

Del Internet de las Cosas a los Sistemas Ciber-Físicos

Informe de Tendencias

Instituto Tecnológico de Informática (ITI)



Cofinanciado por:



**Del Internet de las Cosas a los Sistemas Ciber-Físicos.
Informe de Tendencias.**

María Antolín Fernández

Daniel Sáez Domingo

Editado por Colegio Oficial de Ingenieros en Informática de la Comunidad Valenciana (COIICV)

CIF: V-97046189

Datos de contacto:

Av. Barón de Carcer 48, 3ºO. 46001 – Valencia

963622994 – secretaria@coiicv.org

www.coiicv.org

ISBN: 978-84-608-7542-0

Publicación gratuita (prohibida su venta)

Primera edición: Abril 2016

Todos los derechos reservados

Se autoriza la reproducción total o parcial de este informe con fines educativos, investigadores, divulgativos y no comerciales citando la fuente. La reproducción para otros fines queda expresamente prohibida sin la autorización del Instituto Tecnológico de Informática y del COIICV.

Índice

0 p.6	Prólogo	3 p.23	Sistemas Ciber-Físicos	
			3.1 Definición	23
			3.2 Áreas de investigación y retos	25
			3.3 Entidades e iniciativas de referencia	34
			3.4 Proyectos I+D+I europeos	39
			3.5 Mercado y sectores de aplicación	50
0 p.4	Presentaciones	4 p.60	Visión y contribución de ITI a los CPS	
			4.1 Descripción general de ITI	60
			4.2 Capacidades y experiencias relacionadas	62
0 p.9	Resumen ejecutivo	5 p.65	Bibliografía y fuentes de interés	
1 p.11	Introducción			
2 p.13	Internet de las cosas			

Índice de figuras y tablas

F1
p.11

Figura 1

Evolución hacia los CPS (Fuente: Comisión Europea)

F2
p.13

Figura 2

Mercados verticales clave de adopción del IoT (Fuente: Goldman Sachs Global Investment Research [1])

F3
p.17

Figura 3

Velocidad de adopción del IoT en distintas industrias (Fuente: Fundación Bankinter, 2011)

F4
p.18

Figura 4

Hiperciclo de Tecnologías Emergentes 2014 (Fuente: Gartner)

F5
p.21

Figura 5

Regiones precursoras del IoT en las distintas industrias (Fuente: Fundación Bankinter, 2011)

F6
p.23

Figura 6

Elementos clave de los CPS (Fuente: ECSEL MASP 2014 [2])

F7
p.24

Figura 7

Mapa conceptual de los CPS (Fuente: NIST - UC Berkeley 2012, cyberphysicalsystems.org)

F8
p.34

Figura 8

CPS en los programas europeos (Fuente: ARTEMIS-IA BE, Werner Steinhoegl, January 2015)

F9
p.35

Figura 9

Capacidades-Dominios en sistemas y componentes electrónicos (Fuente: ECSEL JU)

F10
p.36

Figura 10

Matriz dominios de investigación-retos tecnológicos-contextos de aplicación para los CPS en 2030 (Fuente: "High-level vision 2030, version 2013", ARTEMIS SRA)

F11
p.38

Figura 11

Áreas clave de la Visión de HiPEAC (Fuente: HiPEAC Vision 2015)

F12
p.39

Figura 12

CPS en Horizonte 2020 (Fuente: Comisión Europea)

F13
p.40

Figura 13

CPS en Programa de Trabajo de la Comisión Europea 2014/2015 (Fuente: Comisión Europea)

F14
p.42

Figura 14

Mecanismos de implementación de proyectos CPS en H2020 (Fuente: Comisión Europea)

F15
p.50

Figura 15

Mercado global del sector "Tecnología Digital" (Fuente: ARTEMISIA-ITEA, 2013)

F16
p.51

Figura 16

Mercado global de "Tecnología Digital" por subsector (Fuente: ARTEMISIA-ITEA, 2013)

F17
p.51

Figura 17

Empleados europeos en "Tecnología Digital" por subsector (Fuente: ARTEMISIA-ITEA, 2013)

F18
p.52

Figura 18

Estimación de gasto en I+D en tecnologías digitales empotradas para Europa en periodo 2013-2020 (Fuente: ARTEMISIA-ITEA, 2013)

F19
p.53

Figura 19

Fracción de características de productos posibilitados por las tecnologías digitales empotradas en diferentes subsectores (Fuente: ARTEMISIA-ITEA, 2013)

F20
p.53

Figura 20

Inversión en I+D en tecnologías digitales empotradas por área de aplicación en Europa según expertos (Fuente: ARTEMISIA-ITEA, 2013)

F21
p.57

Figura 21

Las 4 etapas de la Revolución Industrial (Fuente: Secretariat of the Platform Industrie 4.0)

F22
p.61

Figura 22

Áreas de especialización TIC de ITI

T1
p.46

Tabla 1

Proyectos I+D+i europeos relacionados con CPS (Fuente: Elaboración propia)

PRESENTACIÓN ITI

José Manuel Bernabéu Auban

DIRECTOR CIENTÍFICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE INFORMÁTICA (ITI)



Es difícil entender nuestro mundo actual sin prestar atención al profundo proceso de digitalización en el que estamos inmersos. Casi cualquier aspecto de nuestra actividad está mediatizado por algún sistema digital.

El avance en las comunicaciones, el incremento de las capacidades y ancho de banda de nuestras redes y ordenadores, con una capacidad de cómputo cada vez mayores, y unos tamaños y consumos energéticos cada vez menores hacen posible esta digitalización, abriendo oportunidades difíciles de prever hace tan solo una década.

Lo que entendemos por el Internet de las Cosas, o IoT (Internet of Things) en su acepción en inglés no es más que la conclusión natural de esta tendencia a la digitalización, donde todo objeto fabricado participa de esta interacción digital, incorporando sensores que nos abren una ventana al entorno físico que los rodea.

El IoT no sólo abre nuevas ventanas de observación, sino que a través del análisis de los datos que nos proporcionan todos esos sensores repartidos, nos permite planificar una serie de acciones a llevar a cabo sobre el mundo físico a través de actuadores construidos en dichos objetos.

Ello explica la aceleración que se observa en muchos ámbitos de la domótica y el énfasis que se está poniendo en ámbitos aplicativos específicos como el de las ciudades inteligentes o en lo que se viene en llamar la fabricación 4.0 (o Fábricas del futuro), donde los actuadores están dotados de capacidades de cómputo que les permiten tomar decisiones desatendidas, constituyendo lo que se conoce como sistemas Ciber-Físicos (Cyber Physical Systems)

El manejo inteligente de la enorme cantidad de datos producidos por todos estos sensores no sería posible sin los avances producidos en campos como el Big Data (al que le dedicamos un monográfico anterior), que a su vez ha sido posible gracias a la llamada Computación en la Nube, la cual ha posibilitado la creación de servicios escalables basados en software, como los necesarios para analizar los datos provenientes de todos los sensores.

Nos encontramos en un momento verdaderamente excitante de avances tecnológicos, y desde el ITI estamos contribuyendo a su desarrollo a través de prácticamente todas nuestras líneas de I+D+I: desde la Computación en la nube, a los sistemas de optimización de la fabricación, pasando por el Big Data, la Visión artificial y los sistemas Ciber-Físicos.

Es nuestra intención que el presente monográfico contribuya a un mayor entendimiento de los retos y grandes oportunidades que esta evolución de los sistemas digitales está poniendo a nuestro alcance.

Valencia, abril de 2016

PRESENTACIÓN COIICV

Juan Pablo Peñarrubia Carrión

PRESIDENTE

**Colegio Oficial de Ingenieros en Informática
de la Comunidad Valenciana (COIICV)**



La presente monografía compila la evolución y tendencias del escenario tecnológico de lo que se ha dado en llamar “Internet de las Cosas” (IoT), y del concepto de “Sistemas Ciber-Físicos” (CPS) impulsado en primera instancia en el ámbito industrial, pero aplicable finalmente a cualquier ámbito (el hogar, la oficina, la calle...). Desde el punto de vista de la ingeniería informática asistimos a una suerte de evolución paradigmática desde el binomio clásico sistema de información – sistema informático, hacia un verdadero ecosistema (ecosistema de información, ecosistema informático, o si se prefiere ecosistema ciberfísico), entendido como el conjunto integrado de los sistemas de información, la gestión del conocimiento asociado a los mismos, y los dispositivos físicos o virtuales que actúan sobre dicho ecosistema, ya sea de modo autónomo o con intervención humana.

Este nuevo escenario ofrece innumerables oportunidades de innovación, nuevos productos, servicios y actividades, y en definitiva, a nivel socioeconómico nuevos negocios. Pero como se señala en el capítulo tercero también conlleva importantes retos: No sólo los netamente tecnológicos (especialmente con mayor incidencia profesional como la ingeniería del software para CPS, los servicios software sobre CPS o la seguridad), sino aquellos de naturaleza esencialmente “social”. En particular, toda una nueva generación de problemáticas de regulación legal (prestación, responsabilidad ante fallos, praxis profesional...), armonización internacional (regulatoria, de estandarización, de “gobierno”...), y en definitiva de naturaleza política, que “requirieren un compromiso claro y deliberado”.

Pero la base de estos retos sociales, no es algo nuevo, sino que se trata de problemáticas ya existentes y no resueltas en la actualidad en relación a los productos, servicios y actividades informáticas, y que resultan descomunadamente amplificadas en los nuevos escenarios de IoT y CPS. En esta escala ampliada resulta más evidente que el aspecto crucial de estos retos sociales reside en la amenaza que constituye no ocuparse de ellos con la trascendencia que merecen y no gestionarlos proactivamente. Siendo todo ello de especial relevancia cuando está a punto de cumplirse un año del llamamiento InformatiCALL sobre la necesidad urgente de una evaluación rigurosa y profunda de los productos, servicios y actividades informáticas por su incidencia en todos los ámbitos de actividad individual y social, y su incidencia en el interés general.

Así pues, este informe sintetiza no solo el estado del arte y las tendencias sobre IoT y CPS, sino sus oportunidades y amenazas potenciales, por lo que constituye una útil herramienta para las empresas y los profesionales del sector TIC.

Valencia, abril de 2016

PRÓLOGO

Jesús Ángel García Sánchez
INNOVATION MANAGER EN INDRA

David Pascual Portela
GERENTE DE ÁREA DE DESARROLLO INSTITUCIONAL DE LA INNOVACIÓN EN INDRA



Si miramos hacia atrás, podemos recordar cómo eran nuestras vidas sin teléfonos móviles, sin internet, incluso sin ordenadores personales, accesibles sólo para unos pocos, debido principalmente a su elevado precio y también a la escasa penetración de la tecnología tanto en los sectores profesionales como en los hogares. En los últimos 25 años, hemos sido testigos del crecimiento y aceptación de las nuevas tecnologías en todos los ámbitos, incluso en el personal, hasta llegar a un punto en el que se han creado necesidades no existentes antaño.

Los principales impulsores de este cambio han sido internet y los dispositivos móviles, especialmente los teléfonos móviles, que han aumentado sus prestaciones de manera exponencial serie tras serie.

El uso de internet en la vida cotidiana y su indiscutible aportación al sector industrial ha contribuido significativamente a este cambio y ha impulsado nuevos modelos de negocio basados principalmente en la **conectividad**, el primer pilar de las tecnologías actuales.

El segundo pilar es la **movilidad**, que hace posible disponer de esta conectividad en cualquier lugar del planeta gracias a las infraestructuras de comunicaciones y a los dispositivos móviles. Los usuarios han dejado de ser meros consumidores (*consumers*) para convertirse también en productores/generadores de información (*producers*) y, adoptando este doble rol (*prosumers*), se han convertido, además, en sensores activos dentro de la red.

Debido a la ingente cantidad de información disponible a través de internet, se ha hecho imprescindible el uso de buscadores, como Google, cuya necesidad es indiscutible y les ha convertido en uno de los principales *drivers* de este cambio. La limitación inicial era que estos buscadores tan sólo operaban en el mundo digital, localizando información existente en internet y en los sistemas de información conectados a la red. Ahora se ha hecho necesario tener la misma capacidad de búsqueda en el mundo real, lo que ha dado lugar al **IoT (Internet of Things/Internet de las Cosas)**, un concepto que no es nuevo, pero cuya irrupción en la vida social e industrial está aún en fase de despliegue progresivo.

IoT se puede considerar una consecuencia más que un pilar de esta revolución tecnológica, ya que por sí solo no es un driver de negocio, a no ser que se verticalice su aplicación. La verticalización del IoT, que permite la interconexión e interoperatividad entre el mundo físico y el mundo digital, sí ha revolucionado, entre otras cosas, los sistemas embebidos o empotrados (muy cercanos al mercado, pero con poca popularidad fuera del sector industrial) y ha permitido también la interconexión con otros sistemas (federación), la integración de diferentes sistemas independientes para que operen como un único sistema (sistema de sistemas/*System of System*) e incluso dotarles de inteligencia (*Smart Systems*) suficiente como para ayudar en la toma de decisión (HMI, *Human-Machine Interface*), e incluso para tomar decisiones por sí mismos (*Autonomous Systems*).

Cuatro han sido los factores que han desencadenado este cambio a lo largo de los últimos 25 años:

- El aumento de capacidad de procesamiento de los dispositivos y su disminución de tamaño.
- La reducción del precio de los dispositivos electrónicos.
- El aumento de la conectividad (universal).
- Y la vida digital, que no es una moda, sino que ha venido para quedarse. Nosotros como personas y ciudadanos cada vez utilizamos más tecnología y la asumimos más rápidamente.

Ante este panorama, merece la pena cuestionarse, ¿qué será lo siguiente?, ¿queda algún escalón más en esta vertiginosa escalera tecnológica por la que nos vemos obligados a ascender? La respuesta a esta pregunta podemos imaginarla si revisamos las necesidades actuales tanto en lo social como en lo industrial, que son la conectividad y la movilidad, apoyándonos en las tendencias de mercado más prometedoras y aceptadas, como IoT, *Smart Systems* y la mejora de la comunicación hombre-máquina (HMI). Todo ello da lugar a lo que se conoce como **Cyber-Physical Systems (CPS, Sistemas Ciberfísicos)**.

Los CPS, aunque son aplicables a cualquier sector, han empezado a desarrollarse, impulsarse y desplegarse, fundamentalmente, en los sectores de la Fabricación (Industria 4.0), la Salud (sistemas de teleasistencia), el Transporte (vehículos autónomos y sistemas inteligentes para la gestión del tráfico) y, sobre todo, en el más popular dominio de las ciudades inteligentes o *Smart Cities* (las plataformas urbanas son, de hecho CPS). Todos los sectores son candidatos al uso y aplicación de los CPS y el uso intensivo de este paradigma permitirá crear nuevos modelos de negocio basados en tecnologías innovadoras que darán respuesta a infinidad de potenciales necesidades que demandará la sociedad y la industria.

Indra es una compañía reconocida por su capacidad de entregar sistemas de misión crítica, o lo que se suele denominar *Operational Technology* (sistemas de control de tráfico aéreo, sistemas de vigilancia para Defensa, sistemas de control de redes eléctricas o instalaciones de generación, ciberseguridad, control de fronteras, etc.). Construyendo sobre estas capacidades, en los últimos años hemos hecho una apuesta decidida por los ámbitos asociados a los preceptos técnicos y pilares mencionados anteriormente como claves para llegar a los CPS actuales y futuros, como *Internet of Things*, *Big Data-Analytics*, Ciberseguridad, Movilidad,...

Estos ámbitos han caracterizado el grueso de nuestra actividad en I+D+i en los últimos

años, que ha alcanzado unas cifras sostenidas de inversión en nuevas soluciones del 6-8% sobre la facturación anual, llegando a 1.000 millones de euros en los últimos cinco años y 2.000 millones de euros en lo que va de siglo XXI, en mercados como la Seguridad y Defensa, Transporte y Tráfico y gestión de Infraestructuras Inteligentes, Energía y *Utilities*, Administraciones Públicas y Sanidad, Telco y Media, y Servicios Financieros y Seguros. Esta inversión se ha traducido en activos propietarios y capacidades/referencias diferenciales en el mercado.

Este esfuerzo unido a nuestras capacidades en gestión de *cadena de suministro*, nuevos canales digitales, sistemas de colaboración entre compañías, etc... nos permite liderar proyectos de transformación y digitalización de la sociedad, involucrando a toda una red de partners con los que trabajamos en cada uno de esos ámbitos.

Dos de ellos, ya mencionados antes, como el de las *Smart Cities* y el de la revolución "Industria 4.0" suponen, en gran medida, una masificación de las tecnologías de sensorización, control, decisión en tiempo real, gestión de operaciones, etc., con las que llevamos trabajando décadas, siempre ofreciendo los máximos niveles de fiabilidad y seguridad.

Sin embargo, la evolución y aplicación de estas tecnologías no se quedará aquí, sino que de inmediato se abrirán muchísimas nuevas posibilidades. La carrera no ha hecho más que empezar...

RESUMEN EJECUTIVO

Los sistemas Ciber-Físicos constituyen un nuevo concepto que, unido al de Internet de las Cosas, van a dominar la generación de entornos inteligentes en los próximos años. Un sistema Ciber-Físico, o su término en inglés Cyber Physical System (CPS) es el resultado de dotar a los componentes/objetos físicos de capacidades de computación y de comunicación para convertirlos en **objetos inteligentes que pueden cooperar entre ellos formando ecosistemas distribuidos y autónomos**.

Por tanto, CPS va más allá del concepto de Internet de las cosas (IoT), que trata de objetos individuales ofreciendo servicios a través de internet, ya que se refiere a sistemas de mayor complejidad compuestos a partir de otros sistemas y que son **capaces de aprender de las interacciones que tienen con el mundo físico, de forma que convierten los entornos en inteligentes** (*Smart Environments*).

La introducción de estos CPS en los entornos los dota de mayor **eficiencia y facilidad de uso, así como una mayor capacidad de adaptación, autonomía, escalabilidad, facilidad de mantenimiento y robustez**. Además, también proporcionan mayor **seguridad**, siendo un componente clave en los entornos de seguridad (*safety*) crítica, en los que los sistemas Ciber-Físicos controlan dispositivos que pueden provocar graves daños personales en caso de fallo.

Se estima que el **número de "IoT end points" o dispositivos conectados**, tales como coches, refrigeradores y cosas semejantes, crecerá de 10,3 millones en 2014 **a más de 29,5 millones en 2020**. Estos dispositivos conectados constituyen la base de los CPS, pero para que los CPS sean una realidad, todavía existen **grandes retos a resolver**, principalmente en el ámbito tecnológico, como es el diseño de **arquitecturas interoperables** y que puedan integrarse dentro de los nuevos paradigmas de red 5G y el Internet de las Cosas; la **autonomía y la cooperación** (capacidades de auto-reconfiguración, planificación y toma de decisiones); el desarrollo de **plataformas de computación de bajo consumo**, que incrementen la autonomía; el desarrollo de capacidades de **adaptación y optimización en tiempo de ejecución** y el desarrollo de capacidades de **auto-aprendizaje y toma de decisiones distribuida**. Además de los retos tecnológicos, retos económicos, legales y sociales rodean a los CPS.

En cuanto al **dominio de aplicación**, son numerosos los entornos en los que la implantación de sistemas Ciber-Físicos tendrá un impacto relevante. Cabe destacar los ámbitos de i) **Movilidad**, donde la coordinación del flujo de tráfico de los distintos tipos de vehículos, así como la conducción automatizada permitirán un uso más eficiente y a la vez seguro de las infraestructuras de transporte; ii) **Energía**, proporcionando una coordinación de la producción descentralizada de energía, adaptando la misma a la demanda en cada momento; iii) **Sanidad**, donde la proliferación de sensores biomédicos es un hecho y donde los CPS ofrecen soluciones de cuidado de la salud personalizadas y proactivas para una sociedad cada vez más envejecida, manteniendo el bienestar de los ciudadanos de forma sostenible económicamente; iv) **Fabricación**, donde la cooperación entre las máquinas de la cadena de producción posibilita una fabricación flexible, personalizada y adaptativa en base a las necesidades en cada momento y v) **Ciudades/Sociedad**, ayudando a reducir los costes de operación y mantenimiento de la infraestructura, así como a proporcionar planificación estratégica a la vez que se optimiza el confort y se respetan las necesidades de cada ciudadano particular.



En términos de impacto, se estima que más de **1,1 millones de personas** están trabajando en Europa en el entorno de los CPS, con una inversión acumulada del 2013 al 2020 de más de **157.000 millones de euros** y 16.000 millones en proyectos de I+D en colaboración. Estos datos denotan la importancia de este sector para Europa, cuya industria se ha aglutinado en la asociación ARTEMIS-IA, fundada en 2007 por Philips, ST Microelectronics, Thales, Nokia y DaimlerChrysler y centrada en embedded & Cyber Physical Systems.

En este escenario son numerosas las entidades, asociaciones, plataformas tecnológicas, iniciativas y proyectos de I+D+i que se están llevando a cabo, donde el Instituto Tecnológico de Informática, miembro de ARTEMIS-IA, lleva muchos años trabajando en los ámbitos de herramientas de ayuda al proceso de ingeniería de sistemas Ciber-Físicos, herramientas de verificación y validación de software de seguridad crítica, sistemas de comunicación fiables, fusión y análisis de datos, interoperabilidad o técnicas de procesamiento de imágenes.

INTRODUCCIÓN

Tal y como ha ocurrido con el Internet de las Cosas o el Big Data en los últimos años, actualmente es tendencia todo lo relacionado con los Sistemas Ciber-Físicos. El término Ciber-Físico o CPS se está popularizando en los últimos meses y pronto formará parte del lenguaje cotidiano.

Aunque existen varias definiciones y aproximaciones conceptuales en las que ahondaremos en próximos apartados, de forma sencilla podríamos decir que un **Sistema Ciber-Físico** o **CPS (Cyber-Physical System)** es un sistema en el que se **integra la computación con los procesos físicos** para **formar una Internet de las Cosas, Datos y Servicios**, posibilitando una mayor **eficiencia e inteligencia** en el sistema/entorno donde se incorpore (transporte, fabricación, salud, energía, ciudad, hogar, etc.: **"Smart Everything Everywhere"**).

Los CPS integran **capacidades de computación, almacenamiento y comunicación** con **capacidades de seguimiento y/o control de objetos en el mundo físico**. Normalmente están conectados entre sí y en algunos casos disponen de **capacidad de aprender y evolucionar**.

En definitiva, el objetivo último de los CPS es **mejorar la calidad de vida de los ciudadanos** mediante la monitorización y el control del mundo físico en el que viven usando capacidades del mundo cibernético.

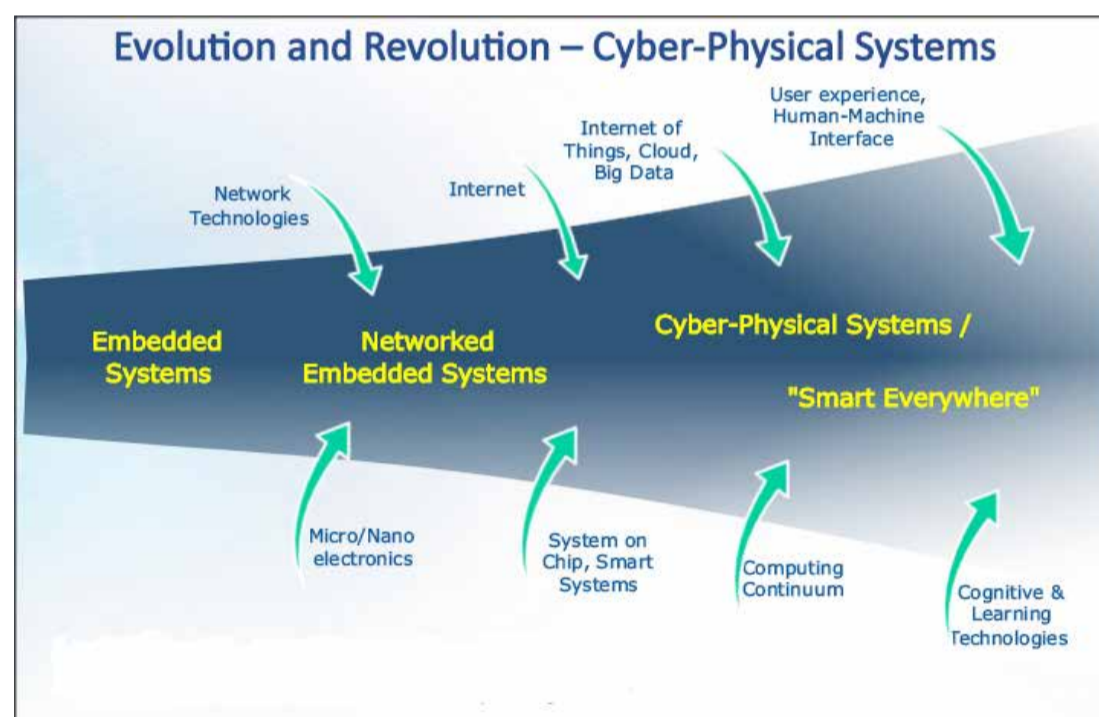


Figura 1. Evolución hacia los CPS (Fuente: Comisión Europea¹)

Tal y como se muestra en la , los CPS configuran la nueva revolución en el ámbito de las TIC, y en concreto de los Sistemas Empotrados (*Embedded Systems*), pues son el resultado de dotar a los componentes/objetos físicos de capacidades de computación y de comunicación para convertirlos en **objetos inteligentes que pueden cooperar entre ellos formando ecosistemas distribuidos y autónomos**.

1 ICT1- Cyber-Physical Systems in H2020 <http://slideplayer.com/slide/4545959/>

Por tanto, CPS aporta una visión que va más allá de objetos individuales ofreciendo servicios a través de Internet (que podemos identificarlo con el concepto de Internet de las Cosas (*IoT-Internet of Things*), ya que aborda **sistemas completos que se componen dinámicamente a partir de otros sistemas y que son capaces de sentir y controlar el mundo físico, entendiéndolo y aprendiendo de las interacciones que se producen, de forma que evolucionan hacia la creación de entornos inteligentes.**

La aplicación de CPS a ámbitos como la fabricación, la movilidad, el mantenimiento y control de edificios, infraestructuras o ciudades, la salud o la energía, genera un elevado atractivo, pues origina enormes oportunidades de innovación en tecnología, aplicaciones y servicios, y modelos de negocio. Para ello los CPS deben ser escalables, distribuidos, seguros, adaptables, reactivos,... y deben interactuar con los humanos y con el entorno. Todo ello plantea todavía retos por resolver que se están abordando en diversas iniciativas entre las que destaca **ECSEL (Electronic Components and Systems for European Leadership²)** de la que el Instituto Tecnológico de Informática (ITI) es miembro activo en diversos proyectos.

En este contexto, el objetivo principal del presente documento es analizar el estado actual de los sistemas ciber-físicos, tanto desde el punto de vista científico-tecnológico como de mercado y aplicaciones, revisando previamente uno de sus pilares básicos: el Internet de las Cosas.

En primer lugar, se abordará una breve introducción al Internet de las Cosas incluyendo su definición y atributos principales, sus facilitadores, la propuesta de valor, las áreas donde prestar especial atención para aprovechar su potencial, la velocidad de adopción, el impulso a nivel de I+D+I europea, el mercado y las empresas dominantes, las regiones precursoras y, por último, las capacidades y experiencias de ITI en dicho ámbito.

Posteriormente, se ahonda en los sistemas ciber-físicos cubriendo su definición, las principales áreas de investigación y retos asociados, las entidades e iniciativas de referencia existentes, los proyectos I+D+I más destacados a nivel europeo así como el mercado y los principales sectores o dominios de aplicación.

Se cierra el informe con las capacidades del Instituto Tecnológico de Informática en relación al ámbito de estudio.

Este informe ha sido llevado a cabo por el Instituto Tecnológico de Informática dentro de la línea de **Vigilancia Tecnológica** del Departamento de Inteligencia Estratégica y Competitiva. Este departamento de ITI tiene por misión **captar y analizar las tendencias y evolución de las TIC, y las estrategias de investigación y políticas nacionales e internacionales en torno a ellas**, para orientar al conjunto del Instituto y a las empresas sobre nuevos proyectos, productos o procesos que puedan constituirse en oportunidades de I+D+I o negocio, y coordinar la respuesta ante estas oportunidades.

Para el cumplimiento de su misión, el departamento se divide en varias líneas de actividad, configurándose la línea de Vigilancia Tecnológica como una de las más importantes, dado el elevado dinamismo del sector en el que el Instituto se ubica y la importancia de tener una buena información objetiva de partida para poder tomar decisiones estratégicas.

Dentro de la línea de Vigilancia Tecnológica, el Instituto puso en marcha en 2008, gracias al apoyo de IMPIVA y del Fondo Europeo de Desarrollo Regional, el **Observatorio Tecnológico del Sector TIC (<http://observatorio.iti.upv.es>)**, con el objetivo de recopilar, filtrar,

2 ECSEL (Electronic Components and Systems for European Leadership): www.ecsel-ju.eu/

categorizar, analizar y difundir información valiosa, y así **impulsar la actividad innovadora y crear inteligencia competitiva** en el Instituto y en las empresas del sector, mejorando por tanto su posición competitiva.

El presente informe se enmarca dentro de las actividades de análisis de tendencias y pretende dar una visión de las tecnologías, proyectos e iniciativas que existen actualmente, además de mostrar la evolución acaecida durante los últimos años, de forma que las empresas cuyo objetivo sea prestar servicios o desarrollar productos en ese ámbito puedan posicionarse, conozcan a los actores más relevantes en el mismo y puedan establecer sus estrategias de futuro.

EL INTERNET DE LAS COSAS

El Internet de las Cosas está emergiendo como la **tercera oleada en el desarrollo de Internet**. El Internet de los años 90 permitía conectar de forma fija mil millones de usuarios, mientras que en el año 2000 y gracias al Internet móvil se podían conectar dos mil millones más. El Internet de las Cosas tiene el potencial de conectar 10 veces más (28.000 millones) y no solo usuarios, sino "cosas" [1].

El término, propuesto por primera vez por el tecnólogo inglés Kevin Ashton en el año 1999 mientras estaba en el MIT, describe una **red de comunicación que permite conectar "cosas" que tienen capacidad de identificación, sensorización y procesado**. En concreto, cada cosa tiene una identidad virtual propia y capacidad potencial para integrarse e interactuar de manera independiente en la red con cualquier otra cosa, ya sea un objeto real o un humano.

Así, los atributos clave del IoT son los siguientes:

- **Sensorización**, a través de sensores embebidos en las cosas (por ejemplo, de temperatura, de presión, de aceleración...).
- **Eficiencia**, pues se añade cierta inteligencia a los procesos manuales (por ejemplo, para la reducción del consumo energético en días calurosos).
- **En red**, ya que conecta los objetos a la red (por ejemplo, termostatos, coches, relojes...).
- **Especialización**, permitiendo personalizar la tecnología y los procesos en mercados verticales específicos (salud, energía, retail...).
- **Ubicuidad**, ya que se despliega en todas partes (por ejemplo, en el cuerpo humano, en los coches, en el hogar, en las ciudades, en fábricas...).

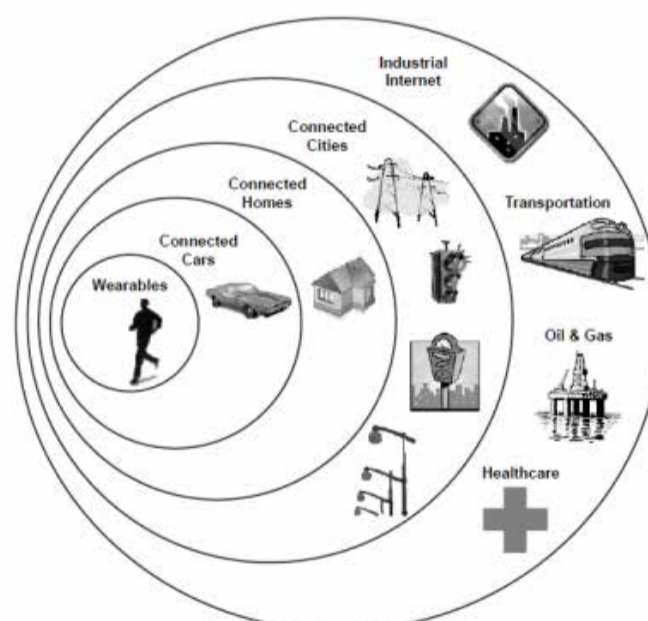


Figura 2. Mercados verticales clave de adopción del IoT (Fuente: Goldman Sachs Global Investment Research [1])

Es interesante revisar qué ha desencadenado este impulso del IoT. Sus principales facilitadores han sido los siguientes cambios tecnológicos:

- **Abaratamiento de los sensores**, pasando de media a un precio de 60 céntimos cuando hace 10 años estaba en torno a 1,30\$.
- **Abaratamiento del ancho de banda**, que ha disminuido de forma precipitada en un factor cercano al 40% en los últimos diez años.
- **Abaratamiento del procesado** (microcontroladores o microprocesadores de bajo coste), cercano al 60% y permitiendo no solo conectar los dispositivos sino además que dispongan de cierta inteligencia para actuar en función de los datos que generan o reciben.
- **Utilización masiva de los Smartphone**, que se han convertido en la pasarela personal para el IoT, actuando como control remoto o *hub* en los hogares conectados, los coches conectados o los dispositivos de salud y/o fitness que los usuarios llevan puestos cada vez más.
- **Cobertura inalámbrica ubicua**. La conexión inalámbrica está disponible actualmente de forma gratuita o a bajo coste en cualquier lugar.
- **Big Data**. Teniendo en cuenta que por definición el IoT generará grandes volúmenes de datos no estructurados, el rápido auge en la disponibilidad de plataformas de análisis de datos y tecnologías de visualización ha sido otro de los grandes facilitadores.
- **IPv6**. La mayoría de equipos de red soportan el protocolo IP versión 6, que permite direcciones de 128 bits, lo que se traduce en aproximadamente 3.4×10^{38} direcciones, un número que podría cubrir todos los dispositivos IoT concebibles.

En definitiva, las **industrias de semiconductores y de tecnología de comunicaciones** son los **facilitadores clave para los dispositivos IoT**. Por un lado, las empresas telco conectarán los smartphone, tabletas, teléfonos móviles y redes wifi, permitiendo que grandes cantidades de dispositivos se puedan comunicar entre ellos. Por su parte, las empresas de semiconductores proveerán de arrays de sensores y chips que permitirán a los dispositivos recoger datos, comprender imágenes y movimiento, procesar información y comunicar de forma transparente.

Las ventajas que aporta el IoT giran en torno a los **nuevos ciclos de producto** y a la **eficiencia en costes**. Así, la **propuesta de valor** para el Internet de las Cosas se compone de dos pilares:

- **Generación de retorno económico**, derivado de los nuevos productos y servicios que posibilite el IoT. Por ejemplo, AT&T introdujo el servicio "Connected Car" en colaboración con fabricantes de automóviles como Audi, GM, Testal y Volvo, en el que se ofrecían conexiones de alta velocidad 3G y 4G por una suscripción mensual de 10\$.
- **Productividad y ahorro de costes** (de personal, energéticos, de inversiones de capital, etc.) Por ejemplo, Verizon ahorró más de 55 millones de KWh anualmente en sus 24 centros de datos gracias al despliegue de cientos de sensores y puntos de control conectados inalámbricamente.

El canal, las aplicaciones y las cosas per se son áreas clave a las que se debe prestar especial atención para aprovechar el potencial del IoT:

- **Construir una infraestructura que conecte los dispositivos/cosas a nivel mundial.** La expansión de los **canales de telecomunicaciones, por cable y satelitales** que permiten llevar el tráfico a través de redes wifi es una parte crítica. También es clave dotar a los dispositivos de los **sensores, chips de memoria y software necesarios** para comunicarse con esos canales.
- **Desarrollar plataformas de software que hagan accesible el gran volumen de datos.** El torrente de datos que se genere podrá ser utilizado para hacer la vida más sencilla (por ejemplo, que se encienda la calefacción antes de llegar a casa), para aumentar la eficiencia (por ejemplo, que la lavadora se encienda cuando el uso y los precios de la electricidad caen en mitad de la noche) y para ayudar a la anticipación sin necesidad de especialistas (por ejemplo, cuando se monitoriza el cuerpo por temas de salud o para diagnóstico del motor de un coche). Para que esto pueda hacerse realidad, es necesario establecer **estándares de software** comunes, construir **plataformas fiables** y desarrollar **software sofisticado que pueda analizar grandes cantidades de datos.**

Así, el software aparece como pieza clave para el desarrollo del IoT, tanto desde el punto de vista empresarial como del usuario. El software empresarial debe permitir la gestión de la comunicación con los dispositivos/sensores conectados, proporcionar middlewares para la integración de los repositorios de datos, facilitar el almacenamiento y securización de los datos, así como su análisis y visualización. En cuanto al software del usuario, el enfoque debe ser hacia las plataformas (tipo iOS, Android...), favoreciendo a los líderes del mercado móvil.

- **Identificar cuándo la conectividad añade valor y no es solo intrusismo.** Una de las principales trabas para el desarrollo del IoT versa sobre la **privacidad y la seguridad**. Será crítico encontrar estas "cosas" que van a mejorar nuestra vida, a permitirnos ahorrar dinero, a conservar los recursos naturales o a obtener mayores eficiencias en general. Algunos de los escenarios donde ya se están conectando las cosas son:
 - **Automatización de edificios y del hogar**, en los siguientes ámbitos: ventilación, calefacción y aire acondicionado; seguridad; iluminación; entretenimiento; electrodomésticos; y asistencia a la vida cotidiana.
 - **Aplicaciones de fabricación**, que monitorizan la maquinaria, conectan fábricas y optimizan las cadenas de suministro.
 - **Recursos**, tales como redes eléctricas inteligentes e infraestructuras para el vehículo eléctrico.

En este sentido, se prevé que el **sector industrial** sea uno de los **principales beneficiarios del IoT**, impactando en todos sus ámbitos, generando oportunidades de nuevos productos, optimizando la planta de producción y permitiendo una mayor eficiencia de los trabajadores de la fábrica.

En la siguiente figura mostramos la estimación de velocidad de adopción del IoT por sector de actividad según un informe de la Fundación Bankinter-Accenture ("El internet de las Cosas. En un mundo conectado de objetos inteligentes"³). La previsión es que el **IoT se desarrolle rápido en algunas áreas como la automatización industrial, la sanidad y la seguridad**, mientras que le costará más despegar en la vida cotidiana, las empresas y la Administración Pública.

En concreto, un 69% de los expertos del *Future Trends Forum* de la Fundación de la Innovación Bankinter piensa que el IoT se adoptará **en menos de cinco años en los sectores de retail y logística**. En el extremo opuesto, sostienen que las industrias aeroespacial, automovilística y de aviación tardarán más de ocho años en adoptar esta tecnología, probablemente porque la naturaleza de estas industrias requiere de estándares más formales para aceptar innovaciones.

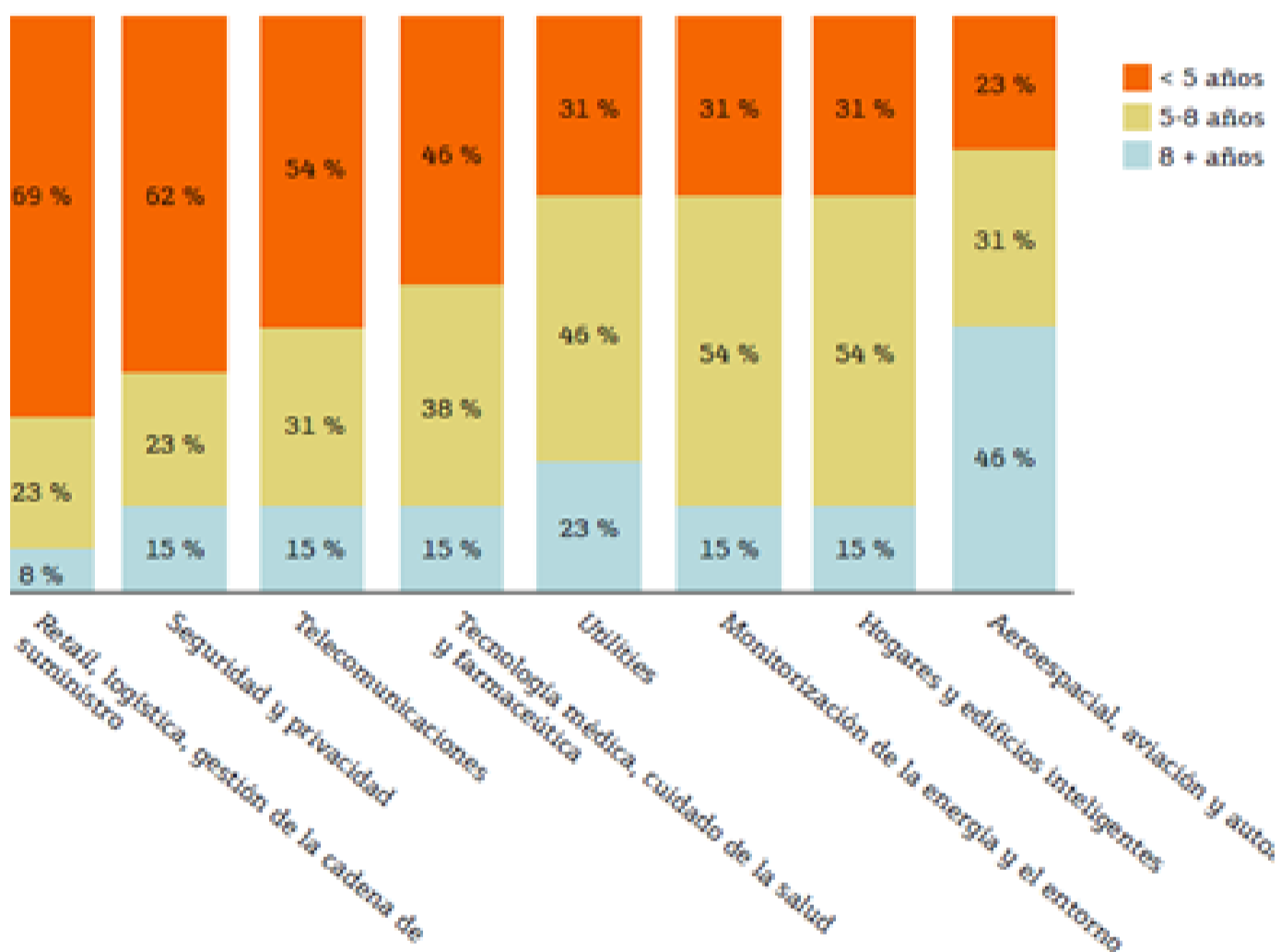


Figura 3. Velocidad de adopción del IoT en distintas industrias (Fuente: Fundación Bankinter, 2011)

Incluimos también el análisis de Gartner en cuanto a tecnologías emergentes en su hiperciclo de 2014, donde el aspecto fundamental que señalan los analistas es el camino hacia la **digitalización** de los negocios, lo que versa sobre la **convergencia de las personas, los negocios y las cosas**⁴. Así, el **Internet de las Cosas y el concepto de la "fusión" del mundo físico y el virtual** están ganando fuerza. En concreto, los expertos sitúan al IoT en el pico de la gráfica, lo que significa que está en una fase de **gran expectación**.

3 El Internet de las Cosas. En un mundo conectado de objetos inteligentes http://www.belt.es/expertos/imagenes/XV_FTF_El_internet_de_las_cosas.pdf

4 Gartner's 2014 Hype Cycle for Emerging Technologies Maps the Journey to Digital Business <http://www.gartner.com/newsroom/id/2819918>

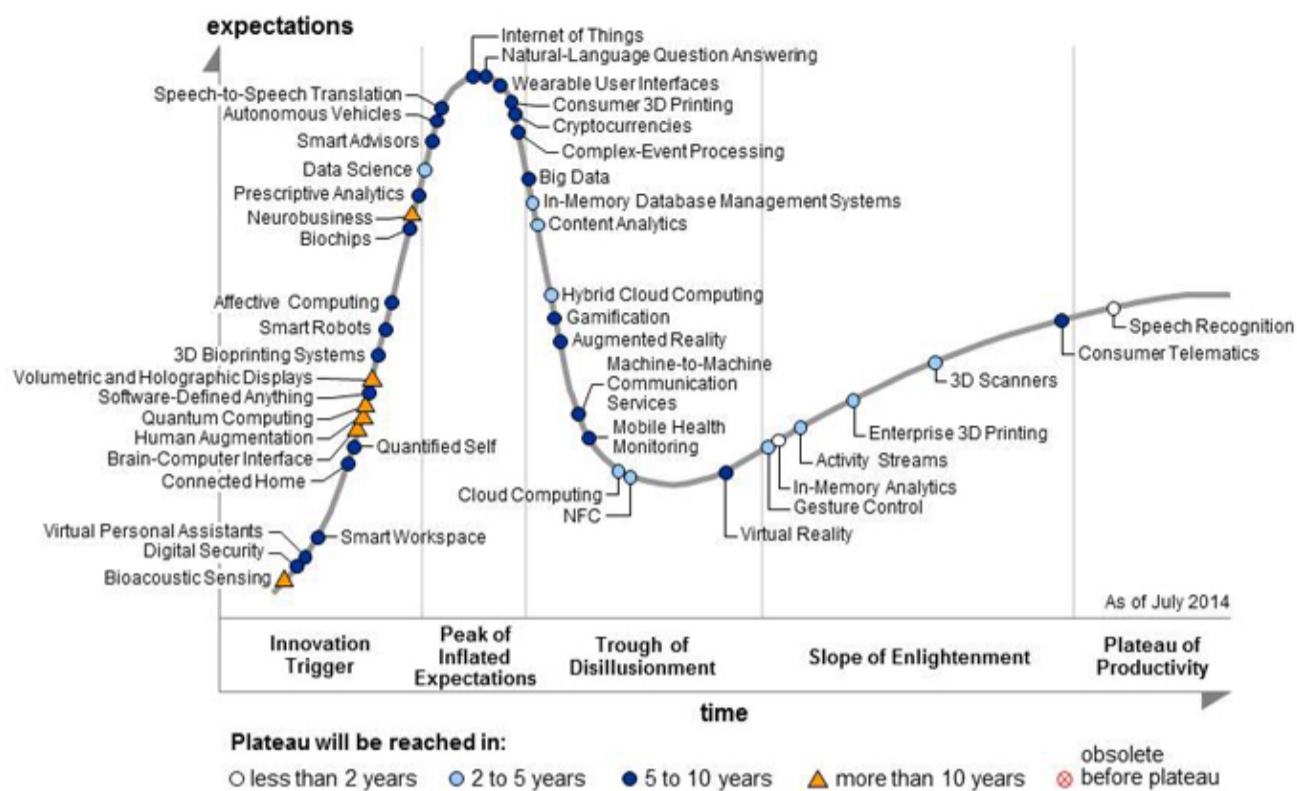


Figura 4. Hiper ciclo de Tecnologías Emergentes 2014 (Fuente: Gartner)

A nivel de investigación científico-tecnológica, en el nuevo programa europeo de financiación de la I+D+I, **Horizonte 2020**, el Internet de las Cosas aparece como objetivo específico (*ICT 30-2015: Internet of Things (IoT) and platforms for connected smart objects*⁵) y en la convocatoria 2014, que cerró el pasado mes de abril, contó con un presupuesto de 49 millones de euros. Además se prevé que el **IoT tenga carácter de "focus area" en el próximo ciclo 2016-2017**.

Destacar también que desde hace seis años, la Comisión está cooperando activamente con los estados miembros y terceros para el desarrollo y futuro despliegue de tecnología IoT. Así, en marzo 2015, la Comisión Europea inició la creación de la "**Alliance for Internet of Things Innovation (AIOTI)**", cuyo objetivo es trabajar de cerca con los actores más relevantes en IoT. Además, el "**Digital Single Market (DSM)**", adoptado en mayo de 2015, permitirá acelerar los desarrollos del IoT mediante la consolidación de iniciativas en seguridad y protección de datos, que son esenciales para la adopción del IoT. Por su parte, el "**Internet of Things European Research Cluster (IERC)**" agrupa los proyectos IoT financiados por los diversos programas marco, además de las iniciativas nacionales en la materia.

El siguiente paso importante en el ámbito de la investigación europea de IoT será la implementación de **grandes pilotos para testeo y validación**. Así la Comisión Europea lanzará bajo el paraguas del Horizonte 2020 una serie de pilotos IoT de gran alcance en áreas como los **dispositivos llevables, la vida asistida, los vehículos conectados, las ciudades inteligentes y la gestión inteligente del agua y la agricultura**⁶.

A nivel de mercado, las oportunidades de negocio son considerables. Según el último estudio de la firma de investigación IDC ("Worldwide Internet of Things Forecast, 2015-2020"), **el**

5 <http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/9091-ict-30-2015.html>

6 <https://ec.europa.eu/digital-agenda/en/internet-things>

mercado del Internet de las Cosas crecerá 1,7 billones de dólares en 2020, a partir de los 655,8 mil millones del 2014. Este crecimiento será mayor a medida que más dispositivos se conecten en línea y las plataformas y servicios aumenten⁷.

También se prevé que el **número de "IoT end points" con dispositivos conectados**, tales como coches, refrigeradores y cosas semejantes, crecerá de 10,3 millones en 2014 a **más de 29,5 millones en 2020**.

Además, se espera que los **dispositivos, la conectividad y los servicios de TI logren la mayor parte del mercado global de IoT en 2020**, representando los dispositivos el 31,8% del total. A medida que el mercado madure, se espera que plataformas, almacenamiento, seguridad, aplicaciones de software y propuestas "como servicio" capturen un mayor porcentaje de los ingresos.

En cuanto a las empresas que **dominarán el mercado del IoT**, según Forbes⁸ son **Amazon, Apple, Google, Microsoft y Samsung**. Amazon ha pasado de ser una librería online a ser el proveedor de infraestructura de nube más grande del mundo, consiguiendo estar cada vez más presente en las casas de los consumidores a través de productos como *Kindle TV*, *Amazon Echo* y *Amazon Dash*. Kindle y Echo podrían convertirse próximamente en el centro de operaciones de los hogares inteligentes y pronto Amazon podría añadir "wearables" a su oferta de teléfonos, tabletas y decodificadores. Además, están probando drones para la entrega de pedidos.

iPhone y *Siri* de Apple serán elementos determinantes para la interacción dentro del Internet de las Cosas. *Time Capsule* y *Apple TV* son susceptibles de convertirse en centros de operaciones dentro de las casas inteligentes. También su dispositivo llevable, *Apple Watch*, podría adquirir más funciones cada vez, y pronto llegará el *Apple HomeKit*, que permitirá controlar remotamente accesorios del hogar a través de dispositivos iOS. Una futura Apple TV con Apple HomeKit integrado podría ser la piedra angular de la estrategia de Apple en el mercado del IoT.

Android es el buque insignia de Google en su incursión en el mercado del Internet de las Cosas, ya que gracias a él se ha formado una gran y muy activa comunidad de desarrolladores en los últimos cinco años. Con este sistema operativo, Google ha conseguido poner en marcha "wearables", televisores, coches, decodificadores y teléfonos. Las *GoogleGlass* han sido relevadas a un segundo plano, dejando paso a los coches que se conducen solos, ya en pruebas, que podrían significar un gran éxito para Google en el mercado IoT.

Microsoft es probablemente la compañía que más interés está poniendo en el IoT, pues tiene la intención de que Windows 10 se ejecute en un billón de dispositivos, incluidos nodos sensores que conectarán aún más al usuario con el dispositivo. Además dispone de herramientas como *Cortana*, su propio Siri, que estará disponible en todos los dispositivos Windows 10. *Xbox* y *Kinect* juegan también un papel importante en este mercado para Microsoft.

El éxito del sello *Galaxy* y de las *Smart TVs* ha convertido a Samsung en una compañía factible de convertirse en una de las más fuertes del mercado IoT. Aunque los dispositivos usan Android, la compañía está desarrollando *Tizen*, que ha impulsado su "wearable" máspreciado: el *Galaxy Gear*. Desarrollado en conjunto con la Fundación Linux e Intel, Tizen

7 <http://mundocontact.com/el-mercado-de-internet-de-las-cosas-alcanzara-1-7-billones-de-dolares-en-2020/>

8 <http://forbes.es/actualizacion/3889/internet-de-las-cosas-las-empresas-que-dominaran-el-mercado>

servirá para todos los dispositivos inteligentes desarrollados por Samsung (smartphone, tabletas, smart TV, cámaras de fotos...).

Otras fuentes apuntan que **las empresas más grandes que tratan de convertir el mercado del IoT en una realidad** son⁹:

- **Cisco**, a través de su línea de *routers* conectados a la red, *switches* integrados y software de red centrado en aplicaciones;
- **IBM**, que cuenta con una variedad de productos de este tipo incluyendo una plataforma de mensajería para datos M2M (*MessageSight*), junto con *MobileFirst*, que da a los objetos capacidades móviles, y *BlueMix*, una plataforma de desarrollo para aplicaciones que pueden gestionar la recopilación y el análisis de datos IoT;
- **Intel**, que está desplegando una variedad de chips para atender este mercado, desde la alta eficiencia de energía del procesador X1000 QuarkSoC hasta chips Xeon para el procesamiento de alta resistencia;
- **GE**, pionero en IoT según IDC, habiendo acuñado el término "Internet Industrial" para referirse a dispositivos conectados en sectores comercial y de manufactura, que se están focalizando en *Predix*, una plataforma de software que integra los datos generados por la máquina con bases de datos tradicionales y en la nube, y ya cuentan con productos para la gestión de operaciones en hospitales, para la optimización de combustible en aviones y soluciones Grid IQ para empresas de servicios públicos;
- **Google**, que con la adquisición de Nest, compañía que vende termostatos y detectores de incendios inteligentes, espera desempeñar un papel importante en el IoT;
- **Microsoft**, que se centra en que el IoT sea aplicable a las actividades diarias de las empresas y para ello ofrece diferentes productos incluyendo sistemas operativos *Windows Embedded* personalizados para recopilar y analizar datos así como productos en su nube Azure como *Intelligent Systems*;
- **Salesforce.com**, que considera el IoT como una oportunidad para los profesionales de marketing de obtener una visión más profunda de sus expectativas y clientes;
- **Oracle**, cuyo foco está puesto en el almacenamiento de todos los datos generados, incluyendo una plataforma para habilitar Java en dispositivos integrados con sensores, una plataforma de middleware para la creación de aplicaciones para capturar datos, y bases de datos para almacenar todo;
- **Qualcomm**, que ayudó a crear *AllJoyn*, un framework IoT de código abierto para conectar dispositivos; y
- **Amazon Web Services**, el más grande jugador de infraestructura de la nube que incluye una variedad de plataformas de datos incluyendo bases de datos relacionales RDS, su base de datos *DynamoDB NoSQL*, una herramienta de almacenamiento de datos *Red Shift*, así como nuevas herramientas de análisis como *Kinesis*, para el procesamiento en tiempo real de datos de streaming.

9 <http://cioperu.pe/fotoreportaje/16123/las-10-empresas-de-internet-de-las-cosas-mas-poderosas/>

Mencionamos también el **Industrial Internet Consortium** (IIC, <http://www.iiconsortium.org>), grupo abierto sin ánimo de lucro fundado en 2014 por AT&T, Cisco Systems, General Electric, Intel e IBM para el **establecimiento de estándares y buenas prácticas en el ámbito del Internet de las Cosas**¹⁰. Actualmente cuenta con 184 miembros de 26 países que cubren prácticamente cualquier mercado vertical: energía, salud, fabricación, transporte, etc.

El consorcio ha anunciado recientemente la publicación inmediata de la Arquitectura de Referencia para la Internet Industrial (IIRA, <http://www.iiconsortium.org/IIRA.htm>), que proporciona un lenguaje en común para los elementos de los sistemas de la internet industrial y para las relaciones que existen entre ellos, ayudando a que los desarrolladores decidan qué elementos necesitan para sus sistemas, lo que hace posible implementaciones más rápidas.

Por último, destacar que a nivel geográfico según IDC el mercado está dominado por la **región de Asia-Pacífico**, que captó alrededor del 58,3% de los **ingresos de IoT** en 2014, cifra que se reducirá al **51,2% en 2020**. **China**, donde su población utiliza cada vez más los dispositivos móviles y tiene una creciente necesidad de hacer sus fábricas más eficientes, **estimulará el uso de nuevos dispositivos y de estándares de IoT**. Por su parte, **América del Norte** se espera que mantenga el nivel de ingresos de poco más del **26%** durante el periodo, mientras que la participación de **Europa Occidental podrá elevarse del 12% al 19,5%**.

En el citado estudio de la Fundación Bankinter se incluyó también la opinión de los expertos sobre qué regiones iban a ser las precursoras del Internet de las Cosas en las distintas industrias. Tal y como muestra la siguiente figura, Estados Unidos, seguido de Europa y China, aparecen como los claros líderes. Sin embargo, destaca la presencia de otras áreas del mundo en industrias específicas como África en construcción inteligente, tecnología médica, salud y farmacéuticas y logística, y América del Sur en energía y medio ambiente.

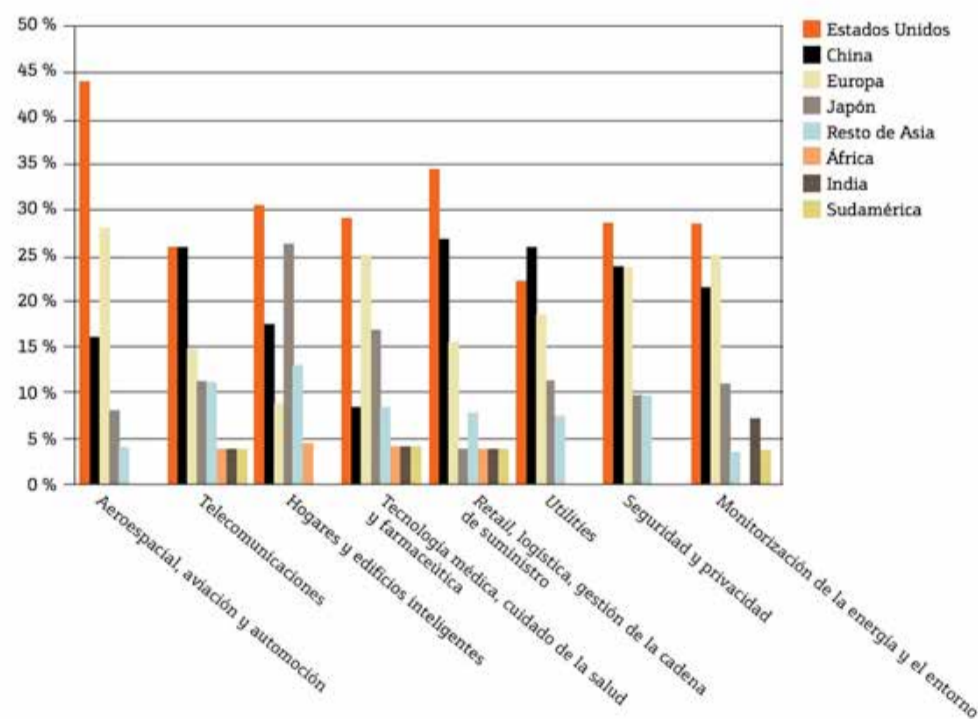


Figura 5. Regiones precursoras del IoT en las distintas industrias (Fuente: Fundación Bankinter, 2011)

10 <http://www.fiercewireless.com/press-releases/att-cisco-ge-ibm-and-intel-form-industrial-internet-consortium-improve-in-te-0>

Para cerrar este breve apartado sobre el Internet de las Cosas, mencionamos a continuación las **capacidades y principales experiencias de ITI** en dicho ámbito:

- Línea de I+D de Comunicaciones Avanzadas (<http://www.iti.es/es/idi/lineas-de-investigacion>)

La línea de Comunicaciones Avanzadas, Informática Industrial y Eficiencia Energética de ITI centra su actividad en el diseño e implementación de soluciones de redes de comunicaciones e Informática industrial para telecontrol, tele-monitorización, sensores y eficiencia energética, abordando los retos que generan las redes heterogéneas, los sistemas inalámbricos ad hoc, las redes de sensores inalámbricas, y, en general, el Internet de las Cosas y el *Machine to Machine*.

Dentro de este ámbito se está trabajando en la caracterización del tráfico de datos generado en estos nuevos paradigmas de comunicación para dar una determinada Calidad de Servicio.

- Proyecto europeo de I+D+I DEWI (Dependable Embedded Wireless Infrastructure, <http://www.dewi-project.eu/>)

Este proyecto ARTEMIS, iniciado en 2014, busca proporcionar soluciones clave para la conectividad inalámbrica fiable y segura, y la interoperabilidad en ciudades inteligentes e infraestructuras. En el ámbito del proyecto se consideran diversos entornos de estudio como los edificios, los vehículos, los trenes o los transportes aéreos, que proporcionarán una experiencia fundamental para contribuir con estas tecnologías a los conceptos emergentes de casas inteligentes y espacios públicos inteligentes.

El rol de ITI como participante en el proyecto se centra en el diseño de redes inalámbricas fiables para lo que cuenta con un presupuesto total de 567.413 euros.

Participación en AIOTI, la alianza para la innovación en la Internet de las Cosas, en la que se están definiendo recomendaciones y arquitecturas de referencia a seguir por los proyectos de H2020 relacionados con IoT.

SISTEMAS CIBER - FÍSICOS

3.1 Definición

El término *Cyber-Physical System* o CPS no tiene un significado único. A veces se usa como sinónimo de "sistema en el que la computación interactúa con el mundo físico", otras como "sistema empotrado en red" y en otras ocasiones como "sistema de sistemas".

La fundación americana NSF (*National Science Foundation*) describe los CPS como **sistemas contruidos a partir de la integración transparente de componentes físicos y computacionales**, que permitirán superar a los simples sistemas empotrados actuales en cuanto a capacidad, adaptabilidad, escalabilidad, resiliencia, seguridad y usabilidad¹¹.

El programa europeo Horizonte 2020 en su topic *H2020-ICT-01-2014 (Smart Cyber-Physical Systems¹²)* indica que los CPS son la **próxima generación de sistemas TIC empotrados que se interconectan y colaboran a través del Internet de las Cosas, y proporcionan a los ciudadanos y a los negocios un conjunto amplio de aplicaciones y servicios innovadores**. Son los sistemas TIC que están empotrados cada vez en más tipos de objetos, dotándoles de inteligencia y de mayor eficiencia energética y facilidad de uso, por ejemplo, en los **sistemas de transporte, los coches, las fábricas, los hospitales, las oficinas, los hogares, las ciudades y los dispositivos personales**.

Por su parte, la iniciativa tecnológica conjunta ECSEL en su plan estratégico multianual [2] considera los CPS como una de las **capacidades tecnológicas esenciales** para dotar de inteligencia a todos los sectores y ámbitos (movilidad, sociedad, energía, salud, producción...), junto a la micro/nano electrónica y la integración de sistemas. En concreto, los CPS se consideran como la **próxima generación de sistemas TIC empotrados inteligentes interconectados, interdependientes, colaborativos y autónomos que proporcionan computación y comunicación, así como monitorización y/o control de componentes/ procesos físicos en diferentes dominios de aplicación**, incluido los de *seguridad crítica*.

Tal y como muestra la siguiente gráfica, según ECSEL los CPS deben ser **escalables, distribuidos y descentralizados**, permitiendo la **interacción con las personas y el entorno**, y estando **conectados a Internet o a otras redes**. **Adaptabilidad, reactividad, optimalidad y seguridad** son características que deben incorporar dichos sistemas.

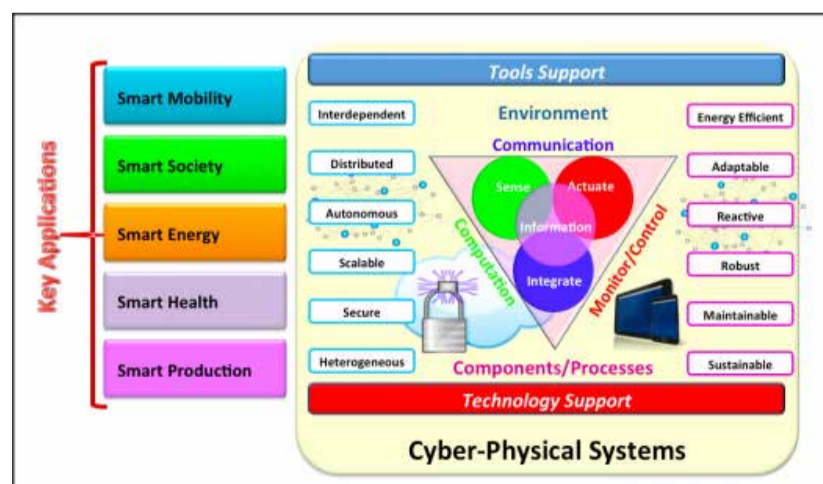


Figura 6. Elementos clave de los CPS (Fuente: ECSEL MASP 2014 [2])

11 <http://www.nsf.gov/pubs/2014/nsf14542/nsf14542.htm>

12 <http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/78-ict-01-2014.html>

Por último, el NIST y la UC Berkeley crearon un mapa conceptual de los CPS (navegable y con información añadida vía web¹³), que se muestra en la gráfica posterior. Definieron los CPS como las integraciones de computación, conexión en red y procesos físicos: **ordenadores empotrados y redes que monitorizan y controlan procesos físicos, con bucles de realimentación** donde los procesos físicos afectan a la computación y viceversa. Para ellos, la tecnología se construye sobre la disciplina de los sistemas empotrados: ordenadores y software embebido en dispositivos cuya misión principal no es la computación (por ejemplo, coches, juguetes, dispositivos médicos e instrumental científico).

En concreto, el mapa muestra cómo los CPS son **sistemas realimentados que están en red y/o distribuidos (a través de sensorización y actuación inalámbrica), que son adaptativos, predictivos, inteligentes y a tiempo real.**

Así mismo, el mapa indica los retos o aspectos requeridos para su desarrollo, destacando especialmente la *ciber-seguridad* (privacidad, ataques maliciosos, detección de intrusos, etc.) y las *herramientas de diseño* para su especificación, modelado y análisis, para la gestión de la escalabilidad y la complejidad, y para los procesos de validación y verificación, de especial relevancia en entornos críticos.

Por último, muestra una *gran amplitud de dominios de aplicación* potenciales de los CPS: comunicación, consumo (audio, juegos interactivos, video), energía, infraestructura (especialmente la crítica, como la red eléctrica, la red de distribución del agua, las carreteras...), salud, fabricación (maquinaria robótica, visión embebida...), militar, robótica, transporte (aviónica, ascensores, sistemas de gestión del tráfico...), etc.

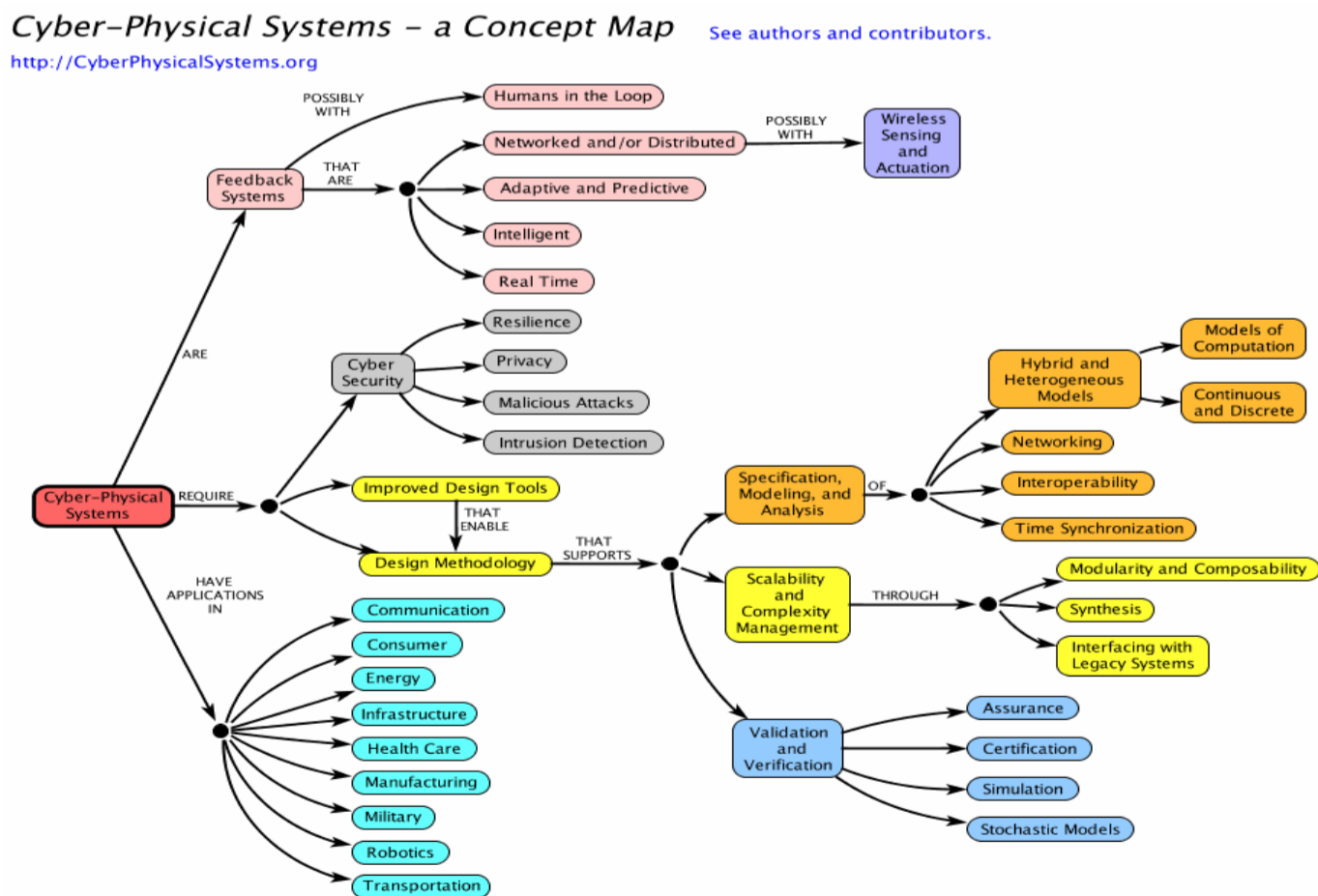


Figura 7. Mapa conceptual de los CPS (Fuente: NIST - UC Berkeley 2012, cyberphysicalsystems.org)

13 <http://cyberphysicalsystems.org/>

3.2 Áreas de investigación y retos

Un sistema computacional en general es un sistema procedural, secuencial. Sin embargo, los procesos físicos habitualmente son concurrentes y paralelos, compuestos de múltiples subprocesos con interrelaciones difícilmente secuenciables. Por ello, diseñar sistemas ciber-físicos robustos y confiables, donde hay una interrelación estrecha de los aspectos computacionales de los sistemas empotrados con los procesos físicos que gobiernan y viceversa, requiere de un **dominio simultáneo de ambas disciplinas**. La integración de ambos aspectos es uno de los principales desafíos: **dinámicas procedurales con dinámicas concurrentes, donde el tiempo juega un papel crítico**¹⁴. Otros desafíos clave son:

- La ingeniería de los CPS: **nuevos métodos y herramientas para simplificar su diseño, simulación, desarrollo, validación y verificación**.
- La analítica de datos: **predicción y prescripción basada en datos combinados**.
- La **ciberseguridad** de los CPS: amenazas, internas y externas.
- La **robustez y resiliencia** de los CPS: creación de dependencias en procesos, multiplicación de puntos de error, complejidad.

A corto plazo, según el plan estratégico de ECSEL, los **elementos clave prioritarios en el desarrollo de los CPS** se estructuran en 3 ejes:

- **Arquitecturas**: definición y desarrollo de arquitecturas CPS interoperables y certificables para su funcionamiento eficiente dentro de la red del futuro, las redes 5G y el IoT; paradigmas y entornos de programación que tengan en cuenta un funcionamiento seguro en entornos no deterministas y una profunda aplicación de principios de diseño para CPS reconfigurables dinámicamente.
- **Autonomía y cooperación**: desarrollo de funcionalidades base para un uso eficiente de los recursos y para una optimización global de las aplicaciones (por ejemplo, con capacidades de auto-reconfiguración, planificación y toma de decisiones), y concienciación de los costes del ciclo de vida para los CPS.
- **Plataformas de computación**, abordando sistemas de computación de baja potencia (del sensor/actuador a la nube y a lo largo de los sectores de aplicación) para una visión global del sistema de cara a la gestión energética, a la vez que se gestiona la complejidad, fiabilidad y seguridad en sistemas de criticidad mixta.

En el **medio plazo**, se añadirán **capacidades de adaptación y optimización en tiempo de ejecución**, además de **planificación y toma de decisiones fiable y confiable** para CPS autónomos seguros.

A **largo plazo**, el foco se debe poner en las **capacidades de auto-aprendizaje**, la **toma de decisiones distribuida** mediante la introducción de capacidades atractivas, intuitivas y mejoradas; y en las **interfaces de realidad aumentada** para los usuarios de los CPS autónomos (HMI/WMI).

14 <http://es.slideshare.net/SPRICOMUNICA/basque-industry-40-sistemas-ciberfisicos>

Por su parte, NESSI¹⁵, la plataforma tecnológica europea para la investigación e innovación en Software y Servicios, donde el ITI es miembro del *Board* y del *Steering Committee*, está trabajando en un libro blanco sobre sistemas ciber-físicos [3], donde se identifican los retos y oportunidades relevantes en dicho ámbito, focalizándose en el impacto de los mismos en las áreas principales de NESSI y viceversa.

En concreto, se identifican **cuatro áreas principales de tecnologías facilitadoras con un gran impacto en los CPS**, que se detallan posteriormente:

- **Software:** la inteligencia, dinámica y flexibilidad de los futuros CPS se basa en la habilidad para ser **sensibles al contexto** y producir **software seguro y a la vez adaptable a cambios en tiempo real**, lo cual va más allá del estado del arte y prácticas actuales en ingeniería del software.
- **Servicios:** los servicios basados en software constituyen un facilitador clave para el impulso y despliegue de capacidades base de una infraestructura CPS, posibilitando la creación de valor en las aplicaciones de negocio.
- **La nube:** la computación en la nube es un elemento clave para desplegar y ejecutar sistemas ubicuos, y proporciona principios clave, como la adaptación y el multi-arrendamiento, de los que deben hacer uso toda clase de dispositivos.
- **Big Data:** los CPS serán la mayor fuente, colector, procesador y distribuidor de datos, no solo en cuanto a volumen, sino también en velocidad, variedad y veracidad.

Ingeniería del Software para CPS

La aparición de CPS altamente distribuidos y a gran escala significa que el software tiene que vivir en un mundo abierto y muy dinámico. Tradicionalmente, el desarrollo de software se basaba en una asunción de mundo cerrado, es decir, donde la frontera entre el sistema y su entorno es conocida durante el periodo de diseño y donde el entorno no cambia mientras el sistema está ejecutando el software. Sin embargo, los CPS en general no pueden especificarse completamente durante el tiempo de diseño pues no poseen un conocimiento completo, por ejemplo, de los servicios y dispositivos disponibles durante la operación del sistema. Los CPS deben permitir modificaciones no previstas en tiempo de diseño, debidas al contexto del sistema en el momento de ejecución. Estas modificaciones del contexto requieren que los CPS sean capaces de entender y modificar su funcionalidad sin parar o molestar al resto del sistema, es decir, deben ser capaces de continuar comportándose de forma controlada y segura.

En este escenario, los principales retos científico-tecnológicos que deben afrontarse son:

- Aseguramiento de la calidad de los CPS en presencia de adaptación y descubrimiento dinámicos.
- Middleware y plataformas para evolución y composición dinámica de CPS.
- Fuertes abstracciones para comprender y modelar los CPS.

15 www.nessi-europe.com

Además de lo anterior, actualmente es un reto la **integración de elementos humanos en los círculos de feedback de los CPS**: el comprender cómo interactúan las personas con un sistema de ayuda a la decisión combinado con mecanismos de incentivo es una necesidad para la aceptación y eficiencia de los CPS. También hay que considerar el caso de multitudes: el comportamiento de un elevado número de personas puede determinar el buen o mal funcionamiento de los CPS.

Servicios software sobre los CPS

Con la llegada de los CPS, existen nuevas oportunidades de innovar en el desarrollo, distribución y venta de software basado en servicios así como en el desarrollo de nuevos modelos de negocio para la hibridación producto-servicio, que es la tendencia actual. La información proporcionada por sensores, dispositivos inteligentes, sistemas empotrados y usuarios finales posibilita oportunidades sin precedentes para el desarrollo de servicios innovadores basados en software.

El valor que recibe el usuario final se crea mediante aplicaciones y servicios software que usan eficientemente la información de los sensores directamente o a través de los sistemas de sistemas, tomándose las decisiones de forma más informada, dado que los CPS pueden acceder a una gran cantidad de datos acerca de los objetos del mundo físico casi en tiempo real. Todo ello mejora la agilidad de la organización.

En este escenario, los principales retos científico-tecnológicos que deben afrontarse según NESSI son:

- **Arquitectura basada en instancia para una red de negocio de las cosas.** Esta arquitectura podrá representar de forma natural todos los objetos relevantes en una red de negocio, facilitando a las empresas el ser más ágiles en colaboraciones muy dinámicas con muchos partners externos y ganar visibilidad extremo a extremo para seguir y monitorizar la genealogía de las cosas.
- **Arquitectura de servicio para servicios basados en software sobre CPS.** Estos futuros servicios ayudarán al usuario de negocio más que guiarle, y deben tener 4 características que los diferencian de las aplicaciones de negocio actuales: auto-explicativos, adaptables/flexibles, auto-adaptables y procesos flexibles, y cros-organizacional por naturaleza.

La nube para CPS

La computación en la nube es un modelo que permite acceso ubicuo, práctico, bajo demanda y transparente a un conjunto compartido de recursos de computación configurable, como redes, servidores, almacenamiento, aplicaciones y servicios, que pueden ser provisionados rápidamente y puestos en marcha con un mínimo esfuerzo de gestión o con interacción mínima por parte del proveedor de servicios.

El Cloud Computing está emergiendo como una opción de despliegue interesante para los CPS, que soporte y encaje la computación en los mismos, que es distribuida, con la computación continua (*computación en la niebla*) que deriva de los dispositivos hacia el backend (servidor o centro de datos). Así, la computación en la nube es por sí misma un modelo computacional

válido para la integración sin fisuras de componentes computacionales y físicos. Además, los elementos CPS por sí mismos pueden convertirse en recursos en la nube.

En este escenario, los retos científico-tecnológicos que deben afrontarse según NESSI son:

- Recolección, análisis y actuación de datos en tiempo real.
- Multi-arrendamiento en infraestructuras CPS.
- Acuerdos de nivel de servicio en la nube fiables y predecibles.

Además de lo anterior, hay que tener en cuenta las posibilidades que ofrece la nube en cuanto a **escalabilidad, elasticidad y disponibilidad**. También decir que el **mantenimiento de aplicaciones en la nube es más sencillo y efectivo en coste**, ya que no se debe instalar la aplicación en cada ordenador y el multi-arrendamiento permite la compartición de recursos y costes a lo largo del conjunto de usuarios.

CPS y Big Data

Los datos, tanto estáticos como en movimiento, están creciendo más que la capacidad de procesamiento de las metodologías tradicionales, especialmente porque estos datos actualmente son muy heterogéneos, proceden de múltiples fuentes, no son completamente fiables, son grandes en tamaño y llegan con gran velocidad y no periódicamente. Big Data consiste en extraer información valiosa de estos datos para usarla de forma inteligente, por ejemplo, en la toma de decisiones en negocios, ciencia y sociedad en general. El crecimiento del volumen de los datos y su velocidad, en combinación con un acceso más fácil a los mismos y la disponibilidad de sistemas IT potentes, está llevando a una intensificación de actividades alrededor del Big Data. La intersección entre Big Data y CPS crecerá en los próximos años debido a que los datos se están considerando ya como activos de negocio. La combinación de ambos será algo requerido en el futuro para seguir siendo competitivos.

En este escenario, los retos científico-tecnológicos que deben afrontarse según NESSI son:

- Gestión de la producción masiva de datos.
- Almacenamiento y procesamiento distribuido de datos.
- Monetización de la combinación Big Data y CPS.

Además de lo anterior, hay que tener en cuenta las posibilidades que ofrece la **analítica Big Data para la adaptación dinámica que requieren los CPS**, así como las posibilidades de **personalización de productos y servicios** que permite dicha combinación.

Por último, recogemos el análisis realizado en el marco del recién terminado proyecto europeo CyPhERS¹⁶, donde se desarrolló una agenda estratégica de investigación en el ámbito de los sistemas ciber-físicos. Los **retos europeos en investigación e innovación** para los CPS identificados en el marco de dicho proyecto se resumen a continuación [4]:

16 www.cyphers.eu/

Retos científicos

Los sistemas ciber-físicos son **multi-dominio y multi-disciplinar** por naturaleza, incluyendo aspectos de bioquímica y mecánica, a través de microtecnología e informática, así como aspectos de ciencias sociales y económicas. Todos estos dominios y disciplinas tienen establecidos sus propios paradigmas de ontologías, teorías base y enfoques de modelado, por lo que es esencial un **enfoque científico que integre todos estos paradigmas** en la amplitud y profundidad requeridas.

Así, los principales retos científicos son:

- **Multidisciplinariedad.** Para entender las funcionalidades y servicios que proporcionan los CPS, debe considerarse la cadena de procesos a lo largo de todas las disciplinas implicadas. Sin embargo, salvo excepciones, la investigación científica se organiza principalmente mediante un esquema de disciplinas que une pocos campos y generalmente muy relacionados, generando silos científicos. El panorama científico resultante, por tanto, adolece de instrumentos que faciliten la colaboración multi-disciplinar que considere tanto aspectos metodológicos (por ejemplo, ontologías comunes) como de tipo organizacional (como los esquemas de financiación conjunta).
- **Carácter socio-técnico.** Los sistemas ciber-físicos implican procesos físicos y organizacionales, y suponen una interacción fuerte con los usuarios y operadores humanos. Aunque la investigación en el campo de la interacción hombre-máquina ha aumentado, el tratamiento sistemático de aspectos socio-técnicos no está aun suficientemente avanzado, sobre todo la consideración explícita de capacidades y limitaciones, además de gestión activa de intenciones y expectativas, de las personas que los usan.
- **Teorías base.** Actualmente, las teorías fundacionales de las diferentes disciplinas implicadas en los CPS tienen diferentes estados de madurez, en función del dominio sobre el que versen. Además, estas teorías individuales no se combinan en una teoría común de integración de sistemas. En definitiva, existe una necesidad de enlace entre todas ellas que debe superarse para poder desarrollar estos sistemas ciber-físicos.
- **Modelado multi-dominio.** No existe conocimiento acerca de cómo modelar adecuadamente todos los aspectos relevantes de los CPS, especialmente en lo que refiere a combinaciones útiles de todos ellos y al nivel de abstracción requerido, de tal forma que se puedan aprovechar todas sus propiedades físicas, técnicas y organizacionales. En concreto, las guías metodológicas adolecen de información acerca de cómo usar abstracciones útiles de los sistemas ciber-físicos a diferentes niveles de detalle que faciliten la ingeniería de estos sistemas con un nivel suficiente de fiabilidad, considerando la calidad de los sistemas implementados.

Retos tecnológicos

La realización de sistemas ciber-físicos supone tecnologías de ingeniería con un **nuevo nivel de complejidad**, no sólo provocado por el tamaño y la heterogeneidad de estos sistemas, sino porque se deben considerar aspectos como la auto-configuración, la auto-optimización,

la auto-actualización y la extensión de la vida. Los métodos y tecnologías de ingeniería actuales no están preparados para escalar a este nivel de complejidad, y no son capaces de manejar los efectos no intencionados y no deseables que resultan de la orquestación del comportamiento complejo en estos sistemas.

Así, los principales retos tecnológicos identificados en el proyecto europeo son:

- **Interoperabilidad.** El carácter de gran escala y larga duración de los CPS requiere de la capacidad de integrar componentes de diferentes proveedores y, especialmente, integrarlos con partes legadas para poder abordar la actualización continua de estas. Esta forma de integración requiere un grado de interoperabilidad en un amplio rango de aspectos, incluyendo protocolos de comunicación, interpretación de datos, uso de ontologías o comportamiento cooperativo complejo, lo que supera los estándares de la tecnología actual. Esta interoperabilidad no se requiere solo para tecnologías como plataformas, infraestructuras y entornos de trabajo, sino también en métodos y herramientas que se usen para construir los sistemas ciber-físicos.
- **Autonomía.** Los CPS son sistemas que se auto-controlan, auto-adaptan y auto-optimizan, alcanzando unos niveles de automatización muy altos o incluso con un comportamiento autónomo en sus componentes, además de en su colaboración. Sin embargo, el estado de las tecnologías implicadas para permitir esto no ha alcanzado un nivel de madurez adecuado que garantice la confiabilidad requerida para este tipo de sistemas.
- **Privacidad.** Los sistemas ciber-físicos generalmente implementan diferentes cadenas de servicios por lo que los datos que se recogen y procesan están disponibles a las partes participantes de estos servicios. Además, los datos son muy sensibles, tanto para las personas, por ejemplo en el ámbito de la salud, como para las empresas, por ejemplo en el ámbito de los procesos de fabricación, por lo que protegerlos de accesos no autorizados es un requisito esencial para que haya una aceptación general de los mismos. Sin embargo, las infraestructuras actuales están mostrando con frecuencia déficits importantes en cuanto a la protección de la privacidad de los datos y, específicamente, en relación a la transferencia, restricción o revocación de los derechos de acceso.
- **Fiabilidad.** Al proporcionar servicios a lo largo de cadenas de procesos físicos, técnicos y organizacionales, los CPS están expuestos a fallos o ataques que amenazan la integridad de los servicios que proporcionan. Sin embargo, no está suficientemente establecida la tecnología de fiabilidad que evite la propagación de estas amenazas a lo largo de las cadenas y que soporte la mezcla de diferentes niveles de seguridad. Tampoco ha llegado a un nivel suficiente la integración metodológica de aspectos de seguridad y vigilancia.
- **Incertidumbre.** Para operar en su entorno, un sistema ciber-físico tiene que tratar inherentemente con información imprecisa o incompleta, lo que puede amenazar la adecuación de la función que proporcione. Sin embargo, aunque se han hecho avances en ese sentido, sigue faltando en el estado actual de la tecnología un enfoque sistemático de recogida, agregación y aplicación de información incierta a la vez que se asegura un servicio con un nivel de fiabilidad suficiente, especialmente cuando se interactúa con usuarios humanos.

Retos económicos

Tradicionalmente, la industria europea tiene la fuerte tradición de establecer cadenas de valor que implican a medianas y grandes empresas que fabrican productos complejos. Sin embargo, estas redes establecidas pueden ser inadecuadas para los **nuevos modelos de negocio y las cadenas de valor dinámicas** implementadas por los CPS, así como para la **flexibilidad de los procesos técnicos y organizacionales que soportan**.

En este sentido, los principales retos económicos identificados en CyPhERS son:

- **Servicio versus Producto.** Por un lado, los sistemas ciber-físicos requieren inversiones importantes en equipamiento e infraestructura. Por el otro, facilitan el establecimiento de modelos de negocio orientados a proveer servicios de valor añadido para los clientes (usuarios finales y partners en la cadena de valor) más que a fabricar un producto. Sin embargo, los procesos de negocio actuales están más focalizados en lo tradicional, en modelos de mercado orientados a producto.
- **Dominación disruptiva.** Con los CPS, el valor añadido puede proporcionarse incluyendo procesos organizacionales a la orquestación de los procesos técnicos y físicos, por ejemplo, la gestión optimizada de las infraestructuras de energía frente al proceso físico del control de la producción de energía. De esto se derivan nuevos servicios vendibles. Sin embargo, este modelo de negocio disruptivo facilita la invasión de cadenas de negocio de nuevos participantes en el campo de la ciber-infraestructura, que quieren dominar el modelo de negocio frente a los participantes ya establecidos.

Retos en educación

La inversión europea en educación y formación asegura una fuerza de trabajo bien formada y altamente especializada. Sin embargo, los implicados en el ámbito de los CPS requieren **competencias en disciplinas clave, especialmente en ciencia, tecnología, ingeniería, y matemáticas, combinadas con la capacidad de extender y aplicar su conocimiento en un campo interdisciplinar y en constante evolución**. Los sistemas actuales de educación ponen en peligro esta transferencia de las competencias necesarias a un grupo suficientemente grande de personas, incluidos los futuros trabajadores.

Así, los principales retos en educación identificados son:

- **Excelencia de conocimiento.** La naturaleza multi-disciplinar de los sistemas ciber-físicos requiere de un amplio y creciente conjunto de conocimientos y capacidades, no solo en el ámbito de la ingeniería sino también para todos los participantes de los CPS, incluidos los usuarios finales, como por ejemplo, los directivos que toman las decisiones respecto a la puesta en marcha de estos sistemas en la industria y administración pública. Además como la ciencia y la tecnología de estos sistemas evoluciona rápidamente, se requiere una constante actualización de estas capacidades y conocimiento. Sin embargo, los sistemas actuales de educación y formación no siempre están focalizados y preparados para transferir conocimiento en rápida evolución.
- **Educación equilibrada.** Ya se ha comentado que se debe disponer de una suficiente amplitud de conocimiento en disciplinas clave, además de una

profundización en el área de especialización correspondiente. Además, se necesitan competencias prácticas o conocimiento de metodologías de buenas prácticas. Sin embargo, los sistemas educativos actuales carecen del necesario equilibrio entre teoría y práctica que apoye la conexión bidireccional entre el mundo académico y la industria.

- **Futura fuerza de trabajo.** La naturaleza compleja de los sistemas ciber-físicos requiere de una fuerza laboral muy especializada y formada, capaz de construir, operar, mantener y extender estos sistemas. Sin embargo, aún no hay disponible mucho personal con estas habilidades y experiencia.

Retos legales

Europa tiene una cultura proactiva en la puesta en marcha de **marcos legales de trabajo** que equilibren y protejan los intereses individuales. La naturaleza social y técnica de los sistemas ciber-físicos exige que estos entornos también regulen la implementación y el uso de los mismos. Sin embargo, su **naturaleza disruptiva económica y socialmente** hablando hace que las actuales regulaciones sean inadecuadas para ellos, lo que se convierte en **barreras a la innovación** en este campo.

Así, los principales retos de tipo legal identificados son:

- **Entorno regulatorio.** Los efectos adversos de una funcionalidad inapropiada de los sistemas ciber-físicos, hacen que sea necesario tomar medidas legales, por ejemplo, la aplicación de regulaciones en dominios como dispositivos médicos o vehículos de carretera. Sin embargo, las interpretaciones confusas o una aplicación restrictiva de esas regulaciones puede esconder soluciones innovadoras y avances en el estado del arte tecnológico si se aumenta considerablemente la inversión necesaria.
- **Certificación.** Para implementar sistemas ciber-físicos con entornos regulatorios, se necesitan enfoques de certificación que aseguren la fiabilidad necesaria en cuanto a integridad funcional de estos sistemas. Sin embargo, las actuales técnicas y herramientas de certificación no son directamente aplicables a los requisitos de los CPS, adoleciendo, por ejemplo, de capacidad de escalado eficiente a requisitos de tamaño o de permitir cambios en tiempo de ejecución de los sistemas en evolución.
- **Armonización.** Las regulaciones existentes pueden ser aplicadas de diferente forma en función de las diferentes leyes nacionales o los estándares específicos de cada dominio. Esta fragmentación no homogénea de las regulaciones puede llevar a riesgos inciertos, económicos y legales, convirtiéndose de nuevo en una barrera a la innovación en este campo.

Retos sociales

Uno de los retos sociales de Europa tiene que ver con el crecimiento sostenible, a lo que pueden contribuir sustancialmente los CPS. Sin embargo, los pasos necesarios así como las consecuencias que resultan de implementar estos sistemas afectan a un amplio rango de **stakeholders reacios al cambio** del sector público, la industria y la política, y requiere un compromiso claro y deliberado.

Así, los principales retos en el ámbito social son:

- **Concienciación pública.** La ya comentada naturaleza social y técnica de los CPS, que se refleja en la colaboración entre estos sistemas y sus usuarios humanos, requiere de una comprensión pública de las posibilidades y limitaciones de estos sistemas y, en consecuencia, de las responsabilidades de los usuarios en relación a los riesgos y amenazas a la seguridad. Hoy en día, el público general no es suficientemente consciente de las consecuencias de instalar estos sistemas, incluyendo los aspectos legales y éticos derivados que aseguren una aceptación positiva de estas tecnologías.
- **Apoyo público.** Como la ingeniería de los sistemas ciber-físicos requiere el uso de tecnologías que en parte no están disponibles o maduras y solo pueden ser mejoradas mediante experiencias derivadas de la implementación de estos sistemas, tiene que haber una asunción de riesgos aceptada públicamente para poder estimular y promocionar innovaciones en este campo. Sin un apoyo explícito en la toma de determinados riesgos por parte del público, la industria y los políticos, la materialización de riesgos inesperados llevará a un rechazo de estas innovaciones.

Es interesante también reflejar las **tendencias tecnológicas que probablemente compartirán el futuro de los CPS**, tal y como ya se apuntaba en el libro blanco que está preparando NESSI. Así, según el análisis realizado en el proyecto CyPhERS¹⁷, las tres tendencias más destacadas son:

- **Big Data.** El crecimiento de los datos, o más específicamente, la disponibilidad de analítica para procesar estas grandes cantidades de datos, tendrá un impacto clave en conseguir obtener beneficios de los CPS. En particular, facilitará la producción de verdaderos sistemas socio-técnicos construidos sobre elementos CPS más empotrados, como por ejemplo, para una vida asistida o en automoción. Además, proporcionará las bases para una integración en todos los dominios, teniendo en cuenta que muchos de los sistemas analíticos son buenos en tratar datos no estructurados y correlar datos dispares.
- **La nube.** La computación en la nube proporcionará las bases para el análisis de datos de los CPS (incluyendo las capacidades analíticas de grandes cantidades de datos), que no puede realizarse en CPS individuales, ya sea por falta de potencia de procesado o por falta de acceso a los datos. La nube es el lugar natural para esto, debido a su potencia, escalabilidad y la habilidad de acceder a ella de forma distribuida geográficamente.
- **Ciber-seguridad.** La ciberseguridad tiene el potencial de ser una limitación seria para el futuro de los CPS. En términos de amenazas, la interconectividad aumenta mucho las posibilidades de ataque. En términos de riesgo, la conexión con dispositivos físicos significa que los compromisos de seguridad pueden tener un impacto en toda clase de servicios basados en CPS. Las características que pueden verse afectadas incluyen tanto la eficiencia en coste como la disponibilidad de servicios públicos (por ejemplo, transporte parcial y temporalmente bloqueado), aspectos democráticos (por ejemplo, una competición injusta), la integridad y la seguridad.

3.3 Entidades e iniciativas de referencia

En el ámbito de los sistemas ciber-físicos, son diversas las entidades e iniciativas que se han puesto en marcha en los últimos años.

A nivel de I+D+i europea, destacan especialmente la iniciativa tecnológica conjunta ECSEL, donde los CPS son una de las capacidades esenciales, y la asociación industrial ARTEMISIA, que deriva de la plataforma tecnológica ARTEMIS, centrada en sistemas empotrados de computación, tal y como muestra la siguiente figura.

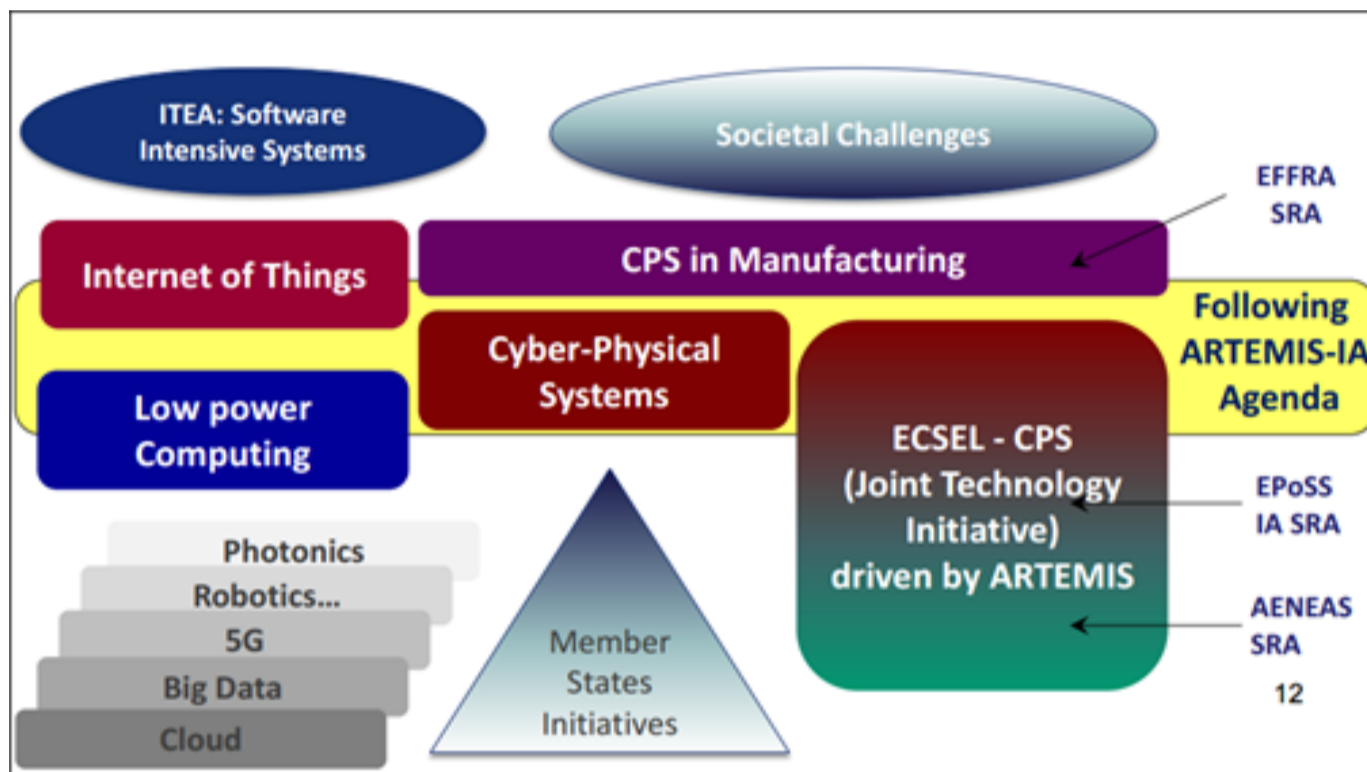


Figura 8. CPS en los programas europeos (Fuente: ARTEMIS-IA BE, Werner Steinhoeagl, January 2015¹⁸)

ECSEL

La ECSEL JU (*ECSEL Joint Undertaking – Electronic Components and Systems for European Leadership*, <http://www.ecsel-ju.eu/web/index.php>) es un **partenariado** público-privado que se constituye hasta diciembre de 2024 para avanzar en el estado del arte de los sistemas y componentes electrónicos mediante la unión de tres exitosas iniciativas europeas: la ENIAC JU (<http://www.eniac.eu/web/index.php>), la ARTEMIS JU (http://www.artemis-ju.eu/home_page) y la plataforma tecnológica europea EPoSS (<http://www.smart-systems-integration.org/>), abarcando las tres capacidades esenciales en el área de los componentes y sistemas electrónicos: **micro-nano electrónica, sistemas ciber-físicos/empotrados e integración de sistemas.**

18 Werner Steinhoeagl - ICT Calls in H2020 LEIT and the relevance of platform / innovation activities in LEIT and ECSEL-CPS <https://artemis-ia.eu/publication/download/publication/1111>

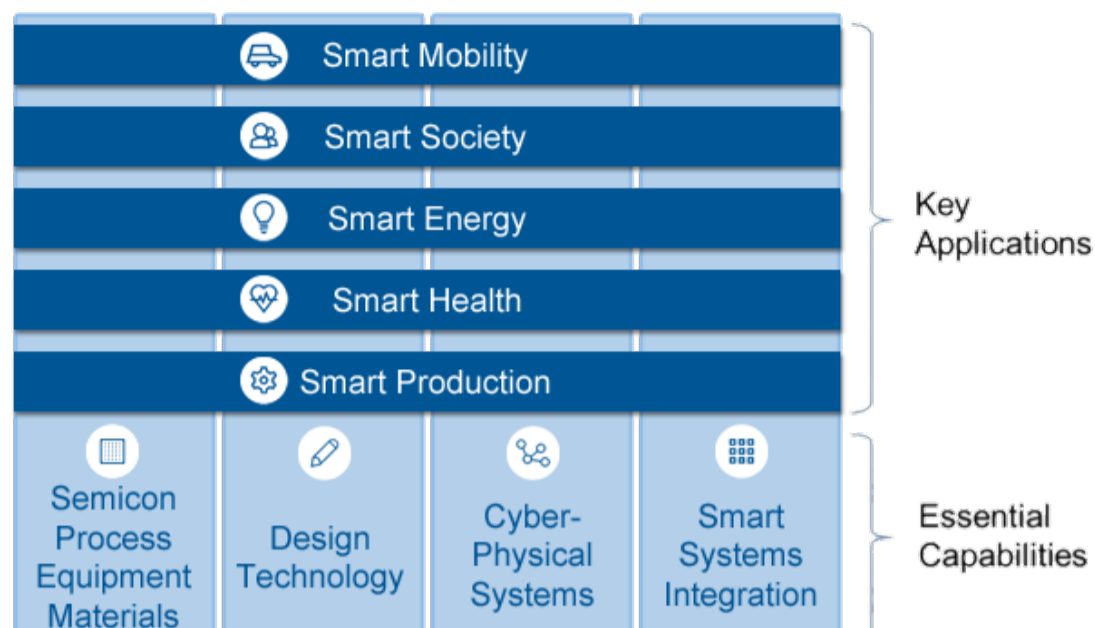


Figura 9. Capacidades-Dominios en sistemas y componentes electrónicos (Fuente: ECSEL JU)

De esta forma, la ECSEL JU fomenta avances y sinergias en los siguientes ámbitos principales:

- Tecnologías de diseño, procesos e integración, equipos, materiales y fabricación para microelectrónica y nanoelectrónica, buscando al mismo tiempo miniaturización, diversificación y diferenciación, e integración heterogénea.
- **Procesos, métodos, herramientas y plataformas, diseños de referencia y arquitecturas para sistemas de software o sistemas ciberfísicos/empotrados de control intensivo**, para conseguir excelente conectividad e interoperabilidad, seguridad funcional, alta disponibilidad y seguridad para las aplicaciones profesionales y de consumo, así como servicios conectados.
- Enfoques multidisciplinares para sistemas inteligentes, sustentados en el progreso del diseño holístico y la fabricación avanzada con el fin de obtener sistemas inteligentes autosuficientes y adaptables que dispongan de interfaces sofisticadas y ofrezcan funcionalidades complejas basadas, por ejemplo, en la perfecta integración de los procesos de detección, accionamiento, transformación, suministro de energía y trabajo en red.

ARTEMIS

La **plataforma tecnológica europea ARTEMIS** fue establecida en junio 2004 con el objetivo de reunir a los actores relevantes en el área de los **sistemas empotrados de computación**. Su tarea fundamental era definir una visión común y una **Agenda Estratégica de Investigación** para implementar dicha visión y que actuara como referencia en el dominio de los sistemas empotrados de computación, beneficiando a los sectores industriales que trabajen con tecnologías de sistemas embebidos y a la economía y a la sociedad europea en general. La primera versión de la agenda se publicó en marzo 2006.

Otro de sus objetivos fundamentales era establecer un marco de coordinación e integración donde la industria, entidades investigadoras, autoridades públicas, instituciones financieras y otros actores de la UE coordinaran sus actuaciones para implementar dicha Agenda.

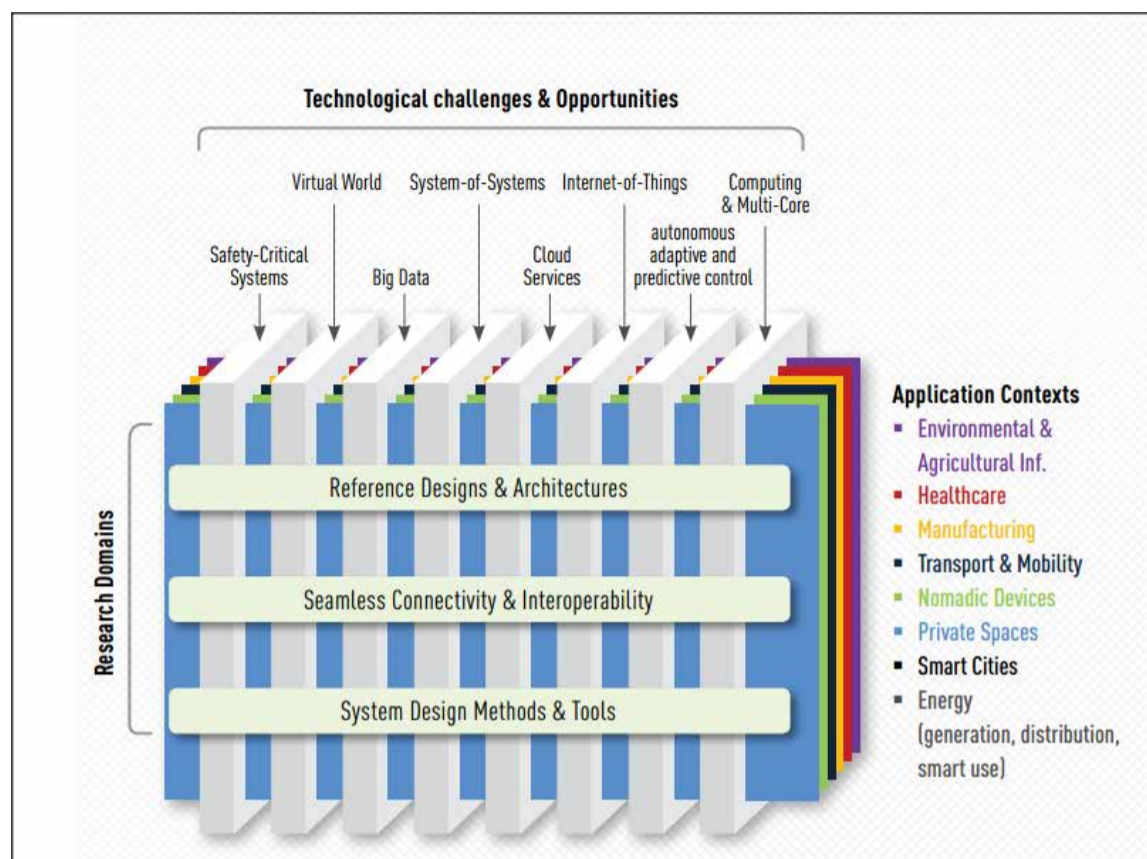


Figura 10. Matriz dominios de investigación-retos tecnológicos-contextos de aplicación para los CPS en 2030 (Fuente: "High-level vision 2030, version 2013", ARTEMIS SRA)

Las actividades de esta plataforma tecnológica fueron continuadas por **ARTEMISIA** (<https://artemis-ia.eu/>), la **Asociación Industrial de ARTEMIS**, que fue establecida en enero 2007 por cinco empresas fundadoras: Philips, ST Microelectronics, Thales, Nokia y DaimlerChrysler. ARTEMISIA **representa los intereses de la industria y la comunidad investigadora dentro de la ARTEMIS JU**.

Por otro lado, la **Empresa Común ARTEMIS** (*ARTEMIS Joint Undertaking*) fue establecida en febrero 2008 como una comunidad con base en Bruselas con una regulación de tipo consejo. La ARTEMIS JU implementa partes significativas de la Agenda Estratégica de Investigación creada por la industria, las entidades de investigación, los estados miembros participantes y el propio programa TIC de la Comisión. La ARTEMIS JU **gestiona y coordina las actividades de investigación mediante llamadas abiertas para propuestas**, siendo la última la de 2013 (ARTEMIS-JU Call 2013¹⁹).

Otras iniciativas relevantes son las **redes europeas de excelencia** o *NoE* (*Network of Excellence*), destacando en el ámbito de los sistemas ciber-físicos la ArtistDesign, el grupo de especial interés que ha derivado de la misma, EMSIG, y la HIPEAC, focalizada en computación de alto rendimiento en sistemas empotrados.

ArtistDesign

Red europea de excelencia para el diseño de sistemas empotrados (ArtistDesign – Design for Embedded Systems, FP7-ICT-2007-1, ICT-2007.3.3 - Embedded systems design, NoE, EU contribution: EUR 4 500 000, 2008-2012, <http://www.artist-embedded.org/artist/>).

19 <http://www.artemis-ju.eu/call2013>

Agrupación a 31 equipos de investigación, 15 entidades industriales, 25 partners académicos y 5 partners afiliados de colaboración internacional con el objetivo fundamental de construir, sobre estructuras y enlaces existentes creados con la *Artist2 NoE* del VI PM, un centro virtual de excelencia en el diseño de sistemas empotrados.

Las actividades de investigación se centran en cuatro grupos o clústeres temáticos: Modelado y Validación; Síntesis de software, generación de código y análisis temporal; Redes y sistemas operativos; plataformas y *MultiProcessor System-onChip* (MPSoC).

La red tiene un programa muy dinámico de colaboración internacional que permite la interacción a alto nivel con los mejores centros de investigación y actores industriales en EE.UU. (NSF, NASA, SRI, Boeing, Honeywell, Windriver, Carnegie Mellon, Vanderbilt, Berkeley, UPenn, UNC Chapel Hill, UIUC, etc.) y en Asia (Tsinghua University, Chinese Academy of Sciences, Seoul National University, East China Normal University, etc.)

EMSIG

El ***EMbedded systems Special Interest Group*** (<http://www.emsig.net/>) es la continuación de la red europea de excelencia ArtistDesign. Es un **grupo reconocido de expertos dentro de la comunidad investigadora más grande de sistemas empotrados** que:

- Hace uso de los resultados de la red de excelencia ArtistDesign.
- Ayuda a estructurar la comunidad de diseño de sistemas empotrados.
- Identifica las áreas de la futura I+D.
- Interactúa a alto nivel con la industria, agencias de financiación y otras estructuras diversas como ARTEMIS.
- Apoya en el avance del estado del arte del diseño de sistemas empotrados.
- Facilita el intercambio de ideas y conocimientos en la materia.
- Proporciona visibilidad y difusión de los proyectos.
- Apoya la creación de consorcios de proyectos y la aplicación de sistemas empotrados.
- EMSIG es parte de la EDAA (*European Design and Automation Association*, <http://www.edaa.com/>).

HiPEAC

Red europea de excelencia en el ámbito de los sistemas empotrados de computación de alto rendimiento (HiPEAC – High Performance and Embedded Architecture and Compilation, FP7-ICT-2007-1, ICT-2007.3.4 - Computing systems, NoE, EU contribution: EUR 3.800.000, 2012-2015, <https://www.hipeac.net/>).

Teniendo en cuenta que los dispositivos serán cada vez más, estarán más conectados y relacionados físicamente, serán cognitivos e inteligentes y que requerirán cada vez más recursos computacionales, de almacenamiento y de comunicación, se deben investigar retos clave como:

- Sistemas de computación fiables (seguros y fiables desde el diseño)
- Computación de alto rendimiento en los sistemas empotrados
- Eficiencia energética de los sistemas de información
- Herramientas y modelos para el diseño de sistemas de información por científicos no expertos en computación

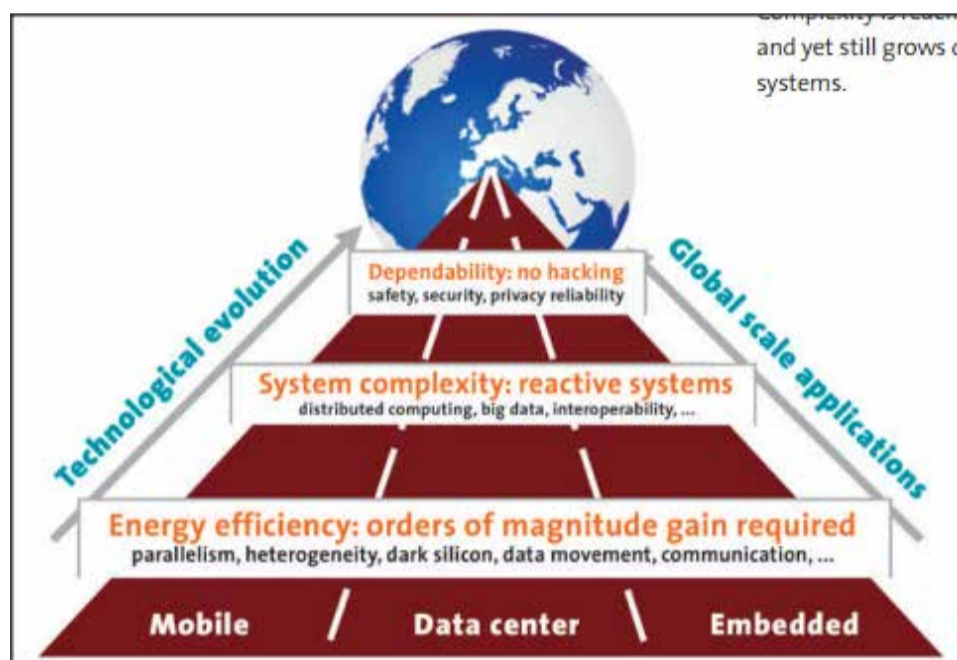


Figura 11. Áreas clave de la Visión de HiPEAC (Fuente: HiPEAC Vision 2015)

En este contexto, el objetivo de la red de excelencia HiPEAC3²⁰ es **dirigir y aumentar la investigación europea en sistemas de computación**, mejorar la calidad de la investigación europea en dicho ámbito y crear una comunidad paneuropea visible e integrada en cuanto a dichos sistemas de computación. Para ello la red se estructura en cuatro áreas de actuación: programa miembro, para el crecimiento de la red, programa de movilidad, para acercar a los partners, programa de coordinación de investigación, cuyo resultado tangible es el documento de visión de la red cada 2 años, y el programa de visibilidad, que coordina las acciones públicas de la red tipo conferencias, web, revista electrónica, etc.

Por último, destacamos en EE.UU. la **Cyber-Physical Systems Virtual Organization (CPS-VO)**, una extensa comunidad online de interés para investigadores y desarrolladores de sistemas ciber-físicos cuyo objetivo es impulsar la colaboración de estos profesionales en los entornos industriales, académicos y de gobierno.

Incluye instituciones del mundo académico, industrial así como gente que trabaja en muchas disciplinas con diferentes enfoques, métodos, herramientas y plataformas experimentales.

20 Predecesoras: HIPEAC 2 (FP7-ICT, 2008-2012) e HIPEAC1 (FP6-IST, 2004-2008)

Todas estas entidades están conectadas y evolucionan con un objetivo común: avanzar en el conocimiento de la ciencia y la ingeniería de los CPS. Esta organización cuenta con sponsors como la *National Science Foundation* y la *National Security Agency*.

El portal de la CPS-VO (<http://cps-vo.org/>), que está en versión beta, ofrece estos servicios: Establecimiento y gestión de grupos; Gestión de miembros, Gestión de contenidos (documentos, eventos...), Creación de taxonomías y asignación de atributos a contenidos, Repositorio documental con búsqueda taxonómica, Acceso basado en roles y control de visibilidad, Gestión de documentación encriptada, Calendarios de eventos, Servicios de email, y Foros.

3.4 Proyectos I+D+I europeos

Con el fin de conocer las iniciativas relevantes en materia de investigación, se han revisado los proyectos de Investigación y Desarrollo más recientes y destacados a nivel europeo en el ámbito de los CPS. Se ha elaborado una tabla con los datos básicos de cada proyecto más una relación de las entidades que forman el consorcio, acompañada de unas palabras clave que describen la investigación llevada a cabo. La fuente utilizada para extraer dicha información es la Comisión Europea²¹.

Esta información ha sido incluida con dos claros objetivos: por una parte, ofrecer una visión en conjunto de los actores europeos más activos en I+D para facilitar su análisis en una posible búsqueda de alianzas y, por otra, ofrecer de una manera sintética aquellos aspectos tecnológicamente más relevantes que permitan conocer las líneas de investigación llevadas a cabo actualmente de una manera rápida y directa.

Como contextualización, indicamos a continuación las oportunidades para los sistemas ciber-físicos en el nuevo **programa europeo de financiación de la I+D+I: Horizonte 2020**, tal y como muestra la siguiente gráfica.

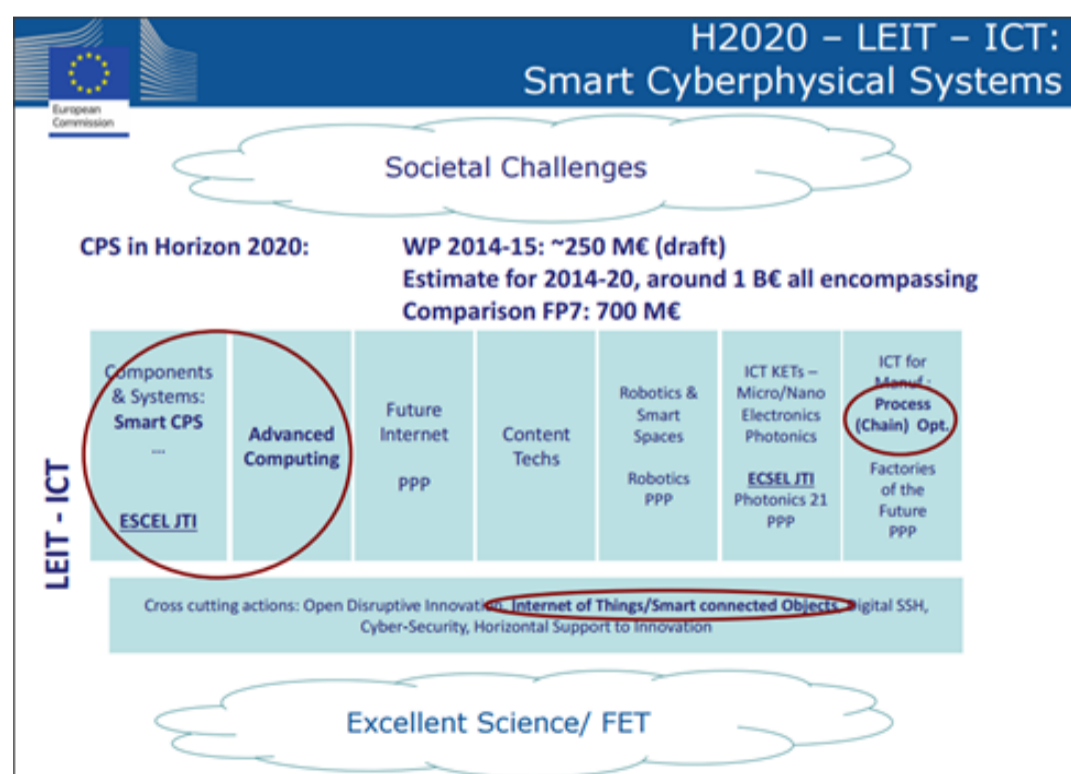


Figura 12. CPS en Horizonte 2020 (Fuente: Comisión Europea²²)

21 CORDIS (http://cordis.europa.eu/home_es.html); ICT1 CPS - Selected projects overview http://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=8310

22 Cyber-Physical Systems and Advanced Computing, Opportunities in Horizon 2020, Dr. Max Lemke, January 2013 http://ec.europa.eu/information_society/newsroom/cf/dae/document.cfm?doc_id=4281

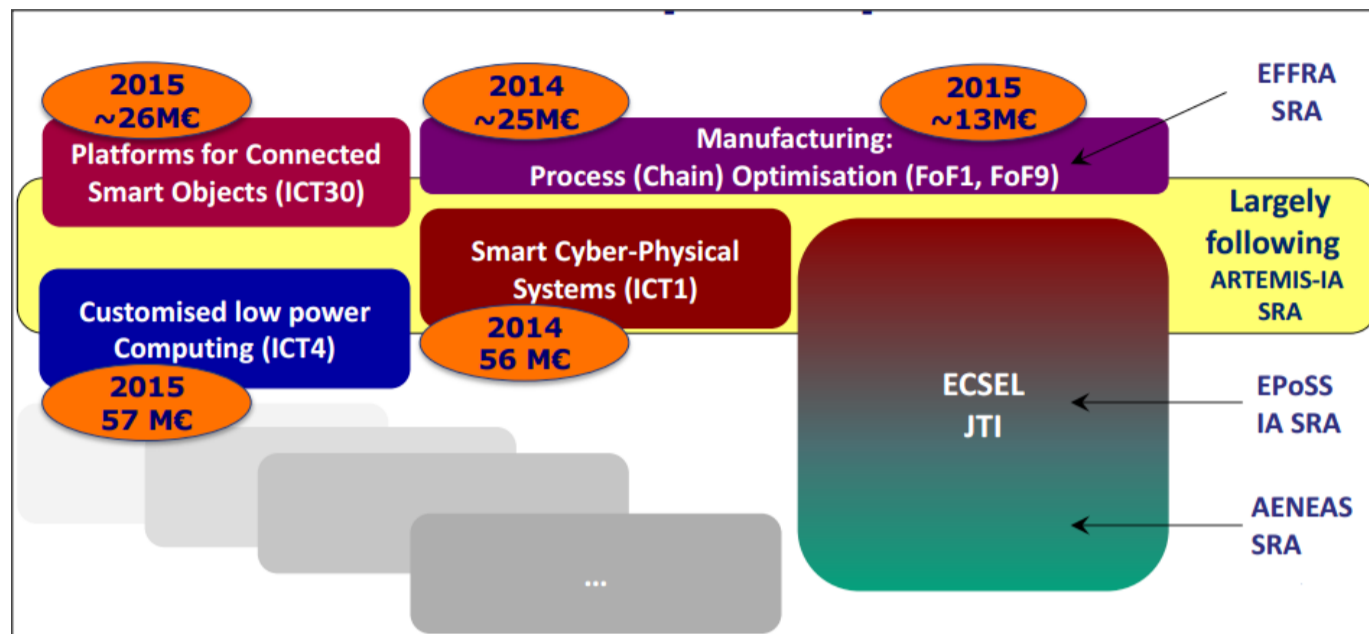


Figura 13. CPS en Programa de Trabajo de la Comisión Europea 2014/2015 (Fuente: Comisión Europea)

Tal y como muestra la figura anterior, los **topics** que recientemente han sido financiados en el programa de trabajo 2014/2015 en el ámbito de los CPS son los siguientes:

- **ICT1 - Smart Cyber-Physical Systems (2014)**

- Objetivos: nuevos paradigmas, conceptos, plataformas o herramientas que establezcan la base para los futuros sistemas ciber-físicos.
- *Stakeholders:* proveedores y usuarios de CPS, proveedores de herramientas y subsistemas, integradores de sistemas, entidades auditoras y certificadoras, universidades e institutos de investigación relacionados.
- Actividades: entornos de modelado e integración; métodos para CPS inteligentes, cooperativos y abiertos; conexión de innovadores a través de las cadenas de valor.

- **ICT4 - Customized and low power computing (2015)**

- I+D en servidores, micro-servidores y sistemas de computación empotrados altamente paralelizados basados en arquitecturas de ultra baja potencia.
- I+D en enfoques de programación multi-capa para explotar todo el potencial de las arquitecturas paralelas heterogéneas.
- Innovación en arquitecturas de referencia y plataformas en diferentes sectores y dominios de aplicación.
- Innovación en experimentos de aplicación que agrupen a todos los actores relevantes en la cadena de valor.

- **ICT30 - IoT&Platforms for Connected Smart Objects (2015)**

- Objetivos: crear plataformas que integren la futura generación de dispositivos, sistemas empotrados y tecnologías en red para una multitud de aplicaciones.
- *Stakeholders*: multidisciplinar (Internet/IoT, sistemas empotrados ...).
- Arquitecturas soportadas: configuración dinámica; inteligencia y conectividad integrada; sistemas auto-organizados y autónomos; casos de uso y aplicaciones interoperables.
- Actividades: implementaciones de referencia, prueba de concepto, demostración y validación con escenarios de uso innovadores.

- **FoF1 – Process optimization of manufacturing assets (2014)**

Objetivos desde la perspectiva de los CPS:

- En la planta: optimización de los procesos basados en CPS para fabricación adaptativa/inteligente.
- Necesidad: arquitecturas CPS escalables que exploten simulación y modelado, y algoritmos de control local avanzado que optimicen la toma de decisiones locales.
- Acciones: desarrollo de métodos para análisis en tiempo real, modelado y control para imitar y optimizar los procesos de facturación.
- Fuera de la planta: fabricación ágil y colaborativa.
- Necesidad: CPS/Cloud para dominar la complejidad de la red de suministro.
- Acciones: desarrollo de herramientas colaborativas que permitan compartición de datos y sincronización de procesos de negocio de principio a fin a lo largo de la cadena de suministro.

- **FoF 9 - ICT for Manufacturing SMEs (I4MS, 2015)**

Áreas tecnológicas objeto de las acciones de innovación:

- sistemas robóticos casi autónomos y altamente flexibles.
- servicios de modelado, simulación y analítica basados en computación de alto rendimiento en la nube.
- integración de módulos de sistemas ciber-físicos en los procesos de fabricación y en las cadenas de procesos para aumentar la sofisticación en las PYME manufactureras, y para crear servicios de valor añadido nuevos relacionados con el procesos de vigilancia y mantenimiento.

En cuanto a la estructura típica de un proyecto en este ámbito, las principales características son:

- Construidos en base a **redes paneuropeas de centros de competencia complementarios**.
- Incluyendo una **masa crítica de experimentos**, con foco industrial.
- **Colaboración** a lo largo de las **cadena de valor**.
- Implementación ligera a través de proyectos muy bien estructurados (5 M€ o más).
- **Abiertos a terceras partes** (financiación en cascada).

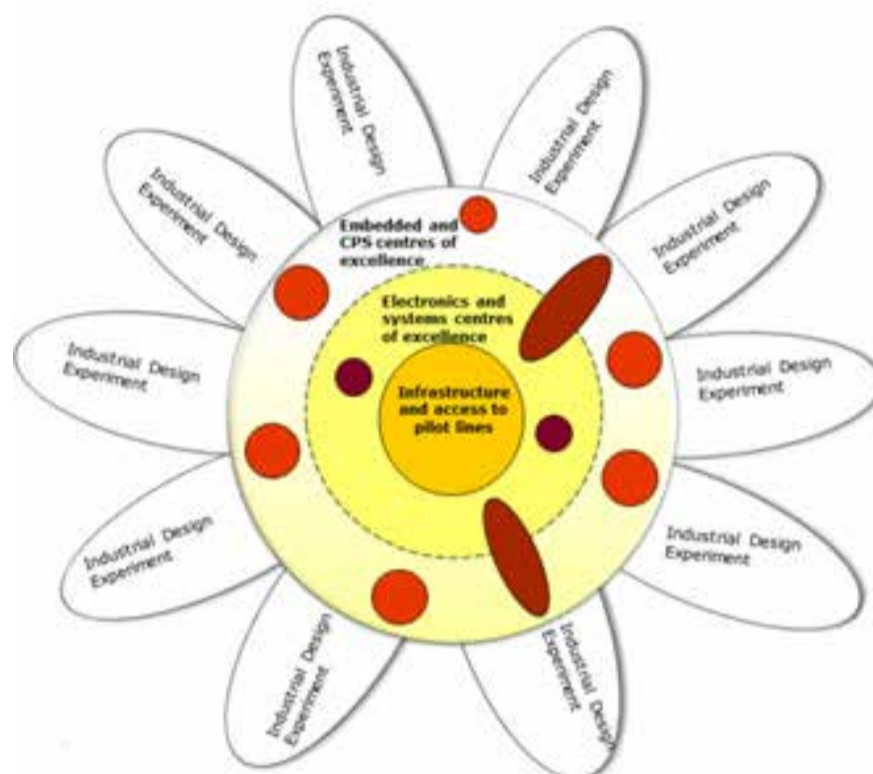


Figura 14. Mecanismos de implementación de proyectos CPS en H2020 (Fuente: Comisión Europea)

A continuación se resumen los objetivos de proyectos europeos relevantes en el ámbito de los CPS, que se incluyen en la Tabla 1 posterior:

- **CyPhERS - Cyber-Physical European Roadmap and Strategy** (enero 2013 – diciembre 2014, FP7-ICT-2013-10, ICT-2013.3.4 - Advanced computing, embedded and control systems, www.cyphers.eu/). Proyecto del VII PM cuyo objetivo es desarrollar una agenda estratégica integrada de investigación en CPS para Europa y proporcionar recomendaciones de acción para cubrir la identificación y priorización de áreas de investigación, apoyar la cooperación vertical y horizontal, y definir posibles partenariados de investigación. Además de responder a cuestiones relacionadas con la financiación de la investigación así como con formación y estandarización.

- **CPSE Labs - CPS Engineering Labs expediting and accelerating the realization of cyber-physical systems** (febrero 2015 – febrero 2018, H2020-ICT-2014-1, ICT-01-2014 - Smart Cyber-Physical Systems, <http://www.cpse-labs.eu/>). Proyecto del H2020 (*Innovatoin Action*) cuyo objetivo es facilitar en el ámbito de los CPS la experimentación y la maduración de productos y servicios, y acelerar la transferencia de tecnología a la industria europea para promover su competitividad. Para ello implementará una red europea colaborativa de centros expertos en ingeniería para el desarrollo de CPS en diferentes dominios. La actividad en Alemania, Francia y Suecia se centrará en el sector de automoción mientras que Reino Unido trabajará en sostenibilidad urbana. El centro de España, que se ubicará en la Universidad Politécnica de Madrid, se convertirá en el laboratorio de ciudades inteligentes para Europa y hará uso de SOFIA2, la solución de Internet de las Cosas y Big Data de Indra.
- **CPSoS - Towards a European Roadmap on Research and Innovation in Engineering and Management of Cyber-physical Systems of Systems** (octubre 2013 – marzo 2016, FP7-ICT-2013-10, ICT-2013.3.4 - Advanced computing, embedded and control systems, <http://www.cpsos.eu/>). Proyecto del VII PM cuyo objetivo es proveer un foro y una plataforma de intercambio para proyectos y comunidades en curso en el ámbito de los sistemas de sistemas, focalizándose en los retos que supone la ingeniería y puesta en marcha de sistemas técnicos donde los sistemas de computación y comunicación interaccionan con sistemas físicos de gran complejidad.
- **AMADEOS - Architecture for Multi-criticality Agile Dependable Evolutionary Open System-of-Systems** (octubre 2013-septiembre 2016, FP7-ICT-2013-10, ICT-2013.3.4 - Advanced computing, embedded and control systems, <http://amadeos-project.eu/>). Proyecto del VII PM cuyo objetivo es avanzar en el diseño de los sistemas de sistemas considerando la evolución temporal, mediante el establecimiento de un modelo conceptual, una arquitectura genérica y una metodología de diseño. Se incluyen herramientas para prototipado, modelado, desarrollo y evolución de los sistemas de sistemas sensibles al tiempo con posibles comportamientos emergentes.
- **DYMASOS - Dynamic Management of Physically Coupled Systems of Systems** (octubre 2013-septiembre 2016, FP7-ICT-2013-10, ICT-2013.3.4 - Advanced computing, embedded and control systems, <http://www.dymasos.eu/>). Proyecto del VII PM cuyo objetivo es desarrollar nuevos métodos para la gestión distribuida de grandes sistemas conectados físicamente (gestión autónoma distribuida y coordinación global). La investigación se evaluará mediante casos de uso en gestión y control de redes eléctricas, incluyendo la recarga de vehículos eléctricos y la gestión de producción industrial.
- **Local4Global - SYSTEM-OF-SYSTEMS THAT ACT LOCALLY FOR OPTIMIZING GLOBALLY** (octubre 2013-septiembre 2016, FP7-ICT-2013-10, ICT-2013.3.4 - Advanced computing, embedded and control systems, <http://local4global-fp7.eu/>). Proyecto del VII PM cuyo objetivo es desarrollar, testear y evaluar ampliamente una metodología/sistema genérico, integrado y completo funcionalmente para controlar sistemas de sistemas técnicos (TSoS) donde la reacción e interacción de los sistemas autónomos constitutivos depende sólo de su entorno local, optimizando la ejecución de los sistemas a nivel global (mínima infraestructura y mínimo esfuerzo de instalación). La validación se hará a través de dos casos de uso reales: tráfico en transporte y eficiencia en edificios.

- **SAFURE - SAFety and secURity by design for interconnected mixed-critical cyber-physical systems** (febrero 2015-febrero 2018, H2020-ICT-2014-1, ICT-01-2014 - Smart Cyber-Physical Systems, <http://www.safure.eu/>). Proyecto del H2020 (*Research and Innovation Action*) cuyo objetivo es diseñar sistemas ciber-físicos garantizando la seguridad. El resultado será un framework con capacidad para detectar, prevenir y proteger de amenazas de seguridad. Permitirá monitorizar desde el nivel de aplicación al nivel del hardware los potenciales ataques a la integridad del sistema desde el punto de vista de amenazas de tiempo, energía, temperatura y datos. Se probará en 3 casos de uso industriales en el ámbito de automoción y telecomunicaciones.
- **CP-SETIS: Towards Cyber-Physical Systems Engineering Tools Interoperability Standardisation** (marzo 2015 - marzo 2017, H2020-ICT-2014-1, ICT-01-2014 - Smart Cyber-Physical Systems, <http://cp-setis.eu/>). Proyecto del H2020 cuyo objetivo principal es definir y establecer una estructura organizacional sostenible, como una plataforma que agrupe a los *stakeholders* relevantes, para coordinar todas las actividades relacionadas con *IOS (Interoperability Specification)*, un estándar internacional abierto para la interoperabilidad de las herramientas de desarrollo de CPS. En especial para la estandarización formal y nuevas extensiones del IOS.
- **TAMS4CPS - Trans-Atlantic Modelling and Simulation For Cyber-Physical Systems** (febrero 2015- febrero 2017, H2020-ICT-2014-1, ICT-01-2014 - Smart Cyber-Physical Systems, <http://www.tams4cps.eu/>). Proyecto del H2020 (*Innovation Action*) cuyo objetivo es sentar las bases para una colaboración específica entre la Unión Europea y EE.UU. en cuanto a modelado y simulación de sistemas ciber-físicos. Para ello, se trabajará en una agenda estratégica de investigación y colaboración, un conjunto de casos de uso para evaluar la colaboración, y un informe de estado del arte como punto de partida de la investigación colaborativa.
- **U-Test - Testing Cyber-Physical Systems under Uncertainty: Systematic, Extensible, and Configurable Model-based and Search-based Testing Methodologies** (enero 2015 - enero 2018, H2020-ICT-2014-1, ICT-01-2014 - Smart Cyber-Physical Systems, <http://www.u-test.eu/>). Proyecto del H2020 (*Research and Innovation Action*) cuyo objetivo es mejorar la fiabilidad de los CPS mediante la definición de entornos de testeo basado en modelos que permitan el testeo global de los CPS bajo incertidumbre de forma efectiva en coste. Se han escogido dos casos de uso: deportes (monitorización de la salud de atletas) y embalaje y transporte.
- **UnCoVerCPS - Unifying Control and Verification of Cyber-Physical Systems** (enero 2015 - enero 2019, H2020-ICT-2014-1, ICT-01-2014 - Smart Cyber-Physical Systems). Proyecto del H2020 (*Research and Innovation Action*) cuyo objetivo es proporcionar métodos para un proceso más rápido y eficiente de desarrollo y operación de sistemas ciber-físicos de seguridad crítica en entornos parcialmente desconocidos. Los métodos se validarán en los siguientes casos de uso: automoción (vehículos automáticos), redes eléctricas inteligentes, y fabricación colaborativa con robots.

- **IMMORTAL - Integrated Modelling, Fault Management, Verification and Reliable Design Environment for Cyber-Physical Systems** (marzo 2015-marzo 2018, H2020-ICT-2014-1, ICT-01-2014 - Smart Cyber-Physical Systems). Proyecto del H2020 (*Research and Innovation Action*) cuyo objetivo es desarrollar una herramienta integrada basada en modelado para la gestión de fallos, la verificación y el diseño fiable de CPS, impactando de forma significativa en cuanto al tiempo de desarrollo y a los costes de mantenimiento de sistemas ciber-físicos fiables. La herramienta será testada en casos de uso reales en el sector aeroespacial (en concreto, en un ordenador a bordo de un satélite).
- **AXIOM - Agile, eXtensible, fast I/O Module for the cyber-physical era** (febrero 2015-febrero 2018, H2020-ICT-2014-1, ICT-01-2014 - Smart Cyber-Physical Systems, <http://www.axiom-project.eu/>). Proyecto del H2020 (*Research and Innovation Action*) cuyo objetivo es investigar nuevas arquitecturas software/hardware para CPS que permitan la programación sencilla de sistemas multi-núcleo y multi-placa mediante el modelo de programación de código abierto OmpSs. Se diseñará y validará una placa basada en ARM con capacidades mejoradas para interactuar con el mundo físico. Los escenarios de testeo serán la video-vigilancia inteligente (coordinación de múltiples cámaras en un evento) y el hogar inteligente (nuevo termostato inteligente).
- **sCorPiuS - European Roadmap for Cyber-Physical Systems in Manufacturing** (febrero 2015 - febrero 2017, H2020-FoF-2014, FoF-01-2014 - Process optimisation of manufacturing assets). Proyecto del H2020 (*Coordination & support action*) cuyo objetivo es investigar el papel de los sistemas ciber-físicos como palanca para mejorar el rendimiento en fabricación. Se creará una hoja de ruta que destaque las tendencias tecnológicas más importantes en este sentido.

Acrónimo	Título. URL.	País (líder)	Consortio	Duración	Presupuesto	Palabras clave
CyPhERS	Cyber-Physical European Roadmap and Strategy www.cyphers.eu/	Germany (FORTISS GMBH)	UNIVERSITE JOSEPH FOURIER GRENOBLE France UNIVERSITA DEGLI STUDI DI TRENTO Italy KUNGLIGA TEKNISKA HOEGSKOLAN Sweden UNIVERSITY OF YORK United Kingdom CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE France	From 2013-07-01 to 2014-12-31	Total cost: EUR 584 694 EU contribution: EUR 535 000	Cyber-Physical, Roadmap, Strategy, European Research Agenda
CPSELabs	CPS Engineering Labs expediting and accelerating the realization of cyber-physical systems http://www.cpse-labs.eu/	Germany (FORTISS GMBH)	KUNGLIGA TEKNISKA HOEGSKOLAN Sweden OFFICE NATIONAL D'ETUDES ET DE RECHERCHES AEROSPATIALES France UNIVERSITY OF NEWCASTLE UPON TYNE United Kingdom OFFIS EV Germany INDRA SISTEMAS SA Spain STEINBEIS INNOVATION GGMBH Germany CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE France UNIVERSIDAD POLITECNICA DE MADRID Spain	From 2015-02-01 to 2018-02-01	Total cost: EUR 7 654 030 EU contribution: EUR 7 437 655	Cyber-physical systems, Engineering Labs, CPS engineering, Added-value experiments, Engineering Framework
CPSoS	Towards a European Roadmap on Research and Innovation in Engineering and Management of Cyber-physical Systems of Systems http://www.cps-sos.eu/	Germany (TECHNISCHE UNIVERSITAET DORTMUND)	INNO TSD France TECHNISCHE UNIVERSITEIT EINDHOVEN Netherlands HAYDN CONSULTING LIMITED United Kingdom	From 2013-10-01 to 2016-03-31	Total cost: EUR 688 823 EU contribution: EUR 561 000	Cyber-physical Systems, European Roadmap, Systems of Systems, Exchange platform
AMADEOS	Architecture for Multi-criticality Agile Dependable Evolutionary Open System-of-Systems http://amadeos-project.eu/	Italy (UNIVERSITA DEGLI STUDI DI FIRENZE)	TECHNISCHE UNIVERSITAET WIEN Austria UNIVERSITE JOSEPH FOURIER GRENOBLE France RESILTECH SRL Italy EUROPEAN NETWORK FOR CYBER SECURITY COOPERATIEF UA Netherlands THALES NEDERLAND BV Netherlands CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE France	From 2013-10-01 to 2016-09-30	Total cost: EUR 3 406 373 EU contribution: EUR 2 481 999	System of Systems, Architecture design, Real-time systems, Dependability, Security, Disaster management, Transport sector, Energy distribution

DYMASOS	Dynamic Management of Physically Coupled Systems of Systems http://www.dymasos.eu/	Germany (TECHNISCHE UNIVERSITAET DORTMUND)	EIDGENOESSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE ZURICH Switzerland RHEINISCH-WESTFAELISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE AACHEN Germany EUTEXOO GMBH Germany BASF SE Germany INEOS KOLN GMBH Germany OPTIMIZACION ORIENTADA A LA SOSTENIBILIDAD SL Spain AYESA ADVANCED TECHNOLOGIES SA Spain UNIVERSIDAD DE SEVILLA Spain INNO TSD France SVEUCILISTE U ZAGREBU FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RACUNARSTVA Croatia HEP-OPERATOR DISTRIBUCIJSKOG SUSTAVA DOO ZA DISTRIBUCIJU I OPSKRBU ELEKTRICNE ENERGIJE D.O.O. Croatia	From 2013-10-01 to 2016-09-30	Total cost: EUR 3 433 742 EU contribution: EUR 2 700 000	System of Systems, Large physically connected systems, Dynamic Management
Local4Global	SYSTEM-OF-SYSTEMS THAT ACT LOCALLY FOR OPTIMIZING GLOBALLY http://local4global-fp7.eu/	GR (ETHNIKO KENTRO EREVNAS KAI TECHNOLOGIKIS ANAPTXYIS)	EIDGENOESSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE ZURICH Switzerland TECHNISCHE UNIVERSITAET MUENCHEN Germany RHEINISCH-WESTFAELISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE AACHEN Germany TRANSVER GMBH Germany FUNDACION TEKNIKER Spain	From 2013-10-01 to 2016-09-30	Total cost: EUR 3 197 058 EU contribution: EUR 2 515 864	System of Systems, Global optimization, TSoS
SAFURE	SAFety and secU-Rity by design for interconnected mixed-critical cyber-physical systems http://www.safure.eu/	Austria (TECHNIKON FORSCHUNGS-UND PLANUNGSESELLSCHAFT MBH)	ESCRYPT GMBH EMBEDDED SECURITY Germany MAGNETI MARELLI S.P.A. Italy TTTECH COMPUTERTECHNIK AG Austria SYSGO AG Germany SYM TAVISION GMBH Germany THALES SA France TECHNISCHE UNIVERSITAT BRAUNSCHWEIG Germany BARCELONA SUPERCOMPUTING CENTER - CENTRO NACIONAL DE SUPERCOMPUTACION Spain SCUOLA SUPERIORE DI STUDI UNIVERSITARI E DI PERFEZIONAMENTO SANT'ANNA Italy EIDGENOESSISCHE TECHNISCHE HOCHSCHULE ZUERICH Switzerland THALES COMMUNICATIONS & SECURITY SAS France	From 2015-02-01 to 2018-02-01	Total cost: EUR 5 702 631,25 EU contribution: EUR 5 231 375	Cyber-physical systems, Safety and security, Embedded dependable systems, Security threats

CP-SETIS	Towards Cyber-Physical Systems Engineering Tools Interoperability Standardisation http://cp-setis.eu/	Germany (SafeTRANS e.V.)	KUNGLIGA TEKNISKA HOEGSKOLAN Sweden AVL LIST GMBH Austria ARTEMISIA VERENIGING Netherlands AIT Austrian Institute of Technology GmbH Austria OFFIS EV Germany SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT Germany THALES GLOBAL SERVICES SAS France	From 2015-03-01 to 2017-03-01	Total cost: EUR 780 000,37 EU contribution: EUR: 698 895	Cyber-Physical Systems, Engineering Tools, Interoperability Specification, Standardization, Stakeholders
TAMS4CPS	Trans-Atlantic Modelling and Simulation For Cyber-Physical Systems http://www.tams4cps.eu/	United Kingdom (LOUGHBOROUGH UNIVERSITY)	UNIVERSITY OF NEWCASTLE UPON TYNE United Kingdom STEINBEIS INNOVATION GGMBH Germany	From 01/02/2015 to 01/02/2017	Total cost: EUR 399 650 EU contribution: EUR 399 649,75	Cyber-Physical Systems, Modelling, Simulation, Research Agenda
U-Test	Testing Cyber-Physical Systems under Uncertainty: Systematic, Extensible, and Configurable Model-based and Search-based Testing Methodologies http://www.u-test.eu/	Norway (OSLO MEDTECH FORENING)	SIMULA RESEARCH LABORATORY AS Norway FRAUNHOFER GESELLSCHAFT ZUR FORDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG EV Germany TECHNISCHE UNIVERSITAET WIEN Austria IKERLAN SCL Spain ULMA MANUTENCION S. COOP.S pain FUTURE POSITION X IDEELL FORENING Sweden Värmlands läns landsting Sweden EASY GLOBAL MARKET SAS France	From 2015-01-01 to 2018-01-01	Total cost: EUR 3 713 233,75 EU contribution: EUR 3 713 233,75	Cyber-Physical Systems, Testing for uncertainty, Dependability
UnCoVer-CPS	Unifying Control and Verification of Cyber-Physical Systems	Germany (TECHNISCHE UNIVERSITAET UENCHEN)	UNIVERSITE JOSEPH FOURIER GRENOBLE 1 France UNIVERSITAET KASSEL Germany POLITECNICO DI MILANO Italy General Electric Deutschland Holding GmbH Germany ROBERT BOSCH GMBH Germany ESTEREL TECHNOLOGIES SA France DEUTSCHES ZENTRUM FUER LUFT - UND RAUMFAHRT EV Germany FUNDACION TECNALIA RESEARCH & INNOVATION Spain R.U.Robots Limited United Kingdom	From 2015-01-01 to 2019-01-01	Total cost: EUR 4 932 902,75 EU contribution: EUR 4 932 902,25	Cyber-Physical Systems, Verification, Conformance testing

IMMORTAL	Integrated Modelling, Fault Management, Verification and Reliable Design Environment for Cyber-Physical Systems	Estonia (TALLINNA TEHNIKAU-LIKOOL)	<p>DEUTSCHES ZENTRUM FUER LUFT - UND RAUMFAHRT EV Germany</p> <p>TECHNISCHE UNIVERSITAET GRAZ Austria</p> <p>UNIVERSITEIT TWENTE Netherlands</p> <p>IBM ISRAEL - SCIENCE AND TECHNOLOGY LTD Israel</p> <p>OÜ TESTONICA LAB Estonia</p> <p>RECORE SYSTEMS BV Netherlands</p>	From 2015-03-01 to 2018-03-01	<p>Total cost: EUR 3 996 652,5</p> <p>EU contribution: EUR 3 996 652,5</p>	Cyber-Physical Systems, Dependability, Fault management, Verification, Reliable design
AXIOM	Agile, eXtensible, fast I/O Module for the cyber-physical era http://www.axiom-project.eu/	Italy (UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI SIENA)	<p>BARCELONA SUPERCOMPUTING CENTER - CENTRO NACIONAL DE SUPERCOMPUTACION Spain</p> <p>EVIDENCE SRL Italy</p> <p>FOUNDATION FOR RESEARCH AND TECHNOLOGY HELLAS Greece</p> <p>HERTA SECURITY SL Spain</p> <p>SECO SRL Italy</p> <p>VIMAR SPA Italy</p>	From 2015-02-01 to 2018-02-01	<p>Total cost: EUR 3 945 937,5</p> <p>EU contribution: EUR 3 945 937,5</p>	Cyber-Physical Systems, Software/hardware architectures Programmability, OmpSs
sCorPiuS	European Roadmap for Cyber-Physical Systems in Manufacturing	Italy (FONDAZIONE POLITECNICO DI MILANO)	<p>OBERT BOSCH GMBH Germany</p> <p>SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT Germany</p> <p>SCUOLA UNIVERSITARIA PROFESSIONALE DELLA SVIZZERA ITALIANA (SUPSI) Switzerland</p> <p>HOLONIX SRL-SPIN OFF DEL POLITECNICO DI MILANO Italy</p> <p>FUNDACION TECNALIA RESEARCH & INNOVATION Spain</p>	From 2015-02-01 to 2017-02-01	<p>Total cost: EUR 792 938,75</p> <p>EU contribution: EUR 610 013,75</p>	Cyber-Physical Systems, European roadmap, Manufacturing

Tabla 1. Proyectos I+D+i europeos relacionados con CPS (Fuente: Elaboración propia)

3.5 Mercado y sectores de aplicación

En el documento de visión a 2030 de ARTEMIS-IA, la asociación industrial en el ámbito de los sistemas empotrados de computación, e ITEA, el clúster Eureka que fomenta la I+D+I en sistemas y servicios intensivos en software [5], se describe el **impacto de la "Tecnología Digital" en términos de ingresos y empleos**, englobando en este marco los siguientes subsectores:

- Hardware (semiconductores, PCs, tablets, servidores, almacenamiento, periféricos).
- Software (incluyendo software empotrado paquetizado).
- Servicios IT.
- IT interna.
- Software empotrado en productos de mercados verticales (automoción, salud, etc.).

El **mercado global** de la "Tecnología Digital" se estima en **3,3 billones de dólares (4,5% del PIB global)**, correspondientes a alrededor de **50 millones de puestos de trabajo**. Tal y como muestra la siguiente gráfica, de ese mercado global el software embebido representa el 11,5%.

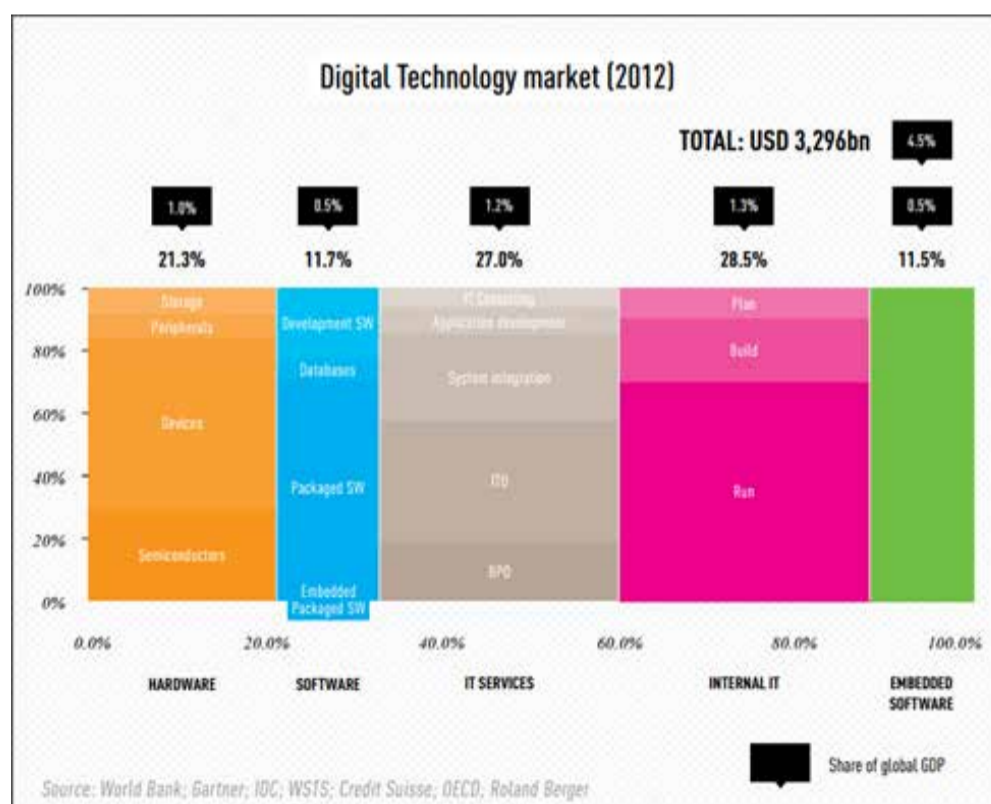


Figura 15. Mercado global del sector "Tecnología Digital" (Fuente: ARTEMISIA-ITEA, 2013)

Si lo vemos desde la perspectiva de la innovación en software que persiguen ARTEMIS e ITEA, tenemos un **mercado global** de aproximadamente **2,6 billones de dólares y 44 millones de puestos de trabajo**.

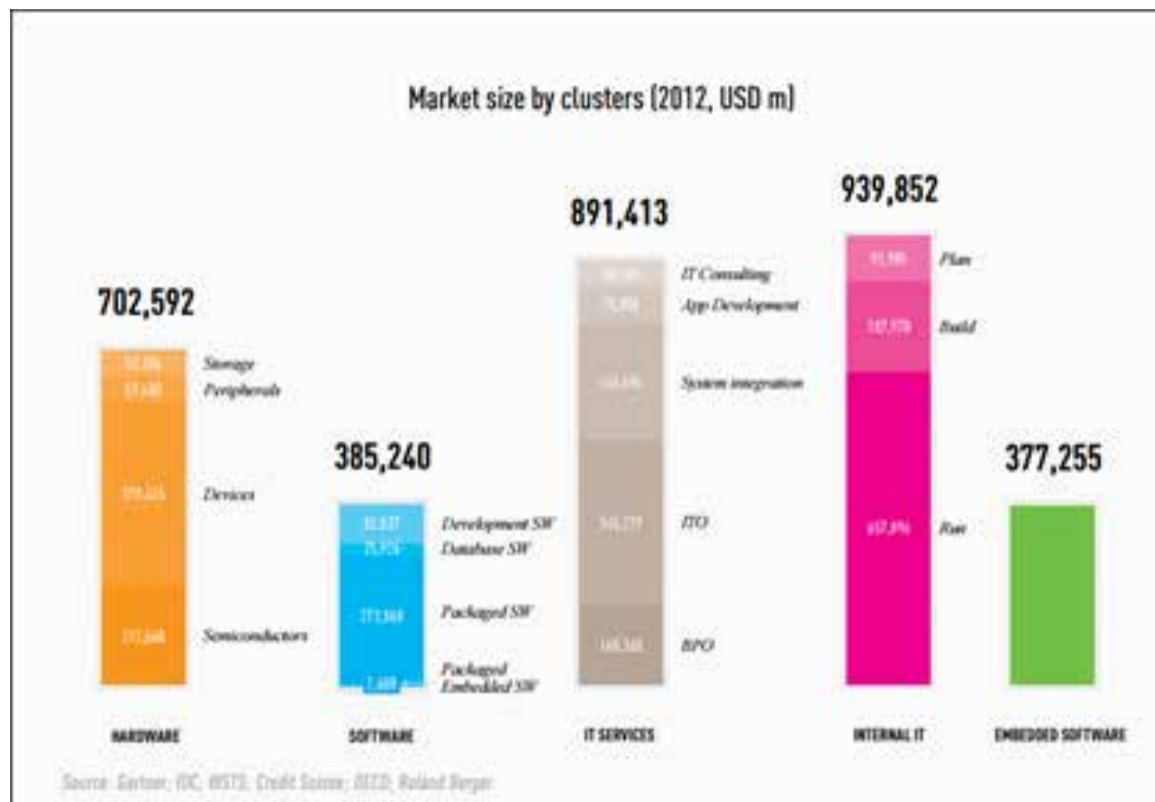


Figura 16. Mercado global de "Tecnología Digital" por subsector (Fuente: ARTEMISIA-ITEA, 2013)

Particularizando para **Europa**, se estiman **9,1 millones de empleos** en dicho sector (**0,2 millones de trabajos en hardware**, incluyendo semiconductores, **y 8,9 millones en software y servicios**). De los 8,9 millones de empleos en software y servicios, tal y como muestra la siguiente gráfica, **1,1 millones de europeos están trabajando en software empotrado**.

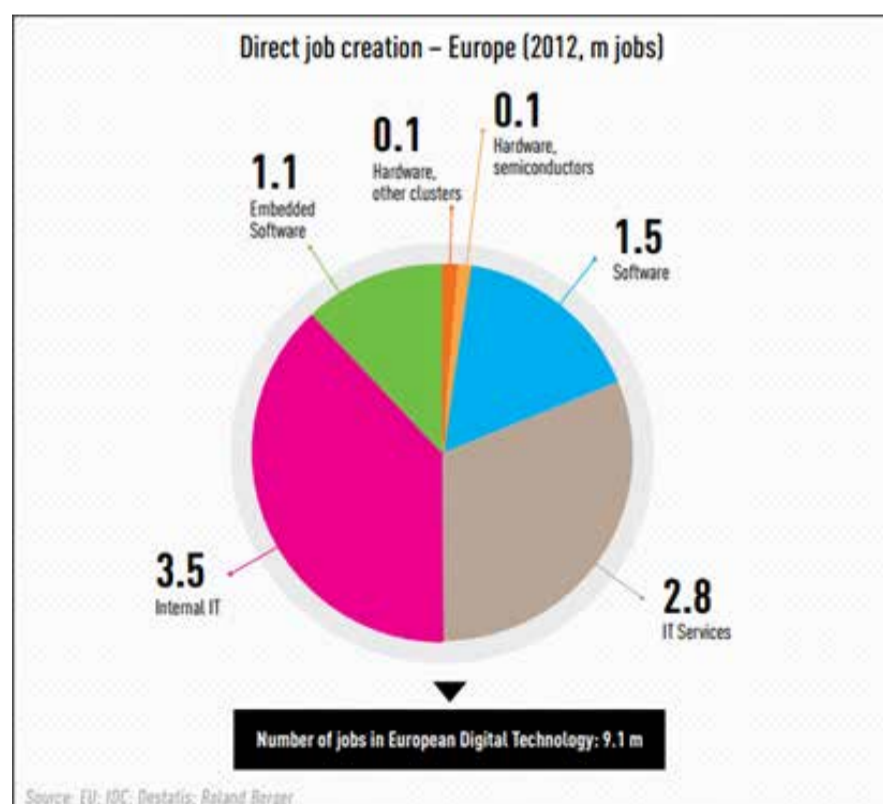


Figura 17. Empleados europeos en "Tecnología Digital" por subsector (Fuente: ARTEMISIA-ITEA, 2013)

En cuanto a la **inversión en I+D en Europa en el ámbito de las “tecnologías digitales empotradas”** (*hardware + software de sistemas empotrados así como la extensión natural a sistemas ciber-físicos*), se estima un acumulativo de **157.000 millones de euros desde 2013 hasta 2020**, siendo **casi 16.000 millones** de euros de esta inversión europea lo correspondiente a **proyectos de I+D colaborativos**.

Domain	Turnover Billion euros of EU companies in 2012	Turnover growth/yr	R&D % overall	R&D % EDT related	R&D growth/ yr	R&D on EDT in EU (2012) Billion euros	R&D on EDT in EU (2020) Billion euros	Cumulative R&D 2012-2020	Collaborative part	RDI OPEX
Applications domain	1390	4.7%	4.9%	1.00%	5.6%	14	21	157	10%	16

Figura 18. Estimación de gasto en I+D en tecnologías digitales empotradas para Europa en periodo 2013-2020 (Fuente: ARTEMISIA-ITEA, 2013)

Como ya avanzamos en la introducción, los sistemas ciber-físicos proporcionan **eficiencia e inteligencia en cualquier dominio de aplicación** (“Smart Everything Everywhere”)[4]:

- **Transporte**, garantizando la creciente demanda de transporte de mercancías y personas de forma individual, segura y sostenible
- **Energía**, permitiendo una coordinación descentralizada y cooperativa de las redes eléctricas, facilitando la integración estable de fuentes de energía renovables e impulsando el desarrollo de nuevos servicios de valor añadido para operadores y consumidores finales
- **Sanidad**, ofreciendo soluciones de cuidado de la salud personalizadas y proactivas para una sociedad cada vez más envejecida, manteniendo el bienestar de los ciudadanos de forma sostenible económicamente
- **Fabricación**, proporcionando una evolución de la producción en masa hacia fabricación personalizada y flexible, lo que supone una mayor competitividad tanto en la producción como en la industria de automatización
- **Infraestructuras**, ayudando a reducir los costes de operación y mantenimiento de la infraestructura de las ciudades así como a proporcionar planificación estratégica a la vez que se optimiza el confort y se respetan las necesidades de cada ciudadano particular, en definitiva, posibilitando las ciudades inteligentes

Según el citado estudio de ARTEMIS-IA e ITEA, el **impacto en los diferentes dominios de aplicación de estas tecnologías digitales empotradas supondrá la creación de hasta 800.000 trabajos**, teniendo en cuenta que un gran porcentaje de las características clave de los productos de los diferentes mercados verticales depende en gran medida de estas tecnologías, tal y como muestra la siguiente gráfica (en media, se ha supuesto un 60%). Así, las áreas con mayor dependencia de estas tecnologías según el estudio son, por orden, las siguientes: **equipamiento eléctrico y electrónica, sector salud, sector aeroespacial y defensa, ingeniería industrial y automoción**.

Application area	Estimated % of features based on EDT	
	2013	2020
Aerospace & defence	62	69
Automotive	50	75
Electronic and electrical equipment	70	80
Healthcare equipment and services	70	80
Industrial engineering	52	56

Figura 19. Fracción de características de productos posibilitados por las tecnologías digitales empotradas en diferentes subsectores (Fuente: ARTEMISIA-ITEA, 2013)

En cuanto a la inversión en I+D en tecnologías digitales empotradas, se espera que en 2020 el 75% de la inversión de I+D en el área de equipamiento eléctrico y electrónica sea en estas tecnologías, alcanzando cuotas del 55% en el sector salud y el de ingeniería industrial.

Application area	WW turnover of EU companies in 2012	Overall R&D as % of turnover in 2012 [tUS\$2012]	Overall R&D spending as % of turnover 2013	Overall R&D spending as % of turnover 2020	Fraction in % of total R&D spent for EDT 2013	Fraction in % of total R&D spent for EDT 2020
	Euros (billion)	%	%	%	%	%
Aerospace & defence	150	5.9	5.4	5.4	30	37
Automotive	698	5.1	6	5	27	38
Electronic and electrical equipment	156	5	8.4	8.4	70	75
Healthcare equipment and services	65	4.1	4	4	50	55
Industrial engineering	236	3.1	4.4	4.8	50	55

Figura 20. Inversión en I+D en tecnologías digitales empotradas por área de aplicación en Europa según expertos (Fuente: ARTEMISIA-ITEA, 2013)

A continuación se describen brevemente las posibilidades que ofrecen los CPS en diferentes dominios de aplicación según el análisis realizado en el marco del proyecto europeo CyPhERS [4].

Movilidad inteligente

El transporte es la **base de cualquier sociedad moderna**, siendo el núcleo de la cadena de suministro para mercados internos y externos además de posibilitar la movilidad de las personas. Por ello, además de suponer una industria considerable de más de 500.000 millones de euros de valor añadido, que contribuye al **5% del PIB** y emplea de forma directa a **10 millones de personas**, es un elemento clave para la competitividad de Europa.

La **infraestructura de transporte cada vez es más compleja**, por lo que requiere de una gestión eficaz que garantice la competitividad económica y además sea sostenible. Por su parte, los **servicios de transporte suponen la coordinación de procesos a lo largo de diversos sectores** (automoción, aeroespacial, ferroviario), que están influenciados por los correspondientes vehículos (coches, caminos, aviones, trenes) y los diferentes componentes de infraestructura (carreteras, aeropuertos, ferrocarril), que poseen ambos diferentes características (velocidad, capacidad, coste, gestión...).

Además, la **logística se ha convertido en una parte integral de los procesos industriales y de la sociedad**, por lo que se está acelerando la transición hacia la **movilidad como servicio** desde la movilidad como la provisión de vehículos. En consecuencia, las soluciones de movilidad moderna cada vez se enfocarán más en **formas de transporte muy automáticas**, que permitan un transporte individual sin necesidad de disponer de vehículo propio. Esto supone pasar del transporte de mercancías de larga distancia y en masa por avión, tren, barco o camión a **transporte individual de última milla**, mediante vehículos pequeños guiados de forma automática como los drones, además de **movilidad de pasajeros mediante medios de transporte automatizados públicos, compartidos o privados**. Por ello, una movilidad altamente automatizada no solo es necesaria para atender la mayor demanda de movilidad sino que además soporta los objetivos sociales de mayor seguridad, sostenibilidad y fiabilidad.

Este escenario de **control automatizado y coordinación** en un sistema de transporte puede ser resuelto por un sistema ciber-físico, pues permite **procesos logísticos cooperativos** mediante vehículos individuales o incluso organizaciones, integrando el conjunto de sensores y actuadores necesarios en los vehículos y en la infraestructura, y permitiendo la interconexión entre vehículos, infraestructura y servicios de soporte. El sistema ciber-físico permitirá un **uso más eficiente de la carretera o infraestructura** de ferrocarril o aérea disponible, mediante la **coordinación del flujo de tráfico general y la cooperación entre los vehículos autónomos**.

En definitiva, los sistemas ciber-físicos permitirán sistemas de transporte inteligentes, que facilitan una economía más eficiente y sostenible, además de soportar una sociedad cada vez más envejecida y urbanizada.

Energía inteligente

Europa, como cualquier sociedad altamente industrializada, se construye sobre una infraestructura que depende de la **provisión fiable de energía, y en particular, de energía eléctrica**. Es esencial para cualquier aspecto de la vida cotidiana. Actualmente, la demanda anual europea de energía primaria está cercana a los 22 PWh, siendo el 20% de energía eléctrica.

Hay que tener en cuenta que la energía eléctrica no se almacena y acumula de forma fácil, sino que requiere de un sistema complejo de producción, transmisión y distribución con un balance meticuloso entre la energía producida y la consumida, de tal forma que se asegure la provisión fiable a todos los usuarios finales. Así, la provisión fiable de energía eléctrica bajo demanda puede acarrear pérdidas económicas sustanciales.

Tradicionalmente, esta red de distribución eléctrica se implementa asimétricamente, normalmente complementada con plantas hidroeléctricas en el lado de la producción, y grandes cantidades de instalaciones de bajo y/o medio volumen como hogares y empresas, en el lado del consumo. Como el consumo de estas instalaciones varía en función del curso del día, con un factor de 4 entre máximos y mínimos, la producción tiene que gestionarse basándose en previsiones sobre la demanda futura.

Por otro lado, Europa está liderando la concienciación global sobre el control del clima y la reducción de emisiones de CO₂, habiendo adoptado decisiones estratégicas para 2020 como reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% e incrementar el uso de energías renovables en otro 20%.

Las energías renovables, específicamente la eólica y la fotovoltaica, se producen generalmente mediante un conjunto grande de infraestructuras, con frecuencia de propiedad y uso privado o en comunidad. Además, los volúmenes que se producen son extremadamente volátiles, y no están sincronizados con el consumo requerido. Teniendo en cuenta que además el número de renovables está creciendo, **el esquema tradicional asimétrico y centralizado de la red de distribución eléctrica está siendo cada vez más inadecuado y debe reemplazarse por un enfoque más distribuido.**

En este contexto, un **sistema ciber-físico permite una coordinación descentralizada y cooperativa de procesos técnicos y organizacionales**, desde el control de una instalación fotovoltaica hasta la facturación y la comercialización de la energía. Además, con los medidores inteligentes, cada vez más instalados, se pueden monitorizar y prevenir los consumos individuales con un nivel muy fino, lo que unido a una predicción fiable de la producción de renovables, facilita un **balance más fiable entre producción y demanda**. El **control muy automatizado** que permiten los sistemas ciber-físicos, incluyendo la **autoadaptación a cambios de carga**, permite **escalar estos procesos** según el número requerido de participantes.

Combinando lo anterior con tarifas y modelos de negocio adecuados, así como con incentivos interesantes, la integración de procesos físicos y económicos fortalecerá el balance deseado en las redes de distribución de energía eléctrica, y por tanto, será **una alternativa a grandes inversiones en nuevas líneas de transmisión.**

En definitiva, los sistemas ciber-físicos facilitarán la realización de **redes de energía inteligentes**, no solo atendiendo al **reto social de sostenibilidad energética**, sino ayudando también a posicionar a Europa en la exportación de estos sistemas, especialmente en países que estén en desarrollo o actualización de sus infraestructuras energéticas.

Sanidad inteligente

Para Europa, **el bienestar de sus ciudadanos es uno de los mayores retos sociales**, y además un **importante reto económico**, dado que es una **sociedad cada vez más envejecida**, lo que impacta en la población con capacidad de trabajar (en creciente competición

con los países de bajo coste productivo) así como en los **costes del sistema sanitario**.

Aunque en Europa la disponibilidad de los mejores tratamientos para casos graves es algo muy estándar, aún **hay necesidad de tratamientos más personalizados**, sobre todo en las zonas urbanas. Así mismo, y específicamente en el contexto del envejecimiento de la población, está aumentando la **importancia del cuidado preventivo**, incluidos aspectos básicos como monitorizar diariamente el ejercicio y el consumo nutritivo, así como **el cuidado post-tratamiento**, incluyendo la monitorización de las terapias de recuperación que se recomiendan. Todo ello con el objetivo de evitar los costes que supone volver a tratar a alguien por algún descuido en ambas situaciones.

La **proliferación de gran cantidad de sensores** posibilita una monitorización más fina de la salud física de las personas, lo que mejora sustancialmente la confianza en la terapia a elegir. Mejorando las tecnologías de sensorización y actuación, los dispositivos de medición (entre ellos los "wearables", que están en plena expansión) proporcionarán muchos beneficios.

En este contexto, los sistemas ciber-físicos pueden jugar un papel relevante en cuanto a la **explotación de los datos individuales disponibles**, cada vez más crecientes. Mediante una **monitorización automática de esos datos, así como su fusión, evaluación y provisión cuando es requerido, se mejorará en la elección del tratamiento adecuado**. Además, pueden **ayudar al paciente con recomendaciones**, especialmente en pre y post-atención sanitaria, aumentando la efectividad de los mismos o incluso evitando la necesidad de tratamientos agudos. También pueden soportar la **coordinación de los procesos organizacionales correspondientes**, como por ejemplo los flujos de trabajo de los sistemas de información clínica así como las llamadas de emergencia. Además, esos datos monitorizados pueden ayudar a **evaluar la efectividad de las terapias**, posibilitando una eficiencia en costes.

En definitiva, los CPS pueden ayudar en la **provisión de terapias personalizadas y proactivas**, garantizando el bienestar de los ciudadanos europeos, y contrarrestando el aumento de costes que supone el envejecimiento de la población.

Fabricación inteligente

La industria manufacturera es una de las áreas clave de aplicación de los sistemas ciber-físicos. Hoy en día no se puede concebir una sociedad sin una producción altamente automatizada. El enfoque original de producción automatizada era la producción en masa de pocas variantes de producto con un gran volumen de producción por producto, como ocurrió en el sector de automoción con la producción del modelo T de Ford en 1915.

La demanda de una mayor variedad de productos, determinada por un pico de producción en Estados Unidos en 1955 con solo 30 productos en mercado, inició una transición hacia la personalización en masa, que se estableció como nuevo paradigma de producción en 1980: varias variantes de producto con un menor volumen de producción por producto. Hay que tener en cuenta que un fabricante de coches premium europeo hoy en día ofrece 19 series diferentes con más de 20 modelos diferentes en algunas de las series, y considerando las opciones de color, estilo del interior y extras de información y ocio, virtualmente ofrece un producto distinto para cada cliente.

Por tanto, hoy en día el paradigma adecuado de producción es la **producción adaptativa**, que no solo permita **personalizar el producto según las necesidades individuales** del cliente, sino que además lo haga en poco tiempo, permitiendo una **producción de "tamaño cero de lote"** típica de la producción artesanal. Además, el reto social de alcanzar una economía sostenible requiere la inclusión de consideraciones en el ámbito de la fabricación, como la de una **producción eficiente en recursos**. Todo esto nos lleva a una producción inteligente, donde se mezclan los procesos de fabricación físicos con el proceso de negocio virtual multi-enfoque.

La evolución de una producción "clásica" a esta producción inteligente supone que Europa pueda dar **marcha atrás al proceso de desindustrialización y externalización** que está viviendo, teniendo en cuenta que en Europa aún permanecen 195 de las 500 empresas fabricantes más importantes y que la industria manufacturera supone el 28,4% del PIB europeo.

Para hacer posibles estas capacidades de producción inteligente, es necesaria una **integración profunda de los procesos físicos de fabricación con los procesos virtuales de gestión, posibilitando esta fabricación flexible y adaptativa**. Es en este contexto donde los sistemas ciber-físicos tienen un rol fundamental.

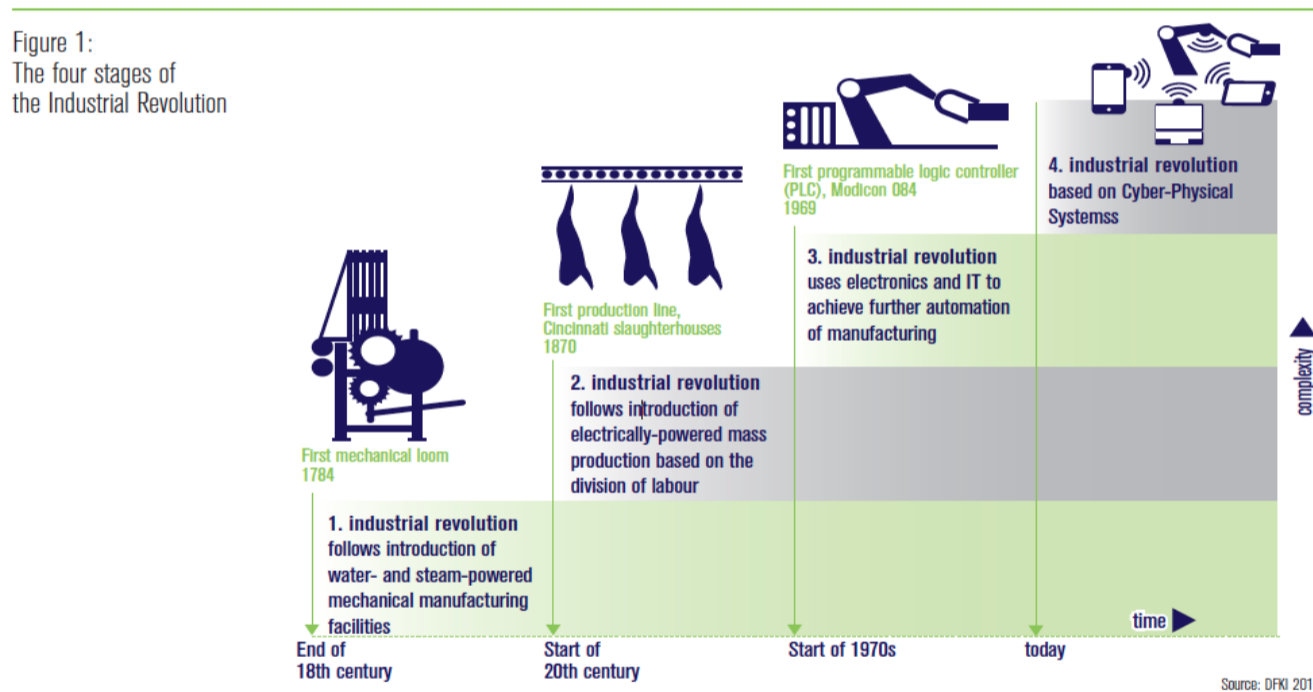


Figura 21. Las 4 etapas de la Revolución Industrial (Fuente: Secretariat of the Platform Industrie

4.0²³)

La creciente disponibilidad de máquinas y robots equipados con gran cantidad de sensores y que ofrecen conectividad e interoperabilidad estandarizada, supone 2 mejoras esenciales:

Una integración profunda de las plantas de producción con los sistemas de ejecución de la producción y los sistemas empresariales de gestión de recursos, lo que posibilita una **reconfiguración más rápida y automatizada del proceso de fabricación y de la planta**

23 Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 - Final report of the Industrie 4.0 Working Group, Frankfurt 2013. http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report_Industrie_4.0_accessible.pdf

basándose en demandas individuales, además de **formas mejoradas de interacción hombre-máquina**, permitiendo una colaboración física entre personal de gestión, de fabricación y de mantenimiento y los sistemas de producción.

Capacidad de **auto-monitorización y auto-optimización**, lo que reduce los costes de producción y los fallos del equipamiento. Así mismo, la capacidad inherente de los CPS de permitir **procesos distribuidos pero integrados**, facilita nuevos modelos de negocio donde el cliente individual está aún más en el foco del proceso. Esto permite una **integración fuerte del usuario final en el proceso de fabricación**, permitiéndole participar en el proceso de diseño, lo que además redundará en una simplificación del proceso de negocio implicado.

En definitiva, los sistemas ciber-físicos posibilitarán la realización de una producción inteligente, permitiendo a Europa competir en un mercado donde cada vez existe más presión en costes, así como reintroducir la producción que estaba externalizada ofreciendo **producción flexible de productos individualizados y muy adaptados al mercado**. Además, de posicionar a Europa como líder en exportación de estas tecnologías de producción en otros mercados.

Por último destacar la reciente iniciativa europea *Co-FACTOR (Cooperate, Communicate and Connect to boost smart Components for tomorrows Industry)* ²⁴, cuyo objetivo es crear una comunidad en torno a los componentes inteligentes en la industria del futuro. Estos componentes inteligentes forman parte de los sistemas ciber-físicos o incluso pueden ser CPS en sí mismos. La iniciativa parte de seis proyectos europeos focalizados en la fábrica del futuro (T-REX, INTEFIX, Power-OM, ReBorn, iRamp3 y SelSus) y permite a las organizaciones que participan en la misma colaborar con los expertos en este campo y beneficiarse de los resultados que se vayan obteniendo en los proyectos.

Ciudades inteligentes

La Unión Europea tiene un importante número de ciudades globales. Más de 3 cuartas partes de su población **vive en regiones urbanas, tendencia que va en aumento**. La gestión de estas regiones así como su desarrollo futuro supondrá retos importantes, especialmente la gestión de la energía, el agua y el transporte. Además, hay evidencias científicas que sugieren que la productividad en las concentraciones urbanas del tamaño de París o Londres es en media un 20% mayor que en las urbes de 50.000 habitantes, por lo que una gestión eficiente de estas grandes ciudades no sólo es un **objetivo social para Europa sino también económico**.

Las **infraestructuras de las ciudades son muy complejas**, por lo que su gestión eficiente y sostenible es un reto importante, requiriendo apoyo en el mantenimiento de las mismas, **especialmente en las infraestructuras críticas**. Además, se deben **reducir los costes de funcionamiento y mantenimiento pero asegurando su disponibilidad**.

Es importante destacar que la gestión de la ciudad juega un papel decisivo para **garantizar el bienestar de la población**, por ejemplo, en la gestión de la contaminación del aire así como en la gestión de los casos de emergencia, lo cual además impacta en su productividad. Además de lo anterior, es necesario suministrar datos para una **planificación estratégica acreditada** de estas áreas urbanas que están creciendo y cambiando estructuralmente.

Las soluciones y servicios necesarios para implementar estos escenarios de ciudades inteligentes pueden ser proporcionadas por los sistemas ciber-físicos. Estos ofrecen infraestructura y procesos que permiten una **recolección a gran escala de datos operativos**, que van desde los datos de la tecnología de sensorización (estrés físico, calidad del aire, flujo de tráfico) hasta información de feedback de los ciudadanos. Estos datos permiten **servicios operativos adicionales**, incluyendo la medición y el cálculo del deterioro por uso de la infraestructura, y la señalización o predicción de problemas en la misma, lo que posibilita una reducción de los costes de operación y mantenimiento. Además, estos sistemas pueden **influir indirectamente en la operativa de las áreas urbanas** mediante la sugerencia automática de acciones como tareas de mantenimiento necesarias, o incluso directamente y automáticamente controlarlas mediante actuadores, por ejemplo, la redistribución del flujo del agua ante atascos o fallos de las circunvalaciones. Finalmente, la información recogida puede usarse para **proporcionar datos fiables que permitan planificar cambios y crecimiento en las infraestructuras**. En este sentido, los sistemas ciber-físicos de una ciudad inteligente inter-operarán específicamente con aquellos de las redes energéticas inteligentes y de transporte inteligente para proporcionar estos servicios.

En definitiva, los sistemas ciber-físicos permitirán implementar ciudades inteligentes y ayudarán a proporcionar soluciones para una **gestión eficiente y sostenible de las áreas urbanas**.

VISIÓN Y CONTRIBUCIÓN DE ITI A LOS CPS

4.1 Descripción general de ITI

El Instituto Tecnológico de Informática, ITI, es un **Centro Tecnológico especializado en Investigación, Desarrollo e Innovación en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones**. Desarrolla su actividad desde su creación en 1994 con clara orientación a la generación de nuevas tecnologías y metodologías para su transferencia a la industria y a la sociedad.

Como centro tecnológico de referencia, forma parte de las principales estructuras a nivel regional y nacional relacionadas con la generación y transferencia de tecnologías en general, destacando en este sentido su pertenencia al Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial (IVACE), a la Red de Institutos Tecnológicos de la Comunitat Valenciana (REDIT) o a la Federación Española de Centros de Investigación y Tecnología (FEDIT), así como a estructuras relacionadas con la definición de las estrategias de investigación en Tecnologías de Investigación y las Comunicaciones, como las plataformas tecnológicas españolas y europeas.

De esta forma, su misión es **Investigar, Desarrollar e Innovar en Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones para mejorar y mantener la posición competitiva de las empresas tecnológicas, generando y transfiriendo los conocimientos necesarios para la evolución de la industria y de la sociedad en general**.

La visión de futuro del Instituto es ser líder a nivel internacional en soluciones optimizadas e inteligentes basadas en Tecnologías de la Información y las Comunicaciones.

Esto se hace posible, gracias al cuidado proceso de I+D+I, que parte de la vigilancia tecnológica y de mercado para la detección de necesidades y oportunidades, el desarrollo de la I+D+I para generar conocimientos, tecnologías y metodologías y la conversión de éstas en soluciones que puedan llegar al mercado.

Actualmente el Instituto cuenta con una red de asociados formada por las principales empresas involucradas en la realización de actividades de I+D+I en torno a las TIC. Dentro del cuerpo de empresas asociadas se encuentran principalmente empresas regionales, que se basan en la cercanía geográfica para aprovecharse de los servicios que el Instituto presta, y además, empresas nacionales de referencia con las que el Instituto colabora de forma continuada.

ITI desarrolla su actividad en proyectos de ámbito regional, nacional e internacional, contando con colaboradores a todos estos niveles. Es muy representativa su presencia en las plataformas tecnológicas, tanto a nivel nacional como europeo, lo que le permite detectar las demandas del mercado e intervenir en la definición de las futuras líneas de investigación. Esta apuesta estratégica supone una importante ventaja competitiva para el Instituto en particular y para la industria TIC de la Comunidad Valenciana en general.

Entre todas ellas, destaca su contribución en PLANETIC, Plataforma Tecnológica Española para la adopción y difusión de las tecnologías electrónicas, de la información y la comunicación, que nace como la fusión de las plataformas INES, PROMETEO y GENESIS. ITI es miembro del comité de dirección de dicha plataforma y participa en los grupos de trabajo de Software y Servicios y de Sistemas Embebidos.

Además de PLANETIC, ITI está participando en muchas otras Plataformas Tecnológicas Españolas como eSEC, de Tecnologías para la Seguridad y la Confianza; es.INTERNET, de Convergencia hacia Internet del Futuro; Logistop, centrada en la Logística Integral; la Plataforma Tecnológica del Agua y del Riego, para la gestión sostenible de los recursos hídricos, la Plataforma Tecnológica Marítima, por una industria marítima sostenible y saludable; enerTIC, plataforma de TIC para la mejora de la eficiencia energética; eNEM, de Tecnologías Audiovisuales en Red; eVIA, para la Vida Independiente y Accesible, y ManuKET, de Fabricación Avanzada.

Así mismo, el Instituto está colaborando en algunas plataformas tecnológicas europeas que como son NESSI, ARTEMIS (ahora ECSEL) y Net!Works (ahora NetWorld2020).

Para desarrollar su actividad, ITI cuenta con una estructura organizativa compuesta por más de 80 profesionales, en su mayoría investigadores y tecnólogos, con un 87% de titulados superiores y un 14% de doctores.

ITI desarrolla su actividad de I+D+I enmarcada en las siguientes áreas, totalmente alineadas con el programa Horizonte 2020, la Estrategia Española de Ciencia, Tecnología y de la Innovación, la Agenda Digital Europea, Española y de la Comunidad Valenciana y la Estrategia de Especialización Inteligente en investigación e Innovación de la Comunidad Valenciana (RIS3 CV):

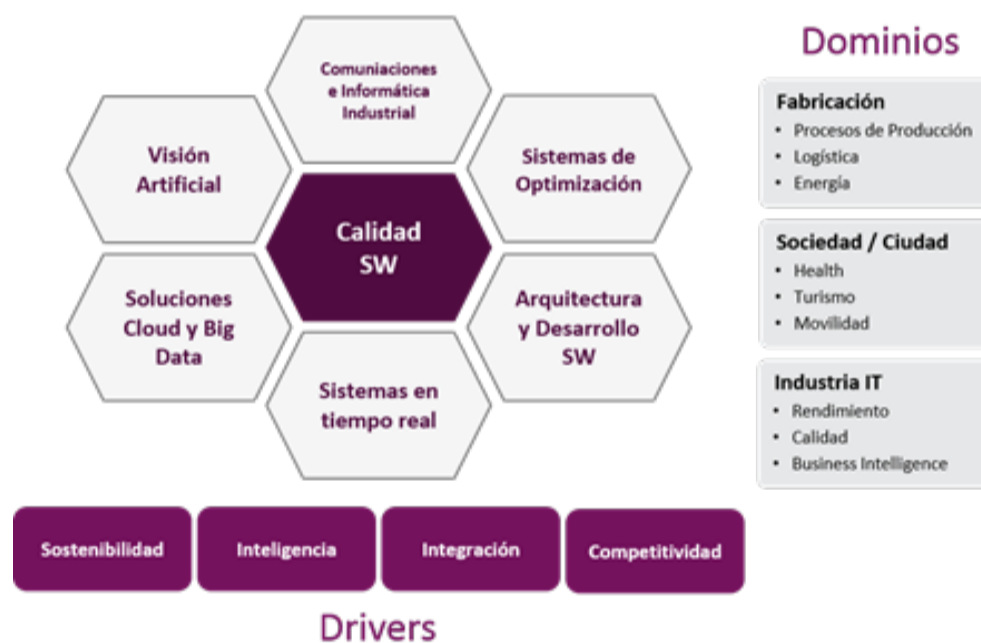


Figura 22. Áreas de especialización TIC de ITI

Con el centro de gravedad en la Calidad del Software, y con el foco puesto en los drivers que guían la investigación (sostenibilidad, inteligencia, integración y fomento de la competitividad), ITI desarrolla tecnologías y algoritmos de optimización (**Forecasting, Scheduling y Routing**) y Visión Artificial (**Inspección industrial en 3D e Inspección superficial por visión**). Así mismo, el Instituto cuenta con amplia experiencia en tecnologías que permiten la captación, comunicación y procesamiento de información a través de Internet, destacando las capacidades de diseño de arquitecturas **Cloud Computing para el tratamiento de grandes cantidades de datos (Big Data)**, de diseño de Redes de comunicaciones (**redes de sensores, comunicaciones industriales, etc.**) y los *Cyber-physical systems* (**software empotrado, sistemas en tiempo real, verificación y validación de sistemas críticos, etc.**).

ITI es un centro muy horizontal en lo que a sus investigaciones respecta, pero se identifican una serie de sectores o dominios de aplicación en los que ITI trabaja habitualmente:

- *Fabricación inteligente*: Aplicación de soluciones avanzadas al entorno de fabricación para mejora de procesos, logística y eficiencia energética.
- *Sociedad Inteligente*: Aplicación de tecnologías avanzadas a la sociedad/ciudad, en ámbitos como salud, turismo o movilidad.
- *Industria IT*: Aplicación de tecnologías para mejora del rendimiento, la calidad o la inteligencia de negocios.

4.2 Capacidades y experiencias relacionadas

Como ya se ha comentado, ITI posee capacidades y experiencia en sistemas ciber-físicos habiendo creado una línea de I+D propia en ese ámbito recientemente, que nació con la participación en 2013 en algunos proyectos a nivel europeo del programa ARTEMIS que se detallan posteriormente.

Esta línea de I+D de **Cyber Physical Systems (CPS)** de ITI se enfoca hacia los **sistemas en tiempo real y los sistemas críticos**.

La rama de sistemas en tiempo real se centra en el análisis de las restricciones temporales y en la planificación de recursos, trabajando en general a nivel de Sistema Operativo y de la plataforma de ejecución para que las acciones realizadas, no sólo sean correctas sino que, además, ocurran dentro de un intervalo de tiempo determinado. Esta línea está íntimamente relacionada con los sistemas empotrados, pues muchos de los sistemas empotrados suelen tener restricciones temporales, que son requisitos no funcionales relacionados con el tiempo.

La rama de sistemas críticos (o *high integrity systems*) se centra en la planificación de sistemas donde los fallos de funcionamiento del software pueden causar pérdidas económicas significativas, daño físico o amenazas a la vida humana.

Los trabajos en esta línea de I+D se orientan hacia el **desarrollo de herramientas que ayuden al proceso de ingeniería de sistemas empotrados** para reducir el coste de medir, optimizar y verificar las ejecuciones temporales de dichos sistemas, así como para ayudar al testeo de la eficacia de los sistemas empotrados en tiempo real y en entornos críticos (especialmente en aeroespacial y automoción).

Estas herramientas ayudan a modelar la aplicación, a configurar el hardware, al *software mapping* y analizar en tiempo real la viabilidad del sistema (si cumple las restricciones temporales de los recursos).

En cuanto a los **proyectos I+D** en los que ITI está adquiriendo experiencia y conocimiento en el ámbito de los sistemas ciber-físicos, destacamos a nivel europeo:

CRYSTAL (CRytical sYSTem engineering AcceLeration)

Proyecto europeo de I+D cofinanciado a través de la Convocatoria ARTEMIS Joint Undertaking - 2012, con número 332830 y por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo y con número de expediente ART-010000-2013-1.

CRYSTAL (<http://www.crystal-artemis.eu/>) tiene como objetivo fomentar la posición de vanguardia de Europa en el **diseño, desarrollo y despliegue de sistemas embebidos interoperables de seguridad crítica**, con respecto a la calidad, rentabilidad, flexibilidad, reusabilidad, la aceleración de los plazos de comercialización, la integración continua de innovaciones y la sostenibilidad. CRYSTAL reúne y conecta a los principales actores europeos sobre ingeniería de sistemas embebidos en los dominios de aplicación **aeroespacial** (sistemas de a bordo y sistemas de tierra), **automoción** (sistemas de a bordo y partes de la infraestructura de carretera), **ferrocarril** (sistemas de a bordo y sistemas de enclavamiento) y **salud** (seguridad del paciente y el personal del hospital, nuevos procedimientos médicos, aparatos médicos), proporcionando una masa crítica de proveedores de tecnología europeos para lograr tanto impacto en la sociedad en relación con medios de transporte más seguros y asistencia sanitaria como avances tecnológicos en términos de desarrollo de plataformas multi dominio.

El objetivo principal de CRYSTAL es incrementar la madurez, la reutilización y la facilidad de integración de *technology bricks* - que se definen como módulos de cadenas de herramientas integradas incluyendo, por ejemplo, componentes de software, herramientas, métodos de ingeniería, interfaces o incluso normas - y demostrar su impacto en un dominio o en dominios de aplicación cruzados. CRYSTAL explotará ideas sobre los procesos de diseño y seguridad de sistemas embebidos específicos de un dominio para establecer sinergias con otros dominios de aplicación. En consecuencia, los resultados de investigación actualmente fragmentados se integrarán en un marco armonizado para el desarrollo de sistemas de seguridad crítica.

El proyecto CRYSTAL cuya finalización está prevista en el primer cuatrimestre de 2016, está dotado con un presupuesto de más de **82 millones de euros** y en él participan **71 partners de 10 países**, entre los que figura ITI aportando sus conocimientos y experiencia en **sistemas en tiempo real y verificación y validación de software crítico**.

En concreto, el rol de ITI como participante en el proyecto se centra en la investigación y desarrollo de los *technology bricks* que contribuyan a construir una Plataforma Tecnológica de Referencia para el diseño de sistemas embebidos y participará en la validación de la misma en los dominios Aeroespacial y Salud. Para el desempeño de dichas actividades, ITI cuenta con un presupuesto de 1.288.991,63 euros, siendo el presupuesto total del proyecto de 85.932.775 €.

EMC2 (Embedded Multi-Core systems for Mixed Criticality applications in dynamic and changeable real-time environments)

Proyecto europeo de I+D que empezó en abril 2014 y tendrá una duración de 3 años. Está cofinanciado a través de la Convocatoria ARTEMIS Joint Undertaking - 2013, con número 621429 y por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

Los sistemas embebidos son los factores clave de la innovación para la mejora de la mayoría de productos mecatrónicos con nuevas funcionalidades y menor coste. Son los facilitadores de la comunicación dentro de los sistemas, posibilitando la sociedad de la información actual. Uno de los grandes retos a nivel industrial surge de la necesidad de hacer frente a la integración eficiente en coste de diferentes aplicaciones con diferentes niveles de seguridad (*safety & security*) en una plataforma computacional única en un contexto abierto.

Basado en una **arquitectura orientada a servicios innovadora y sostenible para aplicaciones de alta criticidad en entornos de tiempo real dinámicos y cambiantes**, EMC² es parte de la estrategia de la industria de sistemas embebidos europeos para mantener su liderazgo en la creación de soluciones para:

- Adaptabilidad dinámica en sistemas abiertos.
- Gestión de aplicaciones de alta criticidad en condiciones de tiempo real.
- Escalabilidad y máxima flexibilidad.
- Administración e implementación a escala completa de una plataforma de integración de herramientas que cubra todo el ciclo de vida.

En definitiva, el objetivo del proyecto EMC² (<http://www.emc2-project.eu/>) es establecer **tecnología multiprocesador en todos los dominios relevantes de los sistemas embebidos**. Es un proyecto de 99 partners industriales y de investigación en el ámbito de los sistemas embebidos de 19 países europeos, con un esfuerzo de alrededor de 800 personas-año y un presupuesto total cercano a 100 millones de euros. Entre ellas, Infineon, Siemens, Thales, Fiat, ABB, Ericsson, Volvo, Philips, y varias PYME e instituciones de investigación, como ITI que aporta sus conocimientos y experiencia en **sistemas en tiempo real, cloud computing** y análisis de imagen.

En concreto, el rol de ITI como participante en el proyecto se centra en el diseño de arquitecturas dinámicas para la construcción de sistemas empotrados. Para el desempeño de dichas actividades, ITI cuenta con un presupuesto de 797.215,44 euros, siendo el presupuesto total del proyecto de 98.421.659 euros.

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE INTERÉS

[1] **Goldman Sachs Group**. *The Internet of Things: Making sense of the next mega-trend*. Septiembre 2014. [En línea] Disponible en: <http://www.goldmansachs.com/our-thinking/outlook/internet-of-things/iot-report.pdf>

ICT1- Cyber-Physical Systems in H2020: <http://slideplayer.com/slide/4545959/>

ECSEL (Electronic Components and Systems for European Leadership): www.ecsel-ju.eu/

El internet de las Cosas. En un mundo conectado de objetos inteligentes http://www.belt.es/expertos/imagenes/XV_FTF_El_internet_de_las_cosas.pdf

Gartner's 2014 Hype Cycle for Emerging Technologies Maps the Journey to Digital Business <http://www.gartner.com/newsroom/id/2819918>

Topic: Internet of Things and Platforms for Connected Smart Objects <http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/9091-ict-30-2015.html>

Digital Agenda for Europe / Digital Economy / Future Internet / Internet of Things: <https://ec.europa.eu/digital-agenda/en/internet-things>

<http://mundocontact.com/el-mercado-de-internet-de-las-cosas-alcanzara-1-7-billones-de-dolares-en-2020/>

<http://forbes.es/actualizacion/3889/internet-de-las-cosas-las-empresas-que-dominaran-el-mercado>

<http://cioperu.pe/fotoreportaje/16123/las-10-empresas-de-internet-de-las-cosas-mas-poderosas/>

<http://www.fiercewireless.com/press-releases/att-cisco-ge-ibm-and-intel-form-industrial-internet-consortium-improve-inte-0>

Proyecto europeo de I+D+I DEWI (Dependable Embedded Wireless Infrastructure, <http://www.dewi-project.eu/>)

[2] **ECSEL**. *Multi-Annual Strategic Plan for the ECSEL Joint Undertaking (JU) (MASP)*. Julio 2014. [En línea] Disponible en: http://ecsel.eu/web/downloads/documents/ECSEL-GB-2014-06-MASP_v2.pdf

<http://www.nsf.gov/pubs/2014/nsf14542/nsf14542.htm>

Topic ICT-01-2014 (H2020): Smart Cyber-Physical Systems <http://ec.europa.eu/research/participants/portal/desktop/en/opportunities/h2020/topics/78-ict-01-2014.html>

<http://cyberphysicalsystems.org/>

[3] NESSI. CYBER PHYSICAL SYSTEMS Opportunities and Challenges for Software, Services, Cloud and Data, NESSI Whitepaper, DRAFT V3.0. July 6, 2015.

[4] **Fortiss GmbH**. *Research Agenda and Recommendations for Action*. CyPhERS project. [En línea] Disponible en: <http://cyphers.eu/sites/default/files/d6.1+2-report.pdf>

DELIVERABLE D3.2 Market and innovation potential of CPS <http://cyphers.eu/sites/default/files/D3.2.pdf>

Werner Steinhoegl - ICT Calls in H2020 LEIT and the relevance of platform / innovation activities in LEIT and ECSEL-CPS <https://artemis-ia.eu/publication/download/publication/1111>

CORDIS (http://cordis.europa.eu/home_es.html)

ICT1 CPS - Selected projects overview http://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=8310

Cyber-Physical Systems and Advanced Computing, Opportunities in Horizon 2020, Dr. Max Lemke, January 2013 http://ec.europa.eu/information_society/newsroom/cf/dae/document.cfm?doc_id=4281

[5] **ITEA Office Association & ARTEMIS Industry Association.** *High-Level Vision 2030-Oportunities for Europe: The impact of software innovation on revenue and jobs.* Otoño 2013. [En línea] Disponible en: https://itea3.org/publication/download/publication/961/file/ITEA_ARTEMIS_IA_high_level_vision_2030_v2013.pdf

Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0 - Final report of the Industry 4.0 Working Group, Frankfurt 2013. http://www.acatech.de/fileadmin/user_upload/Baumstruktur_nach_Website/Acatech/root/de/Material_fuer_Sonderseiten/Industrie_4.0/Final_report_Industrie_4.0_accessible.pdf



ITI
INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE INFORMÁTICA

Cofinanciado por:

