9780307720979
- [4] Bahill, Terry (2001) *What is Systems Engineering? A Consensus of the INCOSE Fellows*. Arizona University – Department of Systems and Industrial Engineering
- [5] Baig, Roger & Navarro, Leandro et al. (2013) *Receiver-driven routing for community mesh networks*. Universitat Politècnica de Catalunya – GufiNet
- [6] Beckhoff (2014) *Nobilis: Series production with lot-size-1 flexibility demonstrates the true potential of Industry 4.0*. Application Report nobilia-Werke J. Stickling GmbH & Co. KG, Germany
- [7] Boër, C.R., Dulio, S. (2007). *Mass Customization and Footwear: Myth, Salvation or Reality?*. Springer-Verlag London. DOI 10.1007/978-1-84628-865-4
- [8] Botella Pere (2011), *Introducció a l'Enginyeria dels Serveis*, UPC-ESSI, Cercle Fiber, BARCELONATECH
- [9] Castellví, Sílvia et al. (2015) *Strategic Research & Innovation Roadmap and Business Opportunities for ICT in Manufacturing*. Road4FAME. Steinbeis-Edition
- [10] Cerrillo, Benito et al. (2015) *Curso de Informática Industrial y Sistemas MES*. Universitat de Catalunya (BarcelonaTech) – PIMEC - ASSCII
- [11] Christensen, Clayton (1992) *Exploring the limits of the technology: S-Curve*. Production and Operations Management Vol 1 Num 4 Fall 1992
- [12] Cockburn, Alistair (1997) *Structuring Use Cases with Goals*. Journal of Object Oriented Programming SIGS Publication Denville, NJ, USA
- [13] Deane, Phyllis (1956). *The First Industrial Revolution*. Cambridge University Pres. UK
- [14] European Commission (2015) *Platforms for Connected Factories of the Future* Communications Networks, Content and Technology Directorate-General DG CONNECT, A3 and European Factories of the Future Research Association (EFFRA). Brussels
- [15] Evans, Peter & Annunziata, Marco (2012) *Industrial Internet* General Electric – Imagination at Work.
- [16] Everis (2012) *Factors influents en l'elecció d'estudis científics, tecnològics i matemàtics*. Visió dels estudiants de 3r i 4t d'ESO i Batxillerat. Amb la col·laboració de la Generalitat de Catalunya.
- [17] Geissbauer, Reinhard et al. (2014) *Industry 4.0. Opportunities and challenges of the industrial internet*. PWC & Strategy& (Formerly Booz & Company)
- [18] Gershenfeld, Neil (2005) *Fab: The Coming Revolution on Your Desktop--From Personal Computers to Personal Fabrication* Basic Books, Inc., New York, NY, USA.
- [19] Ghuang, Allen C.C (2016) *Discuss the standard of Industry 4.0*. Department of Industrial Engineering and Engineering Management, National Tsing Hua University, Taiwan
- [20] Gimélec (2013) *Industrie 4.0. L'usine connectée*. Groupement des Industries de l'Équipement Électrique, du Contrôle-Commande et des Services Associés
- [21] Griffin, Emma A. (2007). *The 'Industrial Revolution': interpretations from 1830 to the present*. School of History, UEA, Norwich
- [22] IIC (2016) *Industrial Internet Consortium and Plattform Industrie 4.0 Collaboration for Interoperability*. Industrial Internet Consortium Report
- [23] IIC (2015) *Industrial Internet Reference Architecture – IIRA*. Industrial Internet Consortium Specification
- [24] IIC (2016) *Industrial Internet of Things. Volume G4: Security Framework*. Industrial Internet Consortium
- [25] Kagermann, H.; Wahlster, W. & Helbig, J., ed. (2013), *Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0, Final Report of the Industrie 4.0 Working Group*, Forschungsunion im Stifterverband für die Deutsche Wirtschaft e.V., Berlin
- [26] Jeschke Sabine (2013) *Cyber-Physical Systems – History, Presence and Future*. Industrial Advisory Board. Faculty of Mechanical Engineering – RWTH Aachen University
- [27] Kamal Raj, *Embedded Systems 2Ed*, Tata McGraw-Hill Education. ISBN 9781259083105
- [28] Langmann, Reinhard et al. (2016) *A PLC as an Industry 4.0 Component* Competence Center Automation Düsseldorf. 2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation
- [29] Llanes, Gaston, and Ramiro de Elejalde. (2009) *Industry Equilibrium with Open Source and Proprietary Firms* Harvard Business School Working Paper, No. 09-149
- [30] Marsh, Peter (2012) *The New Industrial Revolution: Consumers, Globalization and the End of Mass Production* Yale University Press, 2012 ISBN 0300117779,9780300117776

- [31] McPherson, Amanda et al. (2008) *Estimating the Total Development Cost of a Linux Distribution*. The Linux Foundation
- [32] MINETUR (2015) *Industria conectada 4.0. La transformación digital de la industria española*. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Gobierno de España
- [33] Pi Xavier (2011). *Sistemas embedded*. Automática e instrumentación, ISSN 0213-3113, Nº 429, págs. 76-89
- [34] Rexroth (2016) *First Connected Industry line on-stream in daily production*. Rexroth Bosch Group
- [35] Rifkin, Jeremy (2011) *The Third Industrial Revolution: How Lateral Power Is Transforming Energy, the Economy, and the World*. St. Martin's Press ISBN 9780230115217
- [36] Rifkin, Jeremy (2014) *The Zero Marginal Cost Society: The Internet of Things, the Collaborative Commons, and the Eclipse of Capitalism*. St. Martin's Press ISBN 9781137437761
- [37] Rockwell Automation (2009) *Manufacturing Convergence Practices and Trends: Perspectives from Providers and Customers*.
- [38] Schwab, Klaus (2016) *The Fourth Industrial Revolution* World Economic Forum, ISBN 1944835008,9781944835002
- [39] Siemens (2016). *Industrie 4.0 es becoming a reality*. The Magazine (26th April 2016) – Siemens AG
- [40] Sifakis, Joseph (2011), *A vision for computer science - the system perspective*. Central Europ. J. Computer Science 1(1): 108-116
- [41] Troxler, Peter (2013). *Making the 3rd Industrial Revolution*. J. Walter-Herrmann & C. Büching (Eds.), FabLabs: Of Machines, Makers and Inventors. Bielefeld
- [42] TÜV-SÜD Embedded Systems (2011). *Safety & IT Security: Certification for IEC 61508 and IEC 62443*
- [43] VDI/VDE, ZVEI (2015) *Status Report – Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI 4.0)*
- [44] Villafafila, R (2014). *Renewable energy emulation concepts for microgrids*. ELSEVIER. (CITCEA-UPC), Departament d'Enginyeria Elèctrica, Universitat Politècnica de Catalunya.ETS d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Col·legi d'Enginyers Industrials de Catalunya
Via Laietana 39, 08003 Barcelona
Tel. 93 319 23 00 / atencioeic@mail.eic.cat



Col·legi d'Enginyers en Informàtica de Catalunya
Plaça Ramon Berenguer el Gran 1, entresòl 1a, 08002 Barcelona
Tel. 93 451 64 94 / informacio@coeinf.cat



Associació Catalana d'Enginyers de Telecomunicació de Catalunya
Plaça Ramon Berenguer el Gran 1, entresòl dret. 08002 Barcelona
Tel. 935513322 / secretaria@telecos.cat