

El libro blanco de la robótica en España

**Investigación,
tecnologías y formación**

The white book of robotics in Spain

**Research, technologies
and training**



**GOBIERNO
DE ESPAÑA**

**MINISTERIO
DE CIENCIA,
E INNOVACIÓN**



CEA

**comité
español de
automática**

El libro blanco de la robótica en España:
Investigación, tecnologías y formación

Edita: CEA - GTRob con subvención del MEC.

1.^a edición.
© CEA-GTRob, 2011

Fotografías: Trabajos de los Grupos de Investigación de CEA-GTRob.

ISBN: 978-84-615-4583-4
Imprime: Grafo, S.A.
Depósito legal: BI-2265-08

Código de subvención: DPI-2010-11167-E

El Libro Blanco de la Robótica en España está desarrollado por el Comité Español de Automática (CEA), sociedad científica nacional que agrupa a la inmensa mayoría de los investigadores españoles en el área de robótica, aportando el enfoque desde las universidades, el CSIC y los centros tecnológicos. Aunque este documento está orientado a la investigación en robótica, los grupos de I+D+i que la soportan tienen una demostrada vocación de transferencia de tecnología a las empresas. Por ello, este trabajo ha contado con el apoyo de plataformas tecnológicas como la Plataforma Tecnológica Española de Robótica (HISPAROB) así como de varias asociaciones empresariales, sectoriales y gubernamentales tales como la Asociación Española de Robótica (AER), el Observatorio de Prospectiva Tecnológica e Innovadora (OPTI), Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica y el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI). El Libro Blanco de la Robótica es hasta la fecha el único estudio de esta naturaleza realizado a nivel nacional y uno de los pocos a nivel internacional. En esta edición, además de la actualización de contenidos necesaria debido al alto dinamismo de este área, se ha profundizado en el análisis del estado de la transferencia de tecnologías robóticas, a lo se ha dedicado un capítulo completo. Este Libro Blanco está avalado por la Red Nacional de Robótica subvencionada por el Ministerio de Educación y Ciencia.

Los autores del Libro Blanco de la Robótica consideran que este trabajo es de gran oportunidad para España por darse varios factores relevantes: 1) madurez y liderazgo de nuestros grupos de investigación a nivel internacional; 2) disposición de la información suficiente para establecer el estado de la técnica y de las tendencias a corto, medio y largo plazo; 3) el inicio, según numerosos indicadores internacionales, de un drástico cambio en el mercado de la robótica; y 4) la buena predisposición del tejido industrial nacional para recoger los frutos de la investigación en este área. Las recomendaciones y conclusiones de este documento pueden y deben impulsar la creación de una fuerte industria robótica en nuestro país, reduciendo la dependencia tecnológica y creando numerosos beneficios socio-económicos.

The White Book of Robotics in Spain has been prepared by the *Comité Español de Automática* (CEA), a Spanish scientific society that involves the vast majority of Spanish researchers in robotics, providing their viewpoint from Universities, the *Consejo Superior de Investigaciones Científicas* (CSIC) and technology centers. Although this document mainly focuses on robotics research, the R&D groups are also involved in consolidated activities in technology transfer to the productive sector. Hence, this work is supported by technology platforms such as the *Plataforma Tecnológica Española de Robótica* (HISPAROB) and by several enterprise sector and Government associations, such as the *Asociación Española de Robótica* (AER), the *Observatorio de Prospectiva Tecnológica e Innovadora* (OPTI), *Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica* y el *Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial* (CDTI). The White Book of Robotics is the first study of this type to be carried out in Spain and one of the first also at an international level. In this edition, besides updating the contents due to the highly dynamic nature of this field, the book focuses on the state of technology transfer in robotics technologies, to which a whole chapter has been devoted. This White Book of Robotics is supported by the *Red Nacional de Robótica* funded by the *Ministerio de Educación y Ciencia*.

The authors of the White Book of Robotics in Spain consider that this work reflects a significant opportunity for Spain for several reasons: 1) the maturity and leadership of our R&D groups at international level; 2) the availability of sufficient information to establish the state of the art and trends in the short, medium and long terms; 3) the beginning, according to numerous international analyses, of a dramatic change in robotics markets; and 4) the positive attitude shown by industries in adopting the results of research in robotics fields. The recommendations and conclusions of this work can and must boost the creation of a strong robotics industry in our country, thus reducing technological dependence and generating numerous socio-economic benefits.

2

Índice

Contents

Preámbulo/Preamble	5
1. Índice/Contents	7
2. Resumen ejecutivo/Executive Summary	9
3. Introducción/Introduction	13
3.1. Situación actual y tendencias para el futuro.....	19
3.2. Objetivos del Libro Blanco	22
3.3. Metodología y estructura del documento.....	25
4. Impacto socio-económico de la robótica/Socio-economic impact of robotics	27
4.1. Estadísticas de robots.....	29
4.2. Sectores y aplicaciones de la robótica	33
4.2.1. Los robots en la industria del automóvil	33
4.2.2. Los robots en las PYMES.....	35
4.2.3. Los robots en sectores de compleja robotización.....	40
4.2.4. Uso de los robots para los servicios de los ciudadanos.....	48
4.3. Tendencias	59
5. La I+D+i en la robótica/R&D in robotics	61
5.1. Panorama mundial	63
5.1.1. La I+D+i en la robótica industrial.....	64
5.1.2. La I+D+i en la robótica de servicio	65
5.1.3. La I+D+i en la robótica espacial y de seguridad	70
5.1.4. Redes de investigación, sociedades científicas y publicaciones	72
5.2. La I+D+i en robótica en España.....	73
5.3. El peso de robótica española en el contexto internacional.....	77
5.3.1. Presencia en redes de investigación y sociedades científicas	77
5.3.2. Presencia en comités de revistas y congresos	82
5.3.3. El peso de la I+D+i en robótica de la industria española en contexto internacional.....	87
5.4. Relación con otras áreas.....	90
5.5. Tendencias	92
6. La transferencia tecnológica en robótica/Technology transfer in robotics	95
6.1. La innovación.....	97
6.1.1. La innovación en los países desarrollados	99
6.2. Patentes y propiedad intelectual	101
6.2.1. Las patentes de robótica	102
6.3. Proyectos de transferencia de tecnología en robótica	107

6.4. Generación de spin-off en robótica	108
6.5. Tendencias	112
7. Mecanismos de financiación de la I+D+i en robótica/ R&D funding mechanisms in robotics	113
7.1. Financiación de la I+D+i en robótica en la Unión Europea	115
7.1.1. La robótica en el FP6 (2003-2006)	117
7.1.2. La robótica en el FP7 (2007-2013)	118
7.1.3. La robótica en programa EUREKA	124
7.1.4. La robótica en otros programas de la UE	125
7.2. Financiación de la I+D+i en robótica en los países desarrollados	125
7.3. La financiación de la I+D+i en robótica en España	130
7.4. La financiación de la I+D+i en robótica en las Comunidades Autónomas.....	139
7.5. Otras iniciativas de financiación de la I+D+i en robótica	142
7.5.1. Programa Iberoeka	142
7.5.2. Incentivos fiscales.....	143
7.5.3. Las empresas “spin-off”	144
7.5.4. Otras iniciativas.....	146
7.6. Tendencias	149
7.6.1. Contribución de las Comunidades Autónomas	149
7.6.2. Previsiones en el ámbito del estado español.....	149
7.6.3. Previsiones en el ámbito de la Unión Europea.....	150
8. Formación y divulgación/Training and dissemination.....	153
8.1. Formación: enseñanza secundaria, Grado y Postgrado	157
8.1.1. Formación en la enseñanza secundaria	158
8.1.2. Formación en la universidad: enseñanzas de Grado	161
8.1.3. Formación en la universidad: enseñanzas de Postgrado	167
8.1.4. Formación en la universidad: enseñanzas en extinción	175
8.2. Formación en empresas.....	176
8.3. Divulgación social.....	177
8.3.1. Divulgación científico-técnica.....	178
8.3.2. Otras actividades de divulgación.....	180
8.4. Conclusiones.....	182
9. Análisis estratégico de la robótica en España/ Strategic analysis of robotics in Spain	185
9.1. Líneas estratégicas en el mundo	187
9.2. Fortalezas y debilidades de la I+D+i en robótica en España	198
9.2.1. Fortalezas	198
9.2.2. Debilidades.....	201
9.3. Propuesta de líneas estratégicas para el periodo 2012-2020	202
9.3.1. Periodos temporales	203
9.3.2. Demanda empresarial	203
9.3.3. Líneas prioritarias	204
9.3.4. Acciones prioritarias.....	207
10. Conclusiones/Conclusions	211
11. Referencias/References	215
12. Participantes/Contributors	219

2

Resumen ejecutivo *Executive summary*

La robótica es sinónimo de progreso y desarrollo tecnológico. Los países y las empresas que cuentan con una fuerte presencia de robots no solamente consiguen altos niveles de competitividad y productividad, sino también transmiten una imagen de modernidad. En los países más desarrollados, las inversiones en tecnologías relacionadas con la robótica han crecido de forma significativa y muy por encima de otros sectores.

Según todos los indicadores internacionales, la nueva sociedad robótica de consumo está por llegar en la próxima década. En un plazo muy breve, se pondrán a la venta robots de servicio a precios asequibles a los ciudadanos, para aplicaciones de asistencia personal a niños, ancianos y discapacitados, educación, entretenimiento, vigilancia, construcción, recolección de frutas y muchas más. Esta nueva sociedad robotizada llevará el cambio a los ciudadanos y necesitará de la creación de nuevas industrias y negocios. Estos dos aspectos socio-económicos, calidad de vida y empresas, son fundamentales en este estudio.

Los avances de la robótica tienen una incidencia directa en la competitividad de nuestras empresas, más aún en estos tiempos en que nuestros mercados se encuentran invadidos por productos de bajo coste procedentes de países emergentes. La innovación en robótica no sólo tiene impacto socioeconómico en el sector productivo como mecanismo para elevar la productividad y calidad de los productos. También afecta fundamentalmente al sistema de producción y a la organización del proceso productivo en sí mismo. Además, la independencia tecnológica de nuestro país en áreas como la robótica, contribuirá significativamente a disminuir el riesgo de la absorción de nuestras empresas por capital extranjero. Finalmente, hay que señalar que la madurez tecnológica de nuestras empresas así como el mayor nivel de formación técnica de los trabajadores permite la rápida absorción de estas tecnologías.

Hoy en día todos los agentes sociales tienen claro que es necesario realizar un cambio de modelo productivo en España. La gran mayoría de las empresas nacionales tienen claro que su supervivencia depende, en gran medida, de la innovación e independencia tecnológica, en especial de las tecnologías más innovadoras, entre las que se encuentra la robótica. La actual crisis económica y

financiera debe ser vista como una oportunidad para acelerar la transición hacia un sistema productivo basado en la innovación.

Se puede afirmar, sin ningún género de duda, que España tiene un importante potencial en investigación en robótica (más de 60 grupos), siendo algunos de ellos y en algunas líneas de investigación pioneros y líderes, tanto en el ámbito europeo como mundial. El peso de la investigación en robótica en España es importante e incluso superior a países con mayor poder económico que el nuestro, siendo el tercer país por número de grupos en la Red Europea de Robótica (EURON). Este hecho asegura los retornos socio-económicos de una financiación adecuada de nuestros grupos de investigación en robótica. Muestra de ello es el crecimiento continuado de los fondos europeos de financiación de I+D+i en tecnologías robóticas y afines obtenidos por los grupos de investigación españoles en los últimos años.

El objetivo de este Libro Blanco de la Robótica es presentar una hoja de ruta, con horizonte temporal del año 2020, que permita identificar, de forma realista, los alcances de la robótica avanzada hacia la que se prevé evolucionará durante dicho horizonte temporal, los actores socio-económicos de esta transformación (actuales y futuros), las herramientas y los esfuerzos investigadores necesarios para conseguir estos objetivos, las posibles dificultades en su consecución y, en definitiva, prepararnos para los futuros cambios. El Libro concluye con la propuesta de las líneas estratégicas de investigación para el periodo 2012-2020, que se deberían plasmar en una Prioridad Estratégica en Robótica en el nuevo Plan Nacional de I+D+i 2012-2015, y con una propuesta de mecanismos de materialización de las mismas.

Robotics is synonymous with progress and technological development. The countries and enterprises in which robots have a strong presence not only attain high rates of competitiveness and productivity, but also have a public image of modernity. In the most developed countries investment in robotics technologies has increased far more than in other sectors.

According to all international analyses, the new robotics consumer society is set to arrive in the next decade. In the very short term, service robots will be commercialized at affordable levels for applications such as personal care (children, elderly or handicapped people), education, entertainment, surveillance, construction and fruit collection, among others. This new robotized society will change the outlook of citizens and will require the development of new industries and businesses. These socio-economic aspects, i.e. quality of life and enterprises, are crucial in this book.

The advances in robotics have a direct influence on the competitiveness of our enterprises, particularly in these times in which our markets are saturated with low-cost products from emerging countries. Innovation in robotics not only has a socio-economic impact but also influences the productive sector as a mechanism to improve productivity and the quality of products. This field also concerns in a fundamental way the production system and the organization of the productive process itself. Furthermore, the technological independence of our country in areas such as robotics will significantly contribute to reducing the risk of our enterprises being absorbed by foreign capital. Finally, it is worth pointing out that the technological maturity of our enterprises and the higher level of training for workers will facilitate the rapid absorption of these technologies.

All socio-economic agents now consider it necessary to change the production model in Spain. For the vast majority of enterprises it is clear that their survival depends, to a great extent, on innovation and technological independence, particularly in the most innovative technologies such as robotics. The current economic and financial crisis should be seen as an opportunity to speed up the transition towards a production model based on innovation.

We can affirm that Spain has significant potential in robotics research, with more than 60 R&D groups – of which several are leaders in certain research areas on European or world-wide levels. The high level of Spanish research in robotics is important and it is even higher than that carried out in economically more powerful countries, with Spain having the third highest number of research groups within the European Robotics Network (EURON). This fact ensures socio-economic returns derived from suitable funding of our research groups. As an illustration, our research groups in robotics have continuously increased their funding from European R&D Framework Programmes.

The objective of this White Book of Robotics in Spain is to present a roadmap, with a time horizon of 2020, to identify realistic directions in which advanced robotics is expected to evolve during this period, the main socio-economic factors in this transformation (current and future), the tools and research effort required to accomplish these objectives, and to outline the potential difficulties. Finally, strategic research lines are presented for the period 2012-2020, with the aim that these should be reflected in a strategic priority in robotics in the future *Plan Nacional de I+D+i 2012-2015*, and a set of mechanisms is proposed to implement them.

3

Introducción *Introduction*



En ocasiones las cosas no son lo que parecen. Eso pensó Doña Soledad cuando se levantó, como cada mañana, hacia las 10, después de que le llamara la asistenta. No le gustaba madrugar, pero Rosa no le permitía quedarse más rato en la cama. “Es por tu circulación” le decía, con esa voz diferente pero dulce que sabía poner cuando quería convencerla de algo. Soledad aún recordaba el día que llegó a casa. Fue por culpa de su hijo, ya que por ella podría haber seguido más tiempo viviendo sola en aquel piso, que 83 años no son tantos. Pero él insistió mucho en que se quedaría más tranquilo. Y allí estaba, con una asistenta que la cuidaba, vigilaba la casa y además, si algo no iba bien, llamaba a su hijo.

No es que tuviera nada contra las asistentas robóticas, pero a su edad no resultaba fácil habituarse a un rostro nuevo a pesar de los gestos amigables que le hacía y de ese pelo moreno que nunca necesitaba tinte. Aunque tenía que reconocer que ahora también ella estaba más tranquila porque nunca se le olvidaba tomarse los medicamentos, ya que Rosa (Robot Sanitario Asistencial) no dejaba pasar ni una toma. Y, además, no necesitaba ir al médico para tomarse la tensión, bastaba con que Rosa le tomara la muñeca y ¡chas! “80/120, todo bien”. Y lo que más le gustaba era que ya no necesitaba ir al hospital a las tediosas revisiones periódicas de marcapasos. Ahora Rosa recopilaba todos los datos y los enviaba a su médico por Internet7+.

El simpático instalador le había dicho que el robot llevaba unos programas nuevos para que fuera capaz de salir a la calle y acompañarla al parque, pero que aún no los había probado. Eso ya iba a ser un gran avance porque cada vez se le hacía más cuesta arriba salir de casa sola, sobre todo después de la caída. Además, le había comentado su hijo que, si era necesario, podían buscar una silla de ruedas autónoma a la que Rosa pudiera acompañar para sacarla a pasear cuando estuviera muy cansada. En la televisión ya había visto que lo estaban utilizando en residencias de ancianos.

De hecho, de unos años a esta parte, se veían cada vez más robots en la calle junto a las personas: vigilando las calles como policías, limpiando las aceras y arreglando las fachadas, incluso perros lazarillo para invidentes. También veía en su televisión personalizada el nuevo aspecto de las fábricas, más cercanas a solitarias oficinas impolutas que a entornos productivos. Los robots no solamente soldaban y pintaban las carrocerías de los coches, sino también revisaban su aspecto, ensamblaban sus interiores y, lo más simpático, conducían los coches en pruebas.

Le seguía gustando el fútbol y el otro día vio por televisión la final del mundial robótico entre Japón y Canadá. Iba con los canadienses, pero los japoneses se impusieron en el último cuarto de hora. “¡Qué pena!, el 9 canadiense era tan guapo y jugaba tan bien”. La verdad es que Soledad ya se había acostumbrado a las máquinas, algunas de las cuales parecían tener alma y sentimientos. ¿Cómo hacen para que Rosa estuviera romántica durante los días lluviosos?

La primera semana de estar Rosa en la casa se pasaba mucho tiempo recorriéndola de arriba a bajo y le costaba mucho entender sus indicaciones. “Está aprendiendo”, le decía el técnico hablando desde no se sabe dónde. Ella se hizo a la idea de que era como un niño pequeño curioso. Poco a poco, Rosa empezó

a moverse más, a entender a la primera sus instrucciones e incluso a hacer cosas por propia iniciativa, sin que nadie se las hubiera dicho. Y es verdad, necesitaba mejorar algunas cosas de la casa, como los detectores de gas, humo y agua. Pero por suerte no habían tenido que poner más cables, sólo una caja que había detrás de la puerta de casa para no-se-qué de conexión a la red. Ahora, si se empezaba a quemar un guiso, Rosa empezaba a decirle no sé que cosas a la cocina. La verdad es que sí, que estaba más segura. Además, en caso de necesidad, Rosa llamaba a su hijo y una vez tuvo que llamar directamente al 1123, se había roto la aspiradora.

Pero lo más gracioso, lo que acabó de tranquilizarla del todo, sucedió el día anterior. Llamaron a casa unos comerciales de venta a domicilio justo a la hora de la siesta, cuando Soledad estaba más tranquila. En otras ocasiones, Rosa le mostraba por la pantalla que llevaba en el pecho quien estaba en la puerta. Pero esta vez, aprendiendo de las otras veces, la oyó entre sueños que les decía muy amablemente a los vendedores: “No estamos interesadas, gracias”. Y fue en ese momento cuando Soledad pensó que esa chica no era lo que parecía, tendría que hacerle un buen regalo en las Navidades del 2030.

Aunque la historia de Doña Soledad pueda parecer ciencia-ficción, el objetivo de este Libro Blanco es mostrar que estos avances tecnológicos están a la vuelta de la esquina y que hace falta estar preparado para ellos. Así como la sociedad de finales del siglo XX y comienzos del XXI se ha visto invadida por los ordenadores, la sociedad del siglo XXI se basará en una masiva intervención de robots en todos los aspectos de la vida cotidiana y productiva. Los robots no solamente estarán localizados en las factorías y con aspecto de brazo manipulador, sino también saldrán al “asfalto” y al “campo” para realizar multitud de tareas de servicios e industriales que hoy en día son efectuadas manualmente. Una característica fundamental y diferenciadora de esta robótica avanzada será la estrecha colaboración de los robots con los humanos tanto en el campo común de trabajo como en la interacción multimodal. Según la *International Federation of Robotics* (IFR) el mercado de la robótica de servicio, que en 2008 fue de 3,3 billones \$US, crecerá hasta 100 billones \$US en 2020.

Esta nueva sociedad robotizada implicará un importante cambio en el modo y calidad de vida de ciudadanos y necesitará de la creación de nuevos negocios. Estos dos aspectos socio-económicos, calidad de vida y empresas, son fundamentales en este estudio. Este Libro Blanco de la Robótica en España, pretende identificar las actuaciones necesarias para que nuestro país alcance esta nueva sociedad, de manera competitiva y con independencia tecnológica. En concreto, se propondrán las líneas estratégicas de investigación en robótica para el periodo temporal 2012-2020 así como las acciones prioritarias que permitan su desarrollo.

Occasionally, things are not what they seem. This was Mrs. Soledad's thought when she woke up, as every morning, at around 10 a.m. after her assistant called her. She did not like to wake up early, but Rosa did not allow her to stay in bed longer. "It is for your circulation" she said, with the different – but sweet – voice she used when she wanted to convince her. Mrs. Soledad still remembered when she first arrived home. It was her son's fault since, in her opinion, she could still live alone in her flat – after all, 83 is not that old. However, he insisted she would be happier. And she was there, with an assistant that took care of her, watched the house and called her son if something was wrong.

She had nothing against robotic assistants, but it was not easy for her to get used to a new face despite the friendly gestures and her dark hair that did not need a dye. She had to admit that now she was also more relaxed since she never forgot to take her medicine because Rosa (Assistant Sanitary Robot) did not skip the dose even once. Also, she did not need to go to the doctors to take her blood pressure, Rosa just took her wrist and that was it! "80/120, everything is OK". What Mrs. Soledad liked the most was the fact that she did not need to go to the hospital for the periodic reviews of her pacemaker. Now Rosa collected all the data and sent them to the doctor using Internet7+.

The nice installer told her that the robot had some new programs to help her to go out and to accompany her to the park, but that he had not had tested them yet. This would be a great advance since it was more and more difficult for her to go out alone, particularly after her fall. Besides, her son had told her that if she was very tired, they could find an autonomous wheelchair for her to go for a stroll accompanied by Rosa. They had seen on the TV that such chairs were already being used in homes for the elderly.

In fact, in recent years more and more robots were seen in the street together with people: watching the streets as policemen, cleaning the sidewalks and repairing the facades, even guide dogs for blinds. She also saw on her personalized TV the new look of industry, which was closer to lonely spotless offices than to productive environments. Robots were not only used for welding and painting car bodywork, they also assembled the interior components and, more amusingly, they drove test cars.

Rosa still liked football and the other day she watched the final of the robotics world championship between Japan and Canada on TV. She supported the Canadians but the Japanese imposed themselves during the last quarter. "What a shame!, the Canadian player 9 was so handsome and played so well". The truth is that Soledad had got used to machines, some of which seemed to have feelings and soul. How could they make Rosa be so romantic on rainy days?

The first week Rosa was home she spent a lot of time strolling and she could hardly understand her commands. "She is learning", the technician told her speaking from who knows where. She just thought Rosa was like a curious little child. Little by little, she started to move more, to understand her suggestions and even to do things through her own initiative, without having to be told. And it is true; she needed to improve some things in the house such as gas, smoke and

water detectors. They probably did not need to install any more cables, just one box behind the house door that was used for a network connection. Now, if a stew started to burn, Rosa would talk to the kitchen. The truth is that Soledad felt safe with Rosa at home. Also, if necessary, Rosa would call her son and on one occasion she had to call 1123 directly as the vacuum cleaner had broken down.

The funniest thing, however, which finally convinced her, happened the day before. Some door-to-door salesmen rang the at door during naptime, while Soledad was relaxing. On other occasions, Rosa showed her who was at the door using the screen on her chest. This time, having learnt from other similar visits, she heard Rosa kindly tell the salesmen: "We are not interested, thanks". That was the moment when Soledad thought that the girl was not what she seemed and she made a note to give her a good gift for Christmas 2030.

Although the story of Soledad may appear to be science-fiction, the objective of this White Book is to show that these technological advances are very close and we need to be ready for them. While society at the end of the 20th and the beginning of the 21st century has been invaded by computers, the society of the 21st century will be based on the massive involvement of robots in all everyday and productive aspects. Robots will not only be installed in factories and have machinery such as a manipulator arm, but they will go out to the "street" and to the "field" in order to accomplish many diverse service and industrial tasks that are currently carried out manually. One fundamental characteristic that differentiates this field of advanced robotics will be the close collaboration between humans and robots both in the same working space and also in the intermodal interaction. According to the International Federation of Robotics (IFR) the market for service robotics, which in 2008 was \$US 3.3 billion, will grow to \$US 100 billion in 2020.

This new robotized society will produce a significant change in the quality of life of citizens and will require new business. This White Book of Robotics in Spain intends to identify the changes required so that our country embraces this new society in a competitive way and with technological independence. In particular, the book presents strategic research lines for the period 2012-2020 and proposes a set of mechanisms to implement them.

3.1. Situación actual y tendencias para el futuro

La robótica es un sinónimo de progreso y desarrollo tecnológico. Los países y las empresas que cuentan con una fuerte presencia de robots no solamente consiguen altos niveles de competitividad y productividad, sino también transmiten una imagen de modernidad. En los países más desarrollados, las inversiones en tecnologías robóticas han crecido de forma significativa y muy por encima de otros sectores. No obstante, el conocimiento sobre robótica de la mayoría de la sociedad es muy limitado. Algunas personas todavía confunden un robot con una *minipimer* debido a que en la propaganda es anunciada como un robot de cocina.

Por otro lado, las inversiones en la investigación en robótica han ido disminuyendo en Europa en los últimos años, lo que contrasta con el incremento de los esfuerzos investigadores en esta área en países como Estados Unidos o Japón. Por ello, uno de los objetivos estratégicos de este Libro Blanco es la concienciación de la sociedad y la administración de la importancia y los beneficios socio-económicos de la robótica.

La robótica tiene como intención final complementar o sustituir las funciones de los humanos en tareas tediosas o peligrosas, alcanzando, en algunos sectores, aplicaciones masivas. En el contexto industrial, donde se utilizan con notable éxito desde hace varias décadas, sus beneficios empresariales y sociales se pueden resumir en cuatro:

- 1) **Productividad**, aumento de la producción y reducción de costes de varios tipos como laborales, de materiales, energéticos y de almacenamiento.
- 2) **Flexibilidad**, que permite adaptar la factoría para la fabricación de nuevos productos sin la necesidad de que se modifique la cadena de producción y, por consiguiente, sin paradas ni pérdidas de tiempo.
- 3) **Calidad**, debido al alto nivel de repetitividad de las tareas realizadas por los robots que aseguran una calidad uniforme del producto final.
- 4) **Seguridad**, ya que minimiza la presencia de personas en los procesos de fabricación peligrosos, disminuyendo las posibilidades de accidentes laborales y reemplazando a los operarios de tareas tediosas.

Por otro lado, hay que destacar que la robótica ofrece unos grandes beneficios sociales, resolviendo problemas cotidianos en todos los sectores y edades de la población, mejorando la calidad de vida de los ciudadanos mediante la reducción de las horas de trabajo y de los riesgos laborales. También aporta beneficios económicos aumentando la competitividad de las empresas, dinamizando la creación de nuevas empresas y nuevos modelos de negocio y profesiones.

Los sectores a los que actualmente está orientada la robótica son muy amplios desde la industria manufacturera (automóvil y máquina herramienta) hasta la exploración de ambientes hostiles, tales como entornos submarinos y espacio. Así, la robotización no sólo atañe a sectores industriales, sino también a una gran variedad de aplicaciones sociales, tales como asistencia personal, medicina,

limpieza, inspección y mantenimiento de infraestructuras, entre otras. De hecho, la robótica actual se divide en dos grandes áreas, la robótica industrial y la robótica de servicios, entendiéndose esta última en un sentido amplio, incluyendo servicios personales y a la sociedad. Aunque la robótica industrial está bien establecida desde hace varias décadas y la de servicios está en una fase incipiente, ambas presentan grandes posibilidades de investigación y desarrollo que dan lugar a la robótica avanzada.

De acuerdo al informe de la IFR, *World Robotics 2009*, el parque mundial actual de robots industriales instalados a finales de 2008 es próximo a los 1.036.000, con índices de crecimiento sostenido del orden del 4-5% anual. Hay que resaltar que la mayoría de estos robots están instalados en la industria manufacturera. En concreto, alrededor del 50% están en la industria del automóvil. Las aplicaciones más demandadas son las de soldadura y manipulación, que en los países más industrializados son del orden 25-50% y 30-60%, respectivamente. Es interesante destacar que, mientras aproximadamente el 35% de robots industriales se encuentran en Japón, los líderes en la fabricación de robots son empresas europeas (*ABB, Kuka, Comau, Staubli*) que dominan casi la totalidad del mercado.

España ocupa un lugar relevante en la robótica industrial, estando en el 8º lugar en el mundo y el 4º en Europa por número de robots instalados, con cerca de 29.000 unidades, muy por encima del Reino Unido y muy cerca de Francia. Del mismo modo, si se toma como indicador la tasa de robots instalados por cada 10.000 trabajadores en la industria manufacturera, España se encuentra en un destacado lugar, por detrás solamente de Japón, Corea, Alemania, Italia, Suecia y Finlandia. Esta situación está por encima de nuestra situación económica en general y demuestra la importancia de la robótica en la economía española. Ahora bien, es necesario hacer notar que esta situación relevante está motivada exclusivamente por la gran implantación de la industria automovilística en nuestro país. Por lo tanto, este indicador es volátil en cuanto que debe considerarse la posible migración de estas industrias a terceros países donde los costes de fabricación sean inferiores.

Sin embargo, el número o la tasa de robots instalados en un país no debe ser considerado por sí mismo como un indicador del estado de la tecnología robótica de ese país, por cuanto puede tratarse, como así ocurre en el caso de España, de una tecnología adquirida a otros países. En efecto, España presenta aún una gran dependencia tecnológica en el desarrollo de robots y, en gran medida, de los procesos de ingeniería asociados a su implantación. Por otro lado, esta dependencia tecnológica, junto con una falta de formación técnica y cultura de la innovación en la pequeña y mediana empresa (principal tejido industrial de nuestro país), dificultan la robotización de un número destacable de actividades de fabricación de la pequeña manufactura, cuya solución tecnológica puede ser abordada con garantía de éxito por los técnicos e ingenieros formados en el entorno educativo español. Así, sectores como el calzado, astilleros, cerámica o el juguete, que se enfrentan en la actualidad a una fuerte competencia motivada

por la globalización de los mercados, podrían aumentar su competitividad en base a una robotización aún escasamente abordada.

Por otro lado, la robótica de servicio es un campo emergente, pero con un gran potencial de crecimiento. Sus aplicaciones se dividen en servicios personales (asistencia a personas mayores, discapacitados y niños, acompañante y/o sirviente personal, limpieza y seguridad doméstica, etc.) y servicios profesionales (limpieza de calles, vigilancia urbana, inspección y mantenimiento de infraestructuras, compañero de trabajo, medicina, construcción, agricultura, etc.). La mayoría de los sectores y aplicaciones citadas cuentan con un bajo o muy bajo nivel de automatización, ocupando a un gran número de trabajadores en actividades tediosas y en algunos casos peligrosas. Además, el continuo envejecimiento de la población, sin medidas efectivas para su cuidado y ocio, hace cada vez más necesario el desarrollo de robots para este sector de la población.

Las expectativas de aplicación de los robots de servicio han superado, en los últimos años, los límites de los procesos de manufactura. Por ejemplo, en aplicaciones domésticas como la limpieza de suelos, en Abril de 2011 se habían vendido más de 6 millones de unidades del robot *Roomba* de *iRobot* desde que se pusieron en comercialización en 2002. Todos los indicadores confirman que nos encontramos en una revolución que nos llevará a un mercado robótico de consumo, mediante la utilización en el hogar de nuevos robots, auténticos electrodomésticos móviles, que complementarán a los actuales estáticos. De la misma forma, las aplicaciones profesionales como la medicina, la construcción o la seguridad y defensa, presentan unas notables expectativas de crecimiento. Sus productos tienen un alto valor añadido como es el caso de robots para medicina. Como ejemplo, en la actualidad se han instalado más de 1200 robots *daVinci* de *Intuitive Surgical*, cada uno con un coste superior 1,2 millones \$US. Otro ejemplo destacable de los robots de servicio son los de entretenimiento y educación (bajo el término anglosajón “*edutainment*”) caracterizados por mascotas robots (*Aibo* de *Sony* y *PaPeRo* de *Nec*), habiéndose vendido en el mercado japonés las primeras 3.000 unidades de *Aibo* en menos de 20 minutos.

Estos ejemplos, entre otros muchos, demuestran que los actores implicados en el nuevo mercado de robots de servicio están aún sin consolidar, existiendo, por lo tanto, la oportunidad para España de llegar a ellos en igualdad de condiciones con otros países. Además, al entrar en el mercado de consumo se crean nuevas expectativas de ventas que en el sector industrial eran desconocidas hasta hoy en día. Las nuevas empresas robóticas podrían vender millones de unidades en vez de decenas de miles, como es el caso actual de la robótica industrial.

Se puede afirmar, sin ninguna duda, que la robótica actual es una tecnología madura. Se encuentra en la vanguardia de la integración de los más modernos avances en diferentes sectores, tales como actuadores, sensores, materiales, mecánica, hardware y software, comunicaciones, etc. Es una tecnología en continuo desarrollo, aumentando continuamente sus prestaciones y, consecuentemente, los campos de aplicación. Tanto la robótica de servicios como la robótica industrial tienen grandes posibilidades de expansión y progreso, por lo que la investigación y

desarrollo en robótica son claves para nuestro país, abriendo grandes posibilidades económicas y de progreso que pueden ser exportadas a otros países y sectores.

3.2. Objetivos del Libro Blanco

La creciente globalización, facilita que, productos fabricados en países con costes de producción muy inferiores a los de nuestro entorno, lleguen sin dificultades a nuestros mercados, apenas contenidos por medidas arancelarias que no pueden ser solución a medio plazo. Por ello, la riqueza industrial de nuestro país, como la del resto de los países de nuestro entorno socioeconómico, se debe basar en una continua renovación tecnológica, soportada por un importante esfuerzo en I+D+i que, en el caso de España, debe ser superior al actual. La actual crisis económica y financiera debe ser vista como una oportunidad para acelerar la transición hacia un sistema productivo basado en la innovación.

Tras un pasado incierto, en el que la conciencia de la sociedad española sobre la importancia de la investigación, desarrollo e innovación tecnológica era escasa, hoy en día, todos los agentes sociales y la gran mayoría de las empresas industriales y de servicios tienen claro que su supervivencia depende de la innovación e independencia tecnológica. La administración es igualmente consciente de esa importancia, como se refleja en el actual Plan Nacional de I+D+i cuyos presupuestos aumentan de año en año. El apoyo gubernamental con planes a largo plazo y a grupos de excelencia (programas Consolider, Cenit, Estratégicos-Singulares, PROFIT, etc.) es también muy importante. De igual manera, la potenciación de los grupos de investigación españoles y el impulso de la transferencia tecnológica son imprescindibles para conseguir una independencia tecnológica y una competitividad empresarial.

El Libro Blanco de la Robótica que aquí se presenta trata de analizar la conveniencia, oportunidad y posibilidades de la I+D+i en el área de la robótica, que, por su carácter de tecnología horizontal, cubre un amplio espectro de áreas de aplicación, llegando a buena parte de los sectores productivos en los que nuestro país puede mostrarse competitivo. Sin una planificación eficaz, estructurada y a largo plazo de la I+D+i en robótica en España, nuestras empresas no podrán competir en productividad, calidad ni precio en un mercado globalizado, con sus competidores emergentes de países en vías de desarrollo, que actualmente ofrecen mano de obra barata. Todo ello pone de manifiesto que la robotización y la automatización, el conocimiento de tecnologías afines, y la formación de Ingenieros especializados en estas áreas son elementos clave para la supervivencia de muchas de nuestras empresas.

Por otro lado, el Libro Blanco pretende realizar una prospectiva de los nuevos negocios y mercados de la robótica avanzada. Dónde, cómo y de qué forma se puede entrar en los nuevos mercados de la robótica de consumo. El análisis sectorial actual, la prospectiva de futuro y la capacidad tecnológica de España en

este sector ocupan una parte importante de este documento. De este análisis se desprende que España cuenta con investigadores y técnicos muy bien preparados y concienciados en la necesidad de enfocar su actividad profesional de modo que revierta de una manera tangible en la sociedad.

Sin embargo, esta capacidad no se aprovecha adecuadamente, por cuatro motivos básicos:

- 1) Falta de hábito, en general, por parte de la empresa española en realizar un esfuerzo propio adecuado en I+D+i, viendo a los investigadores como mano de obra barata para desarrollos puntuales.
- 2) Enfoque excesivamente académico de algunos colectivos de investigadores, que movidos por la necesidad de alcanzar los índices de calidad que fijan los actuales criterios oficiales, se centran en cumplir los baremos de publicaciones científicas más que en la transferencia de tecnología.
- 3) Singular relación investigación-empresa basada en contratos de desarrollo más que en contratos de investigación a largo plazo y, en algunos casos, con el único fin de obtener financiación pública.
- 4) Ausencia de unas líneas de investigación a largo plazo, adecuadamente priorizadas, que guíen y focalicen el esfuerzo de los grupos de I+D+i hacia los objetivos adecuados, originando la cultura de “café para todos”.

En 2009, la inversión de España en I+D+i es del 1,38% cuando en la Unión Europea está en el 2,01% de media y países como Suecia o Dinamarca dedican porcentajes superiores al 3%. La inversión, tanto gubernamental como empresarial, es muy baja en comparación con nuestro peso socio-económico. En relación con la robótica, sinónimo de progreso y tecnología, las inversiones públicas y su importancia son muy limitadas.

A pesar del incremento de contenidos de tecnologías robóticas y afines en el Plan Nacional de I+D+i 2008-2011, la robótica aún sigue apareciendo de forma dispersa y colateral:

- **Diseño y Producción Industrial (DPI).** Dentro de este programa se encuentran proyectos de investigación de muchas de las ramas de la robótica: robots humanoides, robots móviles, sistemas de interacción humano-robot, manipulación robótica, sistemas de mapeado y localización para navegación en entornos no estructurados, teleoperación, sistemas robotizados de fabricación, vehículos autónomos aéreos y submarinos, robots de servicios, robots cooperativos, etc.
- En otros programas, la aparición está mucho más diluida. Dentro de **Tecnología Electrónica y Comunicaciones (TEC)** se encuentran proyectos de investigación centrados en el desarrollo tecnológico de nuevos sistemas sensoriales para su utilización en aplicaciones robóticas. Destacan principalmente las implementaciones hardware de sistemas de visión y de redes multisensoriales. En el programa **Tecnologías Informáticas y para la Sociedad de la Información (TIN)** se encuentran

proyectos de investigación centrados en el desarrollo de algoritmos y la implementación de soluciones software aplicado a sistemas robóticos. Destaca la investigación en: técnicas de aprendizaje automático, algoritmos de visión por computador, algoritmos de posicionamiento, sistemas de inteligencia ambiental y sistemas de agentes inteligentes. En **Transporte (TRA)** se encuentran proyectos de investigación centrados en aplicar las tecnologías y algoritmos de la robótica en vehículos autónomos. Destacan los sistemas de reconocimiento de elementos del tráfico mediante visión artificial y los sistemas de coordinación entre múltiples vehículos.

Esta escasa presencia muestra la poca importancia que se otorga en la actualidad a las tecnologías robóticas, en discordancia con las significativas repercusiones que puede tener en la economía y sociedad de nuestro país.

En conclusión, el Libro Blanco de la Robótica en España, se orienta fundamentalmente a la I+D+i, analizando el estado actual y tratando de centrar esta actividad hacia el futuro, de modo que los rendimientos para la tecnología de nuestro país, y con ella, su economía, sean los mayores posibles. Los objetivos, por tanto, se centran en tres aspectos fundamentales:

- 1) Mostrar la existencia de sectores de mercado por cubrir, en los que sea posible, con la adecuada visión, liderar la oferta dentro y fuera de España. La prospectiva a largo plazo, basada en analizar nuevas aplicaciones, nuevos mercados, nuevos productos y las tendencias.
- 2) Marcar objetivos de I+D+i en robótica a largo plazo que, adecuadamente apoyados por una políticas de financiación pública, repercutirían positivamente en desarrollos tecnológicos. En concreto, la creación de un Programa de Robótica horizontal en el próximo Plan Nacional 2012-2015 permitiría concentrar y priorizar los esfuerzos investigadores de calidad.
- 3) Modificar la relación entre los centros de investigación y las empresas con el objetivo de dar a conocer a nuestros empresarios el potencial humano y de conocimiento con el que se cuenta en España y que estos pueden ser directamente aprovechables por la empresa. Esta relación debería estar basada fundamentalmente en convenios a largo plazo con beneficio mutuo.

Estas acciones se plantean con un horizonte temporal de corto, medio y largo plazo, de modo que se realizan recomendaciones estratégicas que permitan en un plazo hasta el 2020, mejorar sustancialmente la posición de España en la tecnología robótica, pretendiendo incluso el llegar a ser referencia en determinadas áreas en los entornos europeo y mundial.

3.3. Metodología y estructura del documento

El Libro Blanco de la Robótica en España es una iniciativa del Grupo Temático de robótica (GTRob) del Comité Español de Automática (CEA). Dicho grupo está integrado, fundamentalmente, por investigadores de universidades, CSIC y centros tecnológicos de todo el territorio español. Asimismo, participan en el GTRob un cada vez mayor número de empresas con actividades en I+D+i. Por todo ello, la metodología del documento aborda en profundidad los aspectos relacionados con la I+D+i, no tratando ciertos aspectos empresariales, que son objeto de otras organizaciones, como por ejemplo el “Informe sobre Robótica y Automatización” publicado en el año 2006 por la Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica.

La metodología empleada tiene una fase de análisis y otra de síntesis. En la primera, se estudian la realidad del tejido industrial actual y las estadísticas de la robótica (aplicaciones y el grado de robotización de la misma). Además, se analizan los documentos y hojas de ruta de otros países y organizaciones nacionales e internacionales. En la parte de síntesis, se proponen líneas de actuación estratégicas de la robótica española a largo plazo.

También se han analizado los destinatarios de este Libro Blanco, definiendo con claridad a quienes va dirigido, ver Figura 3.1. Pueden distinguirse cuatro agentes diferentes que contribuyen al desarrollo tecnológico en general y en particular al de la robótica: 1) agentes socio-económicos, representados por el mundo empresarial y la sociedad en general; 2) agentes de soporte de la I+D+i, básicamente las distintas administraciones públicas y el capital privado, en particular el procedente de sociedades de capital-riesgo; 3) agentes de capital humano, en donde hay que tener en cuenta los sistemas formativos a todos los niveles; y 4) los propios agentes de I+D+i, universidades, CSIC y centros tecnológicos. La relación armoniosa entre todos ellos es de gran importancia para unos buenos resultados de la I+D+i. El Libro Blanco va dirigido a estos cuatros agentes siempre desde el punto de vista de la I+D+i.

Figura 3.1: Agentes que contribuyen al desarrollo tecnológico de la robótica.



El Libro Blanco está dividido en seis capítulos, sin contar la parte introductoria y las conclusiones. En el capítulo 4 se aborda el impacto socio-económico de la robótica, se analizan las aplicaciones, sus estadísticas y las tendencias en este campo. En el capítulo 5 se analiza la I+D+i en robótica, se estudian los diferentes programas y hojas de ruta en el sector, así como el peso de los grupos de investigaciones españoles a nivel nacional. Los capítulos 6 y 7 se dedican a la transferencia tecnológica, que se centra de forma específica en la innovación, y a los mecanismos de financiación. En el capítulo 8 se analiza la formación en robótica. Por último, en el capítulo 9 se presenta el análisis estratégico en España, proponiéndose las líneas prioritarias de investigación a largo plazo.

A este Libro Blanco de la Robótica se le adjunta un DVD con 180 vídeos mostrando las aplicaciones más relevantes de los grupos de investigación españoles. Los vídeos han sido seleccionados atendiendo a su carácter práctico y a su aplicación en entornos reales o lo más próximos posible a estos. Están ordenados, tanto por centros de investigación como por aplicaciones. De esta forma, se facilita la búsqueda interactiva.

4

Impacto socio-económico de la robótica

*Socio-economic impact
of robotics*



En este apartado se presenta una visión actualizada de la situación de la robótica, tanto en el contexto mundial como nacional, y de su influencia en los diversos sectores socio-económicos de España. Asimismo, se evalúan las posibles actividades en las que la robótica podría contribuir a cambios significativos desde el punto de vista económico.

Habitualmente, los estudios sobre el estado de la robótica se estructuran de acuerdo al tipo de actividad en la que se emplean los robots. Así, si bien el sector industrial ha sido durante muchos años el usuario principal de los robots (robots industriales), en los últimos años y propiciado por los significativos avances que se están logrando en la I+D+i en robótica, se observa una clara tendencia al uso creciente de robots en el sector servicios o en algunas actividades industriales que, hasta hace pocos años, no había sido posible robotizar.

Atendiendo a esta división, en el análisis de la situación de la robótica y su impacto socio-económico, se comenzará revisando el estado actual de la robótica industrial y su posible evolución, para después abordar la robótica de servicio y otras actividades susceptibles de una próxima robotización.

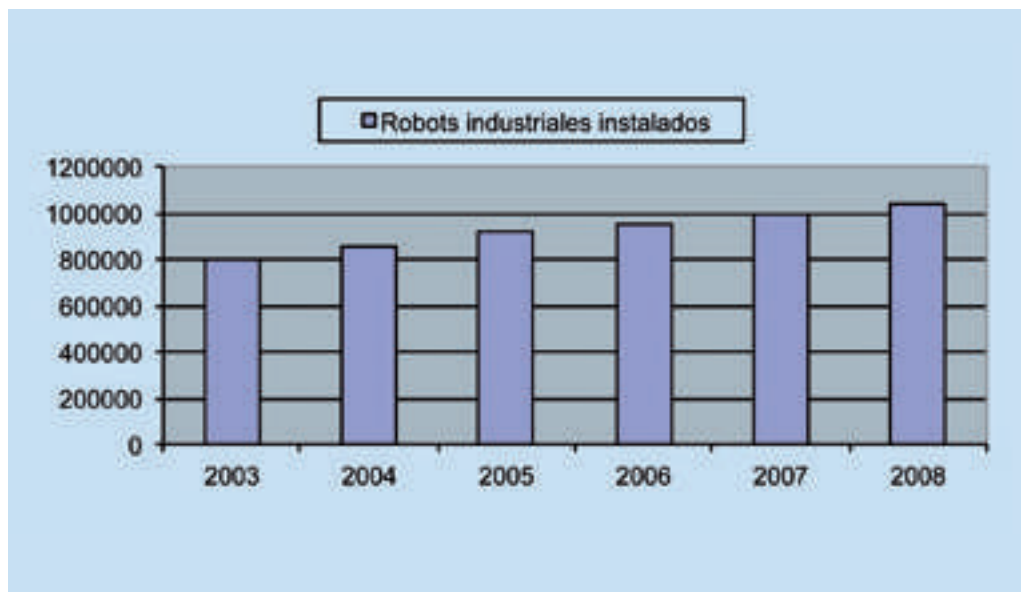
This chapter presents an updated survey of the state of robotics in the world-wide context and at the Spanish level. The influence of this field on diverse Spanish socio-economic sectors is also analyzed. In addition, the potential activities in which robotics could significantly contribute from an economic viewpoint are evaluated. Analysis of the state of robotics is usually structured according to the activities in which robots are employed. Thus, although industrial sectors have for many years been the main users of robots – i.e. industrial robots – in recent years, boosted by the significant R&D advances achieved in robotics, there is growing involvement of robots in service sectors or in some industrial activities in which robotization was not possible only several years ago.

According to this division, this analysis will begin with a review of the current state of industrial robotics and its potential evolution. The study focuses on service robotics and other activities that could potentially be robotized in the near future.

4.1. Estadísticas de robots

A finales del año 2008, según las estadísticas de la IFR, *World Robotics 2009*, el parque de robots industriales activos en el mundo era de 1.035.674. A partir del año 2004 (con excepción del 2006) se produce un incremento anual casi mantenido de en torno a los 40.000 robots.

Figura 4.1: Evolución de los robots industriales instalados en el mundo.



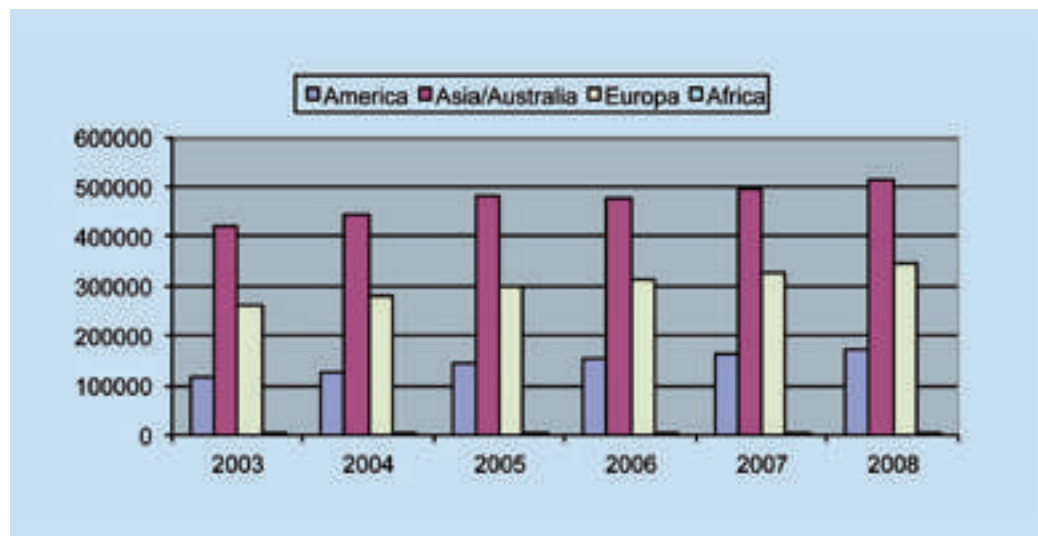
Efectivamente, desde 2003 a 2008 se produce un incremento anual en el número de robots instalados. Durante el año 2004 el incremento fue del 17% originado por la fuerte demanda de los países asiáticos y un crecimiento moderado en Europa y EEUU. En ambos casos estas subidas estuvieron motivadas por las fuertes inversiones realizadas en la industria del automóvil y en la industria eléctrica/electrónica. Sin embargo, en 2006 este ritmo de crecimiento tuvo un receso y desde 2007 el crecimiento del número de robots instalados se produce con una tasa menor, la cual se ha mantenido a lo largo de 2008.

Es significativo que Japón, donde se concentra el 34% de los robots instalados en el año 2004 (355.562 de los 1.035.674 robots en el mundo) haya experimentado, incluso en los últimos años, una tasa negativa en el número de robots instalados (un 0,2% según la IFR). No obstante, el crecimiento del parque de robots en Asia, se ha mantenido gracias al crecimiento experimentado por China, que ha pasado de disponer de 3.603 robots industriales en 2003 a 31.787 en 2008. En cuanto a Europa se refiere, se aprecia un constante crecimiento (Figura 4.2) pese a que los centros de producción manufacturera se están desplazando a los países en vías de desarrollo.

También es importante señalar que aunque Japón es líder en el número de robots, las empresas europeas dominan claramente el mercado mundial de fabricación de robots. La tradición europea en áreas tales como la mecánica de precisión, en sistemas avanzados de control y novedosos sistemas sensoriales, han hecho que la industria robótica esté dominada en la actualidad por empresas europeas. De las tres empresas más grandes del mundo, dos son europeas (ABB Robotics y KUKA) y una japonesa (Fanuc). ABB es líder indiscutible, estimándose

que su cuota de mercado mundial es del orden del 30%. *ABB*, empresa de origen sueco, desarrolló el primer robot servocontrolado de la historia en 1974. *KUKA*, empresa alemana, que empezó la fabricación de robots en serie en 1977, es la tercera productora de robots en el mundo. El segundo lugar por producción lo ocupa *Fanuc*, empresa creada hace 45 años para elaborar controles numéricos, que en la última década se ha especializado en robótica.

Figura 4.2: Evolución del número de robots industriales instalados por continentes.



La lenta evolución de la robótica industrial puede ser justificada por la posible saturación del mercado industrial de los robots manipuladores, en particular de las grandes industrias fabricantes de automóviles, habiéndose cubierto las actividades robotizables con la tecnología existente, y quedando las ventas restringidas, en gran medida, a la sustitución de unidades obsoletas.

España, con 28.636 unidades en 2008, ocupa un significativo 8º lugar mundial en cuanto a número de robots instalados. Por delante, sólo se encuentra Japón, Alemania, EEUU, Italia, Corea, Francia y China (que nos ha superado en los últimos años) (Figura 4.3). Este hecho es debido fundamentalmente a que España es uno de los mayores fabricantes de automóviles en el mundo, siendo el quinto o el sexto, según el año. El crecimiento del parque de robots industriales en España ha ido decreciendo en los últimos años: desde un 14% y un 11% en 2002 y 2003, hasta alcanzar un 4% en 2008. La industria española cuenta con una alta densidad de robots, más de 70 robots por cada 10.000 trabajadores, siendo la industria del automóvil la responsable en gran parte de este número, dado que utiliza aproximadamente un 65-70% de todos los robots instalados en España. En este sector, las aplicaciones de soldadura por puntos, por arco y pintura son las más demandadas.

Figura 4.3: Parque mundial de robots en 2008.

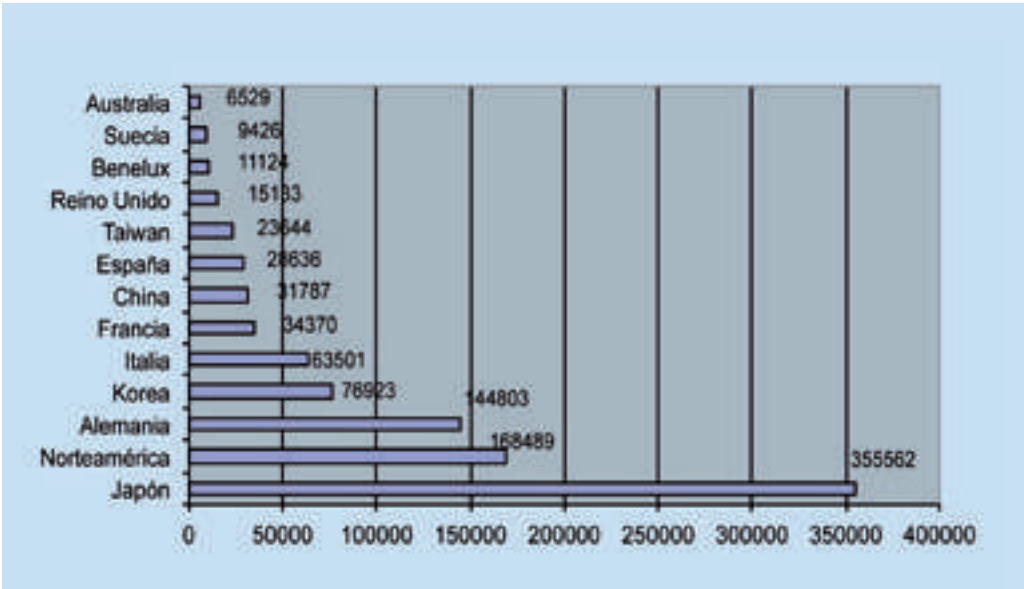
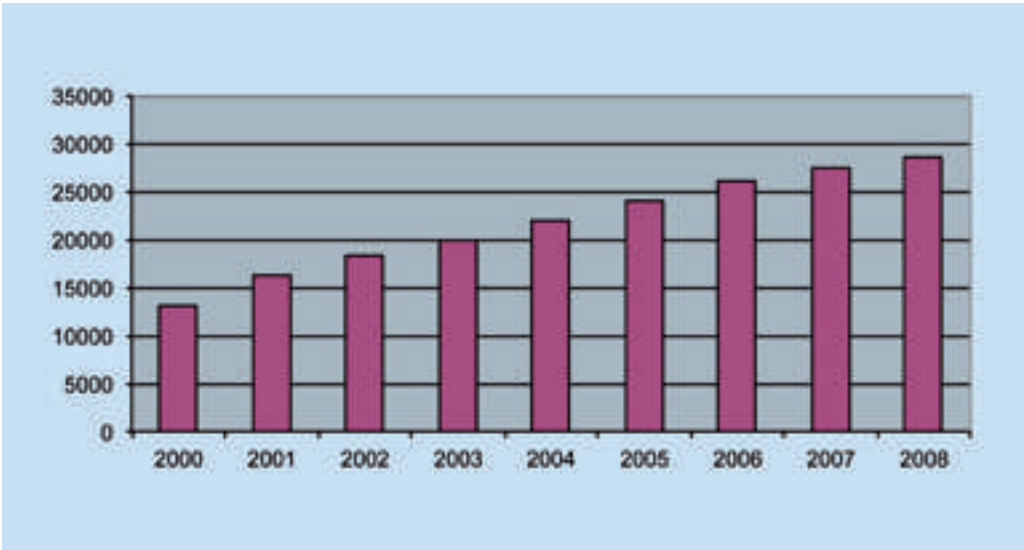


Figura 4.4: Evolución del parque de robots instalados en España.

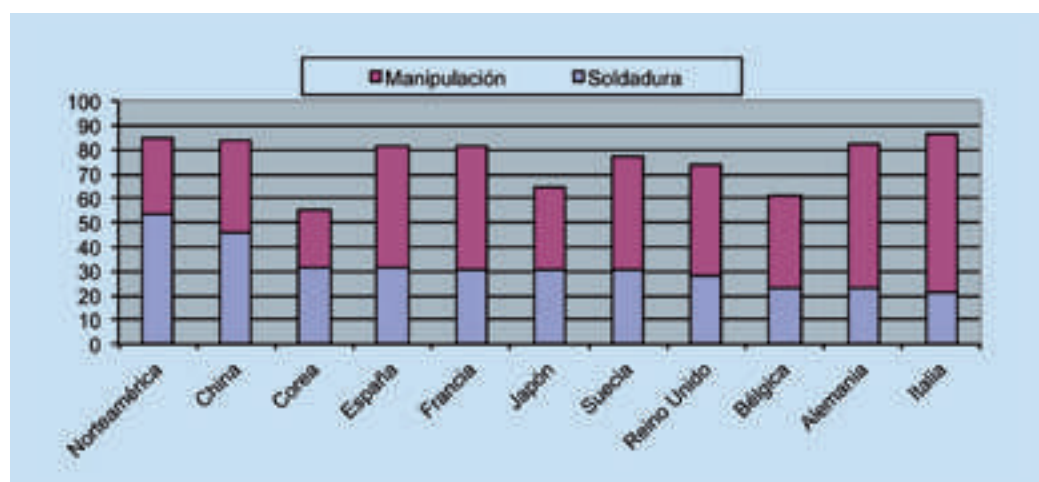


La Figura 4.5 muestra, para los países más robotizados, el porcentaje de robots dedicados a la soldadura, actividad prioritaria en la industria del automóvil y en aplicaciones de manipulación y atención de maquinaria. Se observa en ella que España es uno de los países donde la soldadura ocupa a un mayor porcentaje de

robots, siendo esta circunstancia consecuencia del gran número de instalaciones de este tipo presentes en la fabricación de automóviles. No obstante, hay que señalar, que en los últimos años, la relación entre robots dedicados a la soldadura y robots empleados en manipulación se ha invertido. En efecto, a finales de 2004, el porcentaje de robots estaba a favor de las tareas de soldadura, mientras que a finales de 2008 el porcentaje está a favor de las tareas de manipulación.

Por todo lo anterior, España se destaca como uno de los mayores consumidores de tecnologías robóticas. Este hecho, aún siendo relevante, contrasta con una casi nula presencia de nuestro país en el espectro de fabricantes y una muy baja en el de ingenierías desarrolladoras de aplicaciones robotizadas. Esta discrepancia entre el número de usuarios y número de suministradores, está relacionada, sin duda, con el alto porcentaje de robots dedicados a la soldadura.

Figura 4.5: Porcentaje de robots dedicados a actividades de soldadura y taller mecánico en diferentes países en el año 2008.



4.2. Sectores y aplicaciones de la robótica

4.2.1. Los robots en la industria del automóvil

Como ya se ha mencionado, la relevancia de la industria del automóvil en nuestro país es significativa. España es el quinto/sexta país fabricante de vehículos del mundo, empleando de manera directa a más de 300.000 personas en las 18 plantas existentes. Si se considera el empleo directo y el indirecto, la población ocupada en este sector se acerca a los 2 millones. Estas cifras ofrecen una clara idea de la importancia que la industria del automóvil, incluyendo la fabricación de componentes, tiene para España.

No obstante, el examen de la evolución del número de robots dedicados a la industria del automóvil, pone de manifiesto que tras un aumento significativo durante los últimos años, el número de robots en esta industria se ha estabilizado, experimentando incluso en el último año una ligera recesión (Figuras 4.6 y 4.7). En concreto al final del año 2008, de los 28.636 robots instalados en España, estaban dedicados a la industria del automóvil alrededor de 17.054 (59,55%). De hecho, en general, el crecimiento del total de robots en la industria ha decaído los últimos años, siguiendo una evolución casi lineal. Se constata que el crecimiento de robots en la industria del automóvil ha descendido desde un crecimiento positivo 9,6% alcanzado en 2005 hasta un decremento del -0,1% registrado en 2008.

Este hecho es debido a dos factores fundamentales: por un lado, la mala situación que atraviesa la industria del automóvil, con una competencia por parte de los nuevos países del este de Europa y de Asia, y, por otro lado, por las nuevas aplicaciones de la robótica fuera del sector del automóvil.

Todos estos datos ofrecen una clara idea de la importancia que sobre el número de robots industriales instalados en España tiene la industria del automóvil. No obstante, del total de empresas con actividad directa en el mundo del automóvil, sólo un 5,7% son fabricantes de vehículos, sector en donde se concentra principalmente el uso de robots. La mayoría de las empresas del sector son PYMES con un bajo nivel de robotización. Este hecho hace que la mayor parte de los robots instalados en la industria del automóvil se encuentren en unas pocas empresas multinacionales, que implantan una tecnología cerrada que dificulta, en gran medida, la incorporación de empresas tecnológicas nacionales.

Figura 4.6: Evolución del porcentaje de robots instalados en España en la industria del automóvil.

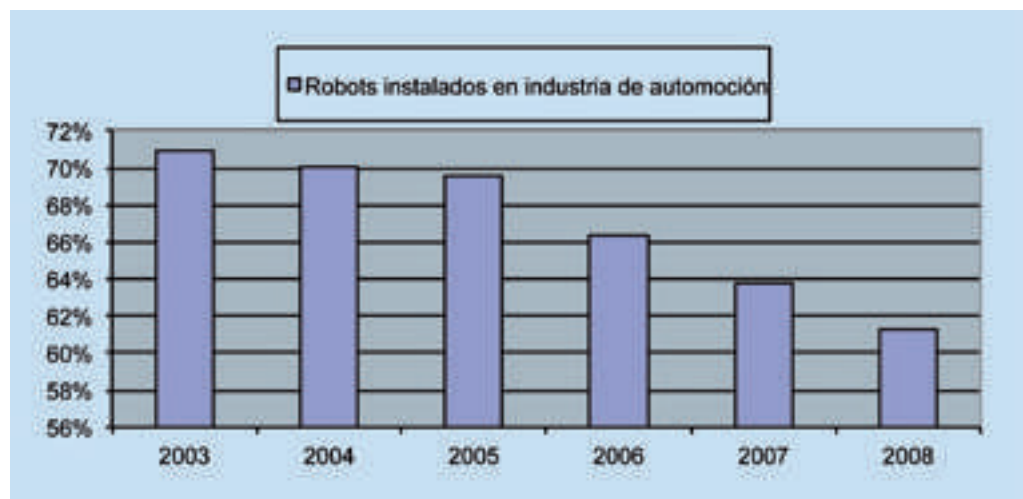
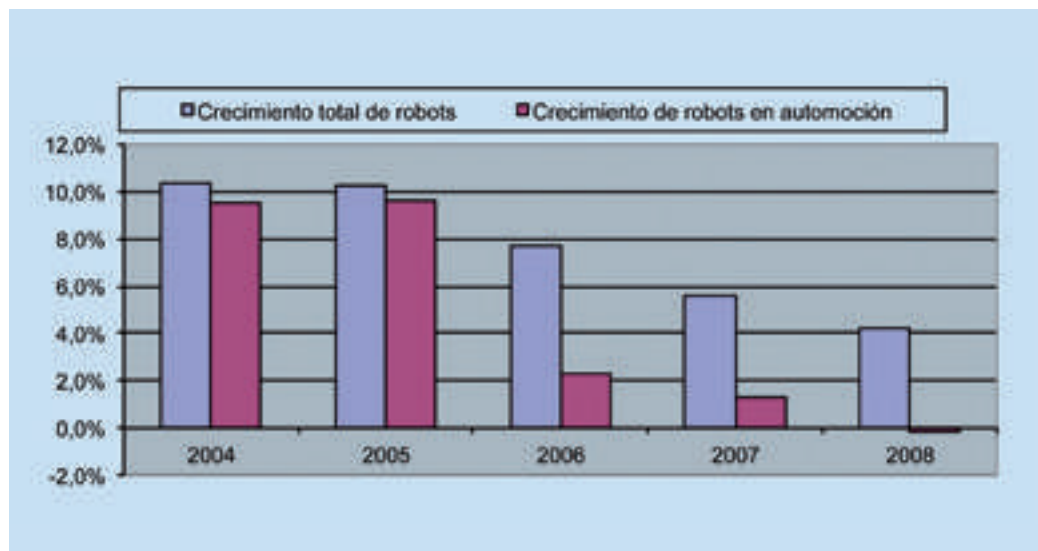


Figura 4.7: Crecimiento anual de robots instalados en España en la industria del automóvil.



4.2.2. Los robots en las PYMES

De acuerdo al Directorio Central de Empresas (DIRCE) del Instituto Nacional de Estadística, en el año 2009 casi la totalidad de las empresas españolas tenía menos de 200 asalariados.

Es sin duda motivo de reflexión, el que siendo las PYMES las que constituyen con diferencia el tejido industrial español, sea fuera de ellas donde se concentre el mayor número de robots industriales instalados, aún estando muchas de ellas dedicadas a sectores con actividades cuya robotización está bien desarrollada (taller mecánico, manipulación, etc.). De entre los motivos que pueden llevar a esta situación se pueden considerar el costo de la inversión, la insuficiente formación en este tipo de tecnologías -tanto de los operarios como del personal técnico y directivo de la empresa- y el tipo de producción, en ocasiones de series muy cortas, que pueden dificultar la amortización de inversiones en automatización.

Los esfuerzos a realizar, encaminados a aumentar la robotización de la industria española, deben ir, en gran medida, orientados a resolver estos aspectos. De entre los diversos sectores en los que se observa un salto importante entre la robotización potencial y la real, se van a analizar aquellos cuya robotización puede ser tecnológicamente más compleja, por cuanto los de solución tecnológica conocida, deben ser tratados, en gran medida, en base a actuaciones de tipo económico o formativo. Se abordará así, el análisis de las pequeñas industrias del sector manufactura y el sector alimentación.

4.2.2.1. Los robots en la pequeña industria manufacturera

Dentro de este apartado se consideran los siguientes sectores:

- Industria del cuero y el calzado
- Industria de la madera y corcho
- Industria de transformación del caucho y materias plásticas
- Industrias manufactureras diversas (incluye además reciclaje)
- Muebles y otras industrias manufactureras

La Tabla 4.1 muestra la evolución de estos cinco sectores en el periodo 2002-2007 en cuanto al Valor Añadido Bruto (VAB) según los datos de la Contabilidad Nacional. Por su parte, la Tabla 4.2 muestra la evolución de puestos de trabajo en estos sectores.

A nivel global, los sectores considerados como de pequeña manufactura tienen una evolución económica media del 15,78% mientras que la media de los sectores industriales en este periodo se situó en el 24,08%. Se trata, por tanto, de sectores en crisis con pocas posibilidades de grandes inversiones en robótica.

Tabla 4.1: Valor Añadido Bruto (VAB) en millones de € a precios básicos: precios corrientes para la pequeña manufactura.

	2002	%	2003	2004	2005	2006	2007	%	Tasa de variación 2007/2002
1. Agricultura, ganadería y pesca	26.586	4,02	28.008	27.365	26.011	24.471	27.201	2,88	2,31
2. Energía	17.193	2,60	19.088	20.330	22.790	23.219	24.905	2,64	44,86
3. Industria	111.846	16,91	115.154	119.555	125.014	132.633	138.774	14,69	24,08
Industria del cuero y del calzado	1.588	0,24	1.604	1.503	1.504	1.417	1.449	0,15	-8,75
Industria de la madera y el corcho	2.619	0,40	2.683	2.746	2.910	3.140	3.235	0,34	23,52
Industria de la transformación del caucho y materias plásticas	5.118	0,77	5.223	5.374	5.474	5.432	5.711	0,60	11,59
Industrias manufactureras diversas (incluye reciclaje)	5.626	0,85	5.791	6.325	6.593	6.903	6.921	0,73	23,02
Muebles y otras industrias manufactureras	5.014	0,76	5.085	5.562	5.676	5.878	5.799	0,61	15,66
PEQUEÑA MANUFACTURERA (*)	19.965	3,02	20.386	21.510	22.157	22.770	23.115	2,45	15,78
4. Construcción	62.452	9,44	70.265	80.480	93.808	105.823	112.040	11,86	79,40
5. Servicios	443.440	67,03	474.417	508.939	546.153	590.680	641.904	67,94	44,76
VALOR AÑADIDO BRUTO									
A PRECIOS BÁSICOS	661.517	100,00	706.932	756.669	813.776	876.826	944.824	100,00	42,83
Impuestos netos sobre los productos	67.689		75.997	84.373	95.016	107.458	108.713		
PRODUCTO INTERIOR BRUTO A PRECIOS DE MERCADO	729.206		782.929	841.042	908.792	984.284	1.053.537		

Tabla 4.2: Puestos de Trabajo (PT) en miles de empleos para la pequeña manufactura.

	2002	%	2003	2004	2005	2006	2007	%	Tasa de variación 2007/2002
1. Agricultura, ganadería y pesca	1104,40	6,10	1094,60	1059,70	1033,70	978,30	958,10	4,44	-13,25
2. Energía	124,10	0,68	130,80	139,40	142,40	142,90	147,00	0,68	18,45
3. Industria	3052,60	16,85	3065,90	3098,00	3119,40	3113,60	3078,50	14,26	0,85
Industria del cuero y del calzado	81,60	0,45	79,00	76,00	71,40	64,40	62,50	0,29	-23,41
Industria de la madera y el corcho	117,30	0,65	117,10	120,60	117,40	118,40	112,50	0,52	-4,09
Industria de la transformación del caucho y materias plásticas	128,50	0,71	129,90	131,10	129,70	127,80	129,80	0,60	1,01
Industrias manufactureras diversas (incluye reciclaje)	252,70	1,39	255,40	259,00	257,60	254,00	244,80	1,13	-3,13
Muebles y otras industrias manufactureras	236,90	1,31	237,70	240,30	237,90	231,40	220,40	1,02	-6,96
PEQUEÑA MANUFACTURERA (*)	817,00	4,51	819,10	827,00	814,00	796,00	770,00	3,57	-5,75
4. Construcción	2083,00	11,50	2162,10	2251,60	2423,00	2576,90	2720,00	12,60	30,58
5. Servicios	11752,70	64,87	12232,80	12785,40	13396,50	14124,60	14681,50	68,02	24,92
TOTAL	18116,80	100,00	18686,20	19334,10	20115,00	20936,30	21585,10	100,00	19,14

En conjunto, el número de puestos de trabajo se ha reducido más del 5% en el periodo considerado, frente al incremento cercano al 1% en la división industrial, lo que refuerza la idea de que son sectores en crisis.

De los sectores considerados como de pequeña manufactura, el sector de la madera y el corcho ha mantenido un dinamismo similar a los números totales de la industria (tasa de variación del VAB del 24%). Dicho sector está fuertemente influenciado por el sector de la construcción, que ha tenido gran dinamismo en el periodo analizado. El sector “Industrias manufactureras diversas”, que incorpora, junto con el mueble y otras industrias, las de reciclaje, ha tenido una tasa de crecimiento del VAB del 24%, similar al de la media de los sectores industriales.

Resultan muy preocupantes los datos del sector del cuero y calzado, estando en una situación de claro declive. En el resto de sectores se puede observar su limitado dinamismo y la significativa disminución de puestos de trabajo.

En estos sectores, la robótica puede implantarse, en principio, en aplicaciones para las siguientes actividades:

- **Manipulación de piezas.** Estas aplicaciones tienen gran importancia en la industria de transformación del caucho y materias plásticas, con un importante número de robots destinados a la carga/descarga de máquinas, principalmente en máquinas de moldeo por inyección, donde se utilizan tanto robots articulares como, principalmente, robots cartesianos, habiendo marcas especializadas en robots para este tipo de aplicaciones. En los sectores de la madera, del mueble y manufactureras diversas se pueden usar robots para ensamblado, carga de máquinas, paletizado, etc.
- **Aplicación de material.** Tradicionalmente ninguno de estos sectores ha sido muy dado a este tipo de aplicaciones, si bien existen algunos pocos casos de pintura o encolado.
- **Aplicaciones de mecanizado.** Si bien se podría esperar que en el campo de la madera o del cuero hubiera un número importante de aplicaciones

de corte con el uso de robots, esto no es así. De las posibles aplicaciones de mecanizado, el desbarbado en el sector del plástico y de la madera es quizá la que mayor número de instalaciones pueda tener.

- **Aplicaciones de control de calidad.** Al no ser sectores con fuertes requisitos de precisión, las posibles aplicaciones de medición, inspección y verificación no son normalmente contempladas en estas industrias.
- **Aplicaciones de soldadura.** No existen prácticamente robots de soldadura en estos sectores, ya que estas aplicaciones entran principalmente en el sector del taller mecánico.

La crisis en que se encuentran estos sectores representa, sin embargo, una oportunidad para las posibilidades de automatización, si bien difícil de alcanzar. Sectores como el calzado o el mueble no pueden competir con los bajos costes de mano de obra en la producción en los países asiáticos, por lo que deben buscar un mercado diferente, de diseño propio y mayor calidad, a la vez que reducir costes de producción y aumentar la flexibilidad y el nivel de automatización de las líneas de producción. El reconocimiento de defectos en pieles y su corte automatizado para la industria del cuero y el calzado pueden ser ejemplos significativos de como aplicaciones avanzadas de la robótica representan innovaciones o avances tecnológicos en uno de los sectores más en crisis de los considerados.

También puede ser importante reseñar el crecimiento de las industrias de reciclaje. Es previsible que en un futuro próximo, como consecuencia del impacto medioambiental asociado al final de la vida útil de los productos industriales, sobre todo en el caso de los bienes de equipo y bienes duraderos de consumo, esta tendencia al crecimiento se vea reforzada. Por tanto, parece pues que las empresas de estos sectores pueden ser un objetivo prioritario para la automatización en general y la incorporación de robots en particular, pudiendo destacarse como ejemplo de aplicación significativa el desensamblado automático de productos.

4.2.2.2. Los robots en la industria de alimentación

En lo referente al sector de alimentación, se han considerado los sub-sectores de:

- Industria de la alimentación, bebidas y tabaco
- Industria de productos alimenticios y bebidas

Las Tablas 4.3 y 4.4 recogen la evolución del Valor Añadido Bruto y la evolución de los puestos de trabajo de estos dos sectores en el intervalo 2002-2007.

Tabla 4.3: Valor Añadido Bruto (VAB) en millones de € a precios básicos: precios corrientes (sector alimentación).

	2002	%VAB	2003	2004	2005	2006	2007	%VAB	Tasa de variación 2007/2002
1. Agricultura, ganadería y pesca	26.586	4,02	28.008	27.365	26.011	24.471	27.201	2,88	2,31
2. Energía	17.193	2,60	19.088	20.330	22.790	23.219	24.905	2,64	44,86
3. Industria	111.846	16,91	115.154	119.555	125.014	132.633	138.774	14,69	24,08
Industria de la alimentación, bebidas y tabaco	14.888	2,25	15.848	16.394	17.939	18.087	19.488	2,06	30,90
Industria de productos alimenticios y bebidas	14.378	2,17	15.315	15.804	17.363	17.739	19.105	2,02	32,88
4. Construcción	62.452	9,44	70.265	80.480	93.808	105.823	112.040	11,86	79,40
5. Servicios	443.440	67,03	474.417	508.939	546.153	590.680	641.904	67,94	44,76
VALOR AÑADIDO BRUTO A PRECIOS BÁSICOS	661.517	100,00	706.932	756.669	813.776	876.826	944.824	100,00	42,83
Impuestos netos sobre los productos	67.689		75.997	84.373	95.016	107.458	108.713		
PRODUCTO INTERIOR BRUTO A PRECIOS DE MERCADO	729.206		782.929	841.042	908.792	984.284	1.053.537		

Tabla 4.4: Puestos de Trabajo (PT) totales en miles de empleos (sector alimentación).

	2002	%	2003	2004	2005	2006	2007	%	Tasa de variación 2007/2002
1. Agricultura, ganadería y pesca	1104,40	6,10	1094,60	1059,70	1033,70	978,30	958,10	4,44	-13,25
2. Energía	124,10	0,68	130,80	139,40	142,40	142,90	147,00	0,68	18,45
3. Industria	3052,60	16,85	3065,90	3098,00	3119,40	3113,60	3078,50	14,26	0,85
4. Construcción	2083,00	11,50	2162,10	2251,60	2423,00	2576,90	2720,00	12,60	30,58
5. Servicios	11752,70	64,87	12232,80	12785,40	13396,50	14124,60	14681,50	68,02	24,92
TOTAL	18116,80	100,00	18686,20	19334,10	20115,00	20936,30	21585,10	100,00	19,14

De estos datos se desprenden las siguientes conclusiones:

- En este periodo, con crecimiento medio del VAB del 32%, los sectores de alimentación han tenido una evolución económica media mejor que la de la división industrial (tasa de crecimiento del VAB del 24%), siendo, por tanto, sectores con un dinamismo superior a la media industrial.
- En conjunto, el número de puestos de trabajo se ha incrementado en un 7%, frente al 1% de la división industrial, lo que refuerza la idea de que son sectores dinámicos, con perspectivas positivas y con posibilidades de inversiones.
- Frente a los sectores que se consideraban en la pequeña manufactura, el sector de la alimentación es bastante más próspero, tanto en datos del VAB como en puestos de trabajo.

En los sectores de alimentación, la robótica puede implantarse en principio en aplicaciones para las siguientes actividades:

- **Manipulación de piezas.** Estas aplicaciones tienen un gran auge en la industria de la alimentación, empezando a entrar con fuerza robots

destinados, por ejemplo al empaquetado de productos. Igualmente, la aparición de robots de estructura paralela para manipulación de productos de poco peso está siendo muy rentable en todos los segmentos de mercado con altos costes de mano de obra, como bollería industrial, pastelería y confitería, alimentos congelados e incluso industria farmacéutica (sector similar al de alimentación). La utilización de la robótica aporta unas condiciones higiénicas que evitan problemas intrínsecamente asociados a los operarios humanos. Muchas instalaciones tienen unos requisitos de velocidad, con alto volumen de producción y flexibilidad (por ejemplo, al cambio del producto o al cambio en el formato del paquete) que exigen conjugar aplicaciones robotizadas de manipulación con técnicas de reconocimiento por visión artificial. También existen aplicaciones robotizadas para paletizado final.

- **Aplicación de material.** Son pocas las instalaciones de este tipo existentes, estando principalmente localizadas en industrias de pastelería y confitería.
- **Aplicaciones de mecanizado.** Las posibles aplicaciones, como corte de carne, son realmente muy escasas, si bien existen soluciones desarrolladas para los casos avícola y porcino.
- **Aplicaciones de control de calidad.** Su presencia hasta la fecha es escasa.

El sector alimentario se puede considerar como un sector en auge y con grandes posibilidades de automatización y robotización. En muchos casos, presentan necesidades de avances tecnológicos, por ejemplo, para resolver necesidades de manipulación suave de productos, que implican el diseño de sistemas de agarre y manipulación para productos delicados y frágiles (mediante mini-punzonado, herramientas de vacío por flujo de aire, el uso de pinzas sensitivas, etc.).

4.2.3. Los robots en sectores productivos de compleja robotización

Se ha analizado, hasta el momento, el estado actual y las potencialidades de evolución de la robótica en el sector industrial. Se ha visto, en este sentido, que si bien es en este sector en el que se encuentran la mayor parte de los robots instalados hasta la fecha, el hecho de la saturación del consumidor dominante y su posible recesión (industria del automóvil), aconseja examinar otros sectores, en los que la robótica puede encontrar nuevos mercados.

En este sentido, es preciso considerar la importancia del sector servicios. La Tabla 4.5 recoge la evolución del Valor Añadido Bruto (VAB) en el periodo 2002-2007. La observación de estos índices permite evaluar la posición de cada sector, así como su dinamismo. Del análisis de la tabla se desprende que en 2007 la industria representa aproximadamente el 15% del Producto Interior Bruto Nacional a precios de mercado, muy lejos del sector servicios (68%). Asimismo, la tasa de variación 2007/2002 para el sector industrial es del 24%, con un crecimiento

previsto moderado pero sostenido del 6% anual, similar al sector energético, pero de nuevo lejos de los sectores de servicios y de construcción, este último con un elevado dinamismo.

Tabla 4.5: Valor Añadido Bruto (VAB) en millones de € a precios básicos: precios corrientes.

	2002	%VAB	2003	2004	2005	2006	2007	%VAB	Tasa de variación 2007/2002
1. Agricultura, ganadería y pesca	26.586	4,02	28.008	27.365	26.011	24.471	27.201	2,88	2,31
2. Energía	17.193	2,60	19.088	20.330	22.790	23.219	24.905	2,64	44,86
3. Industria	111.846	16,91	115.154	119.555	125.014	132.633	138.774	14,69	24,08
4. Construcción	62.452	9,44	70.265	80.480	93.808	105.823	112.040	11,86	79,40
5. Servicios	443.440	67,03	474.417	508.939	546.153	590.680	641.904	67,94	44,76
VALOR AÑADIDO BRUTO									
A PRECIOS BÁSICOS	661.517	100,00	706.932	756.669	813.776	876.826	944.824	100,00	42,83
Impuestos netos sobre los productos	67.689		75.997	84.373	95.016	107.458	108.713		
PRODUCTO INTERIOR BRUTO A PRECIOS DE MERCADO									
	729.206		782.929	841.042	908.792	984.284	1.053.537		

Otro indicador significativo del grado de importancia de un determinado sector puede encontrarse en los puestos de trabajo, recogidos en la Tabla 4.6. En ella puede observarse como, de nuevo, el sector servicios destaca notablemente con un 68% de los puestos de trabajo en 2007, teniendo el sector industrial sólo el 14%. Más aún, mientras el indicador de la tasa de variación muestra una fuerte tendencia al alza en el sector servicios (24,92%), el sector industrial muestra un incremento sólo del 0,85%.

Se puede por lo tanto concluir, que los indicadores muestran que la industria no dispone en la actualidad de suficiente dinamismo en cuanto a contribución al valor añadido y a la dedicación laboral, siendo los sectores de la construcción y de los servicios los principales generadores de riqueza.

Tabla 4.6: Puestos de Trabajo (PT) totales en miles de empleos.

	2002	%	2003	2004	2005	2006	2007	%	Tasa de variación 2007/2002
1. Agricultura, ganadería y pesca	1104,40	6,10	1094,60	1059,70	1033,70	978,30	958,10	4,44	-13,25
2. Energía	124,10	0,68	130,80	139,40	142,40	142,90	147,00	0,68	18,45
3. Industria	3052,60	16,85	3065,90	3098,00	3119,40	3113,60	3078,50	14,26	0,85
4. Construcción	2083,00	11,50	2162,10	2251,60	2423,00	2576,90	2720,00	12,60	30,58
5. Servicios	11752,70	64,87	12232,80	12785,40	13396,50	14124,60	14681,50	68,02	24,92
TOTAL	18116,80	100,00	18686,20	19334,10	20115,00	20936,30	21585,10	100,00	19,14

Cabe adicionalmente hacer alguna reflexión sobre el sector Agricultura, Ganadería y Pesca. Como se desprende de los datos recogidos en las Tablas 4.5 y 4.6 su contribución a los indicadores citados es comparativamente escasa. Sin

embargo, debe considerarse que comparativamente con el resto de Europa, España ocupa el segundo lugar en cuanto a diferentes indicadores de actividad orientada a la agricultura, ganadería y pesca. Esta circunstancia queda aún más de manifiesto si se considera que, de acuerdo al Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, este sector ha supuesto el 16,9% del valor de las exportaciones realizadas durante el año 2009.

Por lo tanto, la contribución de España al sector agricultura, pesca y ganadería europeo es destacable, siendo por ello razonable considerar el interés en invertir en la modernización de los procedimientos y técnicas agropecuarias en general y en particular, en aquellos que tengan que ver con la automatización y más concretamente con la robótica.

Es por ello por lo que a continuación se va a revisar el estado actual y potencial de la robótica en sectores de difícil robotización, pero con un importante impacto, como son la agricultura y la construcción.

4.2.3.1. Los robots en aplicaciones agrícolas

La agricultura ha sido probablemente uno de los sectores menos desarrollados técnicamente debido a problemas de distinta índole. Por una parte, deben considerarse limitaciones socio-económicas, tales como la atomización de las explotaciones agropecuarias, la tradicional escasa inversión de capital, el bajo valor añadido de los productos obtenidos, la estacionalidad de los cultivos y una mano de obra normalmente barata en términos relativos y con una limitada preparación. A estos factores es preciso añadir otro de naturaleza técnica, como es la falta de uniformidad, tanto en los productos como en los entornos de los cultivos, con unas condiciones orográficas y meteorológicas muy adversas y variables.

Actualmente, el sector agroalimentario es objeto de especial atención en cuanto a la incorporación de tecnologías avanzadas, dadas las exigencias cada vez mayores de producción, diversidad y calidad de los productos, así como de la presentación de los mismos; todo ello con el problema creciente de la carencia y carestía de la mano de obra. Cabe por ello hacer un análisis del estado actual, ventajas y posibilidades de robotización de las tareas agrícolas. Las principales ventajas de la robotización son las siguientes:

- Permite la sustitución de operarios en tareas peligrosas para la salud, como la pulverización de productos fitosanitarios.
- Aborda la realización de tareas repetitivas y tediosas, como la recolección de frutos.
- Permite realizar las tareas en horas nocturnas lo que repercute en ahorro de tiempo, por ejemplo, en la recolección.
- Mejora la precisión en algunas de las tareas agrícolas, como las relacionadas con la biotecnología, y en concreto la multiplicación de plantas a partir de tejido vegetal.

- Mejora en la eficiencia y calidad de algunas de las tareas como la uniformidad en la realización de huecos para el trasplante.
- Logra la disminución de riesgos ambientales como la reducción de la cantidad de producto fitosanitario que se emite.
- Consigue la reducción de costes (no por mano de obra) ya que se disminuye la cantidad de combustible y de productos utilizados en algunas tareas.
- Mejora la calidad de los productos como por ejemplo, la utilización de menos pesticidas.

A continuación, se enumeran las tareas básicas que se realizan en este sector, agrupadas en las cuatro principales fases del ciclo agrícola (preparación de cultivos/suelos, siembra, producción y recolección), indicando las ventajas particulares de la robotización en cada una de ellas, cuáles se encuentran robotizadas y las que son potencialmente robotizables. Adicionalmente, se considera una reciente actividad: la manipulación de plantas macetas, por su potencial robotización.

Hay que indicar los procesos de posrecolección, aún siendo una de las principales fases del ciclo agrícola, no se han incluido, ya que se ha considerado, al igual que todo el sector de la industria auxiliar de la agricultura, como industria agroalimentaria, existiendo en la actualidad soluciones robotizadas comerciales.

Preparación del cultivo. Esta fase agrupa los procesos de: eliminación de cultivo anterior, labranza, nivelado, desinfección y preabonado del suelo y realización de huecos para trasplante. Existe en la actualidad maquinaria robotizada para el caso de los cultivos extensivos desarrollada por las grandes empresas de tractores. Básicamente, se trata de tractores agrícolas con capacidad de teleoperación y en algunos escasos sistemas con posibilidad de conducción automática.

Por su parte, en cultivos intensivos la preparación del cultivo se realiza de forma manual o con maquinaria muy rudimentaria por los problemas de espacio en invernaderos y viveros, no existiendo ningún desarrollo robotizado al respecto. Cabría aquí considerar el desarrollo de robots móviles polivalentes capaces de desplazarse en el interior de invernaderos a los que se puedan acoplar los aperos y accesorios diseñados para este tipo de cultivo.

Siembra. Dentro de esta fase se consideran las etapas de plantación de semillas, producción de esquejes y realización de injertos, multiplicación vegetativa de plantas, fertirrigación, control ambiental de las plántulas y trasplante. Al igual que en el apartado anterior, en cultivos extensivos existen tractores robotizados y maquinaria agrícola modificada para realizar esta labor utilizando tractores con su aparejo apropiado.

En el caso de los cultivos intensivos, lo más habitual en el proceso de plantación es la siembra en semillero y posterior trasplante. Para este proceso de siembra en semillero existen ya máquinas automatizadas que realizan esta labor, considerándose, por lo tanto, robotizada. Para el caso de producción de esquejes de especies ornamentales, (como geranios y crisantemos) se han desarrollado diferentes soluciones automatizadas, si bien no han llegado a un adecuado nivel de comercialización.

Producción. Se encuentra integrada por las etapas de fertirrigación del cultivo, control ambiental del cultivo, pulverización de productos fitosanitarios, eliminación de malas hierbas, podas de las plantas, polinización, protección de frutos, limpieza de cubiertas en invernaderos y sombreado de las mismas.

La fertirrigación y aplicación de productos sanitarios en cultivos intensivos y en árboles está resuelta mediante los sistemas de riego automático. En cultivos extensivos se utilizan robots a modo de dispositivos móviles que se desplazan a lo largo de barras horizontales por las que se riega el cultivo. Estos sistemas se programan para que se muevan y rieguen toda la superficie cultivada. El proceso de eliminación de malas hierbas en cultivos extensivos, cuenta con tractores robotizados y maquinaria agrícola modificada que facilita la realización de esta labor.

Una de las tareas más tediosas y peligrosas del cultivo en invernadero es la limpieza de sus cubiertas o la deposición de un producto blanqueante para que disminuya la transmisión de radiación solar al interior en épocas calurosas. Esta tarea se realiza actualmente de forma manual, pudiendo ser robotizada de manera similar a como se ha robotizado la limpieza de otras superficies.

Recolección. Puede ser realizada de manera continua, por vibración, por piezas en árboles o por piezas en plantas. También se incluyen en esta fase la clasificación de los frutos y el envasado en campo.

La recolección continua aparece en los cultivos masivos de cereales, maíz, forrajes y otros en los que las plantas, secas o verdes, siendo normalmente cortadas en su parte inferior mediante dispositivos del tipo cuchillas en peine y siendo recogidas y empaquetadas en un proceso sin interrupción. Si bien existe maquinaria en parte automatizada para estos procesos, puede ser aumentada su autonomía en base al empleo de sensores (altura del corte, por ejemplo). Asimismo la robotización de esta tarea puede ser aumentada mediante el empleo de la teleoperación y la conducción automática de las cosechadoras comerciales.

El uso de la vibración está indicado para frutos y semillas duras (almendras, nueces, etc.) y para otros productos que deben ser procesados posteriormente, no planteando problemas de presentación o conservación (aceitunas, frutas para zumos o mermeladas, etc.). Se emplean para ello brazos mecánicos que se engarzan a troncos o ramas y que son accionados desde vehículos tractores en el primer caso, e incluso pequeños grupos portátiles para menores potencias. En el caso de los tractores, estos pueden tener el grado de autonomía o teleoperación indicado en otras labores.

La recolección por piezas en árboles o en plantas es un tema que está siendo tratado con especial interés en muchos centros de investigación y desarrollo en robótica, existiendo prototipos para cítricos (limones, naranjas y mandarinas), manzanas y racimos de uvas, e incluso para plantas al aire libre como sandías, melones o coles. En el caso de cultivos bajo invernadero, también existen algunos desarrollos de prototipos para diferentes variedades de tomates, pepinos o fresas, así como para la recolección de champiñones. Uno de los principales problemas a resolver en esta tarea es la localización de los frutos, siendo preciso

el uso de sistemas sensoriales capaces de detectarlos considerando el efecto de la superposición de los distintos elementos en una planta o árbol.

Manipulación de plantas en macetas. Por último, se considera esta tarea adicional propia de los invernaderos de plantas con macetas donde ha surgido el nuevo concepto de estación central de trabajo. Esta consiste en un lugar diseñado para que la mano de obra realice las operaciones de cultivo con el máximo rendimiento sin necesidad de desplazarse a la zona de cultivo. Esta tarea es potencialmente robotizable, utilizándose un sistema robotizado de transporte, mediante el cual las plantas son trasladadas a la estación central de trabajo de donde vuelven al invernadero una vez realizada la operación, o bien, se envasan para su venta.

4.2.3.2. Los robots en la construcción

La industria de la construcción representa un importante papel en la economía de un buen número de países industrializados. El nivel de empleo de esta industria es muy alto, con una tasa de ocupación superior a los 2 millones de personas en la UE. No obstante, el uso que hacen las empresas constructoras de sistemas robotizados es uno de los más bajos entre los sectores productivos. La gran mayoría de las tareas se realizan de forma manual o con ayuda de máquinas con muy bajo nivel de automatización.

La mayor dificultad que tiene este sector para incrementar el uso de los robots es la baja estructuración en el elevado número de tareas que se realizan en una obra, junto con la gran diferencia que existe en la realización de cada una ellas. Aún así, todavía hay muchas operaciones que son susceptibles de ser robotizadas, ya que son comunes a cualquier construcción.

El país que más ha avanzado en la automatización y robotización de la construcción es, sin duda, Japón, con un mayor número de soluciones robotizadas que EEUU y Europa juntas.

Las actividades principales en las que se han instalado los sistemas robotizados se pueden dividir en: obra civil y edificación. Otros dos campos en los que se han desarrollado muchas soluciones robóticas son: la supervisión y la demolición.

Las principales ventajas de la robotización en el sector de la construcción son las siguientes:

- Sustitución de operarios en tareas peligrosas para la salud, como la pulverización de productos aislantes y resistentes al fuego, o la demolición de edificios peligrosos.
- Realización de tareas repetitivas y tediosas, como la colocación de ladrillos o de paneles en un edificio, o la impregnación de alquitrán en una carretera.
- Realización de tareas en horas nocturnas, lo que repercute en ahorro de tiempo, para la finalización de la obra.

- Precisión en las tareas consiguiendo mejores acabados en las obras, como la pintura de paredes, la colocación de ventanas, etc.
- Reducción de costes motivada por una mejora en el transporte de los materiales y su uso más eficiente.
- Mejora de la calidad de los productos prefabricados que se usan en una edificación o en una obra civil.

A continuación, se enumeran las tareas básicas que se realizan en este sector agrupado en las cuatro actividades anteriormente comentadas, indicando las ventajas particulares de la robotización en cada una de ellas, cuáles se encuentran robotizadas y las que son potencialmente robotizables.

Obra civil. Las máquinas ya desarrolladas y usadas en obras civiles en la creación de carreteras, puentes, presas, etc. se pueden robotizar si se añaden los sistemas de instrumentación adecuados para automatizar todas las tareas para las que están diseñadas.

En la construcción de carreteras se ha alcanzado un alto nivel de automatización. Las apisonadoras, niveladoras y asfaltadoras están controladas con GPS, sensores de densidad y compactación, lo que les permite efectuar las operaciones con una gran precisión. De esta forma, las máquinas se convierten en robots móviles de exteriores con un guiado sensorial. Varias empresas alemanas y japonesas han desarrollado equipos con estas características.

En la construcción de túneles, es muy importante conseguir un guiado automático de la tuneladora, mediante láser y giróscopos. También son susceptibles de robotizar las operaciones de manipulado y ensamblado de los revestimientos interiores del túnel, trabajos que también realizan las tuneladoras. A estas máquinas se les pueden añadir brazos robotizados que permitan proyectar el cemento que reviste partes de un túnel.

En la construcción de puentes se puede robotizar el posicionamiento automático de cada uno de sus segmentos, así como el control correcto del posicionamiento vertical de los pilares. Los robots de proyección de cemento o asfalto de grandes dimensiones instalados en camiones son otras de las posibles aplicaciones.

Otras máquinas susceptibles de ser robotizadas son las de movimiento de tierras. Estas máquinas, además de comportarse como robots móviles, añaden las técnicas utilizadas en los robots teleoperados, controlando la fuerza de extracción de la tierra para que la excavación sea automática o asistida.

Edificación. En este campo se desarrollan sistemas robotizados para dos aspectos de la obra distintos: robots que se usan en la propia obra, a la par que los operarios, y robots que trabajan en pequeñas fábricas construyendo elementos prefabricados que posteriormente deberán ser ensamblados en el edificio.

Una tendencia actual en los nuevos procesos de construcción es conseguir una mayor estandarización en los materiales a utilizar, y sobre todo en el momento

de su manipulación y su manufactura. De este modo, se pueden aplicar las mismas técnicas de robotización que en otros sectores, como los del automóvil. En este sentido la creación de fábricas donde se construye material prefabricado para su uso posterior en diferentes obras juega un papel muy importante.

La construcción de edificios de alta calidad y bajo coste es uno de los objetivos prioritarios de la investigación en este campo. Algunos fabricantes españoles elaboran de forma automática distintos tipos de paneles. La producción de paneles de gran tamaño (de hasta 6x3 metros) de forma flexible, variando la geometría y, si hace falta, el material en cada nuevo panel, se efectúa mediante proyección de hormigón y fibra de vidrio de manera robotizada.

Otra forma de usar robots es en la propia edificación. En este caso, el edificio funciona como una fábrica donde hay grúas robotizadas para el transporte y ensamblado de pilares y vigas de estructura metálica, con robots de soldadura, de reparto y compactación de cemento de los forjados. Algunas empresas, sobre todo las japonesas, usan robots industriales comerciales en diferentes tareas, como son: solado, colocación de ventanas, pintura de paredes y proyección de cemento. Esta clase de trabajo no tiene todavía un alto grado de implantación en Europa y en EEUU.

Para edificios residenciales más pequeños, contruidos con ladrillos, bloques o piezas se pueden desarrollar robots de ensamblado. Estos robots pueden construir paredes de ladrillos o bloques más grandes. También se pueden robotizar grúas de medio y largo alcance instaladas en camiones para realizar tareas de manipulación y acabado. Debido a su gran alcance, las grúas deberán tener sensores externos que ayuden a corregir el error producido por la flexión de sus estructuras.

Para los acabados interiores de los edificios se pueden utilizar manipuladores móviles que permiten realizar la mayoría de las operaciones de acabado como son: colocación desde dentro de paneles separadores o de falso techo; de pintura; o de proyección de la protección ignífuga (sobre todo en los edificios de estructura metálica). Una de las aplicaciones que más se demanda es la colocación y compactación de forjados de cemento.

Inspección de obras civiles y edificios. En Europa hay gran número de obras civiles y edificios que, debido a su antigüedad, necesitan inspecciones de su estado (estructura, pintura, etc.) para poder agilizar y mejorar los trabajos de mantenimiento que tienen que soportar. La inspección de puentes de estructura metálica u hormigón también puede ser realizada con robots. Una de las soluciones posibles es usar robots escaladores autónomos capaces de enviar los datos de la obra al puesto de trabajo del técnico que supervisa el estado de la edificación. También se pueden usar robots montados sobre un camión, con capacidad de acceder desde él a la estructura de un puente o vigilar todo el perfil de un túnel o una presa. El uso de robots aéreos (mini-helicópteros o mini-dirigibles) dotados de cámaras de vídeo y sensores, es otra de las soluciones posibles para esta tarea. Algunos de estos robots permiten analizar y clasificar las muestras de los puentes de hormigón, con el fin de poder efectuar un rápido y seguro control de calidad;

otros robots pueden inspeccionar la superficie de tanques de almacenamiento de líquido, las superficies de reactores nucleares u otras estructuras similares.

Demolición. La demolición de las instalaciones de alto riesgo (centrales nucleares, petroquímicas, militares), es una tarea muy arriesgada y peligrosa. Por ello, la destrucción de sus edificios se puede realizar con robots que funcionen de forma teleoperada, manejados remotamente desde lugares seguros, convenientemente alejados de la zona de trabajo del robot, evitando así la exposición del operario a situaciones de riesgo. Actualmente hay 3.000 robots trabajando en estas tareas, y las previsiones para los próximos años son optimistas en este sector.

4.2.4. Uso de los robots para los servicios al ciudadano

Tal y como se ha analizado, la situación actual de la robótica responde a la demanda por parte de la industria de un tecnología capaz de resolver sus necesidades de una producción homogénea, automática y de gran flexibilidad. Esta demanda ha sido cubierta con acierto por los desarrollos conseguidos por la robótica durante los últimos 30 años.

Pero, tal y como reflejan los indicadores, no es el sector industrial el que contribuye de manera más significativa y dinámica a la economía. En España, es el sector servicios con diferencia, el principal generador de riqueza. El sector servicios se caracteriza con frecuencia por un elevado coste de la mano de obra y ofrece amplias posibilidades de robotización.

Según en informe *World Robotics 2009*, en el mundo, a finales del año 2008, se contabilizaban más de 270 empresas fabricantes o desarrolladoras de robots de servicios, de las cuales la mayoría se encontraban en Estados Unidos, Japón, Alemania e Inglaterra.

En el mismo estudio, y en base a datos recopilados por la International Federation of Robotics (IFR), se recoge que el número de robots de servicio operativos en el mundo para aplicaciones profesionales, en el año 2008 era de 63.424, mientras que para las aplicaciones domésticas y de ocio era de 7.180.974 unidades. Se espera que en los próximos 3 años el número de robots para aplicaciones profesionales se incremente en unas 49.000 unidades, y que el número de unidades de robots personales vendidos se sitúe en torno a los 4,7 millones de unidades.

Es por ello que es necesario examinar las posibilidades de futuro en España de la robótica en este tipo de actividades. Se revisan a continuación las áreas más destacadas de actividad de la robótica de servicio.

4.2.4.1. Los robots para usos domésticos

Por el volumen de usuarios implicados en este tipo de aplicaciones, los robots domésticos son sin duda el principal exponente de las posibilidades de crecimiento de la robótica a corto plazo. En la actualidad, un número relevante de empresas (ninguna española) comercializan robots con funciones domésticas como aspiradoras, asistente, cortadores de césped o limpiadores de ventanas.

Limpieza doméstica. El éxito comercial de robots aspiradoras ha superado cualquier previsión. Ya se han vendido más de 7 millones de unidades de diferentes robots de limpieza (*Roomba*, *Scooba* y *Dirt Dog*). Estos robots están programados para eliminar la suciedad, con desplazamientos en espiral, utilizando la tecnología de navegación inteligente. Toda la basura y el polvo se almacenan en un depósito sin bolsa, muy fácil de retirar, vaciar y volver a colocar. Utilizan algoritmos de planificación de movimientos para abarcar todo el suelo durante el proceso de limpieza automática. Además, gracias a su sensor de seguimiento de paredes, se desplazan a lo largo de las paredes y alrededor de los muebles para limpiar toda la superficie del suelo. Los costos de fabricación de este tipo de robots son bajos, permitiendo así precios accesibles al gran público, lo que aumentará el número de ventas y permite la fabricación de series grandes. Es de prever, por lo tanto, un rápido crecimiento de este mercado con nuevas y mejoradas prestaciones. En general, este tipo de electrodoméstico robótico está empezando a imponerse, siendo razonable pensar que en los próximos 10 años sea una realidad presente en todos los hogares.

Asistente doméstico. Otra de las aplicaciones robóticas con futuro es el asistente doméstico que permita la navegación inteligente y la manipulación de objetos: colocación de vajilla y utensilios; ordenación de armarios, estanterías y vitrinas; vaciado de papeleras; riego de plantas, etc. Estos robots todavía se encuentran en fase de desarrollo en laboratorio pero ya existen varios modelos avanzados. Por ejemplo, el robot alemán *Armar III*, de la Universidad de Karlsruhe, es capaz de ejecutar algunas operaciones en entornos tipo cocina: abrir y cerrar el lavavajillas, cargarlo y vaciarlos, cambiar de sitio los platos, coger/dejar productos de la encimera, etc. Con apariencia de humanoide, pero con locomoción a base de ruedas, el robot cuenta con dos brazos, y sus correspondientes manos, una cabeza sensorizada que permite reconocer el entorno y un amigable sistema de interacción humano-robot. En este sentido, los esfuerzos de los investigadores se centran actualmente en el desarrollo de avanzados sistemas de aprendizaje-imitación que permitan una fácil programación del robot inclusive para usuarios domésticos no expertos.

Cuidado de ancianos y discapacitados. Una especial atención requiere el cuidado de ancianos y discapacitados en entornos domésticos. Se estima que en el año 2025 el 20% de la población de la Unión Europea sea mayor de 65 años,

viviendo muchos de ellos solos y requiriendo una gran dependencia para poder desarrollar su vida diaria de manera normal. Por ello, la introducción de robots para este tipo de aplicaciones tiene una gran responsabilidad social. Existen algunos prototipos muy avanzados, varios de ellos en España, que permiten resolver tareas diarias tales como comer, beber, aseo personal (lavarse los dientes, maquillarse, afeitarse), etc. Estos robots son normalmente portátiles y están equipados con sistemas de movimiento en y entre las habitaciones a base de ruedas o conectores en las paredes (robots escaladores). Su interacción con las personas está en función de su nivel cognitivo y físico: por voz, gestual, mediante menú en la pantalla o joystick, todo ello de forma inalámbrica. Otra de las tareas importantes a resolver es el traslado de discapacitados sin necesidad de utilizar sillas de ruedas, que cuentan con el inconveniente de la complejidad del paso del paciente de la cama a la silla, y viceversa. En este sentido, el robot japonés *Ri-Man* de *Riken Bio-Mimetic Control Research Center* es capaz de trasladar en brazos a pacientes de una localización (cama, silla, sillón) a otra.

Por su parte, los avances en I+D+i aplicables a este tipo de robots son continuos, por lo que a corto plazo se observará una mejora en sus prestaciones. Las empresas españolas innovadoras tienen aquí un mercado basado en un producto tecnológicamente accesible, con un número elevado de potenciales compradores.

4.2.4.2. Los robots de educación y entretenimiento

La educación, y en especial la infantil y juvenil, es uno de los pilares de la sociedad moderna. No obstante, nuestros hábitos familiares han cambiado, sobre todo con la masiva incorporación de la mujer al mercado laboral. Los niños pasan cada más tiempo solos, lo que requiere de las familias grandes esfuerzos para mantener el nivel de enseñanza de sus hijos. Además, el fracaso escolar sigue estando en niveles altos y existe una importante dificultad de integración de niños de otras culturas. Por ello, el esfuerzo encaminado a la introducción de nuevas tecnologías en el proceso educativo, en especial de la robótica, debería ser uno de los objetivos estratégicos de nuestra sociedad.

Por otro lado, se puede considerar que nuestra sociedad actual es la sociedad del ocio y del entretenimiento. Las mejoras laborales y el estado del bienestar han permitido al ciudadano disponer de tiempo y recursos económicos que dedica a diferentes actividades englobadas bajo la denominación de “entretenimiento”. En torno a esta situación han surgido numerosas actividades económicas fructíferas que, en el caso de España, destino turístico por excelencia, representan un porcentaje muy significativo en la generación de riqueza.

La unión de la educación y el entretenimiento ha dado lugar a un nuevo término, “*edutainment*” (*education and entertainment*, en inglés) que agrupa la robótica encaminada a interaccionar con personas, sobre todo niños y jóvenes.

Educación infantil y juvenil. La enseñanza, el cuidado y el entretenimiento de niños, a todos los niveles, pueden efectuarse con ayuda de robots. La interacción con niños tiene una importante complejidad que reside básicamente en, por un lado, mantener su atención para un aprovechamiento óptimo de su compañía y, por otro, no cansarles en exceso ya que puede llevarles al rechazo del robot. Los niños se cansan enseguida de los juguetes y, por eso, estos robots deben ser muy flexibles cambiando constantemente el juego, la atención y los deberes.

En España existen grupos singulares que han desarrollado robots de este tipo, algunos de ellos con apariencia juvenil, tipo dibujos animados. Cuentan con una buena movilidad en entornos escolares y domésticos, y además pueden mover la cabeza, los brazos, los labios y los parpados. La interacción niño-robot se efectúa normalmente mediante habla, intentando crear un ambiente de compañeros. El robot tiene como objetivo ayudar al niño a buscar información, vía conexión a Internet, revisar los deberes a través de recitación o a proponerle nuevos problemas a resolver para reforzar el aprendizaje.

El cuidado y el entretenimiento de niños se deben efectuar con robots dotados de una gran movilidad, normalmente basada en ruedas o patas, y con un potente sistema sensorial en el cuerpo del robot que permita reaccionar al tacto, expresión, gesto, habla, etc. Normalmente interactúan con los niños jugando, bailando, siguiéndoles o siendo seguidos, llamando su atención sobre algunos aspectos del entorno, e incluso pueden realizar labores de vigilancia de los más pequeños.

La educación puede también estar encaminada a la construcción y manejo de robots. Existen varias empresas que promocionan este tipo de dispositivos para un amplio espectro de jóvenes. Uno de ellos, el sistema *Lego Mindstorms*, es bastante flexible pues está compuesto por fichas, un microprocesador y algunos sensores (tacto, luminosidad, presencia, etc.). Por otro lado, los componentes son resistentes y no se requieren conocimientos avanzados para hacerlos funcionar. Además, el lenguaje de programación es sencillo y el sistema es barato. Entre los objetivos de este tipo de enseñanza robótica destacan los de permitir visualizar conceptos abstractos, formular y ensayar alternativas de solución a problemas, facilitar el aprendizaje de conceptos de razonamiento mecánico, físico e informático, aumentar la creatividad de los estudiantes y desarrollar la capacidad de trabajo colaborativo.

Juguetes y mascotas. El sector del juguete en España tiene una destacada tradición. Es bien sabido que en la actualidad el sector pasa por dificultades, motivadas por los bajos costos de producción de los juguetes fabricados en países asiáticos, contra los que es difícil competir. De entre las posibles alternativas para contrarrestar esta situación puede considerarse la del desarrollo de juguetes dotados de nuevas capacidades, que los hagan más atractivos a una sociedad que, en la actualidad, dispone por lo general de los recursos económicos suficientes para acceder a estos nuevos juguetes.

Posiblemente, el factor diferenciador más relevante de estos juguetes resida en su interacción con el usuario, siendo capaces de comunicarse con él de una

manera más cercana a como lo haría un ser vivo (humano o animal). Junto con aspectos mecánicos que inciden en la movilidad, el factor más determinante de esta capacidad de comunicación reside en la implantación en los juguetes-robot de técnicas de Inteligencia Artificial propias de la robótica, que consiguieran que el juguete-robot aprenda el modo más adecuado de interactuar con el usuario, transmitiendo a éste la falsa sensación de que se trata de un ser vivo en lugar del robot que realmente es.

Una vez más son los fabricantes extranjeros los que han tomado la iniciativa en el desarrollo y fabricación de este tipo de productos (basta citar a los *Tamagochi*, *Furby*, *Robosapiens* o *Aibo*). La industria española está perfectamente capacitada para desarrollar juguetes-robot similares y puede, en cualquier caso, recibir las ayudas en I+D+i necesarias por parte de grupos cualificados españoles.

Robots en parques temáticos y exposiciones. El número de parques de atracciones o parques temáticos instalados en España ha crecido significativamente en los últimos 10 años, posiblemente en respuesta a la demanda de ocio por parte de visitantes, tanto nacionales como extranjeros.

En ellos abundan los autómatas con apariencia humana o animal, que son verdaderos exponentes de la tecnología robótica y mecatrónica en general. La necesidad de conseguir unos movimientos y actitudes muy cercanas a la realidad, obligan a utilizar técnicas avanzadas en actuadores, sistemas de control y programación. Requisitos similares son aplicables a los robots desarrollados específicamente para actuar como personajes en la filmación de películas.

Si bien por lo general estos autómatas no son interactivos, es decir, repiten una secuencia fija de movimientos, la tendencia a un futuro inmediato es la de dotarles de la capacidad de respuesta a los estímulos recibidos por parte de los visitantes, confiriéndoles así una apariencia más cercana a la de un ser vivo. Para ello, a los desarrollos citados en actuadores, control y programación, será preciso incorporar técnicas propias de la Inteligencia Artificial, de modo que puedan responder a la voz o al movimiento, manteniendo conversaciones o interactuando de manera emocional. Estos aspectos son actualmente objeto de investigación en diferentes centros extranjeros y nacionales, existiendo hasta la fecha resultados que van siendo progresivamente incorporados a estos robots.

Es preciso destacar que, salvo alguna posible excepción, los robots incorporados a los parques de atracciones españoles, independientemente del origen de la empresa propietaria, son de producción extranjera, situación que no hace justicia a la capacidad tecnológica de las empresas y de los grupos de I+D+i en robótica españoles.

Una actividad de los robots en los parques de atracciones de características muy diferentes a la anterior y con un estado de desarrollo que puede considerarse finalizado sería el uso de grandes robots manipuladores como “simuladores de vuelo”. Esta aplicación, comercializada por ejemplo por *KUKA (Robocoaster)*,

permite al usuario configurar previamente el programa de movimientos a los que quiere someterse. Una vez cargado el programa en la unidad de control del robot, este mueve la silla dispuesta en su extremo con el usuario sujeto a la misma, sometiéndole a rápidos giros y desplazamientos. En esencia, es una aplicación equivalente a la de los robots industriales manipuladores, con una vigilancia especial en los aspectos de seguridad, por lo que son los fabricantes actuales de robots industriales los que están en condiciones adecuadas de abordar este mercado.

Cabe citar también como una actividad cercana al uso de los robots en los parques temáticos, su empleo como guías para museos, salas de exposiciones o ferias. Estos no persiguen necesariamente la imitación de un ser vivo en cuanto a forma o movimientos, pero ven aumentada su necesidad de interacción, pues deben responder a las demandas de los visitantes, en muchas ocasiones más fascinados por el propio robot que por la visita guiada. En España ya ha habido algunas experiencias en este sentido protagonizadas por prototipos de robots desarrollados por centros de I+D+i españoles en diferentes ferias y museos relevantes. No obstante, esta aplicación de la robótica ha sido emprendida por varios grupos y empresas de Europa y EEUU, por lo que es preciso darle la adecuada prioridad para que los posibles desarrollos españoles no se vean anulados por productos extranjeros.

Robots en hostelería. Esta actividad de la robótica está, hasta la fecha, escasamente explotada, y si bien algunas de las funciones a desarrollar por los robots pueden ser complejas precisando de un esfuerzo en I+D, otras cuentan en la actualidad con los desarrollos tecnológicos necesarios para su implantación, siendo suficiente con el factor innovación (i) para su puesta en mercado.

Así, entre las aplicaciones hosteleras cuya implantación puede ser abordada de manera inmediata, se encuentra el uso de robots en tareas repetitivas en la cocina de restaurantes de comida rápida. Hay algunos sistemas en funcionamiento en multinacionales de esta actividad, a nivel de desarrollo a medida, que usan robots para freír patatas o preparar pizzas. Estas tareas, en parte repetitivas, pero con una cierta dosis de flexibilidad (en el caso de los ingredientes a disponer sobre la base de las pizzas, por ejemplo) pueden ser perfectamente realizadas por un robot manipulador que exima al humano de estas tareas. Se consiguen así varias ventajas de entre las que cabe citar: mayor garantía de higiene, homogeneidad, calidad (en el caso de freír patatas, esta depende entre otras circunstancias del tiempo de fritura en relación con la temperatura del aceite), evitar al humano el desarrollo de tareas monótonas permitiéndole dedicarse a otras funciones como, por ejemplo, el trato directo con el público.

Otra aplicación similar puede encontrarse en la preparación y servicio de cócteles de composición variable a petición del cliente, añadiéndose, en este caso, la componente publicitaria como atractivo.

Como se ha indicado estas aplicaciones son perfectamente abordables con el estado actual de la robótica, pudiendo ser desarrolladas perfectamente por empresas españolas innovadoras, que en caso de precisarlo pueden estar ayudadas por las ingenierías o grupos de I+D+i nacionales.

4.2.4.3. Los robots en la sanidad

Son muchas las aportaciones que la robótica está realizando en la actualidad en la sanidad. Se van a revisar aquí algunas de ellas, en su mayoría en estado de aplicación real, bien como producto a medida o como producto de catálogo.

Cirugía. Las aplicaciones, actualmente comerciales, de la robótica en cirugía se clasifican en dos vertientes: por un lado la cirugía robotizada guiada por imagen y, por el otro, el uso del telerobots en cirugía mínimamente invasiva.

La cirugía robotizada guiada por imagen se aplica en particular en la inserción de implantes ortopédicos de cadera y rodilla. El proceso de selección del implante y vaciado del hueso para el alojamiento del implante, puede ser planificado en una etapa pre-operatoria y después ser ejecutado con precisión en quirófano por un robot bajo la supervisión del equipo médico. Sistemas comerciales como *Robodoc* o *Acrobot Sculptor* (ambos desarrollados por empresas estadounidenses) se utilizan desde hace años en diferentes clínicas europeas, existiendo en España también algunas clínicas pioneras en el uso de estos sistemas.

El uso de telerobots (robots controlados a distancia por el usuario) en cirugía mínimamente invasiva permite intercalar, entre los movimientos del cirujano y los del instrumental quirúrgico en contacto con el paciente, todas las capacidades que puede proporcionar un sistema informático, como son: filtrado de microtemblores, aumento de la resolución del movimiento, creación de barreras virtuales que impidan el contacto con órganos o zonas peligrosas, etc. Además evita que sea imprescindible la presencia del cirujano especialista en el quirófano, pudiendo trabajar remotamente, estando la distancia limitada básicamente por las dificultades asociadas a las comunicaciones de datos entre quirófano y cirujano. Otra variante complementaria a la anterior sería el control de la cámara endoscópica, para enfocar las áreas adecuadas a petición del cirujano y que convencionalmente se realiza mediante la adecuada compenetración entre éste y quien le auxilia en esta tarea.

De nuevo, son fundamentalmente empresas estadounidenses las que comercializan este tipo de robots (*AESOP*, *DaVinci*) a precios que los hacen difícilmente accesibles, salvo para algunos centros. En España hay algunas clínicas (públicas y privadas) dotadas con robots cirujanos y varios grupos de investigación que desarrollan actividad en este tema, existiendo incluso reuniones periódicas donde participan investigadores en robótica y profesionales del sector salud con interés o experiencia en el uso de robots en cirugía.

Rehabilitación. El aumento de la esperanza de vida lleva parejo la necesidad de atender dolencias o patologías asociadas a la edad. Muchas de ellas tienen que ver o llevan asociadas limitaciones motrices, cuyo tratamiento implica, junto a otras medidas, la rehabilitación.

Esta situación se ha puesto de evidencia en España con el aumento en la demanda laboral de fisioterapeutas, y con la relativamente reciente inclusión de

la rehabilitación en el conjunto de servicios cubiertos por el sistema de sanidad público.

Buena parte de las terapias rehabilitadoras pasan por el desarrollo de movimientos de las articulaciones del paciente con amplitud de recorrido y carga controlada, que en muchas ocasiones son realizados con el apoyo y presencia directa del fisioterapeuta. Junto con el esfuerzo físico que esta actividad causa en el fisioterapeuta (puesto de manifiesto por las frecuentes lesiones a que se ve sometido a pesar de su conocimiento de las técnicas que tratan de disminuir estos riesgos), se presenta como inconveniente la insuficiente disponibilidad de personal y los factores económicos derivados de la contratación de una mano de obra muy cualificada y escasa.

La tecnología robótica actual proporciona soluciones adecuadas para ayudar en muchas de las actividades de rehabilitación. El uso de un robot capaz de realizar movimientos presentando una resistencia controlada (robots hápticos), junto con una aplicación informática que propone las tareas a realizar y registrar los avances del paciente, permite al fisioterapeuta programar la sesión de trabajo con el paciente y revisar los resultados de ésta, que ha sido controlada por el robot.

Los sistemas existentes en la actualidad están escasamente difundidos, en particular en España, siendo en la práctica producto de desarrollos de empresas *spin-off* extranjeras, con escaso volumen de ventas, lo que da lugar a precios difícilmente abordables y a un insuficiente y desalentador servicio postventa.

Una adecuada divulgación de las posibilidades de estos sistemas y una política de ayudas iniciales, tanto para su desarrollo por empresas españolas, apoyadas por los grupos de I+D+i con experiencia demostrada en el desarrollo de robots hápticos, como para la adquisición por parte de clínicas de rehabilitación, permitiría la entrada en el mercado y difusión de una tecnología de la que se beneficiarían un gran número de pacientes, en particular, los de mayor edad.

Servicio en hospitales. Determinadas tareas en los hospitales, como aquellas consistentes en el transporte y reparto de comidas, medicamentos o historiales, pueden ser robotizadas mediante el uso de robots móviles que recorren el hospital utilizando los mismos trayectos que usaría el personal dedicado habitualmente a estas tareas.

Un empresario emblemático en la robótica, J.F. Engelberger, fundador de la primera empresa fabricante de robots y uno de los responsable del éxito mundial del uso de los robots industriales, creó hace años la empresa *Helpmate*, que junto a otras, comercializa robots móviles especialmente dedicados a su uso en hospitales.

Otra área de actividad, aún a la robótica, con aplicación en el sector sanitario, es el desarrollo de camas hospitalarias robotizadas. A las funciones habituales de movimientos motorizados de las camas hospitalarias, algunas con posicionamiento automático en determinadas configuraciones, pueden añadirse prestaciones avanzadas, como el cambio de posicionamiento automático preprogramado (particularizado para cada paciente por el personal sanitario), la medida de variables fisiológicas relevantes (peso, temperatura) o de otro tipo (presión que puede asociarse a la presencia del paciente en la cama, humedad) que ayudan a

la monitorización del paciente y eximen al personal sanitario de una vigilancia constante con un alto grado de dedicación.

El desarrollo de camas hospitalarias robotizadas puede ser perfectamente abordado por las empresas españolas del sector, algunas de las cuales lideran mercados internacionales, con el apoyo de los centros de I+D.

Sillas autónomas y robots asistenciales. La necesidad de dotar del mayor nivel de independencia a las personas con movilidad limitada, hace que la investigación en el uso de robots destinados a auxiliar a este colectivo de personas sea significativamente activa.

Las sillas de ruedas motorizadas, aún siendo económicamente costosas para ser financiadas exclusivamente por los particulares, son cada vez más frecuentes, en buena medida gracias a las ayudas que las administraciones públicas conceden para su adquisición.

Aún resolviendo en gran medida las dificultades de movilidad de sus usuarios, en ocasiones, las otras patologías que cursan junto a la falta de movilidad (falta de percepción de parte del entorno, ausencia de movilidad en todas las extremidades, movimientos espasmódicos, etc.) hacen que la mera motorización de las sillas de ruedas sea insuficiente para responder a las necesidades del paciente.

En España hay grupos destacados de investigadores que han prestado especial interés a esta problemática, desarrollando tecnologías que dotan de un mayor grado de autonomía a la silla de ruedas, permitiendo así su desplazamiento por un entorno denso y variable, como es el de una vivienda, con la mínima intervención del paciente.

Algunos de los desarrollos realizados hasta la fecha se encuentran en fase de completa operatividad, viéndose, no obstante, recluidos a los laboratorios de los centros de investigación por la falta de interés empresarial, posiblemente motivado por el importante coste del producto (excluidos incluso los costes de I+D) que se suma a la ya citada dificultad de adquisición de las sillas de ruedas motorizadas convencionales sin las ayudas sociales.

En la misma situación se encuentran los robots asistenciales. Estos están destinados a auxiliar en sus actividades diarias a aquellas personas que carecen de la movilidad necesaria para su autonomía, precisando de una manera casi permanente del familiar o del asistente social para auxiliarle en su higiene, vestirse, comer o leer.

Aunque en menor número que en el caso de sillas autónomas, hay varios desarrollos españoles en este sentido, con concepciones realistas que permitirían su empleo por parte del colectivo de personas sin autonomía.

De nuevo, el coste es la principal dificultad en su comercialización, junto con la ausencia de interés empresarial, común en general en todo el sector de productos de apoyo a la discapacidad, por lo difícil que es rentabilizar el producto dadas las limitaciones económicas de los usuarios finales.

4.2.4.4. *Los robots en el medio ambiente*

La gran problemática medioambiental, en que la sociedad actual se encuentra inmersa, ha motivado que la investigación en robótica haya orientado parte de sus desarrollos hacia sistemas que puedan contribuir, en lo posible, a mejorar la calidad del entorno en que vivimos. En particular, los desarrollos más significativos se pueden encontrar en los robots de vigilancia medioambiental o en aquellos que pueden contribuir a la lucha contra las situaciones originadas por los desastres medioambientales.

Se trata de robots cuya misión fundamental consiste en la captura inteligente de información de variables ambientales, para su tratamiento e interpretación de manera manual o automática y actuación en consecuencia. Dependiendo del entorno en el que se desenvuelven, se pueden clasificar en robots terrestres, aéreos y submarinos.

Robots terrestres. Aunque la exploración y vigilancia en espacios naturales pueden encontrarse con dificultades para desenvolverse en el medio natural terrestre (terrenos abruptos, desconocidos, etc.) los robots terrestres pueden cubrir misiones de observación de enclaves específicos de interés (Control y observación del paso de animales, medidas medioambientales a ras del suelo o por debajo del nivel de cota superior de los árboles de bosques y selvas,, observación de madrigueras y nidos...), Las configuraciones para este tipo de robots son muy variadas e incluyen distintos tipos de configuraciones con ruedas, cadenas, patas, e incluso robots trepadores y reptadores.

Diversos grupos españoles han realizado ya aplicaciones en este campo aportando nuevos instrumentos para la investigación de fauna y flora, la agricultura o la inspección y toma de muestras de regiones afectadas por desastres naturales.

Robots aéreos. Si bien el uso más frecuente de los denominados vehículos aéreos no tripulados (UAV), o sistemas aéreos no tripulados (UAS), es el militar, también existen aplicaciones civiles destacables, ligadas a funciones de inspección, vigilancia y monitorización, de entre las que destaca la vigilancia de variables medioambientales.

Estos UAS pueden ser aviones, helicópteros o dirigibles, cada uno con prestaciones y ámbito de aplicación diferentes, de pequeño o medio tamaño (unos pocos metros de envergadura) y dotados de la instrumentación necesaria para realizar un recorrido de manera autónoma, mientras que la carga útil que transportan se encarga de registrar información para ser transmitida en línea o al final de la misión a la estación base. Así, se les puede dotar de cámaras en diferentes espectros (visible, infrarrojos, etc.), espectrómetros, sensores de temperatura, analizadores de gases, etc. con los que registrar los datos de interés, pudiendo ser aplicados a la recogida de información para estudios medioambientales, la detección y monitorización de incendios, la evaluación del estado de plantaciones

agrícolas, etc. con un coste y disponibilidad notablemente ventajosos frente a sus equivalentes tripulados.

Además, la utilización de sistemas de navegación por satélite, permite el conocimiento preciso de las coordenadas donde las muestras han sido adquiridas, haciendo, de ese modo, posible el construir un mapa detallado del estado y evolución temporal de la variable medida.

En ocasiones se necesita la adquisición simultánea de datos en diferentes localizaciones perfectamente relacionadas entre sí, para lo que es preciso garantizar el vuelo de varios vehículos manteniendo una formación determinada.

En la actualidad, son pocas las realizaciones que en este sentido hay en el ámbito mundial, destacando las desarrolladas en Japón y Estados Unidos, contando en ambos casos con empresas que comercializan robots aéreos aptos para desarrollar con ellos aplicaciones de este tipo. Hay, sin embargo, muy pocas empresas que proporcionan servicios asociados con esta tecnología, estando en su mayor parte orientadas hacia el sector cinematográfico.

En España hay también grupos de investigación con prolongada experiencia y liderazgo internacional en robótica aérea. También hay alguna empresa pionera en el desarrollo de aviones no tripulados. Sin embargo, las reticencias a la innovación por parte de los posibles usuarios, comunes por otro lado a otras actividades, hacen que no se hayan introducido aún en el mercado.

Robots marinos y submarinos. En el mismo sentido que los robots aéreos, pero con dificultades técnicas muy diferentes, los robots submarinos permiten la vigilancia y medida de variables ambientales bajo el agua, tanto de manera autónoma como teledirigida.

Hay que destacar que los robots submarinos tienen una larga tradición, existiendo desarrollos operativos desde los años 60, con aplicación en el tendido de líneas de comunicaciones y eléctricas, vigilancia y recuperación de armamento sumergido, localización de restos arqueológicos o patrimoniales hundidos o plataformas petrolíferas, entre otras.

Desde hace más de una década, varios grupos de investigación españoles trabajan en el desarrollo y utilización de robots submarinos, con amplio espectro de aplicaciones, entre las que se incluyen las relacionadas con el medio ambiente como la observación de fondos marinos, la evaluación del estado de flora y fauna o la recogida de muestras en localizaciones concretas para su posterior análisis.

Es conveniente recordar que, como consecuencia del hundimiento del petrolero *Prestige*, fue necesario recurrir a la contratación de un robot submarino de una firma extranjera para cuantificar las posibles fugas de combustible y el posterior trasvase de combustible. Sin duda, un adecuado apoyo a la I+D+i en esta actividad a grupos españoles hubiera permitido el disponer de sistemas propios para realizar tareas de este tipo.

En cuanto a los robots marinos o barcos autónomos, existen menos desarrollos que en el caso de los robots submarinos, incluso a nivel mundial, pero una vez

más hay en España grupos de investigación que llevan varios años trabajando en esta línea con algunos resultados a considerar.

4.3. Tendencias

La implantación de la robótica en la industria cuenta con una gran experiencia consolidada a lo largo de más de 30 años. Es, por tanto, una tecnología madura y definida, permitiendo la presencia de un elevado número de fabricantes. Sin embargo, el mercado se encuentra dominado por unas pocas compañías multinacionales. Por otra parte, es destacable el hecho de que la mayor parte de las ventas de robots se produzca fundamentalmente en el sector del automóvil, encontrándose en la actualidad el mercado cerca de la saturación. Los nuevos robots industriales, siendo más precisos y rápidos, se utilizan fundamentalmente en reemplazar instalaciones obsoletas y, en algunos casos, aumentar el nivel de robotización del citado sector.

Esta realidad contrasta con la tendencia de abrir nuevos mercados en la robótica fuera de los productos, industrias y circuitos tradicionales. La robótica de servicio se destaca como un nuevo motor de la futura robótica de consumo en nuevas aplicaciones y sectores emergentes: asistencial personal, construcción, agricultura, medicina, vigilancia, etc.

5

La I+D+i en la robótica *R&D in robotics*



En capítulos anteriores se han presentado las aplicaciones de la robótica actual, tanto en sectores consolidados como emergentes. Este capítulo está dedicado al análisis de las investigaciones actuales y futuras en robótica, en el ámbito internacional y nacional. Se señalan los avances significativos y las barreras que frenan los desarrollos. Estos estudios se basan en los informes más recientes de las sociedades y plataformas internacionales en el área de robótica.

De forma muy especial, se analizan nuestros grupos de investigación en robótica, tanto universitarios y del CSIC como de centros tecnológicos. Se presentan tanto sus fortalezas como sus debilidades. Su presencia en los foros internacionales más importantes (congresos, órganos directivos, sociedades científicas) es también analizada en este capítulo. Como conclusión, se puede afirmar que los grupos españoles de I+D+i en robótica son de primera línea y cuentan con la suficiente masa crítica y experiencia para abordar los retos más innovadores.

Previous chapters focused on the applications of robotics both in consolidated and in emerging sectors. This chapter is devoted to the analysis of current and future research in robotics at the international and Spanish levels. The main potential advances and constraints in future developments are highlighted. These studies are based on recent reports from robotics societies and technology platforms.

This chapter also covers an analysis of our research groups in robotics, from universities and the CSIC to technology centers. The strengths and weaknesses of these groups are presented and their presence in the most important international fora (scientific congresses, journals, societies) is also discussed. As a conclusion, we can affirm that Spanish R&D groups in robotics are well placed as many are recognized leaders in their field and they have sufficient critical mass and expertise to address successfully the most innovative challenges.

5.1. Panorama mundial

Durante las tres últimas décadas, la robótica ha tenido una gran presencia en la industria, especialmente en la industria del automóvil y la industria electrónica que han copado el 70% del parque de robots en el mundo. En los últimos años han aparecido nuevas áreas de aplicación de la robótica que se han agrupado bajo la denominación de robótica de servicio. Estos robots se caracterizan por acercarse al ciudadano para realizar tareas de tipo personal y profesional, apareciendo en sectores como la medicina, cirugía, rehabilitación, limpieza, etc.

Es de esperar que la robótica de servicio tenga una gran expansión en los próximos años en los que serán nuevos retos tecnológicos:

- Robots desarrollando actividades en trabajos de exteriores, bosques, agricultura, limpieza, transporte, construcción.

- Robots de asistencia personal, ayuda a labores del hogar, asistencia a mayores y discapacitados.
- Robots en aplicaciones de seguridad civil, como robots que actúen en la lucha contra el fuego, misiones de rescate, monitorización del entorno, robots de vigilancia de costa y fronteras, etc.

La robótica también está jugando un papel preponderante en aplicaciones espaciales, donde se ha mostrado como único medio de exploración de territorios lejanos, de difícil accesibilidad y condiciones de vida.

El desarrollo de la robótica en los diferentes ámbitos pasa por investigar y desarrollar sistemas con comportamientos más elaborados, con sensores y sistemas de percepción más precisos y adaptables al entorno, actuadores más rápidos, flexibles y ligeros, controles más robustos y nuevos interfaces para una comunicación más cercana a los humanos.

A continuación, se describen las diferentes áreas de investigación en el campo de la robótica, agrupadas según se ha definido en la plataforma europea EUROP (*European Robotics Platform*):

- Robótica industrial
- Robótica de servicio profesional y doméstico
- Robots de seguridad y para el espacio

5.1.1. La I+D+i en la robótica industrial

La automatización industrial es un factor estratégico de las empresas para aumentar la calidad, productividad y competitividad de sus productos frente a nuevos mercados emergentes que basan su competitividad en mano de obra barata. Al mismo tiempo, la utilización de robots industriales permite mantener empleos más cualificados, con mayor nivel de competencia y habilidad. Este hecho se hace especialmente necesario en Europa, debido a que la población está cada vez más envejecida.

La investigación en el campo de la robótica industrial nos acercará en los próximos años a la integración plena en los procesos de fabricación. Para ello, y según los estudios de la red europea EURON (*European Robotics Network*) y la plataforma europea EUROP (*European Robotics Platform*), habrá que afrontar los siguientes retos tecnológicos:

- **Desarrollo de nuevos sistemas de manipulación y agarre.** Brazos más flexibles y más rápidos con relaciones de fuerza-peso 1:1 frente a las relaciones 1:10 actuales. Esto obligará a aplicar nuevos materiales más ligeros y resistentes, motores más pequeños y potentes. También se desarrollarán sistemas de agarre autoconfigurables.
- **Desarrollo de sistemas multi-robot** que cooperen en los sistemas de fabricación. Esto, en muchos casos, puede suponer una nueva

- concepción de los sistemas de almacenamiento y transporte; desarrollo de métodos y técnicas de sincronización entre robots; nuevas metodologías de programación capaces de gestionar este tipo de sistemas; etc.
- Desarrollo de sistemas de fabricación en las que los **robots cooperen con los operarios**, lo que obliga a desarrollar sistemas más seguros que permitan a robots y operarios trabajar en los mismos escenarios. En este sentido se tenderá a ver al robot como un colaborador que pueda ser integrado como un agente más en el centro de trabajo.
 - **Programación flexible de los robots** basada en la información de los sensores y no en secuencias preestablecidas, lo que permitirá una fabricación más flexible y adaptable a nuevos procesos de fabricación.
 - **Desarrollo de interfaces avanzadas** que permitan una programación y manejo de los robots de forma más sencilla, incluida la comunicación por voz y gestual.
 - **Desarrollo de métodos para la integración rápida y flexible** de los diferentes componentes del proceso de fabricación: máquinas herramientas, robots, alimentadores, sistemas de transporte, etc.
 - **Desarrollo de sistemas de planificación inteligente** para obtener ciclos de producción más cortos, tiempos de puesta a punto menores y sistemas flexibles reconfigurables.
 - **Mejoras en las tecnologías de los sensores**, incrementando la resolución, velocidad y precisión, e incorporación inteligencia, herramientas de diagnóstico y unidades de procesamiento.
 - **Métodos de detección de fallos y recuperación** en cada nivel jerárquico de control, que incrementen la robustez y flexibilidad de los sistemas de producción.
 - **Desarrollo de robots con sistemas de control abierto**, escalables, distribuidos y estandarizados, que permitan su integración a través de redes de comunicación en el entorno industrial.

5.1.2. La I+D+i en la robótica de servicio

Aunque la aplicación de la robótica a ámbitos diferentes del industrial se remonta a 20 años atrás, el concepto de robots de servicio no apareció hasta 1989 en el que Joseph Engelberger publicó el libro *“Robotics in Service”*. Dentro de lo que se conoce como robótica de servicio cabe destacar los siguientes campos de aplicación:

- Servicios personales:
 - Tareas del hogar
 - Asistencia personal
 - Cuidados de niños, ancianos y discapacitados
 - Educación y entretenimiento
 - Seguridad personal y en el hogar

- Servicios en oficinas:
 - Recepción
 - Seguridad y vigilancia en oficinas
 - Limpieza
 - Asistencia de oficinas
 - Manipulación de documentos
- Medicina y cuidados:
 - Medicina quirúrgica
 - Atención hospitalaria
 - Rehabilitación
 - Ayuda a personas discapacitadas
- Servicios metropolitanos:
 - Limpieza comercial
 - Servicios de comida rápida, catering y servicios a hoteles
 - Inspección y mantenimiento de infraestructuras
 - Intervención en desastres y situaciones de emergencia
 - Seguridad ciudadana
- Servicios productivos:
 - Agricultura
 - Minería
 - Construcción
 - Naval
 - Logística
- Servicios de seguridad nacional:
 - Vigilancia de fronteras, costas y aeropuertos
 - Localización y desactivación de explosivos
 - Robots de rescate
 - Lucha contra el fuego
 - Servicios militares

Es obvio que el número de aplicaciones crecerá conforme la tecnología vaya madurando. A continuación se describen estas agrupadas en las siguientes categorías: robots de exteriores, robots en medicina y robots asistentes. Si bien podría haberse incluido los robots espaciales y de seguridad dentro de la categoría de robots de servicio se presentan independientemente por las características especiales de su entorno de operación.

5.1.2.1. Los robots de exteriores

Por robots de exteriores se entiende aquellos robots que operan en el exterior, en entornos parcialmente estructurados o no estructurados. Ejemplos de estos son los robots que realizan trabajos en la agricultura, en bosques, construcción, minas, conducción automática, rescate, lucha contra el fuego, etc. Los robots de

exteriores no incluyen únicamente robots terrestres sino también robots submarinos que pueden realizar tareas de inspección, salvamento e intervención bajo el agua, en zonas de difícil accesibilidad. Igualmente, se consideran robots de exteriores los robots aéreos, como los especialmente destinados a labores de inspección y reconocimiento.

El principal objetivo de la investigación en los robots de exteriores está orientado al incremento de su autonomía. Los sistemas robóticos que operan en el exterior se han caracterizado, hasta ahora, por la falta de robustez que hace que no puedan operar largos periodos de tiempo sin supervisión humana. Es preciso desarrollar sistemas capaces de detectar fallos y mal-funcionamiento y ser capaces de corregir su funcionamiento para obtener sistemas con un alto grado de autonomía. También es importante el desarrollo de sistemas de percepción que permitan su interacción autónoma con el entorno.

Es de resaltar el avance significativo que está teniendo el empleo de la robótica para aplicaciones urbanas. Se están desarrollando robots para la asistencia al ciudadano en labores como ayuda a la localización, guiado de personas o de grupos e incluso para el transporte de materiales o de personas. También se están desarrollando sistemas robóticos para ayuda en situaciones de emergencia. En estas aplicaciones los sistemas de percepción adecuados para operar en entornos no estructurados con alto grado de fiabilidad y robustez juegan un papel relevante. En los últimos años se están desarrollando sistemas de percepción ubicuos basados en la integración cooperativa de sensores de diferentes tipos distribuidos en el entorno.

En lo referente a los sistemas semiautónomos el objetivo es acelerar las técnicas de asistencia a la conducción remota como controles de velocidad adaptativos, sistemas de guiado, sistemas de evitación de colisiones y el desarrollo de interfaces amigables de usuario. El aumento de la seguridad de los automóviles y la mejora de la confortabilidad de la conducción es uno de los retos tecnológicos perseguidos desde siempre por el sector del automóvil. En cierto modo, la industria del automóvil ha heredado esta y otras tecnologías del I+D en robótica de exteriores.

Los principales inconvenientes para el desarrollo de la robótica de exteriores tienen que ver principalmente con el hecho de que los robots han de operar en entornos dinámicos y no estructurados y, en muchos de los casos, con condiciones de trabajo penosas. Así pues, los retos tecnológicos a afrontar en los próximos años se centrarán en los siguientes aspectos:

- **Navegación.** El problema del desplazamiento del robot en entornos cambiantes todavía presenta problemas no resueltos en especial en lo que se refiere a la fiabilidad y que el robot sea capaz de responder a eventos no esperados. Afortunadamente, la mejora en la precisión de los dispositivos de posicionamiento por satélite permite abordar el problema de la localización absoluta, si bien queda mucho por hacer en el ámbito de interpretación de escenas y localización en entornos dinámicos en los que además operan humanos con los consiguientes riesgos de seguridad.
- **Sistemas de percepción.** El desarrollo de sensores robustos, fiables y con capacidades de autodiagnóstico y corrección de errores es esencial para

poder operar en entornos no estructurados con condiciones ambientales cambiantes como lluvia, niebla, viento, cambios de iluminación, etc. Además, es necesario desarrollar procesos de análisis en tiempo real de la información sensorial, por lo que el desarrollo de sistemas empotrados con sensores embebidos es primordial para liberar computacionalmente a los sistemas centrales de costosas tareas de procesamiento y toma de decisión.

- **Desarrollo de métodos cognitivos y técnicas de procesamiento** para operar en entornos no estructurados y dominios complejos de trabajo. En este ámbito es preciso desarrollar modelos para describir e interpretar el entorno, así como desarrollar sistemas de toma de decisión.
- **Seguridad.** El desarrollo de sistemas robóticos que han de operar en entornos con costosas infraestructuras, o medios naturales a preservar, y en especial donde han de cohabitar los humanos no será posible hasta que no se consigan robots completamente seguros y que no representen riesgos para las personas ni el entorno.
- **Interfaces humano-robot.** En muchas de las aplicaciones no será posible en los próximos años disponer de robots completamente autónomos. Será por ello preciso el desarrollo de interfaces para sistemas semi-autónomos, como es el caso de sistemas de ayuda a la conducción.

5.1.2.2. Los robots para la asistencia quirúrgica

Desde 1990, las intervenciones quirúrgicas asistidas por robots CAS (*Computer Aided Surgery*) han ganado en relevancia, llegando a considerárseles, en la actualidad, como una de las tecnologías que está consiguiendo avances más significativos en la práctica quirúrgica. A pesar de lo anterior, aún queda mucho que investigar. De esta manera, han aparecido toda una generación de métodos de cirugía usando técnicas tales como la tele-robótica y la realidad virtual. El CAS cubre:

- Planificación de operaciones:
 - Procesamiento y visualización de imágenes médicas: exploraciones internas, ultrasonidos, angiografías
 - Simulación quirúrgica, consiguiéndose una mejora del proceso de operación, mediante el empleo de información visual.
 - Simulación visual de procesos internos: endoscopia, ultrasonidos, visualización estereoscópica de la operación, etc
 - Ensayos de la operación a través de simuladores
- Desarrollo de la operación:
 - Guiado y posicionamiento de material quirúrgico durante la operación
 - Medida de la posición de una herramienta
 - Registro de imágenes antes y después de la operación

- Control del paciente y desarrollo de tareas: robots anestésicos, etc
- Interfaces adecuadas para la teleoperación
- Empleo de herramientas: láser quirúrgico, robots de microcirugía, etc
- Tratamiento y recuperación de enfermedades
- Diseño de prótesis

En muchas de estas técnicas tienen cabida, y en alguna con importancia destacada, el empleo de robots, facilitando enormemente el trabajo del personal sanitario y la calidad de vida del paciente.

5.1.2.3. Los robots asistentes

El envejecimiento medio de la población hace que los robots asistentes jueguen un papel importante en los próximos años. La población en un futuro seguramente tendrá más salud que la de ahora, pero precisará de mayor asistencia debido al incremento de la esperanza de vida. Por otra parte, se han producido, en los últimos años, cambios en la forma de vida. Muchas personas viven solas, o los dos cónyuges de las familias trabajan, por lo que cada vez se tiene menos tiempo para realizar las tareas del hogar. Estos hechos hacen que se precisen casas cada vez más automatizadas y robots que sean capaces de realizar tareas del hogar: limpieza, traer o llevar cosas, cocinar, lavado, planchado, etc.

La incorporación de robots asistentes requiere del desarrollo de sistemas avanzados de interacción y cooperación con los humanos así como de sistemas mecánicos más ligeros que no supongan un peligro para las personas. Estos robots requieren la integración de nuevos materiales, electrónica, control así como sistemas de percepción. Además se deben mejorar las interfaces de usuario que permitan a las personas sin conocimientos de robótica controlar e interactuar con los robots.

Para lograr estos objetivos es preciso dotar a los robots de capacidades de percepción para interaccionar con un entorno no estructurado así como capacidades cognitivas que conlleven un mayor esfuerzo para mejorar el aprendizaje y razonamiento.

Los retos tecnológicos a conseguir en los próximos años en el campo de la robótica asistencial son:

- **Desarrollo de sistemas de percepción del entorno y del usuario.** Los sistemas de percepción han de ser más robustos y fiables para poder lograr mayores niveles de interacción con el entorno y el usuario
- **Desarrollo de sistemas con autonomía capaces de aprender del usuario** y de la propia experiencia del robot
- **Desarrollo de sistemas cognitivos y de razonamiento** que permitan operar en entornos no estructurados y dinámicos
- **Desarrollo de interfaces que permitan la interacción e integración del usuario.** Este campo incluye, entre otros, el diseño de sistemas que

- permitan el guiado y programación del robot de una manera natural o el seguimiento tridimensional de los humanos
- **Desarrollo de sistemas con autonomía energética eficaz**, incluyendo la gestión inteligente de energía y las nuevas fuentes energéticas (pilas de combustible, solar, etc.), siendo hoy en día la autonomía energética una de las principales barreras para la adopción efectiva de robots de servicio
- **Diseño de arquitecturas modulares** para el desarrollo de sistemas robustos con capacidades avanzadas de asistencia

5.1.3. La I+D+i en la robótica de seguridad y espacio

Los temas de seguridad, tanto colectiva como individual, están teniendo una creciente importancia en la sociedad actual. En este apartado las aplicaciones de la robótica se pueden agrupar de la siguiente manera:

- **Vigilancia para la prevención de catástrofes** naturales (fuegos, inundaciones, terremotos) y artificiales (contaminación, polución, centrales nucleares) y su monitorización y post-análisis. En este tipo de aplicaciones se suelen emplear robots aéreos no tripulados tipo UAS (*Unmanned Aerial Systems*) en configuración de planeadores, helicópteros o dirigibles y equipados con cámaras de infrarrojos, visuales y otros sensores.
- **Rescate de personas** en ambientes hostiles y de difícil acceso para los especialistas; las áreas de aplicación serán los aludes de nieve, en los cuales los robots serán movidos con orugas y equipados con sensores de calor y similares; en derrumbamientos de edificios utilizando robots con patas para tener un acceso mejorado, etc.
- **Vigilancia de fronteras**, tanto terrestres y marítimas como portuarias y aeroportuarias; en el primer caso, se tratará de robots móviles terrestres, aéreos o submarinos con una gran autonomía de acción, y en el segundo caso serán robots de interiores equipados con sensores de detección de explosivos, metales y líquidos.
- Robots humanitarios de **desactivación de minas**, grandes robots móviles de exteriores equipados con un sistema de detección y desactivación de minas para lo que estarán protegidos por escudos anti-explusión; es indispensable que estos robots cuenten con la seguridad de que dejan la superficie “limpia” dado que esta será después transitada por humanos.

Este tipo de aplicaciones de robots no son novedosas pero hasta ahora se ha realizado solamente de forma experimental. Varios centros españoles de investigación son pioneros y líderes a nivel europeo y mundial en estas temáticas. Entre los casos más conocidos se pueden recordar los robots de inspección de los desastres nucleares de las centrales de *Las Tres Millas*, *Chernobyl* y *Fukushima*, y los robots de inspección del *World Trade Center* de Nueva York, entre otros.

Especial atención merece el caso del hundimiento del petrolero *Prestige* en cuya exploración, una vez hundido y sellado, se emplearon robots submarinos franceses. En este sentido, se echa en falta una política de potenciación de los centros nacionales de I+D+i, de los cuales hay varios y de primera línea, con el objetivo de aprovechar la experiencia adquirida y potenciar la creación de empresas españolas en el sector.

La robótica espacial comprende el desarrollo de máquinas que han de operar en el espacio y que han de realizar tareas de exploración, ensamblaje, construcción, mantenimiento o servicio de otros dispositivos en el espacio. Los robots pueden ser controlados localmente (por ejemplo: brazos robóticos en el exterior de la nave espacial) o desde grandes distancias (por ejemplo: vehículos todo terreno de exploración espacial). En este último caso hay que tener en cuenta que el control desde grandes distancias produce grandes retrasos en las comunicaciones, lo que imposibilita labores de teleoperación. Así, por ejemplo, el tiempo que tarda una señal en llegar a Marte es del orden de 30 minutos.

La necesidad de utilizar robots en el espacio se justifica por las características del entorno de operación: hostil, peligroso y a muchos kilómetros de distancia. En muchos casos la larga duración de los viajes espaciales hace inviable el desplazamiento de humanos. Además los viajes espaciales son muy costosos, por lo que desplazando robots no es necesario programar viajes de vuelta. Por otra parte el fracaso de misiones no comporta pérdidas humanas.

Los robots espaciales han de tener características adicionales a las de los robots de servicios por la naturaleza del entorno de operación:

- **Navegación.** Los robots de exploración planetaria deben ser capaces de desplazarse de forma precisa en entornos no estructurados (desconocidos)
- **Manipulación.** La manipulación mediante brazos y herramientas debe hacerse de forma rápida y precisa, con las fuerzas necesarias para realizar las tareas sin dañar la propia estructura del robot ni la de los elementos sobre los que se interviene
- **Retrasos de comunicaciones.** Los retardos en las comunicaciones son limitaciones importantes a la hora de diseñar los sistemas de control
- **Condiciones extremas.** Radiación, temperaturas extremas, polvo, vacío, etc. obligan a incorporar nuevos materiales y al diseño de sistemas aptos para trabajar en esas condiciones
- **Energía, transporte y comunicaciones.** Las grandes distancias a las que han de operar los robots dificultan las comunicaciones. Además el gran coste del transporte de los robots al espacio precisa de la optimización de su tamaño, peso y consumo de energía
- **Autonomía.** Fallos simples, que en otro tipo de robots pueden ser solucionados mediante intervención humana, en el caso de robots espaciales pueden hacer fracasar la misión. Los robots deben disponer de sistemas robustos de supervisión y auto-diagnos, incluso con funciones de reparación autónoma.

5.1.4. Redes de investigación, sociedades científicas y publicaciones

La difusión de la robótica en el mundo se realiza a través de las redes de investigación y sociedades científicas. En los últimos años la Unión Europea ha puesto especial énfasis en fomentar la investigación en el ámbito de la robótica mediante la creación de convocatorias específicas para el desarrollo de proyectos de robótica y la creación de redes de investigación. Cabe destacar las redes EURON (*European Robotics Network*) y CLAWAR (*Climbing and Walking Robots*) que tienen como objetivo agrupar y coordinar esfuerzos a nivel europeo en el campo de la robótica en sus diferentes vertientes: investigación, enseñanza y educación, colaboración académica con la industria, publicaciones y conferencias.

Por otra parte, existen numerosas sociedades científicas que realizan tareas de difusión de la robótica mediante la organización de eventos, congresos, *workshops*, y la edición de publicaciones científicas.

En la Tabla 5.1 se muestran las sociedades científicas que más están contribuyendo a nivel mundial al desarrollo de la robótica.

Tabla 5.1: Principales sociedades científicas internacionales de robótica (webs accedidas en septiembre 2011).

Sociedad	Dirección web
International Foundation of Robotics Research IFRR	http://www.ifrr.org/
IEEE Robotics and Automation Society RAS	http://www.ieee-ras.org/
The IEEE System Man and Cybernetics Society	http://www.ieeesmc.org
The Robotics Society of Japan	http://www.rsj.or.jp
International Society for Adaptive Behavior	http://www.isab.org.uk/ISAB/
International Federation of Robotics	http://www.ifr.org

Un papel fundamental en la difusión de la robótica lo juegan las revistas de ámbito científico donde los investigadores de todo el mundo presentan los resultados de sus desarrollos científicos. En la Tabla 5.2 se presentan las revistas más destacadas en robótica. Cabe destacar la inclusión de la revista “Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial”, editada por la CEA, en la base de datos de la Web ISI dentro de la categoría “Robotics”, lo que implica un reconocimiento al rigor científico de los investigadores españoles en robótica.

Tabla 5.2: Principales revistas científicas internacionales de robótica (webs accedidas en septiembre 2011).

Nombre de revista	Dirección web
Advanced Robotics	http://www.rsj.or.jp/AR/index_e.html
Autonomous Robots	http://www.springerlink.com/content/100243/
Bioinspiration & Biomimetics	http://iopscience.iop.org/1748-3190
IEEE/ASME Transactions on Mechatronics	http://www.ieee-asme-mechatronics.org
IEEE Robotics and Automation Magazine	http://www.ieee-ras.org/ram
IEEE Transactions on Automation Science and Engineering	http://www.ieee-ras.org/tase
IEEE Transactions on Robotics	http://www.ieee-ras.org/tro
IEEE Transactions on System Man and Cybernetics	http://www.ieeesmc.org
Industrial Robot	http://www.emeraldinsight.com/0143-991X.htm
International Journal of Advanced Robotic Systems	http://www.ars-journal.com
International Journal of Humanoid Robotics	http://www.worldscinet.com/ijhr/
International Journal of Robotics & Automation	http://www.penrose-press.com/idd/MAG18433.card
International Journal of Robotics Research	http://www.ijrr.org/
Journal of Bionic Engineering	http://www.elsevier.com/wps/product/cws_home/707667
Journal of Field Robotics	http://www.journalfieldrobotics.org/Home.html
Journal of Intelligent and Robotic Systems	http://www.springer.com/engineering/robotics/journal/10846
Mechatronics	http://www.sciencedirect.com/science/journal/09574158
Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial	http://riai.isa.upv.es/
Robotica	http://journals.cambridge.org/action/displayJournal?jid=ROB
Robotics and Autonomous Systems	http://www.sciencedirect.com/science/journal/09218890
Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	http://www.sciencedirect.com/science/journal/07365845

5.2. La I+D+i en robótica en España

En España existen numerosos grupos que investigan en el campo de la robótica. Estos grupos provienen de diferentes ámbitos, principalmente de departamentos de universidades, mayoritariamente relacionados con las áreas de Ingeniería de Sistemas y Automática, Informática, Electrónica y Mecánica, de institutos del Centro Superior de Investigaciones Científicas y de centros tecnológicos. La diversidad de los grupos de investigación existentes da una idea del carácter multidisciplinar de la robótica.

Cabe destacar la aglutinación de grupos de investigación que se ha realizado desde el Comité Español de la Automática (CEA) que, a su vez, lidera la Red Nacional de Robótica, subvencionada por el Ministerio de Educación y Ciencia.

Dentro de CEA existe el grupo Español de Robótica (GTRob) como punto de encuentro, al que se han adscrito la mayoría de los investigadores en robótica de España. Una de las tareas prioritarias abordadas por el GTRob ha sido la elaboración de las diversas ediciones de este Libro Blanco. En la Tabla 5.3 se muestran los principales grupos de investigación en robótica. Se puede observar en ella la diversa procedencia de sus miembros y la amplia distribución geográfica (Figura

5.1). Todos ellos cuentan con una dilatada y contrastada actividad investigadora en el campo de la robótica.

El número de investigadores actualmente adscritos al GTRob se estima en más de 700, de los cuales 300 tienen el título de Doctor. Además, al GTRob están adscritos varios centros tecnológicos en el área de robótica.

Como vehículo de comunicación e intercambio se ha creado hace varios años la lista de distribución del GTRob “listagtrob” (listagtrob@uc3m.es) que cuenta con un gran tráfico de noticias, información e iniciativas de intercambio de experiencia. De la misma forma, está funcionando la recién rediseñada página web del GTRob (<http://www.ceautomatica.es/og/robotica>), una de las más visitadas tanto por investigadores españoles como extranjeros. Es de destacar que entre los visitantes extranjeros no solamente se encuentran nuestros colegas de Sudamérica, con los cuales compartimos el idioma, sino también muchos colegas procedentes de Europa (Italia, Alemania, Francia, Finlandia, Holanda, Suecia, Ucrania), de América (Canadá, Estados Unidos) y de Japón.

Tabla 5.3: Grupos de investigación españoles en robótica.

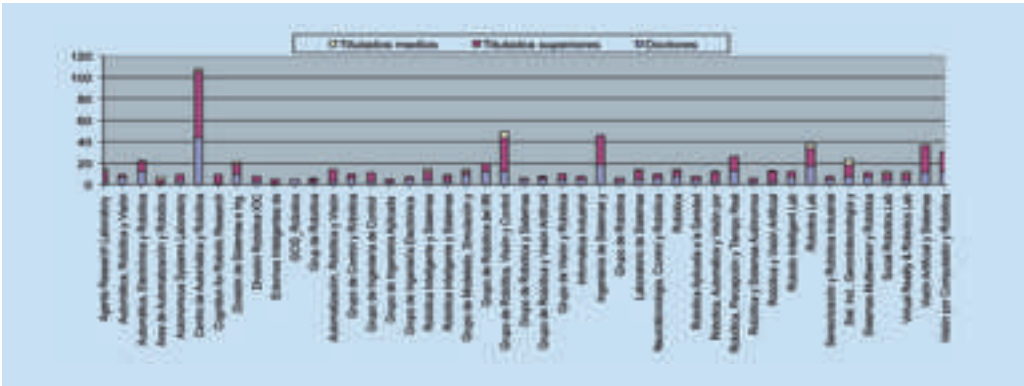
Grupo	Entidad
Agents Research Laboratory	Universidad de Girona
Automática, Robótica y Visión Artificial	Universidad de Alicante
Automática, Electrónica y Robótica	Universidad de Almería
Área de Automatización y Robótica	FADA-CATEC
Autonomous Systems Laboratory	Universidad Politécnica de Madrid
Bioingeniería	IAI-CSIC
Centro de Automática y Robótica	Universidad Politécnica de Madrid – CSIC
Cognition for Robotic Research	Universidad Jaume I de Castellón
Control Autom. en Producción y Robótica Móvil	Universidad Politécnica de Valencia
División de Sistemas e Ing. Electrónica	Universidad Politécnica de Cartagena
División Robótica IOC	Universidad Politécnica de Cataluña
Entornos Inteligentes de Fabricación	Fundación Robotiker –Tecnalia
GCIS_Robotics	Universidad del País Vasco
Grup de Robòtica	Universidad de Lleida
Grupo de Autom., Robótica y Visión por Computador	Univ. Miguel Hernández – Elche
Grupo de Control y Robótica	Universidad de Huelva
Grupo de Ingeniería de Control	Universidad de Cantabria
Grupo de Ingeniería Aplicada	Universidad de Murcia
Grupo de Ingeniería Electrónica	Universidad de las Islas Baleares
Grupo de Inv. en Robótica Inteligente y Sistemas	Universidad Politécnica de Cataluña
Grupo de Inv. en Robótica Inteligente y Sistemas	Inst. de Bioingeniería de Cataluña
Modelado, Simulación y Optimización de Sistemas Industriales	Universidad de La Rioja
Grupo de Robótica del IRI	Univ. Politécnica de Cataluña – CSIC
Grupo de Robótica de la UdL	Universidad de la Laguna
Grupo de Robótica de la Universidad de Salamanca	Universidad de Salamanca
Grupo de Robótica, Visión y Control	Universidad de Sevilla
Grupo de Robótica y Sistemas Inteligentes	Universidad de Vigo
Grupo de Robótica y Visión Artificial	UNED
Grupo de Visión y Robótica Asistencial	Universidad de Alcalá
Informática Industrial	Universidad de Murcia
Ingeniería de Sistemas y Automática	Universidad de Málaga
Grupo de Robótica	Univ. Rey Juan Carlos – Madrid
Laboratorio de Sistemas Inteligentes	Universidad Carlos III de Madrid
Neurotecnología, Control y Robótica	Universidad Politécnica de Cartagena
Robótica	Universidad Politécnica de Valencia
Robótica Aplicada a la Sanidad	CARTIF-Valladolid
Robotica, Automática y Visión por Computador	Universidad de Jaén
Robótica, Percepción y Tiempo Real	Universidad de Zaragoza
Robótica y Sistemas Autónomos	Universidad de País Vasco
Robótica y Visión Artificial	CARTIF-Valladolid
Robotic Intelligent Lab	Universidad Jaume I - Castellón
Robotics Lab	Universidad Carlos III Madrid
Sensorización y Robótica Industrial	Universidad Politécnica de Valencia
Sistemas industriales, Gerontotecnología y Biorobótica	Fatronik-Tecnalia
Sistemas Multisensor y Robótica	Universidad de Oviedo
Sistemas, Robótica y Visión	Universidad de les Illes Balears
Social Robotics Lab	Universidad Politécnica Cataluña
Virtual Reality & Robotics Lab	Univ. Miguel Hernández – Elche
Visión Artificial y Sistemas Inteligentes	Universidad Politécnica Cataluña
Visión por Computador y Robótica	Universidad de Girona

Figura 5.1: Distribución geográfica de los grupos españoles de investigación en robótica.



El GTRob entiende la robótica en un amplio sentido que comprende desde robots manipuladores a robots humanoides pasando por robots móviles, robots aéreos y submarinos, robots asistenciales y médicos. El GTRob apoya la investigación innovadora de sus grupos de investigación, así como las aplicaciones y desarrollos industriales más avanzados. En la Figura 5.2 se muestra la distribución de personal de los diferentes grupos, agrupados por doctores, titulados superiores y titulados medios. Es importante señalar que cerca de la mitad son grupos consolidados y con una composición superior a 10 investigadores.

Figura 5.2: Distribución de personas en los grupos de robótica en España (finales de 2010).



5.3. El peso de robótica española en el contexto internacional

5.3.1. Presencia en redes de investigación y sociedades científicas

En el siguiente apartado se van a describir las redes de investigación y sociedades científicas de ámbito internacional, relevantes para la robótica, en las que hay investigadores españoles con diferentes responsabilidades. Para cada una de ellas se detalla una tabla que indica el número de participantes españoles en valor absoluto y relativo respecto al total. Con estos datos se ha realizado una representación gráfica para poder realizar una comparativa más visual.

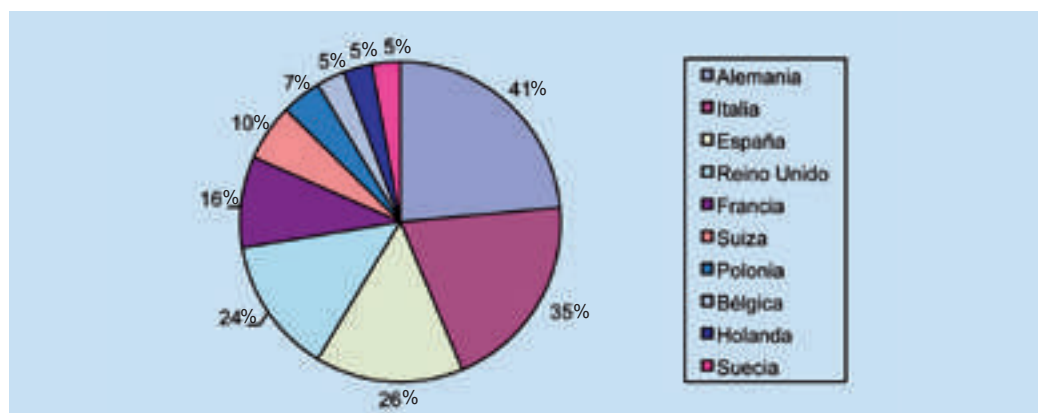
Las redes de investigación y sociedades científicas de ámbito internacional seleccionadas para el presente estudio son: dos redes europeas EURON (*European Robotics Network*) y CLAWAR (*Climbing and Walking Robots*), y tres sociedades científicas: IEEE-RAS (*Institute of Electronics and Electrical Engineers – Robotics and Automation Society*), IFAC (*International Federation of Automatic Control*) y IAARC (*International Association of Automation and Robotics in Construction*).

5.3.1.1. EURON

EURON (<http://www.euron.org>) surgió en 1999 como una red de excelencia subvencionada por los Programas Marco V y VI de la Unión Europea cuyo objetivo fue impulsar la robótica en Europa a través de actividades conjuntas. Desde mayo de 2008 EURON III opera sin financiación pública.

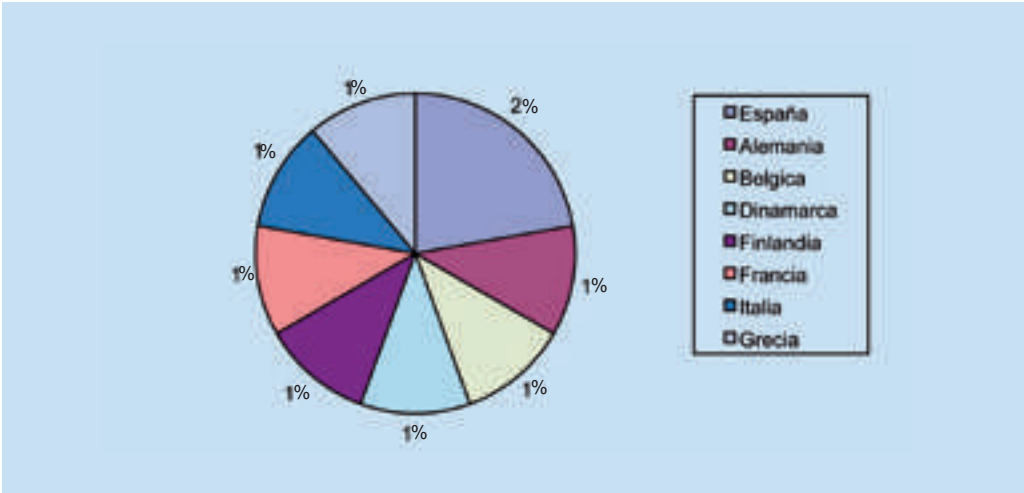
En Septiembre de 2011, EURON cuenta con 253 socios de 27 países. Un total de 26 socios son españoles, que representan el 10,5% del total, siendo el tercer país con más socios sólo superado por Alemania, con 41, e Italia, con 35. La distribución de socios por países puede observarse en la Figura 5.3.

Figura 5.3: Distribución por países de los socios de EURON.



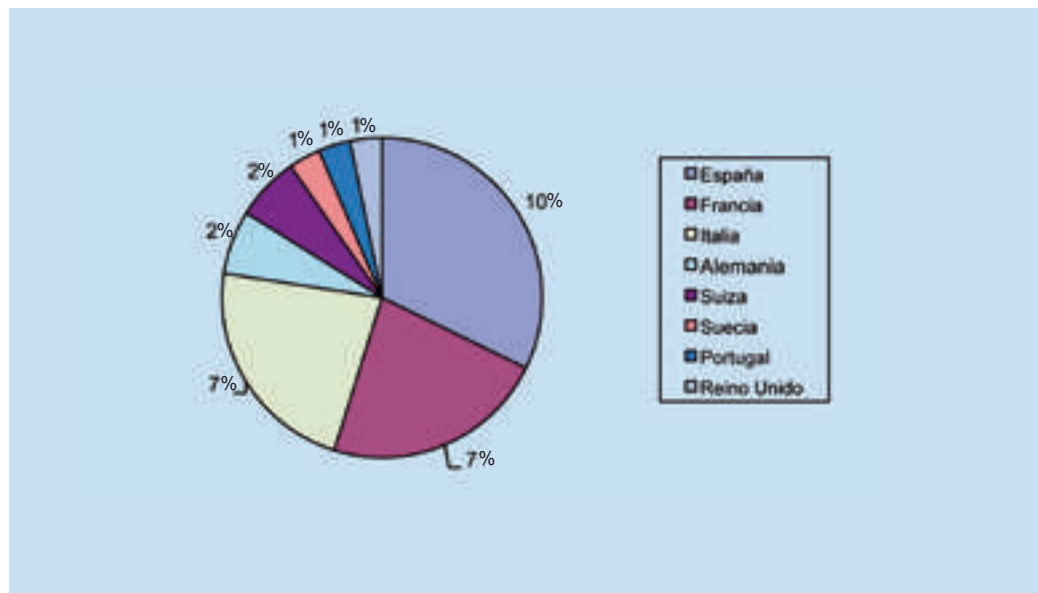
El equipo directivo de EURON III, EURON *board*, está compuesto por 9 personas, de los cuales 2 son españoles, lo que representa el 22% del total. La Figura 4 muestra la distribución por países miembros en el equipo directivo, siendo el país con más miembros en el equipo directivo.

Figura 5.4: Distribución por países de los miembros del equipo directivo de EURON.



Dentro de las actividades realizadas por esta red de excelencia europea, y la mejor valorada por Comisión Europea, está la relacionada con la organización de escuelas internacionales. Estas escuelas requieren de un severo proceso evaluador antes de ser financiadas por EURON. Desde sus orígenes en 2001 hasta 2008, se han llevado a cabo un total de 31 de dichos eventos. Como se muestra en la Figura 5.5, el país más activo organizando estas escuelas de excelencia en robótica es España, seguido de cerca por Italia y Francia. A nivel de asistentes los tres países europeos más activos han sido Italia, Alemania y España, por ese orden. Y de fuera de Europa, norteamericanos, japoneses y australianos, también por ese orden. La media de asistencia por escuela se sitúa en torno a los 30 ó 40 alumnos, y el perfil mayoritario suele ser el estudiante de doctorado en áreas afines a la ingeniería informática, seguido por otras ingenierías como mecánica y eléctrica.

Figura 5.5: Distribución por países de organizadores de Escuelas Internacionales financiadas por EURON.



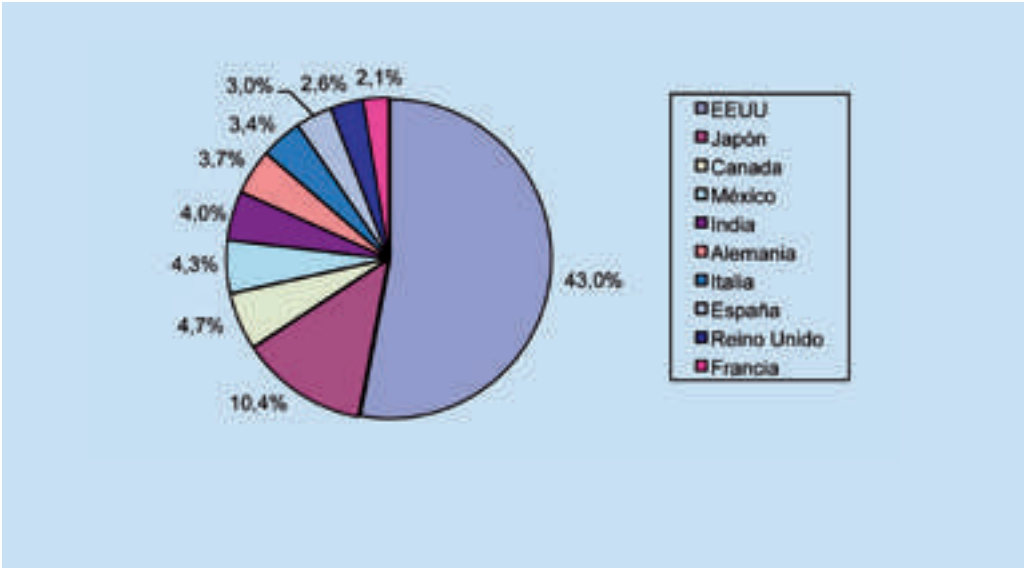
5.3.1.2. CLAWAR

CLAWAR (<http://www.clawar.org/>) surgió como una red de excelencia de la Unión Europea subvencionada por los Programas Marco V y VI con el objetivo del intercambio de conocimientos en robótica de escaladores y caminantes. Aunque la financiación de la Unión Europea finalizó en mayo 2005, sus actividades continúan, aunque en menor medida, como una asociación. Demostración de ello es la continuación de la organización anual de los congresos internacionales CLAWAR.

5.3.1.3. IEEE-RAS

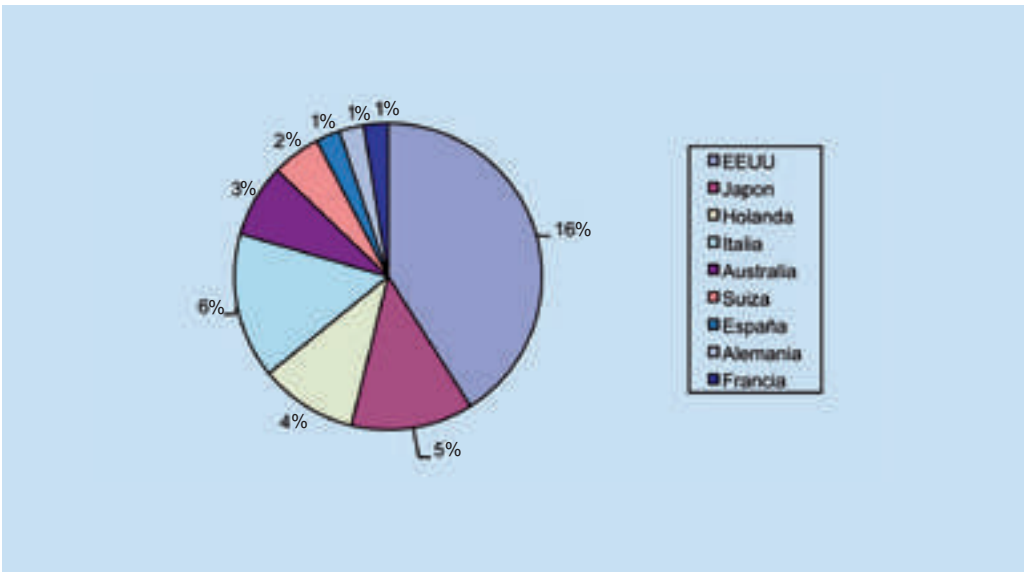
IEEE (<http://www.ieee.org>) es la sociedad científica más grande del mundo en el ámbito de la ingeniería eléctrica electrónica. La forman 375.000 socios y, aunque es de origen estadounidense, tiene miembros en más de 160 países. Está formada por 38 sociedades temáticas, una de las cuales se dedica a la robótica y se denomina RAS (*Robotics and Automation Society*), que es en la que se centran los datos presentados a continuación (<http://www.ieee-ras.org/>). Es sin duda la sociedad científica más grande dedicada a la robótica a nivel mundial. A finales de 2010 tiene 6005 socios, de los cuales 178, el 2,9% son españoles, estando por encima de países como Reino Unido, con 159, o Francia, con 125. En la Figura 5.6 se muestra la distribución de socios por nacionalidades.

Figura 5.6: Distribución por países de socios de IEEE-RAS (septiembre 2011).



El equipo directivo actual está formado por un total de 42 personas, entre los que hay 1 español, lo que representa el 2,3% del total. La distribución por nacionalidades se puede ver más claramente en la Figura 5.7. Se destaca en este caso la notoria mayoría de miembros estadounidenses.

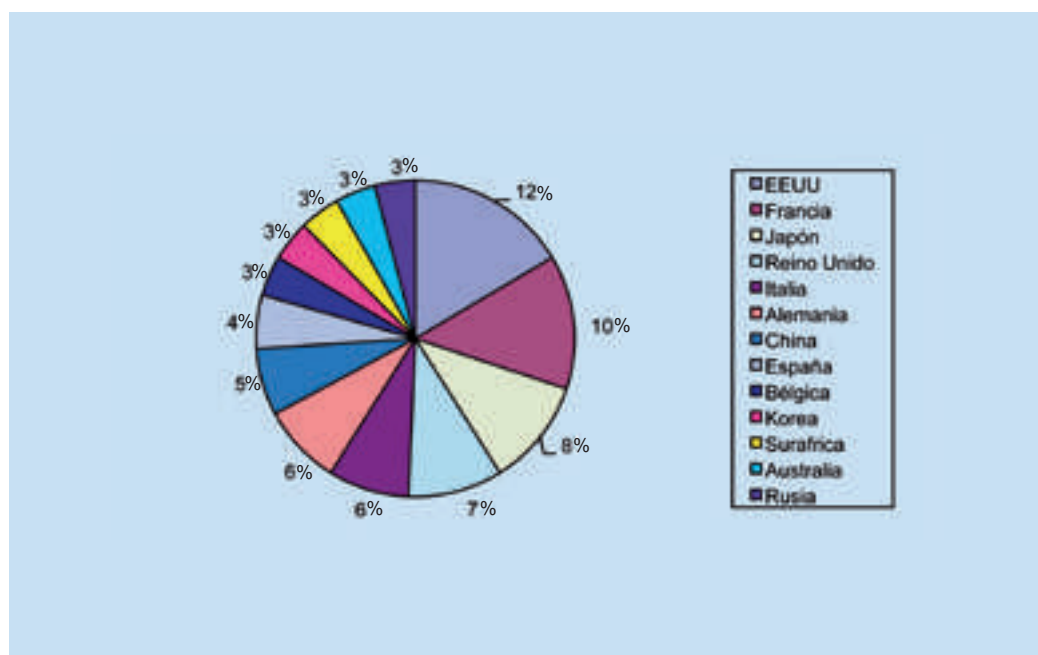
Figura 5.7: Distribución por países de representantes en la dirección de IEEE-RAS.



5.3.1.4. IFAC

La IFAC (<http://www.ifac-control.org>) es una asociación que agrupa las federaciones nacionales de control automático de 50 países. Se dedica a muchos ámbitos de investigación, entre los que cabe destacar la robótica, por ello se ha incluido en este estudio. En el ámbito directivo hay un total de 108 personas, de los cuales 4 son españoles, lo que representa el 3,7% del total. El cuadro de distribución según las nacionalidades está representado en la Figura 5.8.

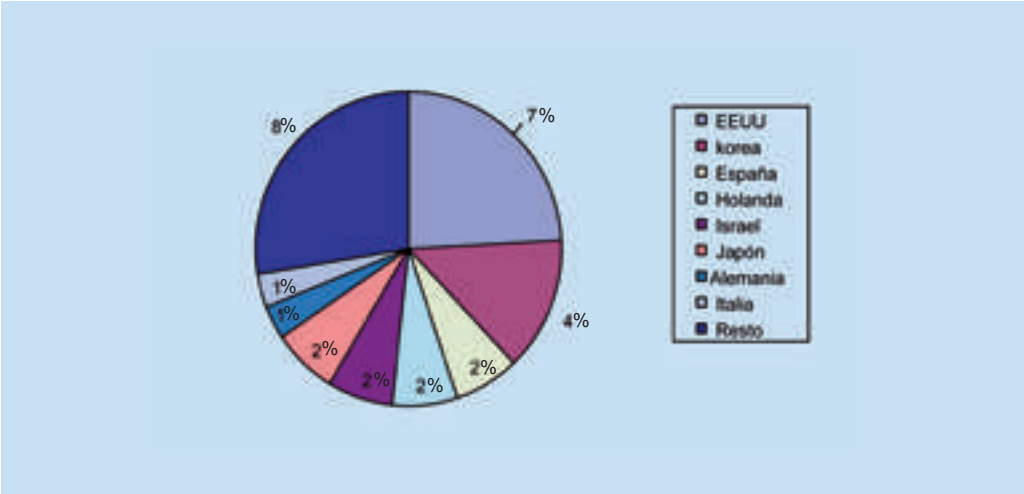
Figura 5.8: Distribución por países de representantes en la dirección de IFAC.



5.3.1.5. IAARC

La IAARC (<http://www.iaarc.org>) es una asociación internacional dedicada a la investigación en el campo de la robótica y la automatización en la industria de la construcción. Agrupa, desde 1984, a investigadores procedentes tanto del mundo universitario como de la empresa. El equipo directivo está formado por 29 personas, de las cuales 2 son españolas (6,9%) tal y como se representa en la Figura 5.9.

Figura 5.9: Distribución por países de representantes en el equipo directivo de la IAARC.



5.3.2. Presencia en comités de revistas y congresos

5.3.2.1. Publicaciones internacionales

En este apartado se presenta un estudio sobre la presencia de investigadores españoles, en relación con los de otros países, en los comités técnicos y/o editoriales de las revistas de la categoría de robótica registradas en el Web ISI. Se considera la presencia de los investigadores indiferentemente como editores, editores asociados, editores consultivos, etc., dado que las editoriales pueden tener diferentes denominaciones para estos cargos. Además se muestra el factor de impacto de cada una de las revistas para el año 2010. Se han considerado las revistas del Web ISI en la temática de robótica, que son las reflejadas en la Tabla 5.4.

Tabla 5.4: Revistas internacionales en robótica en la lista Web ISI.

Ref	Revista	ISSN	FI 2010	PAÍS	EDITORIAL
1	Advanced Robotics	0169-1864	0,653	Japón	Vsp Bv
2	Autonomous Robots	0929-5593	2,011	Holanda	Springer
3	Bioinspiration & Biomimetics	1748-3182	1,845	Reino Unido	IOP Publishing Ltd
4	IEEE Robotics & Automation Magazine	1070-9932	2,173	EE.UU.	IEEE Inc
5	IEEE Transactions on Robotics	1552-3098	3,063	EE.UU.	IEEE Inc
6	Industrial Robot	0143-991X	0,655	Inglaterra	Emerald Group Publishing Ltd
7	International Journal of Humanoid Robotics	0219-8436	0,879	Singapur	World Scientific Publ Co Pte Ltd
8	International Journal of Robotics & Automation	0826-8185	0,206	EE.UU	Acta Press
9	International Journal of Advanced Robotic Systems	1729-8806	0,326	Croatia	INTECH
10	International Journal of Robotics Research	0278-3649	4,095	Inglaterra	Sage Publications Ltd
11	Journal of Bionic Engineering	1672-6529	1,032	R.P. China	Science Press
12	Journal of Field Robotics	1556-4959	3,580	EE.UU	John Wiley & Sons Inc
13	Journal of Intelligent & Robotic Systems	0921-0296	0,757	Holanda	Springer
14	Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial	1697-7912	0,195	España	Comité Español de automática CEA
15	Robotica	0263-5747	0,939	Inglaterra	Cambridge Univ Press
16	Robotics and Autonomous Systems	0921-8890	1,313	Holanda	Elsevier Science Bv
17	Robotics and Computer-Integrated Manufacturing	0736-5845	1,254	Inglaterra	Pergamon-Elsevier Science Ltd

Cabe destacar el incremento del número de revistas científicas en robótica en los últimos años. También cabe destacar la reciente incorporación a la lista de la Web ISI de la revista “Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial”, editada por la CEA, Comité Español de Automática, y que pone de manifiesto el creciente impacto de la investigación en robótica española en el contexto científico internacional.

La Tabla 5.5 muestra la composición de los comités editoriales de las diferentes revistas para diferentes nacionalidades, incluida la española.

Tabla 5.5: Distribución por países de representantes en los comités editoriales de las revistas internacionales de robótica (septiembre 2011).

País/Revista	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
EE.UU.	8	23	11	2	10	12	9	5	8	20	9	19	13	0	3	12	14
Japón	36	9	1	0	3	3	5	1	5	4	3	4	1	0	0	6	2
Reino Unido	0	0	4	0	1	20	1	4	3	2	13	1	0	0	2	2	4
Alemania	3	4	1	0	3	1	2	2	4	1	3	0	1	0	0	1	7
Francia	1	0	0	0	3	0	0	1	3	2	1	3	2	1	0	2	1
Italia	2	2	1	1	4	1	5	2	6	1	0	0	2	0	2	3	1
España	0	0	0	0	3	0	1	0	1	0	0	1	2	25	0	2	0
Resto	10	7	2	3	12	6	17	17	47	6	32	11	25	6	1	6	18
Total	60	45	20	6	39	43	40	32	77	36	61	39	46	32	8	34	47

Como se puede observar, las revistas con presencia española son “IEEE Transactions on Robotics” “Journal of Intelligent & Robotic Systems” y “Robotics and Autonomous Systems”. Destacar también la inclusión de la revista “Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial”, editada por la CEA, en la base de datos de la Web ISI dentro de la categoría “Robotics”. La presencia española es del orden del 6,3%, muy superior a nuestro peso en la economía mundial.

5.3.2.2. Artículos publicados por investigadores españoles

La Tabla 5.6 muestra el número de artículos publicados en las revistas para diferentes nacionalidades, incluida la española. La información ha sido obtenida del Web ISI, e incluye todos los artículos para todos los años que las revistas han estado consideradas dentro del ISI.

Tabla 5.6: Distribución por países de artículos en las revistas internacionales de robótica (septiembre 2011).

País/Revista	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
EE.UU.	139	295	79	290	311	84	31	63	9	839	22	137	132	4	274	271	325
Japón	661	58	9	31	89	19	27	20	13	123	12	13	18	0	90	164	32
Reino Unido	19	30	23	23	20	142	12	6	3	86	39	10	22	1	311	148	87
Alemania	50	48	14	32	29	25	12	9	3	52	19	16	16	0	36	170	48
Francia	42	30	4	18	75	9	10	19	3	123	2	10	29	3	115	101	25
Italia	40	39	4	47	53	5	11	7	7	51	3	7	18	0	69	100	52
España	18	38	5	32	46	5	2	7	2	30	0	13	40	107	53	102	43
Resto	224	71	19	192	127	859	46	164	81	241	138	52	935	58	851	321	613
Total	1193	609	157	665	750	1148	151	295	130	1545	235	258	1210	173	1799	1377	1225

Cabe resaltar la muy alta presencia española en la revista “Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial”, editada por la CEA. En el resto de las revistas de la web ISI destaca también la publicación de trabajos en las revistas “Robotics and Autonomous Systems”, “Autonomous robots”, “IEEE Transactions on Robotics”, “Journal of Field Robotics” y “IEEE Robotics & Automation Magazine”, con porcentajes muy elevados, entre el 5% y el 8%. Los investigadores españoles han producido una media del 4,2% de las publicaciones en la categoría “Robotics” de la Web ISI, superior a nuestro peso en la economía mundial.

5.3.2.3. Congresos internacionales

En este apartado se analiza la participación de investigadores españoles en la organización de congresos sobre robótica, a través de representaciones en los comités internacionales de programa (IPC). La Tabla 5.7 muestra el número de investigadores españoles que forman parte del IPC de ediciones recientes de varios congresos destacables sobre robótica, en comparación con el total de miembros de comité. Hay que mencionar que, al realizar el estudio, ha sido imposible encontrar los datos de ediciones de algunos congresos, dado que sus páginas Web se han dado de baja. Esto dificulta evaluar la evolución de la presencia de investigadores españoles. La comparación también se ve dificultada por los distintos criterios de organización o estructuración de los comités en los diferentes congresos.

Destaca la importante presencia habitual española en los congresos internacionales más importantes en robótica como el ICRA (*IEEE Internacional Conference on Robotics and Automation*) y el IROS (*IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*).

Tabla 5.7: Distribución por países de los miembros de comités en los congresos internacionales de robótica.

Congreso	Edición	Espanoles	Total	% Espanoles	Comité
BioRob	2008	5	132	3,8	International Program Committee
BioRob	2006	5	32	15,6	Europe & Middle East PC
CLAWAR	2009	6	112	5,3	International Program Committee
CLAWAR	2008	3	47	6,3	International Program Committee
CLAWAR	2007	5	70	7,1	International Program Committee
CLAWAR	2006	4	64	6,3	International programme committee
CLAWAR	2005	4	51	7,8	International Program Committee
CLAWAR	2004	11	77	14,3	International Organising Committee
ICRA	2009	0	46	0	International Program Committee
ICRA	2006	6	68	8,8	International Program Committee
ICRA	2005	5	248	2,0	International Program Committee
ICRA	2004	3	59	5,1	PC Members from Europe
IROS	2009	0	49	0	International Program Committee
IROS	2008	1	34	2,9	International Program Committee
IROS	2006	0	66	0	International Program Committee
ISR	2006	1	24	4,2	International Program Committee
ISR	2005	2	23	8,7	International Program Committee
SSRR	2009	2	46	4,3	International Program Committee
SSRR	2008	1	8	12,5	Europa & Africa Committee
SSRR	2007	3	11	27,2	Europa & Africa Committee
ICM	2009	15	46	32,6	International Program Committee
SYROCO	2006	2	27	7,4	International Program Committee

Los investigadores españoles han participado en los comités IPC de los congresos de robótica en un porcentaje muy superior a peso nuestro peso en la economía mundial. Son muy raras las ediciones de congresos de robótica sin presencia de investigadores españoles como miembros de los comités IPC.

5.3.2.4. Ponencias de investigadores españoles en congresos internaciones

También se ha analizado la participación española en ponencias en congresos internacionales, teniendo en cuenta las actas de congresos registrados en la categoría de robótica del Web ISI. La Tabla 5.8 muestra la participación en las últimas ediciones registradas en el Web del ISI de los congresos ICRA e IROS (a fecha de febrero 2011), en comparación con participantes de otras nacionalidades. De media la participación española representa el 3,44% del total de participantes.

Tabla 5.8: Distribución por países de artículos en los congresos internacionales de robótica más importantes (ICRA e IROS).

País/Congreso	ICRA'06	ICRA'07	ICRA'08	ICRA'09	ICRA'10	IROS'06	IROS'07	IROS'08	IROS'09	IROS'10
EE.UU.	229	239	229	195	273	132	178	104	244	160
Japón	116	135	100	128	89	224	168	180	200	227
Reino Unido	6	15	15	8	23	21	8	18	10	21
Alemania	25	37	50	68	68	71	62	59	74	110
Francia	40	64	36	48	33	71	49	62	79	84
Italia	22	47	19	27	38	22	18	24	31	42
España	27	30	16	23	23	32	17	22	34	30
Resto	208	236	188	215	232	398	190	193	276	315
Total	673	803	653	712	779	971	690	662	948	989

5.3.2.5. Congresos internacionales organizados en España

Durante los últimos años se han celebrado importantes congresos internacionales de robótica en España. Dentro de estos congresos cabe destacar el XV Congreso Mundial de la IFAC (*International Federation of Automatic Control*), celebrado en Barcelona en Julio de 2002, con un total de 1.784 artículos presentados. La participación fue muy alta, del orden de 1.900 personas. Este congreso se celebra cada tres años. Se organizaron varias sesiones relacionas con la robótica.

También es importante resaltar el *IEEE International Conference on Robotics and Automation* (ICRA 2005), celebrado en Barcelona en Abril de 2005, con un total de 771 artículos presentados. Cabe destacar la alta participación registrada con 1.181 asistentes.

Otro congreso importante es el *10th International Symposium on Robotics and Applications* (ISORA). Este congreso se celebró en el marco del *World Automation Congress* (WAC) organizado en Sevilla en Julio de 2004, con un total de 420 artículos presentados. En Junio de 2010 la conferencia *Robotics: Science and Systems* (RSS), de significativa relevancia científica, se celebró en Zaragoza con 315 asistentes y 40 ponencias. Destacar también la conferencia *IEEE International Conference on Mechatronics* (ICM'09) celebrada en Málaga en abril de 2009. Esta conferencia reunió a 154 investigadores de 26 países que presentaron un total de 135 comunicaciones en 24 sesiones.

Asimismo, se ha organizado el *7th International Conference on Climbing and Walking Robots* (CLAWAR 2004), celebrado en Madrid en Septiembre de 2004, con 118 artículos presentados. En Mayo de 2009 tuvo lugar en Málaga el *Workshop on Robotic Autonomous Observatories*. Tuvo 84 asistentes y se presentaron un total de 51 comunicaciones. La conferencia *6th IFAC Conference on Manoeuvring and Control of Marine Craft* (MCMC'03), celebrada en Girona en Septiembre de 2003, reunió a 80 asistentes que presentaron 60 artículos.

En campos muy relacionados con la robótica cabe destacar otros congresos como *Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics* (ICINCO)

llevado a cabo en Barcelona en Septiembre 2005, con un total de 234 artículos presentados. En Septiembre de 2009 se celebró en Mallorca el congreso *IEEE International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation* (ETFA'2009), que tuvo 352 asistentes y 242 comunicaciones. En Mayo de 2007 se organizaron en Alicante el congreso *Intelligent Manufacturing Systems* (IMS'07), con 53 asistentes y 41 artículos, y el *IFAC International Workshops, Intelligent Assembly and Disassembly* (IAD'07), con 19 asistentes y 16 artículos.

5.3.3. El peso de la I+D+i en robótica de la industria española en el contexto internacional

A continuación, se describirá el estado de la investigación y desarrollo en robótica en las industrias españolas. Para ello se mostrará el estado del mercado de los robots industriales, para luego estudiar de dónde provienen, dónde se desarrollan y a qué se dedican las empresas españolas específicamente.

De acuerdo a los datos recogidos en el informe *UNECE/IFR World Robotics* 2009, en los últimos años la instalación de robots en España ha crecido a buen ritmo teniendo en cuenta la deslocalización industrial global. Pese a las crisis industriales, el crecimiento del parque de robots instalado y el comportamiento de las compras anuales han sido favorables. En el año 2008, se estaba cerca de los 29.000 robots industriales instalados. Después de un periodo de enfriamiento de las compras hasta el año 2003, en los últimos años, estas repuntaron hasta situarse en 2.300 nuevas instalaciones anuales.

Pese a estas cifras positivas, que indican un crecimiento en la línea o incluso superior a los obtenidos en otros países industrializados (exclúyanse India y China), cabe preguntarse dónde se fabrican estos robots. Casi el 70% de los robots instalados en España proviene de la Unión Europea, mientras que un 20% proviene de Japón. Si se comparan estos datos con los de los productores mundiales de robots, se observa que en España está muy potenciada la compra de robots de fabricantes de la UE por las relaciones de la industria del automóvil y empresas auxiliares, que son las mayores destinatarias de los robots industriales.

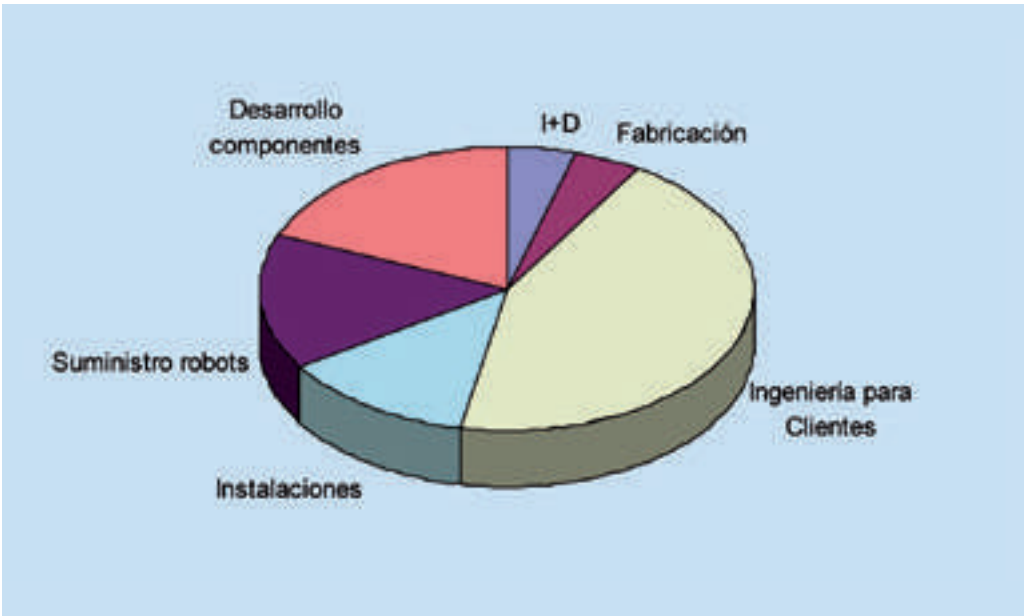
A continuación, cabe preguntarse si alguna de las multinacionales que fabrican robots industriales dispone de Departamentos de I+D+i en sus filiales españolas. La respuesta es negativa: de las 10 primeras empresas del mercado, sólo 2 disponen de un Departamento de I+D+i en España, las otras se dedican principalmente a almacenaje, distribución, instalación y venta de robots producidos y diseñados en el extranjero. Así pues, se puede concluir que las empresas multinacionales de robótica presentes en España no se dedican directamente a I+D+i, que se realiza normalmente en sus países de origen, limitándose la actuación en España solamente a desarrollos puntuales para aplicaciones concretas.

Si se amplía el elenco a las empresas españolas del sector de la robótica o que utilizan robots (como es el caso de la industria del automóvil o ingeniería

de automatización), se observa que casi un 10% de las mismas dispone de un Departamento de I+D. Evidentemente, este dato también demuestra que el sector privado dispone de pocos recursos o posibilidad para realizar investigación y el desarrollo de robots.

Si el análisis se extiende a la totalidad de empresas del sector, de 84 empresas encuestadas (ver listado de la Figura 5.11), sólo dos se dedican únicamente a la I+D+i, y sólo 7 tienen la I+D+i entre sus actividades principales. De acuerdo a los datos de la Figura 5.10, las actividades de casi el 45% de las empresas registradas en el sector de la robótica se dedican a realizar ingeniería de instalaciones llave en mano. Un 25% se dedica a la instalación y suministro de robots fabricados en el extranjero. Además, solamente un 5% fabrica partes de robots en España para sus empresas matrices europeas. No obstante, es destacable la actividad en I+D+i del 22% de empresas, dedicadas a la fabricación y desarrollo de componentes para robots y del 3% de empresas, basadas en capital riesgo, cuya actividad prioritaria es la I+D+i en robótica.

Figura 5.10: Principales actividades de las empresas del sector de robótica en España.



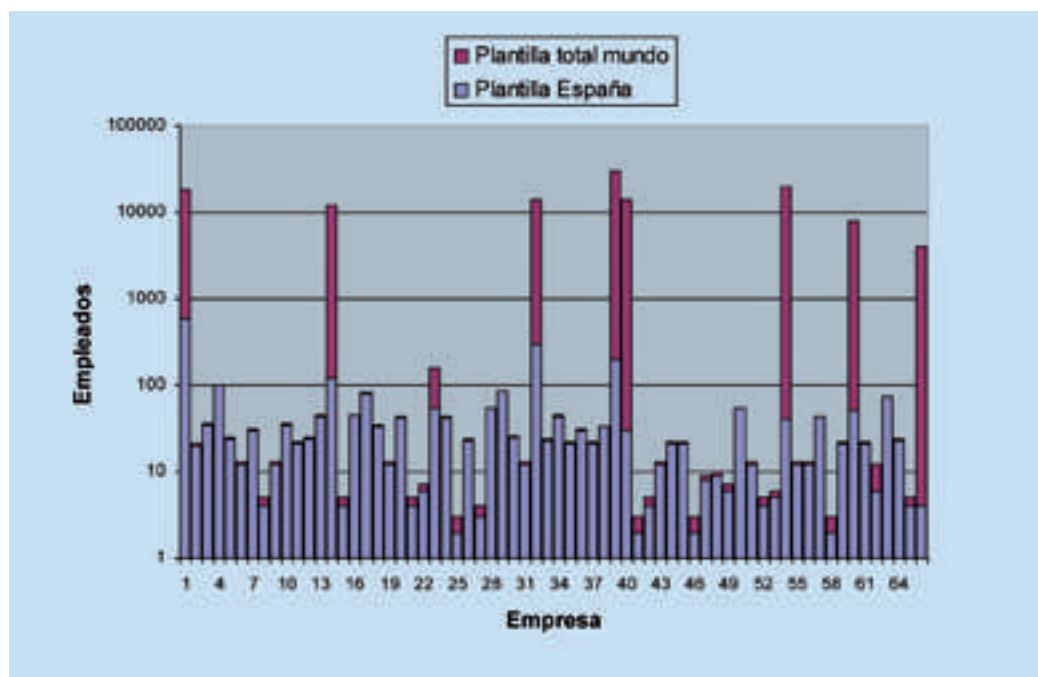
Como conclusión a estos análisis, se puede decir que aparte de alguna empresa con dedicación plena a la investigación, la I+D+i sólo está potenciada en las empresas del sector de componentes para robots: motores, engranajes, correas y codificadores. En estos casos, las empresas son competitivas a nivel internacional, ofreciendo productos de alta calidad o muy especializados. Hay

que destacar que no existen en España fábricas para la producción en serie de robots industriales, así que no hay inversión en este sector.

Los principales usuarios de robots son las empresas del sector automovilístico y los productores de componentes para el automóvil. En algunas de estas empresas hay departamentos propios de I+D+i que realizan las optimizaciones en sus líneas de producción y deciden la adquisición de los robots necesarios, mientras que otras subcontratan los servicios de las empresas de ingeniería del sector de la robótica, mencionadas anteriormente.

Finalmente se van a mostrar los datos de empleados de las empresas analizadas; se han destacado los datos de empleados totales de las empresas españolas que incluyen los de las filiales de las multinacionales. Se muestra también el número total de empleados de éstas últimas, en escala logarítmica.

Figura 5.11: Empresas de robótica analizadas según número de empleados: la numeración corresponde a la lista alfabética adjunta de empresas (fuente HispaRob)



ABB, Abgam, Agrobot, Alsoy Robotics, Alava Ingenieros, Anatronix, Apteca, Aquiles, Bando, Cadia Ingeniería, Deimos, Digita2, Doga, Drop Ingeniería, Ebotlution Systems, Elmeq, Embention, Eurotherm, Fanuc, Gaindu, Gamelsa, Gestamp, Gmv, Gtd, Herrekor, Iberacero, Iberobotics, Idasa, Idc Tecnología, Idom, Ikarus Tech, Imi Norgren, Indra, Industrias Lan-bi, Ingemat, Ingenia, In-Ma-Pa, Inser Robótica, Intertronic, Isdefe, Itega Orense, Itekna, Koniker, Kuka, Leue, Lincoln-Kd, Maclysa, Maxon, m-BOT Solutions, Megacal, Menasa, Motoman, Palma Tools, Pedro Estelles Blay, Peñasanta, Proinzar, Promaut, Quark Robotics, Ribinerf, Risoluta, Robótica y Mecanizados, Robotnik, Saind, Sanjacs, Seletron, Sener, Seven Solutions, Siemens, Smarlogy, Stauli, Sti, Tecnalia, Tecnatom, Tecnopower, Thecorpore, TMS Aritex Cadging, TodoMicroStamp, Treelogic, Trimtecnica, Vzdürr, Watna Systems, Wittmann, Yaskawa Ibérica (fuente HispaRob)

5.4. Relación con otras áreas

La robótica es una disciplina transversal que necesita de otras áreas de investigación: automática, mecánica, electricidad, electrónica e informática. La I+D+i en robótica tiene estrechos lazos con la investigación en otros campos, especialmente con la automática, en la que interactúan en las instalaciones industriales, la visión por ordenador que muchas veces se integra como sensor para robótica, y otras áreas específicas de estudio de sensores, redes de comunicaciones, etc.

Automática. La automática y la robótica tienen una íntima relación desde el punto de vista de que un robot es una máquina automática. Así la robótica estudia en relación a la automática entre otros los siguientes aspectos:

- Sistemas de control de lazo cerrado para el control de movimiento
- Generación de trayectorias
- Planificación de movimientos
- Actuadores en sus diferentes vertientes: neumática, hidráulica y eléctrica

Electrónica. Al igual que la automática, la electrónica juega un papel fundamental en el diseño de los sistemas de control de los robots. La generalización del empleo de los motores eléctricos en los robots hace que sea necesario utilizar servoamplificadores, servomotores y sistemas de alimentación. Al mismo tiempo, el diseño de nuevos sensores, transductores, y sistemas computacionales hace que sea preciso el diseño de sistemas electrónicos, tanto analógicos como digitales, con mayores capacidades de integración y procesamiento.

Informática. La utilización de los computadores en el diseño de los sistemas de control del robot hace que la informática sea una de las disciplinas claves en el campo de la robótica. El diseño de sistemas de control jerarquizado, generación de trayectorias, planificación, integración sensorial, nuevas interfaces avanzadas, etc. hace que sea preciso diseñar programas que integren muchos componentes por lo que es preciso utilizar técnicas de ingeniería del software, como la utilización de marcos de componentes, arquitecturas de referencia, desarrollo de software basado en métodos formales o semi-formales, etc., con el objeto de conseguir diseños del software de control que sean reutilizables, escalables, fácilmente mantenibles, robustos y seguros. La integración de los robots en los sistemas de fabricación ha promovido el desarrollo de nuevos sistemas de redes de comunicaciones. Por otra parte, la programación con restricciones temporales ha hecho que emerjan nuevas disciplinas como los sistemas tiempo real.

Sensores y sistemas de percepción. La aplicación de la robótica en entornos cada vez menos estructurados hace que sea preciso utilizar sensores con mayor capacidad de procesamiento. La miniaturización, consumo energético, precisión, repetibilidad y auto-calibración son puntos clave en la investigación de sensores

para robótica. Por otro lado, las necesidades de comunicación entre hombre y robots ha promovido el surgimiento de interfaces multimodales. Sistemas de percepción basados en cámaras monoculares o estéreo, sistemas láser, métodos de detección, seguimiento de objetos, métodos de auto-localización y generación de mapas, entre otros, son demandados por un creciente número de aplicaciones robóticas.

Mecánica. Estudia la estructura articulada del robot en sus dos vertientes cinemática y dinámica. La cinemática estudia el movimiento de los diferentes elementos del robot con respecto a un sistema de referencia. La dinámica estudia el efecto de las fuerzas sobre el robot debidas a las distribuciones de masa e inercias. Si bien el desarrollo de los sistemas de control de muchos robots no contempla su estudio dinámico, la necesidad de obtener robots cada vez más rápidos y de estructura más flexible hace que sea cada vez más necesario un estudio profundo de la dinámica del robot.

Inteligencia artificial. El desarrollo de robots flexibles capaces de operar en entornos cambiantes y que, además, sean capaces de responder a nuevas situaciones con gran flexibilidad y que dispongan de interfaces de comunicación avanzadas, como sistemas de reconocimiento de voz y reconocimiento visual, hace que nuevas disciplinas como la inteligencia artificial se utilicen en el área de la robótica. Las necesidades de desarrollo dentro del campo de la robótica han forzado al modelado de técnicas para la resolución de problemas complejos de control y planificación, que no hubiesen sido posibles de llevar a cabo sin la ayuda de la inteligencia artificial. Así, entre las ramas de inteligencia artificial que se están aplicando a la robótica, cabe destacar: lógica borrosa, redes neuronales, algoritmos genéticos, teoría del aprendizaje, sistemas expertos y el razonamiento aproximado.

Ciencias cognitivas. Las ciencias cognitivas buscan explicación a los procesos del cerebro, la percepción, la fisiología del movimiento, el pensamiento y la memoria. Las investigaciones de las funciones del sistema nervioso desde las formas sub-moleculares hasta los niveles más complejos estudian la habilidad para sentir, pensar y actuar autónomamente. La robótica aborda los mismos objetivos, con el propósito de construir máquinas capaces de poder actuar igual o mejor que los organismos autónomos. Así se configura una nueva forma de conocimiento con parte que pertenece a la biología y otra al automatismo electrónico. Esta nueva forma establece nuevas ideas que pueden servir para desarrollar ambas disciplinas, todo ello con el propósito de emular el comportamiento de los seres vivos y crear entes cibernéticos.

Ciencia de los materiales. El desarrollo de robots más rápidos y flexibles obliga a realizar diseños con materiales más ligeros y resistentes. En otros casos, el desarrollo de robots que están en contacto con el hombre, robots quirúrgicos,

prótesis robotizadas, etc. obliga a aplicar nuevos materiales biocompatibles. Para dotar de mayor autonomía a los robots, se investiga en nuevas técnicas y materiales para el diseño de sistemas de alimentación: baterías, células de combustible, etc.

Sin embargo, cada día aparecen nuevas ciencias que juegan un papel esencial en el campo de la robótica, como la nanotecnología que en un futuro permitirá el desarrollo de nanorobots capaces de manipular moléculas o estructuras atómicas y que serán capaces de reparar lesiones y curar enfermedades.

5.5. Tendencias

Del análisis mostrado en este capítulo, se desprende que la mayor contribución en I+D+i en el campo de la robótica se produce en Estados Unidos y Japón. Si bien se observa que el peso de la robótica en España, en cuanto a difusión y producción científica, es equiparable a otros países europeos de su entorno como Francia y Alemania. La mayoría de la investigación española en robótica se desarrolla en las universidades, el CSIC y los centros tecnológicos. Sin embargo, esa investigación todavía no se ha materializado en la producción y diseño de robots por parte de las empresas radicadas en nuestro país.

Como se ha mencionado anteriormente, en el ámbito industrial, la robótica es una tecnología madura y consolidada. La I+D+i en este ámbito ha sido realizada por unas pocas compañías multinacionales, y en sus países de origen, que han copado el mercado gracias al desarrollo de robots que operan en entornos industriales muy estructurados, sin grandes requisitos sensoriales y que pueden ser configurados para múltiples aplicaciones.

En los últimos años la investigación en robótica se ha centrado, sobre todo, en robots trabajando en entornos poco estructurados precisando gran capacidad e integración de procesamiento sensorial, característica de lo que se ha denominado robótica de servicio. Los robots de servicio están ahora en una fase inicial en cuanto a su desarrollo y expansión comercial, y es previsible que en los próximos años se produzca un crecimiento exponencial de estos robots. Como ejemplo, los robots limpiadores han sido uno de los primeros que han pasado del ámbito de la investigación a la distribución comercial con varios modelos en el mercado en los últimos años. Además, la gran diversidad de aplicaciones de la robótica de servicio hará que la fabricación y distribución de estos robots no esté copada por unas pocas compañías, como ha ocurrido con los robots industriales, sino por una gran diversidad de empresas incluidas las pequeñas y medianas empresas o *spin-off* creadas al amparo de universidades y centros de investigación.

Otro aspecto importante a considerar es la necesidad de impulsar nuevas normativas (de seguridad, de funcionamiento, de interacción) que permitan homologar los nuevos desarrollos robóticos. De la misma forma, sería de gran importancia la introducción de métricas comparativas para sistemas robóticos

(“benchmarking”) tanto a nivel mundial como europeo. En este sentido, en la red EURON se ha creado hace unos años un comité especial con importante participación española. Estos dos temas deberían ser prioritarios si queremos que la investigación salga de los laboratorios y se materialice en productos y empresas.

6

La transferencia tecnológica en robótica *Technology transfer in robotics*



En los capítulos anteriores se han analizado diferentes aspectos de la robótica, y, entre ellos, su impacto socioeconómico en el sector productivo como mecanismo para elevar la productividad y calidad de los productos. Pese a que este factor es de una importancia extraordinaria, no es la única forma en la que la investigación en el campo de la robótica revierte en el sistema ciencia-innovación-producción. La introducción de la robótica en los procesos productivos afecta fundamentalmente al sistema de producción y a la organización del proceso productivo en sí mismo.

En el capítulo anterior se analizó la situación de la I+D+i en robótica en España dentro del contexto internacional. En este capítulo nos centramos de forma específica en el proceso de innovación y transferencia al sector productivo, quizás el que ha sido señalado por numerosos análisis como eslabón más frágil del sistema Español de ciencia-innovación-producción. A continuación se analizan las patentes, contratos de transferencia y *spin-off* generados por los grupos de robótica españoles.

Como se ha destacado en capítulos anteriores la robótica ha trascendido del ámbito industrial y se encuentra en un proceso de incorporación a otros sectores, como el de servicios, lo que ha potenciado la aparición de nuevas líneas de investigación y nuevas oportunidades de transferencia de tecnología al sector productivo.

In previous chapters different aspects of robotics were analyzed, such as socio-economic impact in productive sectors as a mechanism to improve productivity and the quality of products. Although this is an extraordinarily important aspect, it is not the only way in which robotics R&D returns value to the science-innovation-production system. The introduction of robotics in the productive processes greatly influences the production system and the productive process itself.

In the last chapter the state of robotics R&D in Spain was analyzed within its international context. This chapter specifically concentrates on the innovation process and on the transfer to the productive sector, which has been highlighted by many analyses to be the weakest part of the Spanish science-innovation-production system. This chapter also presents the patents, technology transfer contracts and spin-offs generated by Spanish R&D groups in robotics.

As highlighted in previous chapters, robotics has evolved beyond industrial sectors and is currently in the process of being incorporated in other sectors such as service, a change that will facilitate the development of new R&D lines and open up new possibilities for technology transfer to productive sectors.

6.1. La innovación

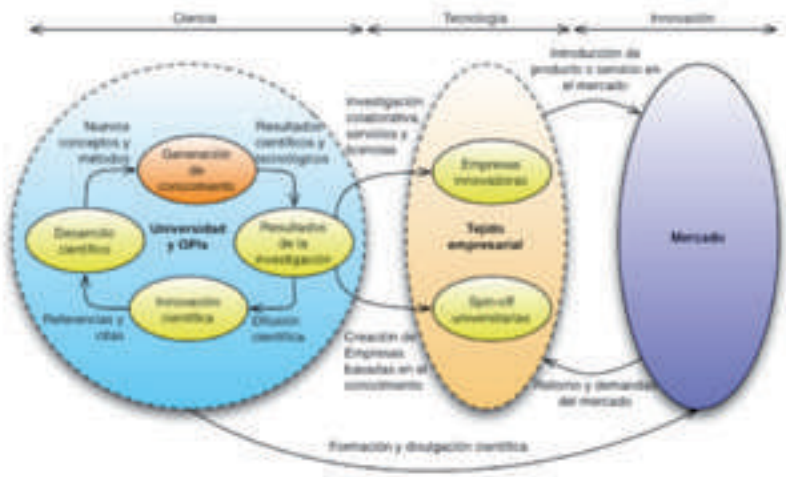
El efecto de una investigación de calidad durante un cierto campo se puede medir y valorar en una primera instancia por su productividad científica. Pero desde el punto de vista económico y de retorno de la inversión realizada, debe de considerarse además cuál es el impacto que la investigación origina en la capacidad de innovar o adaptar los avances para conseguir mejorar la posición competitiva de nuestras empresas a escala mundial.

Mediante el estudio de la cadena de la innovación, pueden identificarse indicadores intermedios que pueden ayudar a estimar la eficiencia de la innovación. En la Figura 6.1 se muestra un modelo de la cadena de innovación que detalla el paso de la creación de conocimientos científicos (a la izquierda del esquema), primero a tecnologías (en el centro del esquema) y por último a innovaciones en el mercado (a la derecha del esquema).

El bucle de la ciencia se fundamenta en la generación de conocimientos que se identifican como resultados de la investigación tanto en el ámbito científico como en el tecnológico. En el primer tipo de estos, los resultados se encaminan hacia la innovación científica mediante un proceso de difusión en revistas especializadas, congresos o seminarios, de tal manera que, cuando estos logros se absorben por la comunidad científica para producir nuevos conceptos o métodos que generen conocimiento, se habla de desarrollo científico. Los indicadores clásicos para medir su comportamiento se basa en los estudios bibliográficos de publicaciones en revistas de impacto o el uso de índices de citaciones como el índice H o el índice G.

Por otro lado, los resultados de la investigación más aplicados se convierten en tecnologías mediante un proceso de transferencia del conocimiento. Se trata de pasar del lenguaje científico al empresarial y, para ello, se utilizan herramientas como la investigación colaborativa (en forma de contratos o proyectos de desarrollo), servicios concretos a la empresa o mediante licencias de la propiedad industrial o intelectual. La creación de empresas basadas en *spin-off* universitarias también resulta otra manera de transferencia de conocimiento que permite poner en valor resultados de la investigación que, por cuestiones económicas o un alto riesgo de producción, no resultan del interés empresarial. Este tipo de iniciativas permite que lleguen a la sociedad productos o servicios innovadores que de otra quedarían relegados a los laboratorios. En este caso, el uso de índices relacionados con los acuerdos de colaboración entre universidades o empresas, número de licencias o número de *spin-off* creadas, se utilizan para estimar cuanta ciencia se ha convertido en tecnología.

Figura 6.1: Modelo de la cadena de la innovación.



La innovación se produce cuando la tecnología se introduce en el mercado y, como consecuencia, la empresa obtiene un retorno económico. En los indicadores utilizados para medirla entrarían cuestiones como el índice de ventas, el flujo de caja o los beneficios sobre las ventas de un determinado producto. Estimar de la eficiencia de la innovación resulta complicado, debido al número y heterogeneidad de agentes y circunstancias que entrarían a formar parte de su cálculo. En la Figura 6.1 también aparece una relación entre la ciencia y la innovación en forma de formación y divulgación científica. En efecto, la formación llevará a un mercado más exigente que requerirá nuevas demandas al tejido empresarial. Esta cuestión probablemente también repercutirá en los índices de transferencia del conocimiento, pero resultan complicados de medir. Asimismo, habría que tener en cuenta el esfuerzo de la administración en el apoyo a la investigación de base, la aplicada y la estratégica, así como a los proyectos de desarrollo y la innovación empresarial.

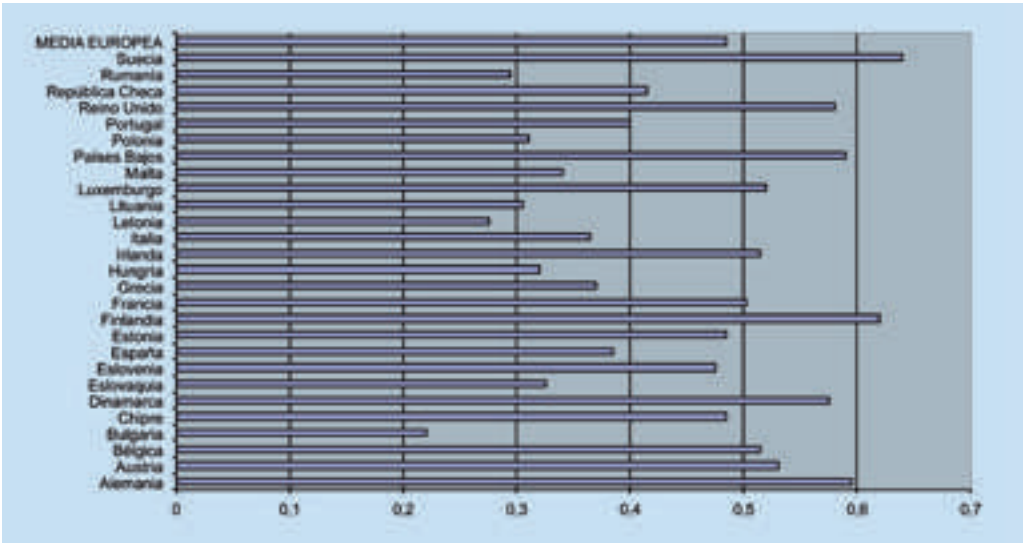
La estimación de un indicador de eficiencia en la innovación resulta complicada, por los múltiples factores tanto endógenos como exógenos a las propias actividades en educación o investigación que entran en juego para que el fruto de éstas dé lugar a un retorno económico o social. Para ello, el *European Innovation Scoreboard* (EIS) ha creado el *EIS composite index* como medida de la eficiencia en la innovación y que representa un ratio que considera entradas (educación, inversión en innovación, actividades de innovación a nivel de empresa, etc.) y salidas (volumen de negocios debido a nuevos productos, empleo en sectores de alta tecnología, patentes, marcas registradas, diseños, etc.) y que suministra una medida simple de la innovación en un país.

La eficiencia es un concepto importante en muy diversos campos, en particular en la robótica. En general, la inversión en innovación no suele ser lo que se desea obtener, sino los resultados económicamente significativos derivados de la misma (o salidas del proceso de innovación). Podría decirse que lo que es importante es el modo en el que el proceso de innovación repercute en la productividad de la economía de un país. La eficiencia en la innovación es mejor cuando para las mismas entradas, o en nuestro caso, cuando para la misma financiación de actividades de investigación se consigue un mayor nivel de salidas en el proceso de innovación.

6.1.1. La innovación en los países desarrollados

La Figura 6.2 muestra el valor del índice *Summary Innovation Index (SII)* del EIS en el año 2009 de los países EU27. Dinamarca, Finlandia, Alemania, Suecia y el Reino Unido son los países líderes en innovación en Europa. España se encuentra entre los países con innovación moderada, inferior a la media europea.

Figura 6.2: Valores de índice Summary Innovation Index (SII) del EIS en el año 2009 para los países EU27 (fuente: *European Innovations Scoreboard 2009*).



A nivel internacional, atendiendo a su eficiencia en el proceso de innovación, podemos distinguir cuatro situaciones:

1. Los países líderes en innovación (Suecia, Dinamarca, Finlandia, Alemania, Israel, Japón, Suiza, Reino Unido y Estados Unidos) tienen por lo general un nivel de eficiencia alto en la transformación de las entradas de financiación a la investigación en aplicaciones. Algunos de estos países como es el caso de Alemania y Suiza muestran una alta eficiencia en la generación de propiedad intelectual (patentes, software, etc.).
2. Un segundo grupo de países lo forman aquellos con tasas altas de innovación (Austria, Bélgica, Canadá, Francia, Islandia, Irlanda, Luxemburgo y Holanda) que presentan valores de eficiencia innovadora por encima de la media. Algunos de ellos cuentan con buena capacidad para convertir en aplicaciones la financiación a la investigación (Bélgica y Luxemburgo, por ejemplo) y otros con buenos valores de generación de propiedad intelectual (Holanda por ejemplo).
3. Un tercer grupo lo forman los países con tasas moderadas de innovación (Australia, España, Italia, Chipre, Chequia, Estonia, Noruega y Eslovenia) que tienen un rango muy variable de situaciones. Algunos países como Australia y España muestran eficiencias algo mejores que la media en Propiedad Intelectual y otros como Chequia en el desarrollo de aplicaciones. Otros combinan valores promedio en aplicaciones y propiedad intelectual.

4. Un cuarto grupo estaría formado por los países que buscan alcanzar una mejor situación competitiva en innovación (Bulgaria, Croacia, Grecia, Hungría, Letonia, Lituania, Polonia, Portugal, Rumania, y Eslovaquia) y que muestran situaciones con fuertes diferencias en las eficiencias de transformación de las entradas al proceso innovador en aplicaciones. Salvo en el caso de Portugal, la mayoría de estos países muestran indicadores por debajo de los promedios en la creación de propiedad intelectual.

Un aspecto, señalado por el EIS, que se produce en los países con baja eficiencia en la innovación es que el incremento en las entradas de financiación de algunos de los aspectos ligados al proceso ciencia-innovación-producción no siempre ofrecen como resultado un incremento proporcional en las salidas esperadas (innovación, nuevos productos, nuevos mercados, etc.). Por tanto, es posible que en los países en esta situación sea más efectivo desde el punto de vista de la innovación la focalización en nuevas políticas que den soporte a las empresas para generar nuevas aplicaciones y patentes, y en general para desarrollar nuevas empresas. En los países con alta eficiencia en el proceso de innovación, las políticas de potenciación de la innovación pueden ser diferentes y podría ser más productivo el aumento de las entradas financieras utilizadas en el proceso de innovación.

6.2. Patentes y propiedad intelectual

Las patentes de invención constituyen un documento que permite el estudio de la I+D+i, ya que plasman en un documento un resultado de la investigación en forma de tecnología. Se ha convertido en una de las principales fuentes para el estudio de la transferencia de conocimiento debido a que poseen una alta normalización, proporcionan una gran cantidad de información tecnológica actualizada y clasificada por sectores, y resultan fácilmente accesibles al estar recogidas en un gran número de bases de datos disponibles a través de Internet. Por otro lado, su calidad se mide por el informe del estado de la técnica que lleva asociado y con la modalidad de examen previo se asegura que la invención contenida en el documento posee los niveles requeridos de novedad y de actividad inventiva.

Sin embargo, este tipo de documentos tecnológicos no resulta muy popular entre los investigadores ya que no se evalúa como una contribución de impacto en los currícula, por lo que muchas veces se prioriza la publicación antes que la patente. Por otro lado, los problemas asociados a las licencias de patentes también resultan obstáculos para el investigador, ya que estas se producen en la mayoría de las veces de forma independiente a los requerimientos empresariales, y las empresas perciben un alto riesgo económico en la puesta en marcha e introducción

de la invención en el mercado. Todo esto se ve aderezado con los conocimientos sobre la gestión de los Derechos de Propiedad Intelectual e Industrial o sobre negociación de contratos que resultan indispensables en todo procedimiento de licenciamiento. Todos estos factores repercuten en que no se convierten en tecnología o en innovación todos los resultados aplicados que se generan a partir de la actividad investigadora. Con lo cual, un índice fundamentado exclusivamente en el número de patentes de invención generadas desde el ámbito de la investigación debe tener en cuenta las circunstancias y limitaciones antes comentadas.

6.2.1. Las patentes de robótica

La metodología utilizada para la realización del estudio sobre las patentes en robótica que se presenta en este Capítulo se ha fundamentado en el uso de la lista de todas las instituciones miembro del Grupo Temático de Robótica del Comité Español de Automática GTRob. De este modo, se han extraído de la base de datos *esp@cenet* (<http://www.espacenet.com>), accesible desde el portal web de la Oficina Española de Patentes y Marcas (OEPM) (<http://www.oepm.es/>), todas las patentes generadas por las instituciones en las que estas son titulares.

Posteriormente, un grupo de expertos en la materia han identificado las patentes relacionadas con la robótica y las han clasificado según las temáticas elaboradas por la Plataforma Española de Robótica, HispaRob (<http://www.hisparob.es>). La selección de esta clasificación ha sido motivada por constituir una manera, consensuada entre los investigadores y empresas españolas, de catalogar las aplicaciones actuales de la robótica en un momento que su expansión hace que los robots no se restrinjan a ambientes industriales. Por otro lado, el código de Clasificación Internacional de Patentes (CIP), establecido en Estrasburgo en 1971, resulta inadecuado debido a su complejidad: divide la tecnología en ocho secciones, con unas 70.000 subdivisiones. En este sentido, se encuentra orientado a la catalogación de un gran número de patentes y de muy diversa índole, cuestiones que no encajan con la naturaleza del presente estudio.

El alcance del estudio presentado se encuadra dentro de las patentes que se encuentran publicadas en la actualidad. No se han incluido aquellas en trámite, aún cuando algunas de ellas ya hayan sido transferidas a la industria, o que la titularidad no reside en alguna de las instituciones pertenecientes al Grupo Temático de Robótica.

Asimismo, al tomarse como base los miembros de este grupo temático, no aparecerán tecnologías relacionadas con la robótica como estrategias de control, tiempo real o visión por computador.

Hasta 2009 se han localizado en la base de datos *esp@cenet* un total de setenta y seis patentes de invención en las que aparece como titular una institución perteneciente al Grupo Temático de Robótica. De ellas, veinticinco se encontraban relacionadas de forma directa con la robótica y once de forma colateral. En las siguientes tablas se detallan las patentes de invención clasificadas por cada uno de los sectores y campos de aplicación según HispaRob.

Tabla 6.1: Número de patentes españolas en robótica de servicios profesionales.

Campos de aplicación	Número patentes
Inspección y mantenimiento de instalaciones. Se considera al robot como una máquina que puede ser móvil, dotada de brazos y con la posibilidad de tele-operación. En concreto, se encuentra diseñado para moverse en entornos peligrosos, y con respecto a la movilidad puede ser rodante, deslizante e incluso para entornos submarinos.	2
Transporte robotizado. Sistemas de transporte automático basados en vehículos que guiados tanto por sensores a bordo del vehículo (cámaras, sónares, etc.) como por GPS.	8
Asistente a operarios. Empleo del robot o los dispositivos de tipo robótico que se desarrollen para adaptar el puesto de trabajo o la tarea a las exigencias ergonómicas de seguridad laboral. Asimismo, considera dispositivos que mejoren el rendimiento del operario, eliminando o mitigando los esfuerzos que hay que realizar en la tarea. El concepto de robot tendría la forma de brazo manipulador o exoesqueleto.	2
Agropecuaria, pesca y agricultura. Se refiere a la robotización de máquinas agrícolas habituales para que realicen sus tareas de forma autónoma. Asimismo, se contempla el esquileo, el ordeño y el sacrificio y despiece de animales. También incluyen en esta categoría los robots para la detección de incendios (sistemas aéreos autónomos UAS) y las tareas acuícolas para los que se emplearían robots submarinos.	1
Medicina. Robot quirúrgico especializado en posicionar con precisión un instrumento quirúrgico bien mediante movimientos previamente programados, automáticos, ordenados en línea o siguiendo las consignas de un manipulador maestro. Por otro lado, se encuentra la robótica de rehabilitación que se centra en la utilización de sistemas robóticos que interactúan con personas, a fin de complementar o mejorar la rehabilitación. Tanto las órtesis como las prótesis son elementos que están íntimamente unidos al cuerpo del individuo, supliendo funciones e incluso segmentos corporales. Las órtesis son dispositivos que tienden a asegurar al cuerpo una forma conveniente con un fin funcional. Las prótesis son aparatos ortopédicos destinados a reemplazar la parte ausente del cuerpo con un fin a la vez estético y funcional.	5

Tabla 6.2: Número de patentes españolas en robótica de servicios personales.

Campos de aplicación	Número patentes
Social. Dentro de este grupo se incluyen tanto los robots que asisten a las personas en general, y a mayores y personas con discapacidad en particular, en la realización de las actividades de la vida diaria, así como los que son capaces de interactuar con los sistemas domóticos o se encargan de realizar tareas de seguridad en el hogar. Pueden ayudar en las actividades de la vida diaria como a la movilidad de persona con discapacidades. También se incluyen los robots sociales centrados en potenciar la sociabilidad y la comunicación entre las personas y los robots. Por último se emplean los robots lúdicos y de formación. Entre ellos no existe una barrera clara y se encuentran diseñados para formar o entretener a las personas.	2

Tabla 6.3: Número de patentes españolas en robótica de seguridad y defensa.

Campos de aplicación	Número patentes
Defensa. Se trata de robots móviles o aéreos que pueden estar o no armados y útiles en tareas de detección y neutralización de explosivos, transporte o vigilancia aérea.	1
Seguridad. Robots encargados de tareas de vigilancia por lo que se configuran como robots móviles, submarinos o aéreos. Pueden llevar sensores químicos u olfativos con el objeto de detectar drogas o áreas contaminadas. También se considera el rescate de personas en escenarios de desastre en el que se emplean robots móviles con orugas y dotados de brazos manipuladores.	2

Tabla 6.4: Número de patentes españolas en robótica espacial.

Campos de aplicación	Número patentes
Exploración espacial. El escenario de exploración espacial contempla la exploración de cuerpos celestes alejados de la Tierra, dentro o fuera del Sistema Solar, mediante sondas robóticas interplanetarias dotadas de capacidades autónomas. La exploración robótica se considera como un paso previo al envío de misiones tripulada a la Luna o Marte, aunque también constituye la estrategia idónea para llegar a cuerpos lejanos fuera del alcance de las naves tripuladas, bien sea por motivos de coste o de complejidad.	1

Tabla 6.5: Número de patentes españolas en robótica industrial.

Campos de aplicación	Número patentes
Fabricación. Actualmente la aplicación principal del robot industrial se encuentra en los procesos de fabricación, realizando principalmente tareas de soldadura y manipulación, desde alimentación de máquinas a empaquetado y paletizado. Otras aplicaciones en el proceso de fabricación tienen una implantación mucho menor: dispensado, procesado y ensamblado- desensamblado. La tipología de robots serán brazos manipuladores.	4
Logística y distribución. Aplicaciones relacionadas con el control o supervisión de flotas de vehículos autónomos, así como en aplicaciones de embalaje automático. En estas últimas se destacan los palets automáticos. Dentro de esta categoría también entra el control automatizado de inventarios.	1

Un primer análisis indica que aproximadamente un tercio de las patentes hasta 2009 cuyo titular son alguna de las instituciones pertenecientes al Grupo Temático de Robótica se encuentran directamente relacionadas con el ámbito de la robótica. Con respecto al ámbito nacional, este conjunto todavía resulta muy reducido ya que según el informe de indicadores de 2009 de la Conferencia de Rectores de Universidades Españolas (CRUE), elaborado por RedOTRI, se produjeron 604 solicitudes de patentes de invención.

Con respecto a la distribución por sectores, destaca que los nuevos campos de aplicación, en particular los servicios profesionales, se caracterizan por el mayor número de patentes. Esto contrasta con el sector de aplicaciones industriales, donde podría esperarse un mayor número de patentes por ser un ámbito tradicional. En este caso, probablemente en las invenciones no aparezcan como titulares los centros investigadores por tratarse de industrias consolidadas que poseen una gestión y negociación muy estricta de la propiedad industrial. Finalmente, la exploración planetaria es donde existe un menor número de patentes, que concuerda con la dependencia exterior de España con respecto a estas tecnologías y con el reducido número de grupos de investigación dedicado a estas temáticas.

También se recabó información de las patentes en robótica de los grupos de robótica inscritos en la lista de grupos de GTRob y subscritos a la lista “listagtrob” (listagtrob@uc3m.es). De los grupos que han contribuido, la Tabla 6.6 muestra el número de patentes nacionales e internacionales en robótica en los que sus investigadores han contribuido como inventores. Hay que matizar que en algunas de las instituciones los números de patentes son, con toda seguridad, muy superiores a los mostrados ya que los mostrados en la Tabla 6.6 corresponden sólo a alguno de los grupos que lo integran.

En una primera aproximación se pueden extraer algunos primeros datos significativos. En primer lugar, de los 15 grupos de investigación de los que se ha recibido información, 11 indican que han solicitado o que tienen patentes nacionales o internacionales lo que implica que el 73,3% de los grupos es activo hasta el momento en el tema de patentes. También el 53,3% de los grupos ha realizado hasta el momento alguna patente internacional. Si bien hay que señalar que no se ha preguntado a los grupos sobre el registro de software u otro tipo de propiedad intelectual.

También es de resaltar que el número de patentes cuyos inventores son miembros de grupos de investigación del GTRob es sustancialmente superior al número de patentes cuyo titular es una institución perteneciente al Grupo Temático de Robótica. En efecto, es frecuente que en las negociaciones de actividades de transferencia de tecnología, las empresas aparezcan como titulares, mientras que los investigadores miembros de grupo de investigación consten como los inventores.

Tabla 6.6: Número de patentes nacionales e internacionales indicadas por algunos de los grupos del GTRob.

Institución-Dpto-Grupo	Nacional	Internacional	Total
U. Almería-AER	1	1	2
U. Jaen-IEA-RAVC	3		3
U.P.M.-DISAM-ROBCIB	6	1	7
U.P.C.-IOC	2		2
U.P.C.-ISAI-RIS	3	2	5
U.Carlos III-ISA-RobLab	10	1	11
CSIC-IAI-GPAEn	4		4
UPV-ISA-Rob		1	1
U.Girona-VICOROB	2	2	4
U.Málaga-ISA	17	1	18
U.Sevilla-GRVC	5	4	8
Total	53	13	65

Otro aspecto a indicar es el notable esfuerzo que en los últimos 10 años han venido desarrollando la mayoría de las universidades para fomentar el desarrollo de nuevas patentes. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que una patente tiene como objetivo proteger comercialmente una idea, producto o proceso y que por lo tanto su objetivo fundamental es su explotación comercial. En este sentido, sólo una pequeña parte de las patentes llega a ser explotada comercialmente lo que supone un problema, ya que el proceso de patentar tiene un coste económico. De las patentes que de las que se ha recibido información, están actualmente en explotación 11 de las patentes nacionales y 9 de las internacionales. Es decir sólo el 21,2% de las patentes nacionales está en explotación mientras que en el caso de las internacionales el porcentaje es del 69,2% (sobre el global de patentes sería en promedio el 30,8% las que están en explotación).

Existen diferentes posibles interpretaciones de estos datos, pero se puede considerar que sólo se intenta patentar a nivel internacional aquello que se va a licenciar o explotar comercialmente dado que el coste de patentar a escala internacional es mayor.

Resulta por lo tanto importante fomentar la comercialización y explotación de las patentes. Muchas universidades han comenzado ya a trabajar en el desarrollo de estructuras de gestión cuyo objetivo es mejorar o desarrollar el proceso de explotación comercial de las patentes que generan. Aún no hay una experiencia consolidada que permita analizar el rendimiento que se obtiene, pero es indudable que el proceso de puesta en valor de las ideas generadas en los diferentes grupos de investigación ya ha comenzado.

En lo que se refiere a unas medidas muy básicas de productividad teniendo en cuenta el número de grupos que han respondido y los datos indicados, el

número promedio de patentes en los últimos años es aproximadamente de 5,9 patentes por cada grupo activo en patentes. Es un valor bajo, pero también hay que destacar que aún sin tener un número de datos estadísticamente significativos, el número promedio de patentes solicitadas por año se está incrementando en los últimos años por lo que este número es esperable que mejore sustancialmente en los próximos años.

6.3. Proyectos de transferencia de tecnología en robótica

Uno de los mecanismos más extendidos de transferencia de tecnología por parte de universidades y centros de investigación tecnológica es el desarrollo de proyectos en los que bajo demanda directa de las empresas, o en colaboración con ellas, se busca el desarrollo de investigación aplicada. La robótica es sin duda, por su impacto en la mejora productiva y la calidad del producto, un campo con potencial de transferencia.

La Tabla 6.7 muestra el número de proyectos de transferencia tecnológica (LOU art. 83) en robótica realizados en los últimos años por los grupos inscritos en el GTRob que han respondido a la encuesta lanzada desde la lista “listagtrob” (listagtrob@uc3m.es). Es difícil obtener datos, y los datos que se han podido obtener son en muchos casos incompletos, ya que se refieren a grupos de investigación incluidos en departamentos.

Con los datos obtenidos se puede observar que el 50% de los proyectos de transferencia tienen cuantía inferior a los 50.000 €, lo que parece corresponder a trabajos de transferencia de tecnología orientados a la resolución de problemas puntuales que se les presentan a las empresas que los contratan. El número de proyectos decrece a medida que aumenta la financiación, lo que en términos generales es esperable, ya que la mayoría del tejido empresarial está constituido por pequeñas y medianas empresas.

De los resultados mostrados, lo más significativo es que 13 de los 15 grupos analizados (un 86,7%), es decir casi la totalidad de los grupos, muestran una actividad de transferencia significativa. En promedio, los grupos con actividad de transferencia han desarrollado una media de 14,2 proyectos, lo que supone que en media todos los grupos están involucrados al menos un proyecto de transferencia a lo largo del periodo de tiempo considerado. Esto muestra que los grupos de investigación que trabajan en el campo de robótica generan de forma continua tecnología transferible al campo empresarial y no sólo conocimiento científico.

Tabla 6.7: Número de proyectos de transferencia tecnológica (LOU art. 83) en robótica realizados en los últimos años por los grupos inscritos en el GTRob (Datos proporcionados por los grupos).

Institución-Dpto-Grupo Proyectos de transferencia tecnológica a empresas				
	<50.000 €	>50.000 € y <150.000 €	>150.000 €	Total
U.Almería-AER	2	2	1	5
U. Jaen-IEA-RAVC	5	4	2	11
U.P.M.-DISAM-ROBCIB	6	6	1	13
U.P.C.-ISAII_RIS	3	4		7
U.Carlos III-ISA-RobLab	4	6	3	13
CSIC-IAI-GPAEn		3	1	4
UPV-ISA-Rob	14		1	15
U.Alicante-FISTS-AUROVA	5			5
U.Murcia-IIC-IA	10	7	1	18
U.Huelva-IESIA-SEM	2		1	3
U.Girona-VICOROB	18	3		21
U.Málaga-ISA	16	4	13	33
U.Sevilla-GRVC	6	13	18	37
Total	91	52	42	185

6.4. Generación de *spin-off* en robótica

En los últimos años se ha asistido a un proceso lento pero significativo de creación de empresas a partir de personas que se han formado en los grupos de investigación existentes. En términos generales, y dado que la robótica es un campo en el que confluyen conocimientos muy diversos, las empresas *spin-off* generadas también lo son en campos muy diversos, ya que estas empresas en su nacimiento se ubican en los segmentos de mercado donde se ha detectado una oportunidad. La limitación existente en España en lo que se refiere a la industria de máquina herramienta y su concentración espacial hace que sea difícil para aquellos grupos no ubicados en la proximidad de estas zonas el establecer vínculos de trabajo con la industria que a primera vista parecería la más probable candidata a aplicar los desarrollos obtenidos en los diferentes grupos de investigación en robótica. Sin embargo, los diferentes grupos de investigación han sido capaces de detectar nichos de mercado donde ubicar sus *spin-off*.

Diferentes aspectos confluyen en la capacidad de generar empresas de base tecnológica por parte de los grupos de investigación. Entre estos aspectos están:

- **La iniciativa.** El impulso personal o capacidad emprendedora que favorece que se genere la idea empresarial. Esta capacidad emprendedora está por lo general poco atendida por parte del sistema universitario, y aunque se

es consciente de la necesidad de dicha iniciativa, con frecuencia, no se toman medidas específicas que permitan el desarrollo de dicha capacidad. Con frecuencia estudiantes, doctorandos, profesores o investigadores tienen dicha capacidad emprendedora pero por desconocimiento de los mecanismos empresariales (financiación, marketing, gestión, etc.) no llegan a desarrollar su potencial iniciativa hasta la generación de la *spin-off*. En este sentido es necesario que el sistema universitario, y en general el sistema de ciencia y tecnología facilite cursos de desarrollo de la iniciativa empresarial en los centros científico tecnológicos, ya que, con mucha frecuencia, estos cursos sólo se ofrecen en centros orientados a la formación en economía o administración de empresas. También resultaría de alta utilidad la existencia de puntos de encuentro donde personas con diferente formación pero con iniciativa pudieran complementarse.

- **La apacidad de generación de conocimiento y tecnología.** En los últimos 25 años el avance en la capacidad de generación de nuevo conocimiento tecnológico ha sido sustancial lo que ha permitido crear un contexto favorecedor de la creación de empresas de base tecnológica. El campo de la robótica es un claro exponente de esta situación.
- **Los viveros de empresas.** En la última década las universidades han sido cada vez más conscientes de la necesidad de crear empresas de base tecnológica y la mayoría de ellas ha propiciado la creación de viveros o semilleros de empresas donde se ofrece a los emprendedores la posibilidad de disponer de un espacio físico y unos ciertos recursos con los que facilitar el arranque de la iniciativa empresarial.
- **Los parques tecnológicos.** Se han creado una diversidad de parques tecnológicos si bien muy pocos de ellos están bien articulados con los centros generadores de conocimiento, sean estos universidades o centros de investigación o tecnológicos.
- **El acceso a la financiación.** Las dificultades para el acceso a la financiación. Este aspecto será analizado en el Capítulo 7.

La Tabla 6.8 muestra el número de *spin-off* generadas por los grupos de robótica inscritos en la lista de grupos de GTRob y suscritos a la lista “listagtrob” (listagtrob@uc3m.es). De nuevo hay que matizar que en algunas de las instituciones los números de *spin-off* son, con toda seguridad, superiores a los mostrados ya que los mostrados en la Tabla 6.8 corresponden sólo a alguno de los grupos que lo integran.

Tabla 6.8: Empresas *spin-off* generadas en los grupos de investigación del GTRob.

Institución-Dpto-Grupo	Spin-offs
U.Almería-AER	1
U.P.C.-ISAI-RIS	1
U.Carlos III-ISA-RobLab	3
UPV-ISA-Rob	1
U.Girona-VICOROB	3
U.Zaragoza-IIS-Rob	1
Total	10

Conviene resaltar que el 40% de grupos de robótica analizados (6 grupos de los 15 analizados) han generado empresas *spin-off*, y los grupos que han generado *spin-off* han generado 1,66 empresas nuevas en promedio. Ambos dos datos representan una ratio muy alta en comparación con otras áreas de conocimiento o de la ingeniería de las universidades españolas.

La mayoría de estas *spin-off* está situada en sectores de alta tecnología y, la mayoría de las mismas se han creado en los últimos 5 años. Esto indica que los grupos de investigación empiezan a generar no sólo tecnología transferible y conocimiento, sino que además empiezan a constituir el tejido empresarial básico que constituye la materia prima de los parques tecnológicos. Asimismo, es importante que estas iniciativas se consoliden y refuercen a su vez los procesos de transferencia de tecnología y de patentes, ya que existe una fuerte relación entre ambos.

Más interesante es observar el efecto que la multidisciplinariedad que la robótica tiene en lo que se refiere a los nichos tecnológicos donde se han asentado estas empresas. Así nos encontramos con que trabajan en: ingeniería y consultoría en el campo de la automatización industrial, sensores y sistemas de monitorización de automatismos, diseño e instalación de sistemas de visión artificial para inspección, sensores y actuadores para el sector aeroespacial, desarrollo de sistemas de control embarcados, videojuegos e interfases cerebrales. Se puede observar que la diversidad de campos en las que se han generado estas empresas indica la gran versatilidad que presentan los grupos de investigación en robótica para la generación de *spin-off*.

La mayoría de las *spin-off* generadas en los grupos de investigación es muy reciente, inferior a los 5 años, lo que hace que aún estén en su mayoría en periodo de consolidación. No obstante es interesante observar el empleo directo de alta tecnología inducido por las mismas. Los datos obtenidos se muestran en la Tabla 6.9.

Tabla 6.9: Empleos directos generados en las empresas *spin-off* generadas en los grupos de investigación del GTRob.

Institución-Dpto-Grupo	Empleados en las <i>spin-off</i>
U.Almeria-AER	4
U.P.C.-ISAI-RIS	3
U.C.III-ISA-RobLab	40
UPV-ISA-Rob	5
U.Girona-VICOROB	22
U.Zaragoza-IIS-Rob	7
Total	81

Como puede observarse, la mayoría de estas empresas son aún de pequeño tamaño debido a su reciente creación. En promedio, las empresas de las que se dispone de información tienen 8,1 empleados, que en su mayoría tienen un alto nivel de formación. En efecto, un aspecto también muy significativo que se puede observar en estos datos es que la mayor parte del empleo que se origina es empleo altamente cualificado y por tanto con un alto potencial productivo. Según los datos disponibles cerca del 10% de dichos empleados tiene título de Doctor, un 80% es ingeniero/licenciado o ingeniero técnico y el resto, un 10%, es personal de gestión administrativo/financiera.

Uno de los principales obstáculos de las *spin-off* es el acceso a la financiación. En efecto, resulta difícil para muchas *spin-off* el encontrar el capital financiero necesario para desarrollar ciertos tipos de productos o iniciativas, especialmente en el contexto económico/financiero actual. Un buen número de iniciativas han fracasado por la dificultad de obtener crédito de muchas de estas pequeñas empresas aunque con frecuencia los productos eran viables en el mercado.

Existen algunas ayudas financieras a este tipo de empresas en los programas actuales, pero no son ayudas a fondo perdido, sino créditos y con frecuencia se pierden si las empresas consiguen otras ayudas. Sería de gran utilidad que se establecieran ayudas iniciales a fondo perdido para la creación de empresas tecnológicas, ya que en la mayoría de ellas es necesario dotar a la empresa de unos medios mínimos para montar laboratorios donde desarrollar productos.

También resultaría útil el establecimiento de mecanismos de acceso al crédito de estas empresas, ya que por su corta historia y debilidad financiera inicial, con frecuencia tienen dificultades para el acceso al crédito bancario necesario para el normal funcionamiento de una empresa.

6.5. Tendencias

Aún cuando en una primera lectura pudiera parecer que el número de patentes en robótica en España no es excesivo, debe de tenerse en cuenta la gran dificultad de la localización de patentes relacionadas con la robótica, generado en buena parte por el complicado sistema de clasificación de patentes. Por esta razón, se ha limitado el estudio a los grupos de investigación del GTRob. Asimismo, el estudio contempla sólo patentes ya concedidas, por lo que no se han reflejado las que ahora mismo se encuentran en trámite. Es reseñable que el nivel de transferencia tecnológico es bastante elevado. Esto es una clara muestra de que los grupos de investigación que trabajan en el campo de robótica generan tecnología transferible al campo empresarial además de conocimiento científico.

7

Mecanismos de financiación de la I+D+i en robótica *R&D funding mechanisms in robotics*



El objetivo de este capítulo es el estudio de las fuentes potenciales de financiación actuales de la I+D+i en robótica, entre las que se incluyen las ayudas de la Unión Europea, las nacionales y las autonómicas. Además, se expondrá una comparativa entre las ayudas de la Unión Europea y las de España, que confirma el escenario actual de falta de inversión en el área de robótica en I+D+i a nivel nacional.

Por otro lado, se pretende establecer las recomendaciones oportunas para potenciar la financiación desde fuentes no públicas (empresas, fundaciones, etc.) con una activa implicación en la investigación de las mismas. Además, se realiza un análisis del retorno de la I+D+i actual vía *spin-off* o nuevas empresas en tecnologías del ámbito de la robótica.

The objective of this chapter is to provide an analysis of the main current R&D funding sources in robotics, including European, national and autonomic funds. A comparison between funding in the major developed countries and Spain is also presented and this confirms the scenario of a lack of suitable R&D investment in robotics at a national level.

On the other hand, this chapter is also intended to establish a set of recommendations in order to improve funding from non-public entities (e.g. enterprises and foundations, among others) with an active involvement in research. A study of the returns from R&D in robotics via spin-off companies or new technology enterprises is also analyzed.

7.1. Financiación de la I+D+i en robótica en la Unión Europea

En el contexto europeo el máximo exponente en financiación para la I+D+i en áreas afines a la robótica se concentra, sin duda, en los denominados “Programas Marco” (*Framework Programme* - FP) de la Unión Europea (UE). Toda la extensa información de los Programas Marco se puede consultar en CORDIS - Servicio de Información Comunitario sobre Investigación y Desarrollo (<http://cordis.europa.eu>). Actualmente está mediado el VII Programa Marco - FP7 (2007-2013), que lanzó las primeras convocatorias en Diciembre de 2006. Los proyectos de robótica del FP6 han ido paulatinamente finalizando, mientras ya se han lanzado las primeras siete (7) convocatorias del programa de Tecnologías de la información y la comunicación (ICT) del FP7, en el que se concentra, como veremos más adelante, el grueso de la financiación en el área de la robótica.

El FP7 está estructurado de tal manera que existen cuatro componentes básicos de la investigación en la Unión Europea:

- **Investigación colaborativa**, el núcleo de las acciones del FP7 que promueve proyectos entre consorcios.

- **Iniciativas Tecnológicas Conjuntas** (*Joint Technology Initiatives – JTI*), acciones que se crearán en base a las directrices de las Plataformas Tecnológicas Europeas. En el caso de la robótica destaca la *European Robotics Technology Platform* (EUROP).
- **Coordinación de programas de investigación no comunitarios.**
- **Cooperación internacional.**

El FP7 ha identificado diez áreas prioritarias de investigación entorno a las cuales se estructurarán los proyectos y las convocatorias:

- Salud
- Alimentación, agricultura y pesca, y biotecnología
- Tecnologías de la información y la comunicación (ICT) – es la prioridad donde se enmarca fundamentalmente los contenidos de robótica.
- Nanociencias, nanotecnologías, materiales y nuevas tecnologías de producción (NMP) – también aquí aparecen temas de robótica
- Energía
- Medio ambiente (incluido el cambio climático)
- Transporte (incluida la aeronáutica)
- Ciencias socioeconómicas y humanidades
- Espacio
- Seguridad

Es interesante puntualizar, en primer lugar, el tipo de iniciativas que financia la UE. Esto es, lo que en el lenguaje de la UE se llama “instrumentos”, que básicamente son:

- **IP** (*Integrated Projects*), proyectos de tamaño significativo, normalmente con más de 10 miembros, con una duración máxima de siete años y con una financiación significativa.
- **STREPS** (*Specific Targeted Research Projects*), que consisten en proyectos medio, normalmente de 5 ó 6 miembros, y con una duración de tres años.
- **NOE** (*Networks of Excellence*), Redes de Excelencia con una pequeña financiación, agrupan a un número significativo de miembros en un área específica.
- **FET** (*Future Emerging Technologies*), acciones que conlleven a la creación de nuevo conocimiento en tecnologías incipientes.
- **Otro tipo de acciones especiales** (*Specific Support Actions*), que se definen en cada convocatoria de proyectos.

En lo que sigue, tras una breve mención al extinto FP6, se centrará en el análisis en el programa FP7, por ser el que tiene un impacto más directo sobre el pasado y futuro inmediatos, pasando a recoger, a continuación, otras importantes iniciativas y programas de la UE.

7.1.1. La robótica en el FP6 (2003-2006)

En primer lugar, hay que plantear cuáles han sido las prioridades temáticas del 6º Programa Marco (FP6). Nótese que la numeración corresponde a la numeración oficial de las prioridades.

1. Ciencias de la vida, genómica y biotecnología aplicadas a la salud
2. Tecnologías de la sociedad de la información (IST)
3. Nanotecnología y nanociencias, materiales multifuncionales basados en el conocimiento, nuevos procesos y dispositivos de producción
4. Aeronáutica y espacio
5. Calidad y seguridad de los alimentos
6. Desarrollo sostenible, cambio planetario y ecosistemas
7. Los ciudadanos y el gobierno en una sociedad basada en el conocimiento

Ha sido la segunda de estas prioridades temáticas (IST), la que ha contado con el mayor interés para la robótica. De hecho, la robótica se ha concentrado básicamente en dos ámbitos de IST:

1. IST Objetivo estratégico 2.4. (*Knowledge and interface technologies*), y dentro de éste, en el punto 8 (*Cognitive Systems*) (<http://cordis.europa.eu/ist/so/cognitive-systems/home.html>). Aquí se sucedieron varias llamadas a proyectos (*calls*), centrados en sistemas inteligentes o cognitivos.
2. IST FET (i.e. *Future and Emerging Technologies*), donde se definieron proyectos “futuristas” de alto riesgo e impacto (<http://cordis.europa.eu/ist/fet/home.html>). Existen dos modalidades de convocatoria:
 - FET *Open*: con un porcentaje global de éxito en las evaluaciones del 12%. Convocatoria permanentemente abierta, financia STREPS dentro de FET, algunos relacionados con robótica.
 - FET *Pro-Active*: convocatorias con áreas estratégicas predefinidas. Varias relacionadas con robótica: Por ejemplo, “*Beyond Robotics*” (<http://cordis.europa.eu/ist/fet/ro.htm>) donde se financia la Red Europea EURON y tres IPs, que corresponden a las tres áreas estratégicas definidas por la red:
 - COGNIRON, *The Cognitive Robot Companion*
 - I-SWARM, *Intelligent Small World Autonomous Robots for Micro-Manipulation*
 - NEUROBOTICS, *The Fusion of Neuroscience and Robotics for Augmenting Human Capabilities*

Finalmente, hay que señalar que la última convocatoria en el área de robótica del FP6 tuvo lugar el 25 Abril 2006 (fecha límite de presentación de proyectos). Estaba englobada dentro de la llamada 6 (“*IST Call 6*”), cuyo objetivo estratégico es “*Advanced Robotics*”, con una asignación presupuestaria total de 37 M€. Las líneas prioritarias de esta convocatoria fueron:

- **Sistemas robóticos flexibles.** Integración de estructuras y materiales de bajo coste, y presencia de una importante capacidad sensorial-motora y realimentación multi-sensorial, todo ello basado en una capacidad avanzada de percepción y control adaptativo que permitirán a estos sistemas robóticos alcanzar las mayores cotas de autonomía.
- **Sistemas robóticos seguros, robustos y fiables.** Robots que puedan operar en entornos humanos y cooperar con ellos; estos diseños avanzados pueden afectar a cualquier aspecto de I+D+i en robótica, desde las arquitecturas hasta la funcionalidad de los componentes claves.
- **Robots en red y cooperativos.** Sistemas robóticos embebidos en infraestructuras TIC del entorno para permitir su integración, evolución y tarea/servicio necesarias en entornos diarios.
- **Robótica avanzada modular integrada.** Diseño modular y modelado de sistemas robóticos nuevos, versátiles y conectables con corriente (*plug-and-play*), basados en el desarrollo de arquitecturas de sistemas de referencia abiertos con hardware estandarizable y bloques desarrollados de software.

Según el CDTI en el FP6 nuestros grupos de investigación en robótica y tecnologías afines tuvieron una financiación total de 249,3 M€. Fue el área del FP6 donde España obtuvo el mayor retorno absoluto. Esta cantidad representa el 6,4% del presupuesto total del programa IST, que es significativamente superior a la contribución española en los presupuestos de la UE. Además, este retorno también es superior en porcentaje a la media obtenida por España en todos los áreas del FP6, que fue del 6,0% (fuente CDTI). Estas cifras ponen de manifiesto la fortaleza de la investigación en robótica y tecnologías afines tanto en el contexto de la investigación en España, como en el contexto Europeo.

7.1.2. La robótica en el FP7 (2007-2013)

De un total de 32.413 M€ previstos para financiar las 10 áreas prioritarias, la mayor parte, 9.050 M€, se destinarán a ICT (*Information and Communication Technologies*), temática en la que la robótica cuenta con una gran importancia, teniendo un desafío robótico (“*challenge*” – término con el cual se definen ahora los sub-programas)¹. Por ello, se puede afirmar que la Comisión Europea ha redoblado y priorizado el apoyo a la investigación en robótica respecto al pasado FP6.

La ICT y la robótica están estrechamente ligadas en el FP7. A continuación se presentarán varios párrafos en inglés (para no perder el significado exacto de los mismos durante la traducción) de la convocatoria que definen los objetivos generales:

¹ Decisión del Parlamento Europeo y del Consejo de 18 de diciembre de 2006. Estos presupuestos son el resultado de la modificación de la propuesta original de la Comisión de abril de 2005, que establecía 44.432 M€ y 12.670 M€ para el conjunto de los diez temas y para ICT respectivamente.

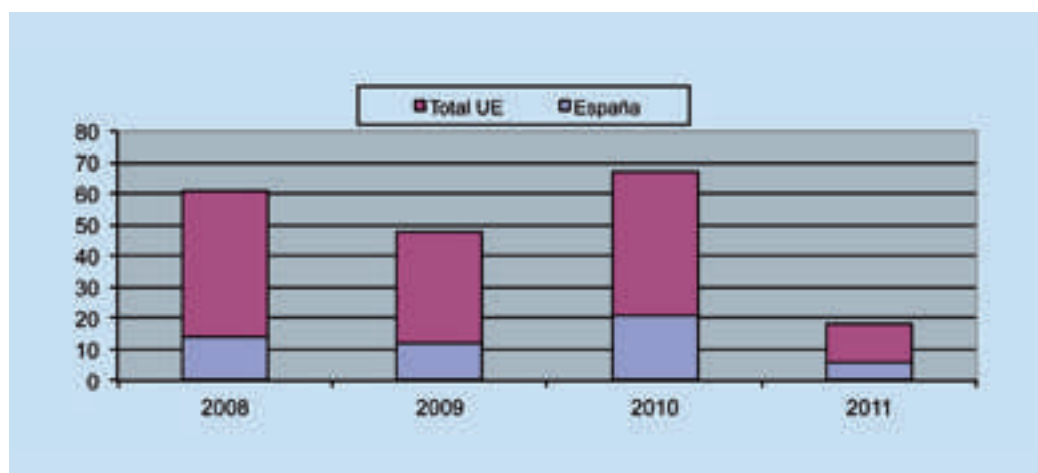
“The ICT research activities will be closely articulated with policy actions for ICT deployment and with regulatory measures within a comprehensive and holistic strategy. Priorities have been set following extensive consultations including input from a series of European Technology Platforms and industrial initiatives in areas such as nano-electronics, embedded systems, mobile communications, electronic media, robotics and software, services and grids”.

La robótica también aparece en el programa NMP (*Nanosciences, Nanotechnologies, Materials and New Production Technologies*) pero con una intensidad menor que en el programa ICT. En el NMP Call 1 en el sub-programa “*Integration of technologies for industrial applications*” aparece la temática relacionada con la robotización de la industria de la construcción.

Hasta la actualidad se han financiado en el FP7 196 proyectos en temáticas explícitas de robótica. De ellos, en 53 cuentan con presencia de empresas o grupos de investigación españoles, representando el 27% del total. La Figura 7.1 muestra la Evolución del número de proyectos con participación española indicando el año de comienzo. El porcentaje de participación española ha ido creciendo de forma mantenida en estos años: 23% en 2008, 25% en 2009, 31% en 2010 y 33% en 2011.

El retorno de los grupos de robótica y tecnologías afines españoles en el FP7 (programa ICT) entre los años 2007 y 2009 fue del 6,9% del presupuesto total del programa ICT, observándose un crecimiento significativo del FP6 al FP7, que fue del 6,4% (fuente CDTI). Estas cifras ponen de manifiesto la fortaleza y el ritmo de crecimiento de la investigación en robótica y tecnologías afines tanto en el contexto de la investigación en España, como en el contexto Europeo.

Figura 7.1: Distribución de proyectos con participación española indicando el año de comienzo (fuente: Cordis).



A continuación se repasan las convocatorias de proyectos del programa ICT del FP7, donde se centran la mayor parte de los proyectos en temáticas de robótica.

ICT Call 1

La primera convocatoria de ICT (ICT Call 1) se lanzó el 22 de diciembre de 2006 y comprende dos líneas fundamentales de actuación, proyectos y FET. El presupuesto, para el programa de trabajo de 2007, asciende a 1.113 M€, mientras el presupuesto para el Desafío 2 *“ICT Challenge 2: Cognitive Systems, Interaction, Robotics”* (Sistemas cognitivos, interacción y robótica) es de 96 M€. Este presupuesto se distribuyó en 87 M€ para proyectos colaborativos (IPs y STREPs), 8 M€ para Redes de excelencia y 1 M€ para CSAs. Sus objetivos generales fueron:

“A primary aim is to develop system capabilities to respond intelligently to gaps in the system’s knowledge and to situations or contexts that have not been specified in its design. In order to meet this challenge, a mix of innovative scientific theory and technology is needed, based on natural and artificial cognition, in conjunction with new systems design and engineering principles and implementations for machines, robots and other devices which are robust and versatile enough to deal with the real world and to behave in a user-friendly and intuitive way with people in everyday situation”.

El impacto económico esperado de estas investigaciones define claramente la necesidad de apoyar y potenciar la robótica industrial europea y, al mismo tiempo, crear un nuevo mercado de robótica de servicio:

“New markets such as: extending the industrial robotics market to flexible small scale manufacturing, opening up services (professional and domestic) markets to robots, novel functionalities for embedded systems and assistive systems for interpersonal communications, such as support of dynamic translation, and effective medical diagnostics and therapeutics”.

En esta primera convocatoria ICT (FP7-ICT-2007-1), se financiaron un total de 26 proyectos en el Desafío 2, de los cuales 7 cuentan con participación española:

- SPARK II, *Spatial temporal patterns for action-oriented perception in roving robots II: an insect brain computational model*
- ALEAR, *Artificial language evolution on autonomous robots*
- EYESHOTS, *Heterogeneous 3-D perception across visual fragments*
- SCOVIS, *Self-configurable cognitive video supervision*
- SF, *Synthetic forager*
- GRASP, *Emergence of cognitive grasping through emulation, introspection, and surprise*
- MIMICS, *Multi-modal immersive motion rehabilitation with interactive cognitive systems.*

En otros apartados de la convocatoria aparecen también temas de robótica como por ejemplo en el Desafío 3 *“ICT Challenge 3: Components, systems and engineering”* (Componentes, sistemas, ingeniería): bio-robots en micro-nano sistemas; o en FET: robots ubicuos, arquitecturas de robots, robots escalables.

ICT Call 2

Esta segunda convocatoria (FP7-ICT-2007-2) se lanzó con fecha 12 de Junio de 2007 y comprende fundamentalmente una línea de investigación relacionada con la robótica, el Desafío *“ICT Challenge 7: 3.7: ICT for independent living and inclusion”* (ICT para la vida independiente y la inclusión). El presupuesto total para este desafío es de 43 M€, de los cuales 40 se reservaron para proyectos colaborativos (Ips y STREPs) y el resto para CSAs. Dentro del contexto de los sistemas para la vida independiente, se apuesta en este desafío por: *“Advanced self-adaptive ICT-enabled assistive systems based on non-invasive Brain to Computer Interaction (BCI), possibly combined with other interaction modalities”*.

En otros apartados de la convocatoria aparecen también temas de robótica como por ejemplo en el Desafío *“ICT for mobility, environmental sustainability and energy”* (ICT para movilidad, sostenibilidad medioambiental y energía) donde se consideran robots ubicuos y cooperación entre robots, entre otros.

En esta segunda convocatoria ICT, dentro del Desafío 7, se han financiado un total de 13 proyectos. Si bien algunos de ellos no tienen relación directa con la robótica, por la temática de la convocatoria, algunos de los proyectos se centran en la interacción hombre-máquina a través de interfaces multimodales. De entre todos estos proyectos, hay participación española en 7:

- REPLAY, *Gaming technology platform for social reintegration of marginalised youth*
- BRAIN, *BCIs with rapid automated interfaces for nonexperts*
- TREMOR, *An ambulatory BCI-driven tremor suppression system based on functional electrical stimulation*
- COMELN, *Online mobile communities to facilitate the social inclusion of young marginalized people*
- AEGIS, *Open accessibility everywhere: groundwork, infrastructure, standards*
- HAPTMAP, *Haptic, audio and visual interfaces for maps and location-based services*
- VAALID, *Accessibility and usability validation framework for AAL interaction design process.*

ICT Call 3

La tercera convocatoria de ICT (FP7-ICT-2007-3) se lanzó el 4 de diciembre de 2007 y comprende las mismas líneas de investigación y objetivos que la primera convocatoria. El presupuesto en esta tercera convocatoria para el Desafío 2 *“ICT*

Challenge 2: Cognitive Systems, Interaction, Robotics” (Sistemas cognitivos, interacción y robótica) es de 97 M€. Este presupuesto se distribuyó en 87 M€ para proyectos colaborativos (Ips y STREPs), 8 M€ para Redes de excelencia y 2 M€ para CSAs, de forma muy similar a la primera convocatoria. Sus objetivos generales además coinciden con los que se establecieron al principio del programa para este desafío.

En esta tercera convocatoria ICT (FP7-ICT-2007-1), se han financiado 22 proyectos en el Desafío 2, de los cuales 5 cuentan con participación española:

- *SIGNSPEAK, Scientific understanding and vision-based technological development for continuous sign language recognition and translation*
- *SHOAL, Search and monitoring of Harmful contaminants, other pollutants and leaks in vessels in port using a swarm of robotic fish*
- *EUCOGII, 2nd European network for the advancement of artificial cognitive systems, interaction and robotics*
- *HUMANOBS, Humanoids that learn socio-communicative skills by observation*
- *HANDLE, Developmental pathway towards autonomy and dexterity in robot in-hand manipulation.*

ICT Call 4

La cuarta convocatoria (FP7-ICT-2007-4) se lanzó con fecha 12 de Junio de 2007 y comprende fundamentalmente dos líneas de investigación relacionadas con la robótica, el Objetivo 7.1 *ICT & Ageing* (ICT y envejecimiento) y el Objetivo 7.2 *Accessible and Assistive ICT* (ICT accesible y asistencial). En el caso del Objetivo 7.1 el texto de la convocatoria identifica como objetivo:

“Service robotics for ageing well: Integration and adaptation of modular robotic solutions that are seamlessly integrated in intelligent home environments and adaptable to specific user requirements for support to elderly people and their carers. (...) Examples of applications include support for daily living and care activities in the home. Work should be driven by ambitious, yet realistic usage scenarios with a potential to demonstrate a substantial increase in efficiency of care and independence of elderly people.

Major challenges to be addressed include autonomous self-learning robotics solutions, sharing of contextual information with other artefacts in the surroundings of the user, navigation in unknown environments, precise manipulation of relevant objects and user robotic interaction taking into account the usability requirements of elderly people.”

En el caso del Objetivo 7.2, la convocatoria indica el siguiente objetivo principal: *“ICT restoring and augmenting human capabilities compensating for people with reduced motor functions or disabilities”*.

El presupuesto total para ambos objetivos es de 58 M€, de los cuales 56 M€ se reservaron para proyectos colaborativos (IPs y STREPs) y el resto para CSAs.

ICT Call 5

La quinta convocatoria (FP7-ICT-2007-5) se lanzó con fecha 30 de Julio de 2009 y no contó con presupuesto sustancial en los Desafíos 2 y 7 por lo que no se financiaron nuevos proyectos en los que la robótica era la temática principal. Sin embargo a través del desafío 9 se pudo solicitar la extensión de proyectos en vigor, con el consiguiente aumento de presupuesto, para incluir en los consorcios nuevos participantes de países asociados.

ICT Call 6

La sexta convocatoria (FP7-ICT-2007-6) se lanzó con fecha 24 de noviembre de 2009. El presupuesto para el Desafío 2 es de 153 M€. Este presupuesto se distribuyó en 143 M€ para proyectos colaborativos (IPs y STREPs), 6 M€ para Redes de excelencia y 4 M€ para CAs. Sus objetivos generales son:

“... to extend systems engineering to the design of systems that can carry out useful tasks (e.g. manipulation and grasping, exploration and navigation, monitoring and control, situation assessment, communication and interaction), autonomously or in cooperation with people, in circumstances that were not planned for explicitly at design time. Specifically, such systems should be:

- more robust: performance should not degrade when they are presented with unexpected data;*
- more adaptive: performance should be open (within reasonable constraints) to changing service requirements, without the need for extensive human intervention;*
- more effective: performance should improve because they can predict or anticipate what might happen at some point in the future, near or far;*
- more natural: performance should be tolerant to the ambiguity and uncertainty that is a consequence of dealing with humans, and performance should improve with time.”*

Los dos objetivos concretos de la convocatoria, que se presentan a continuación, priorizan las investigaciones en robótica, demostrando su importancia para la Comisión Europea:

“New approaches towards endowing robots with advanced perception and action capabilities, and towards developing pertinent benchmarks and tests. Of particular interest are:

- 3D sensing for everyday objects and environments;*
- motion and affordance perception;*

- *learning and control strategies for linking perception and action;*
- *benchmarking with a focus on navigation and autonomy.*

New ways of designing and implementing complete robotic systems that operate largely autonomously in loosely structured dynamic environments and, where necessary, in close co-operation with people. Systems may be distributed and should integrate rich sensory-motor skills (for example, grasping, manipulation, locomotion) with high level cognitive competencies (for example, reasoning, planning and decision-making). As appropriate, they should be demonstrably more robust, dependable, flexible and adaptive, and safer than it is possible today, and improve their performance through learning."

Finalmente, la séptima convocatoria ICT está prevista para el 28 de septiembre de 2010 y contará con financiación para proyectos de robótica a través del Desafío 2 "Cognitive Systems and Robotics" y del Desafío 6 "ICT for Health, Ageing Well, Inclusion and Governance".

7.1.3. La robótica en el programa EUREKA

El Programa EUREKA (<http://www.eurekanetwork.org/>) es una iniciativa de apoyo a la I+D+i cooperativa en el ámbito europeo, creada en 1985, que tiene como objeto impulsar la competitividad de las empresas europeas mediante el fomento de la realización de proyectos tecnológicos, orientados al desarrollo de productos, procesos o servicios con claro interés comercial en el mercado internacional y basados en tecnologías innovadoras. Está dirigido a cualquier empresa o centro de investigación español capaz de realizar un proyecto de I+D+i de carácter aplicado en colaboración con, al menos, una empresa y/o centro de investigación de otro país del ámbito de Eureka.

Cada país asume la financiación de sus empresas y centros de investigación. Eureka avala los proyectos aprobados mediante un sello de calidad que, además de ser un elemento promocional y de reconocimiento del nivel tecnológico de la compañía promotora, la hace acreedora de una financiación pública, que en el caso de España es especialmente favorable (<http://www.cdti.es/>).

En EUREKA no existen líneas tecnológicas predeterminadas. Todas las tecnologías tienen cabida, siempre que tengan un carácter innovador. El contenido de los proyectos es promovido por los participantes, de acuerdo con las necesidades particulares de cada empresa. No obstante, Eureka puede fomentar el desarrollo de proyectos en áreas tecnológicas consideradas de importancia estratégica.

Según datos del pasado Agosto 2010, existen un total de 87 proyectos actualmente en ejecución de los cuales 15 cuentan con participación española.

7.1.4. La robótica en otros programas de la UE

Aunque las plataformas tecnológicas no gestionan fondos para investigación, tienen y tendrán una gran influencia en la definición detallada de las diferentes convocatorias de proyectos del FP7. En el campo de la robótica, se ha creado la plataforma EUROP (European Robotics Platform) (<http://www.robotics-platform.eu/>).

Se debe destacar el posible interés de otras iniciativas, como el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) (http://ec.europa.eu/regional_policy/funds/feder/index_es.htm) y el COST (*European Co-operation in the field of Scientific and Technical Research*).

7.2. Financiación de la I+D+i en robótica en los países desarrollados

En la mayoría de los países desarrollados existen programas nacionales de I+D+i en robótica. En muchos casos, estos se definen como programas independientes a largo plazo, mientras que en otros, están integrados en programas más amplios con una financiación a corto plazo. A continuación se presentan los mecanismos de financiación en algunos de dichos países.

Alemania. Es el país europeo que más recursos destina en volumen absoluto a I+D+i por detrás solamente de Estados Unidos y Japón. Su aportación a la investigación en términos del PIB es del 2,64%. Pero también es el tercer país mundial por aportación privada en I+D+i, siendo su aportación el 8,64% de todos los países de la OCDE. No obstante, su estructura de financiación es bastante compleja y está dividida entre el organismo central, a través de la DFG (Fundación Alemana para la Investigación - <http://www.dfg.de>), los institutos estatales de investigación, *FhG* (*Fraunhofer-Gesellschaft* - <http://www.fraunhofer.de>), y las agencias locales en la mayoría de los *länder* (por ejemplo, en Baviera - <http://www.forschungstiftung.de>).

Las ayudas a la I+D+i en robótica son numerosas pero difíciles de cuantificar dado que no existe un línea definida en tal sentido. En la DFG, entre varios tipos de programas, destacan los denominados programas prioritarios, los programas a grupos de investigación y las ayudas a centros cooperativos de investigación. En los programas prioritarios destacan varios proyectos relacionados con robótica (robots cooperativos, robots en la medicina, etc.) de 6 años de duración. Entre los centros cooperativos destacan los dos programas a largo plazo de 12 años de duración a partir de 2000 y 2001 respectivamente, “Robots para manipulado y ensamblado” y “Robots humanoides”. Los datos económicos de la financiación de estos proyectos no son públicos pero, según datos extraoficiales, son muy cuantiosos, permitiendo a los centros de investigación mantener una alta actividad durante más de un decenio.

Austria. En este país los programas de I+D+i relacionados con la robótica son básicamente tres: a) programa de factoría del futuro (<http://www.fabrikderzukunft.at>) -perteneciente a programas sectoriales- con una aportación de entre 2-3 M€ por convocatoria, b) programa FIT-IT de computación visual (<http://www.fit-it.at>) -perteneciente a programas tecnológicos específicos- con una aportación de 3-4 M€ y con convocatorias conjuntas, como, por ejemplo, FST Visión Cognitiva, y c) programa general de I+D+i (<http://www.ffg.at>) de 250 M€/año en el cual aparecen convocatorias de proyectos relacionados con robótica.

Austria cuenta con una red de investigación denominada “Automatización auto-programable y robótica 2030” en la cual participan también investigadores de otros países como Finlandia y Dinamarca. Las líneas prioritarias de interés relacionadas con la robótica son: a) robots autónomos (móviles y estáticos), b) interacción hombre-máquina y aprendizaje, c) manipuladores seguros, d) robótica de rehabilitación y e) robots de servicios.

Estados Unidos. Son numerosas las fuentes de financiación de la investigación en robótica, tanto públicas como privadas, en EEUU. Entre las fuentes gubernamentales hay que destacar la NSF (*National Science Foundation* – <http://www.nsf.gov>) que promueve financiación competitiva en el ámbito de la ciencia, matemáticas e ingeniería. De los 13 programas actuales de la NSF, la robótica aparece en varios sub-programas del programa “*Computer and Information Sciences & Engineering* (CISE)” en el apartado “*Information and Intelligent Systems* (IIS)” donde aparecen temáticas como “*human-robot (and/or agent) interaction*” y “*robust intelligence*” o en el apartado *Computer and Network Systems* (CNS). La robótica también aparece en el programa “*Engineering* (ENG)” dentro del apartado “*Electrical, Communications and CyberSystems*”, en donde, entre otras temáticas, aparecen “control de robots” y “telerobots” o en el apartado “*Civil, Mechanical and Manufacturing Innovation* (CMMI)”. Los proyectos se dividen en categorías según la subvención solicitada. En los últimos 10 años han sido subvencionados 920 proyectos (de media 92 al año) relacionados directamente con la robótica y con una financiación media de 200 K\$ (duración media 2 años).

Especial mención hay que hacer a la agencia gubernamental DARPA (*Defense Advanced Research Projects Agency* - <http://www.darpa.mil>) del Ministerio de Defensa estadounidense. Cuenta con un presupuesto del orden de 3.200M\$ y subvenciona proyectos tanto de corta duración (2-4 años) como de largo alcance. Cuenta con 5 programas prioritarios entre los cuales los relacionados con robótica son: “*Information Innovation*”, “*Defence Sciences*” y “*Tactical Technology*”. Otra de las actividades investigadoras del DARPA es el patrocinio de competiciones robóticas de gran complejidad. La competición más conocida es el *Grand Challenge* (<http://www.darpagrandchallenge.com/>) que celebró su primera edición real en 2005 con un recorrido de 132 millas en el desierto de Mojave. El equipo de la Universidad de Stanford fue el ganador del premio de 2M\$ con un tiempo de recorrido inferior a 7 horas. En 2007 tuvo lugar la competición *Urban Challenge* consistente en recorrer una distancia de 94 km en escenarios urbanos

en Victorville (California) en menos de 6 horas. El ganador fue un equipo formado por la Universidad Carnegie Mellon y la *General Motors Corporation*.

Otro organismo gubernamental que participa activamente en la investigación robótica es la NASA (<http://www.nasa.gov>). Cuenta con varias actividades tales como “*The Robotics Alliance Project*” que coordina las actividades de educación y de competiciones de estudiantes, “*Space Telerobotics program*” (http://ranier.hq.nasa.gov/telerobotics_page/telerobotics.shtm) finalizado en 1997, “*Mobility and Robotic Systems*” (<http://www-robotics.jpl.nasa.gov/>) que agrupa las investigaciones relacionadas con los vehículos todoterreno (*rovers*) de exploración espacial. La NASA habitualmente subcontrata sus investigaciones robóticas para lo que lanza convocatorias específicas.

Finlandia. Los programas públicos de I+D+i están gestionados por la agencia TEKES (<http://www.tekes.fi/eng>). A diferencia con otros países, no existe un programa propio en robótica. Las investigaciones en este área están encuadradas en dos programas de investigación tecnológica: a) MASINA (Programa en Ingeniería Mecánica) con una duración de 2002-2007 y una aportación de 90 M€, y b) *Sisu 2010* (Programa en Innovación para la Producción) con una duración de 2006-2010 y una aportación de 100 M€. De las cuatro partes en las que está dividido el programa MASINA, la robótica tiene una presencia predominante en el apartado de sistemas y máquinas inteligentes. En el programa *Sisu 2010*, la robótica está presente en las líneas de tecnologías avanzadas de producción y fabricación, soluciones flexibles de fabricación y producción autónoma.

Francia. Los programas de investigación en robótica en Francia tienen una larga tradición. El primero de ellos fue el Programa Nacional de Robótica y Automatización Avanzada (ARA) que tuvo una duración de 5 años (1981-1985). Después le siguió el programa VAP (1989-1994) de Exploración Planetaria en el que la robótica jugaba un importante papel. El siguiente programa, denominado ROBEA (2001-2003) de Robots y Sistemas Inteligentes (<http://www.laas.fr/robea>), financió 32 proyectos de una duración de 2-3 años con un esfuerzo de participación de 189 hombres año y 3.7 M€ de subvención total. La media de subvención de proyectos fue de 110 K€ por proyecto y el último de estos finalizó en septiembre de 2006. Las líneas prioritarias del programa ROBEA fueron: a) sistemas sensoriales y motores, b) sistemas de locomoción, c) capacidades cognitivas y adaptativas, d) biomecánica y e) arquitecturas distribuidas.

El actual programa francés de investigación en robótica se denomina PSIROB (Sistemas Interactivos y Robótica) de la ANR (agencia nacional de la investigación) <http://www.agence-nationale-recherche.fr/>. En la última convocatoria de proyectos la financiación media por proyecto del orden de 500 – 1.000 K€. Las líneas prioritarias son tres: a) sistemas interactivos y cognitivos, b) sistemas robóticos autónomos y c) nuevas arquitecturas y control avanzado. El programa incluye tres tipos de proyectos: investigación básica, investigación y prospectiva industrial, e investigación pre-competitiva. La duración de los proyectos es normalmente de 3 años.

Otros programas en los cuales se encuadra la robótica son: a) programa abierto ANR con una financiación de 130 M€, en el cual han sido financiados algunos proyectos relacionados con la robótica, b) programa de ayuda a jóvenes científicos, c) programa PREDIT de transporte, d) programa de Tecnología Software, e) programa de tecnologías de la Salud, etc. Es de destacar el programa de sistemas interactivos y robótica previsto para 2011 dentro del programa ANR.

Italia. El Plan Nacional de Investigación de Italia (2008-2011), coordinado por el CNR (Centro Nacional de Investigación - <http://www.cnr.it>), define dentro de la política de Ciencia y Tecnología tres objetivos estratégicos: calidad de vida, competitividad de la industria y crecimiento sostenible. Entre las áreas prioritarias en ciencia y tecnología para el periodo 2008-2011 destaca la “Robótica, sistemas de producción y sistemas de manipulación en ambientes poco estructurados” dentro del que está relacionada prioritariamente con las áreas de Producción y Transporte, y en menor medida con las áreas TIC, Energía, Medioambiente y Agroalimentación.

La financiación prevista es de 5M€/año durante el período 2005-2007 para la temática de “Sistemas Integrados de Producción, Robots y Componentes de Alta Tecnología” dentro del programa de “Sistemas de Producción”. En la última convocatoria de proyectos para el periodo han sido seleccionados 6 macro proyectos colaborativos en robótica: robots quirúrgicos, robots de mínima invasión, robots de rehabilitación, telerobots, minirobots industriales, etc.

Una de las iniciativas italianas más importantes de los últimos años ha sido la creación del ITT- Instituto Tecnológico de Italia (<http://www.iit.it>) con sede en Génova que coordina una red de 9 centros de investigación formados por cerca de 1.000 investigadores y una financiación de 1.000 M€ en 10 años. Los departamentos del IIT son: a) Robótica avanzada, b) Desarrollo de Fármacos, c) Neurociencia, d) Robótica y Ciencias Cognitivas, e) Telerobótica y Aplicaciones y f) Biotecnología, lo que demuestra la importancia que las autoridades italianas otorgan a la robótica.

Japón. Es un país donde la información pública sobre su estructura de apoyo a la I+D+i es muy escasa. Se conoce que existe un amplio tejido de agencias gubernamentales y ministerios que, en muchos casos conjuntamente con la iniciativa privada, lanza todo tipo de programas de investigación. Estos, normalmente, están orientados a la consecución de objetivos claros y pre-competitivos y son a largo plazo. En robótica, una de las iniciativas japonesas más conocidas fue el lanzamiento del robot SCARA a finales de los años 70 - principios de los años 80, bajo un programa del entonces MITI (*Ministry of International Trade and Industry*). El programa agrupó a la mayoría de las empresas competidoras, conjuntamente con las universidades, para desarrollar un nuevo tipo de robot de ensamblado, que hasta hoy en día cuenta con un notable éxito en el mercado.

Otro proyecto de gran impacto a nivel mundial ha sido el proyecto HRP (*Humanoid Robot Project*) por el METI (*Ministry of Economy, Trade and Industry*)

- <http://www.meti.go.jp/english/>) que tuvo una duración de 6 años (1998-2003). El proyecto agrupó a varias instituciones de investigación y a varias empresas, entre ellas la empresa explotadora del resultado el robot HRP-2/3. El proyecto HRP fue precedido por numerosos proyectos de investigación básica y aplicada a corto plazo en la década anterior. Los resultados han sido excelentes, con el desarrollo del único robot humanoide existente hasta la fecha y fabricado por una empresa japonesa.

Una de las agencias independientes es la JST (*Japan Science and Technology Agency* - <http://www.jst.go.jp/EN>) con un presupuesto de 113.000 MYen en 2006 (cerca de 750 M€), de los cuales la mitad se destinan a proyectos de investigación y el resto a actividades de promoción de la ciencia y tecnología. La agencia cuenta con una compleja organización que apoya desde proyectos individuales hasta proyectos en áreas estratégicas para el país. La JST tiene actualmente 9 actividades prioritarias entre las cuales se encuentra la del desarrollo de robots para el desminado humanitario.

La JST está comisionada por el MEXT (*Ministerio de Educación, Deporte, Cultura y Tecnología* - <http://www.mext.go.jp/english/>) que a su vez también subvenciona proyectos de robótica, entre los cuales se pueden contar los de robots para las centrales nucleares, robots para el espacio, imitación en la robótica, etc.

Reino Unido. La investigación en robótica en el Reino Unido está coordinada por el Programa de Ingeniería de la agencia estatal EPSRC (*Engineering and Physical Sciences Research Council* - <http://www.epsrc.ac.uk/>). El Programa Innovativo de Producción define 18 centros de excelencia entre los cuales destacan varios dedicados a la robótica: *Imperial College, University of Lancaster, Kings College, Cardif University, Cranfield*, entre otros. En el año 2010 otros tres centros de excelencia han sido admitidos dentro de este programa. En general, el número de proyectos en robótica no es muy elevado, la mayoría de ellos relacionados con la automatización industrial.

En este sentido, la nueva iniciativa británica DEAM (*Design, Engineering and Advanced Manufacturing*) define el área de tecnologías avanzadas de producción en la cual aparecen las líneas de investigación en robots industriales de bajo coste y robots cognitivos. El DEAM se lanzó en 2004 y cuenta con dos convocatorias anuales.

La Tabla 7.1 resume el análisis descrito de la financiación de la I+D+i en robótica en los países desarrollados, destacando que en Estados Unidos y Japón la robótica tiene una gran prioridad y que las inversiones asociadas son muy altas. Lo mismo sucede en Alemania en donde existen programas a largo plazo en áreas estratégicas. Se muestra también, como medida comparativa, la situación en España. En este sentido, se destaca que solamente España y Austria carecen de programas o sub-programas específicos en robótica.

Tabla 7.1: Programas de I+D+i en robótica en los países desarrollados.

	Programas específicos en robótica	Sub-programas en robótica	Proyectos singulares en robótica a largo Plazo
Alemania	No	Si	Si
Austria	No	No	No
España	No	No	No
Estados Unidos	Si	Si	Si
Finlandia	No	Si	No
Francia	Si	Si	Si
Italia	No	Si	No
Japón	No	Si	Si
Reino Unido	No	Si	No

7.3. La financiación en I+D+i en robótica en España

La financiación pública en I+D+i en España desarrollada en los últimos años se basa en los principios de dos estrategias fundamentales: el programa Ingenio 2010 y la Estrategia Nacional de Ciencia y Tecnología (ENCYT).

El **programa Ingenio 2010** es una iniciativa presentada por el Gobierno español en junio de 2005 con el objetivo de hacer converger los indicadores de la Sociedad de la Información de España con los indicadores de la UE. En particular, fija los siguientes objetivos:

- Aumentar el ratio de inversión en I+D sobre el PIB hasta un 2% en 2010.
- Incrementar la contribución del sector privado en la inversión en I+D hasta un 55% en 2010.
- Alcanzar la media de la UE-15 en el porcentaje del PIB destinado a las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) hasta un 7% en 2010.

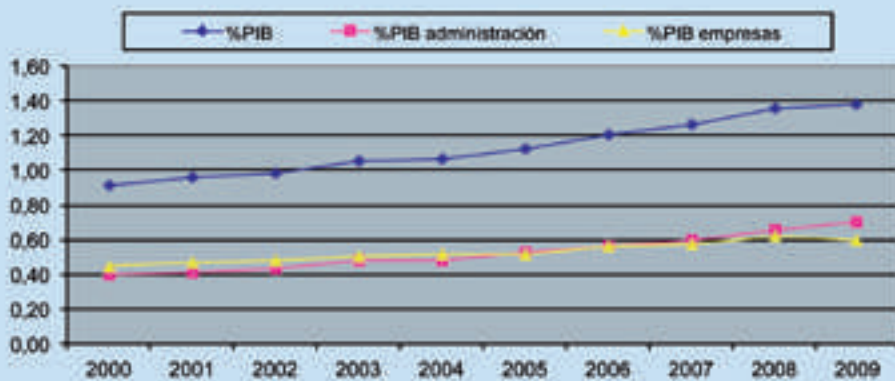
Por otra parte, la necesidad de coordinación entre todos los actores involucrados en el impulso de la I+D+i llevó en enero de 2007 a la III Conferencia de Presidentes Autonómicos a fijar como objetivo el establecimiento de un marco común de coordinación y cooperación entre las políticas estatales y autonómicas. En este marco de referencia, se aprueba la **Estrategia Nacional de Ciencia y Tecnología (ENCYT)** que fija los objetivos y líneas generales que deben guiar tanto a la Administración General de Estado como a las Comunidades Autónomas en la redacción de los sucesivos planes de I+D+i hasta 2015. Tres son los principios básicos de la ENCYT:

- Poner la I+D+i al servicio de la ciudadanía, del bienestar social y de un desarrollo sostenible, con plena e igual incorporación de la mujer.
- Hacer de la I+D+i un factor de mejora de la competitividad empresarial.

- Reconocer y promover la I+D como un elemento esencial para la generación de nuevos conocimientos.

Las estrategias desarrolladas a partir de estas dos iniciativas, Ingenio 2010 y ENCYT, han propiciado un incremento progresivo del peso de la I+D+i en el PIB español tanto a nivel público como privado, tal como se muestra en la Figura 7.2.

Figura 7.2: Evolución del ratio de inversión en I+D+i sobre el PIB (fuente: INE).



Tanto el programa Ingenio 2010 como la ENCYT han establecido los pilares elementales a partir de los cuales se ha desarrollado la política en materia de I+D+i en los últimos años. En particular, se ha diseñado bajo sus bases el **VI Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011**. Los Planes Nacionales de I+D+i constituyen el principal mecanismo de la Administración General del Estado para planificar y gestionar las políticas de investigación e innovación a medio plazo. El Plan Nacional de I+D+i es planificado y coordinado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) que aglutina a todos los ministerios que desarrollan acciones de impulso de la I+D+i.

Mediante el Plan Nacional de I+D+i no sólo se establecen los objetivos y prioridades de la investigación española, sino que también se desarrollan los instrumentos necesarios para asegurar el cumplimiento de dichos objetivos. En particular, el Plan Nacional de I+D+i 2008-2011 fundamenta su desarrollo en seis grandes Líneas Instrumentales de Actuación (LIA) que son implementadas mediante un conjunto de Programas Nacionales. Los Programas Nacionales son

los componentes del Plan Nacional que realmente ponen en práctica medidas financieras e institucionales para cumplir a los objetivos fijados por cada una de las LIA. En la Tabla 7.2 se enumeran las distintas LIA del Plan Nacional de I+D+i 2008-2011 y sus Programas Nacionales correspondientes.

Tabla 7.2: Organización del Plan Nacional de I+D+i 2008-2011.

Líneas Instrumentales de Actuación	Programas Nacionales
Recursos Humanos	Formación de Recursos Humanos Movilidad de Recursos Humanos Contratación e Incorporación de Recursos Humanos
Proyectos de I+D+i	Proyectos de Investigación Fundamental Proyectos de Investigación Aplicada Proyectos de Desarrollo Experimental Proyectos de Innovación
Fortalecimiento Institucional	Fortalecimiento Institucional
Infraestructuras Científicas y Tecnológicas	Infraestructuras Científico-Tecnológicas
Utilización del Conocimiento y Transferencia Tecnológica	Transferencia Tecnológica, Valorización y Promoción de Empresas de Base Tecnológica
Articulación e Internacionalización del Sistema	Redes Cooperación Público-Privada Internacionalización de la I+D+i

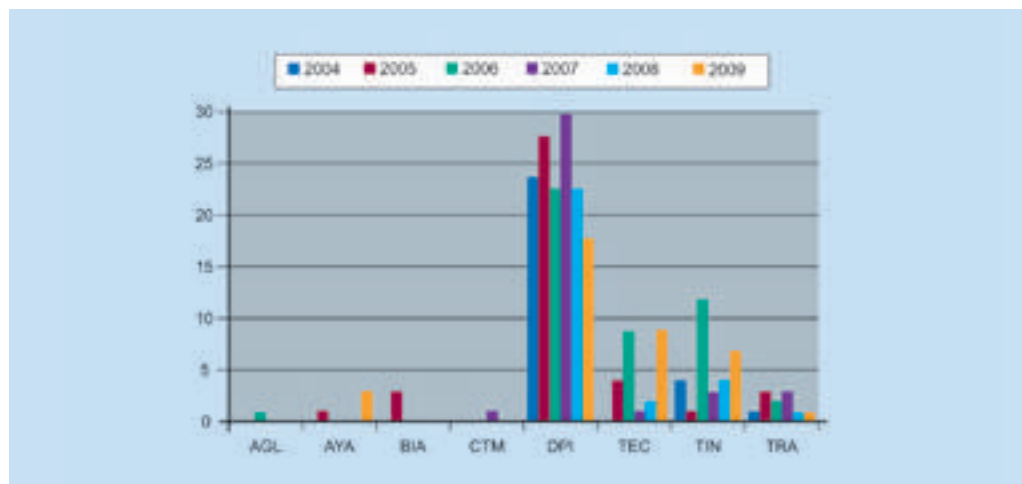
La LIA con más peso financiero es la de Proyectos de I+D+i ya que aglutina un 73% de la financiación total, según el Informe COTEC 2009 sobre “Tecnología e Innovación en España”. Además, dentro de esta LIA, el Programa Nacional de Proyectos de Investigación Fundamental constituye el primer elemento de financiación de la I+D en robótica en las universidades y OPI (Organismos Públicos de Investigación). Dentro de este Programa Nacional, cabe destacar el **Subprograma de Proyectos de Investigación Fundamental No Orientada** en el que se sustenta la mayoría de la investigación básica sobre robótica desarrollada en España. El Subprograma de Proyectos de Investigación Fundamental No Orientada se organiza en diversos programas entre los que destacan los siguientes cuatro debido a la financiación continuada de proyectos de investigación en robótica:

- **Diseño y Producción Industrial (DPI).** Dentro de este programa se encuentran proyectos de investigación de prácticamente todas las ramas de la robótica: robots humanoides, robots móviles, sistemas de interacción humano-robot, manipulación robótica, sistemas de mapeado y localización para navegación en entornos no estructurados, teleoperación, sistemas robotizados de fabricación, vehículos autónomos aéreos y submarinos, robots de servicios, robots cooperativos, etc.

- **Tecnología, Electrónica y Comunicaciones (TEC).** Dentro de este programa se encuentran proyectos de investigación centrados en el desarrollo tecnológico de nuevos sistemas sensoriales para su utilización en aplicaciones robóticas. Destacan principalmente las implementaciones hardware de sistemas de visión y de redes multisensoriales.
- **Tecnologías Informáticas y para la Sociedad de la Información (TIN).** Dentro de este programa se encuentran proyectos de investigación centrados en el desarrollo de algoritmos y la implementación de soluciones software aplicados a sistemas robóticos. Destaca la investigación en: técnicas de aprendizaje automático, algoritmos de visión por computador, algoritmos de posicionamiento, sistemas de inteligencia ambiental y sistemas de agentes inteligentes.
- **Transporte (TRA).** Dentro de este programa se encuentran proyectos de investigación centrados en aplicar las tecnologías y algoritmos de la robótica en vehículos autónomos. Destacan los sistemas de reconocimiento de elementos del tráfico mediante visión artificial y los sistemas de coordinación entre múltiples vehículos.

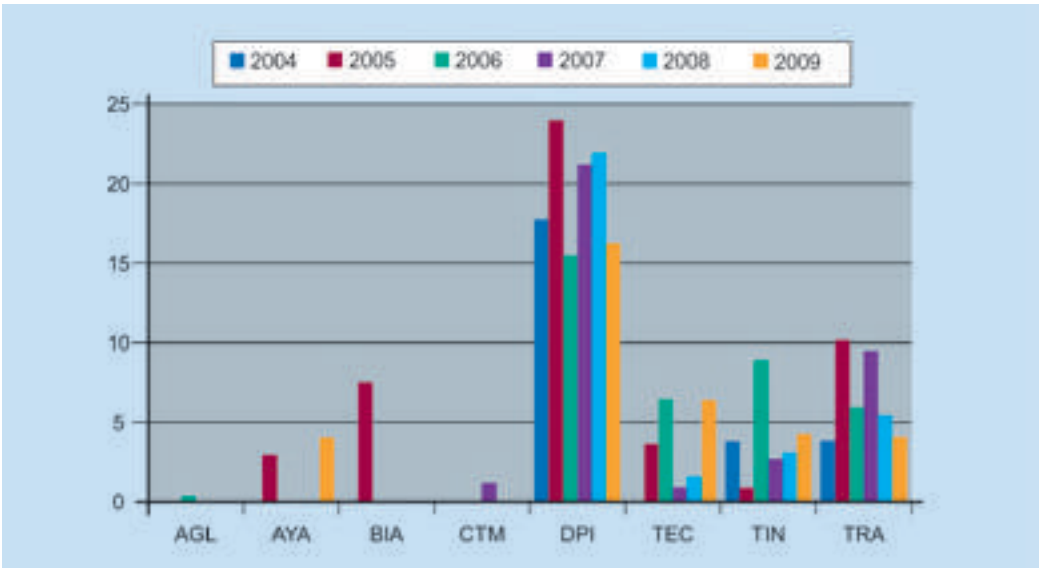
En la Figura 7.3 se muestra una evolución del número de proyectos en temáticas de robótica concedidos en las convocatorias de los Planes Nacionales de I+D+i 2004-2007 y 2008-2011. Tal como se puede observar, los programas DPI, TEC, TIN y TRA son los que contienen más proyectos de investigación sobre robótica aunque también existen proyectos aislados en otros programas (AGL: Agrícola, Ganadería y Pesca; AYA: Astronomía, Astrofísica e Investigación Espacial; BIA: Construcción; CTM: Ciencias y Tecnologías Medioambientales).

Figura 7.3: Número de proyectos concedidos en temáticas de robótica en el Subprograma de Proyectos de Investigación Fundamental no Orientada (fuente: MICINN).



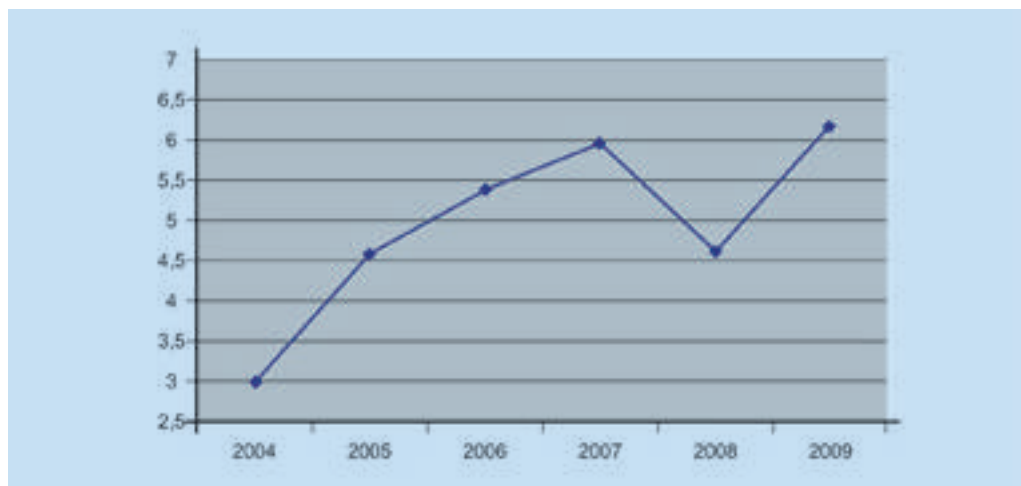
El programa DPI, dentro del Subprograma de Proyectos de Investigación Fundamental no Orientada, es el que financia más proyectos en el campo de la robótica. En particular, los proyectos de robótica representan un promedio del 20% del total de proyectos del programa DPI en los últimos años. Esto demuestra el peso de la robótica dentro de dicho programa y confirma la importancia de dicho programa en el desarrollo de la robótica en España. Por otra parte, los proyectos en robótica tienen un peso menor en los programas TEC, TIN y TRA. No obstante, estos programas muestran una tendencia continuista con pequeños repuntes puntuales, lo que indica que la robótica es una componente necesaria en su desarrollo. En la Figura 7.4 se muestra la evolución del porcentaje de proyectos en robótica en cada uno de los programas del Subprograma de Proyectos de Investigación Fundamental no Orientada.

Figura 7.4: Porcentaje de Proyectos I+D+i de robótica en el Subprograma de Proyectos de Investigación Fundamental no Orientada (fuente: MICINN).



El desarrollo de la investigación en robótica, no sólo se observa en el número de proyectos concedidos dentro del Subprograma de Proyectos de Investigación Fundamental no Orientada, sino también en el aumento progresivo de la inversión total generada a partir de dichos proyectos. Tal como se muestra en la Figura 7.5, se ha producido un aumento en la inversión en la robótica de un 107%, pasando de 2,98 M€ en 2004 a 6,16 M€ en 2009.

Figura 7.5: Inversión en Millones de Euros en Proyectos I+D+i de robótica en el Subprograma de Proyectos de Investigación Fundamental no Orientada (fuentes: MICINN).



Pese a que el Subprograma de Proyectos de Investigación Fundamental no Orientada es la principal fuente de inversión en robótica, las universidades y OPI obtienen financiación para su investigación en robótica también a través de otros subprogramas dentro del Programa Nacional de Proyectos de Investigación Fundamental: Subprograma de Investigación Fundamental Orientada a la Transmisión de Conocimiento a la Empresa (proyectos TRACE) y Subprograma de Proyectos CONSOLIDER-INGENIO 2010 (proyectos Consolider).

Mediante los **proyectos TRACE** están orientados para dar apoyo a la transferencia del conocimiento desde dichos grupos a empresas con el objetivo de mejorar su competitividad. Los proyectos **CONSOLIDER** pretenden fomentar la excelencia investigadora mediante la cooperación entre investigadores y la formación de grandes grupos de investigación punteros a nivel internacional en sus respectivos campos de investigación. Los proyectos CONSOLIDER se caracterizan tanto por su larga duración (6 años) como por su importante dotación económica (2-10 millones de euros). Debido a estas características, el número de proyectos de este tipo por cada convocatoria es reducido (entre 12 y 28 proyectos en el período 2006-2009). La concesión de dos proyectos CONSOLIDER en las convocatorias 2007 y 2009 con un presupuesto total de 8,2 M€ demuestra la excelencia de la comunidad científica española en el campo de la robótica.

Tal como se ha indicado anteriormente, uno de los objetivos comunes al programa Ingenio 2010 y a la ENCYT es el fomento de la I+D+i en el sector empresarial. Para ello, la Administración General del Estado ha desarrollado diversos programas de ayudas financieras dentro del marco del Plan Nacional de I+D+i, siendo gestionadas la mayoría de ellas por el **Centro para el Desarrollo**

Tecnológico Industrial (CDTI). Las acciones llevadas a cabo por el CDTI se engloban dentro de tres LIA del Plan Nacional de I+D+i: LIA de Proyectos de I+D+i, LIA de Utilización del Conocimiento y Transferencia Tecnológica y LIA de Articulación e Internacionalización del Sistema. Todas estas acciones se pueden consultar en la Tabla 7.3.

Tabla 7.3: Acciones del CDTI en Programas Nacionales del Plan Nacional de I+D+i.

Acciones del CDTI en Programas Nacionales	
LIA Proyectos I+D+i	PN de Proyectos de Investigación Aplicada <ul style="list-style-type: none">Proyectos de Investigación Aplicada Industrial.
	PN de Proyectos de Desarrollo Experimental <ul style="list-style-type: none">Proyectos de Desarrollo Experimental Industrial.Proyectos de Desarrollo Experimental en Medio Ambiente y Ecoinnovación.
	PN de Proyectos de Innovación <ul style="list-style-type: none">Línea Banca-CDTI.
LIA Utilización del Conocimiento y Transferencia Tecnológica	PN de Transferencia de Tecnología, Valorización y Promoción de Empresas de Base Tecnológica <ul style="list-style-type: none">NEOTEC I.NEOTEC II.
LIA Articulación e Internacionalización del Sistema	PN de Cooperación Público-Privada <ul style="list-style-type: none">Consortios Estratégicos Nacionales de Investigación Técnica (CENIT).Proyectos de Cooperación Público-Privada Relativa a Transporte e Infraestructuras.
	PN de Internacionalización de la I+D <ul style="list-style-type: none">Apoyo a la Participación de Empresas en Programas Internacionales de I+D (Interempresas Internacional).TECNOEUROPA.

Dentro de todas las acciones llevadas a cabo por el CDTI destacan las siguientes:

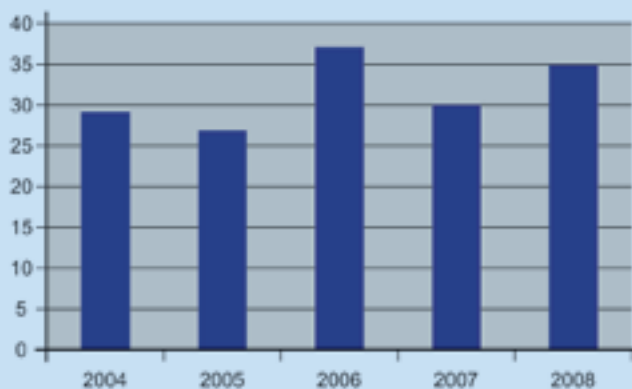
- Proyectos I+D+i.** Engloban proyectos individuales de Investigación Aplicada y Desarrollo Experimental que son propuestos por las empresas españolas para la creación y/o mejora significativa de su proceso productivo, de su producto o servicio suministrado. Suelen ser proyectos con una duración de 1 a 2 años y con un importe de la ayuda hasta un máximo del 75% del presupuesto total.
- Iniciativa NEOTEC.** La iniciativa NEOTEC tiene como objetivo el apoyo a la creación y consolidación de nuevas empresas de base tecnológica

(EBT), cuya actividad se centra en la explotación de productos o servicios que requieren el uso de tecnologías o conocimientos obtenidos a partir de la actividad investigadora. Las ayudas de esta iniciativa se dividen en dos fases dependiendo de la edad o ciclo de vida de la EBT: NEOTEC I (creación de empresas EBT de 0 a 2 años) y NEOTEC II (consolidación de empresas EBT de 2 a 6 años).

- **Programa CENIT.** El programa CENIT (Consortios Estratégicos Nacionales en Investigación Técnica) tiene como objetivo la financiación de grandes proyectos de investigación industrial de carácter estratégico en los que cooperen al menos cuatro empresas y dos organismos de investigación (universidades, OPI y centros tecnológicos).

Los proyectos I+D+i constituyen el elemento de financiación más importante gestionado por el CDTI, con una inversión directa de 568M€ para las empresas en 2008 según el Informe Cotec 2009 sobre “Tecnología e Innovación en España”. A lo largo de cada año, el CDTI aprueba una gran cantidad de proyectos de este tipo (1124 en 2008), estando algunos de ellos relacionados con la robótica. En la Figura 7.6 se muestra el número de proyectos I+D+i basados en robótica aprobados por el CDTI. Entre ellos, destacan los proyectos de automatización de líneas de producción en las que se integran sistemas robotizados, sistemas de control automático y sistemas de visión artificial.

Figura 7.6: Número de Proyectos I+D+i en robótica financiados por el CDTI (Datos: CDTI).



Además de todos estos mecanismos de financiación gestionados por el CDTI, también existen otras ayudas para incorporar la I+D+i en las empresas. En el caso de la incorporación de las tecnologías robóticas en la empresa destaca el **Subprograma AVANZA I+D**, dentro de la acción estratégica de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información del Plan Nacional de I+D+i. Este subprograma es gestionado por la Dirección General para el Desarrollo de la Sociedad de la Información (DGDSI) del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITYC). Mediante este subprograma se financian proyectos de investigación industrial y de desarrollo experimental propuestos por empresas con el objetivo de la incorporar las tecnologías de la información. Este programa AVANZA, junto con los programas CONSOLIDER y CENIT constituyen las actuaciones estratégicas llevadas a cabo por la Administración General del Estado para completar los objetivos fijados por el programa Ingenio 2010.

Además, la Dirección General de Transferencia de Tecnología y Desarrollo Empresarial (DGTTE) del Ministerio de Ciencia e Innovación (MICINN) gestiona el Programa Operativo de I+D+i Fondo Tecnológico 2007-2013. El citado Programa Operativo se concentra en financiar medidas que impulsen comportamientos innovadores en las empresas, que promuevan la incorporación de la I+D+i en las zonas menos dinámicas y los grupos de empresas menos innovadoras. Los fondos del Programa son de 500 millones de € repartidos entre los siguientes Temas Prioritarios:

- **Infraestructuras de I+D.** Se centra en la creación y consolidación de centros tecnológicos y integra los siguientes programas: CREA, que tiene como objetivo aproximar el mapa de centros tecnológicos a las necesidades de la industria; ACTEPAR e INNPLANTA, cuyas finalidades son la creación y valorización de nuevos centros e instalaciones; INNOCAMPUS, que pretende impulsar la excelencia en ciencia e innovación de las Universidades.
- **Transferencia de tecnología y mejora de redes de cooperación.** El objetivo es fomentar la constitución y mantenimiento de plataformas tecnológicas.
- **Ayuda a la IDT, en particular a la PYME.** Ofrecen diversas ayudas a la I+D+i: Proyectos de Investigación Aplicada Industrial y Desarrollo Experimental Industrial, cuya finalidad es estimular la competitividad empresarial en las regiones del objetivo convergencia; Proyectos Singulares y Estratégicos, que persigue financiar actividades de I+D+i interrelacionadas entre sí por un objetivo común, y cuyo carácter estratégico, responda al favorecimiento de la competitividad de un sector productivo; Investigación Aplicada Colaborativa entre distintos agentes público-privados; Investigación Aplicada Colaborativa en Parques y; INNPACTO, cuyo objetivo es crear empresas innovadoras y orientar la actividad de las empresas ya existentes hacia la actividad innovadora.
- **Ayudas a proyectos de carácter medioambiental.**

7.4. Financiación en I+D+i en robótica en las Comunidades Autónomas

En los últimos años se han establecido Programas de I+D en casi todas las Comunidades Autónomas. Se describen, a continuación, algunas de las acciones más relevantes de apoyo a la investigación promovidas por las Comunidades Autónomas en el ámbito de sus competencias.

Andalucía. Del Plan Andaluz de Investigación cabe destacar la creación del inventario de grupos de investigación (<http://www.juntadeandalucia.es/innovacioncienciayempresa/sguit/paginas/pai/inventario/>), con más de 1.950 grupos registrados, reunidos en 9 ponencias: Agroalimentación (AGR), Ciencias y Tecnologías de la Salud (CTS), Biosanitaria (BIO), Física, Química y Matemáticas (FQM), Humanidades (HUM), Recursos Naturales y Medio Ambiente (RNM), Ciencias Económicas, Sociales y Jurídicas (SEJ), Tecnologías de la Producción (TEP) y Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC). Este inventario se mantiene en el Sistema de Información Científica de Andalucía -SICA (<http://www.grupos-pai.cica.es/sica/inicio.htm>). .

Los grupos que tienen actividad en robótica en Andalucía se establecen en torno a estas dos últimas ponencias: TEP y TIC. Fue una iniciativa del PAI la creación del Instituto Andaluz de Automática Avanzada y Robótica (1991) con sedes en Málaga y Sevilla, dependiendo en la actualidad de las Universidades de Málaga y Sevilla, respectivamente.

En 2006 se aprobó el “Plan Andaluz de Investigación, Desarrollo e Innovación 2007-2013”. Es de destacar la publicación desde 2005 de convocatorias de financiación de proyectos de investigación denominados Proyectos de Excelencia, en donde se han financiado un buen número de proyectos de robótica.

Aragón. El IIº Plan Autonómico de investigación, desarrollo y transferencia de conocimientos de Aragón (II PAID) 2005-2008 ha identificado las siguientes cinco líneas estratégicas para el desarrollo regional:

- Desarrollo del territorio aprovechando sus características específicas.
- Conservación y puesta en valor del patrimonio natural y cultural.
- Seguridad y calidad de vida individual y colectiva.
- Sostenibilidad del desarrollo social y económico.
- Desarrollo tecnológico basado en nuevos materiales y procesos.

Dentro de cada línea estratégica, se han definido líneas prioritarias. En particular en la Línea V (Desarrollo tecnológico basado en nuevos materiales y procesos) existen 2 líneas prioritarias que contemplan la robótica:

- Automatización y control de procesos productivos y equipos, para el desarrollo de sistemas inteligentes que permitan la transferencia de

información en tiempo real entre las partes implicadas en el proceso productivo: Accionamientos avanzados (robótica, neumática, hidráulica y mecatrónica). Estrategias de reducción de fallos en la producción. Sensores. Visión artificial.

- Ambientes inteligentes, que hace más énfasis en interfaces, sistemas de seguridad, reconocimiento de actividades humanas y “e-health”, en las que de alguna manera se incluye la robótica.

Se pretende hacer un esfuerzo presupuestario para aumentar progresivamente la inversión en I+D+i de como mínimo hasta 1,5% del PIB de Aragón en los próximos años.

Castilla y León. El ERIDI (Estrategia Regional de Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación 2007-2013) plantea como objetivos como alcanzar en 2013 el 2,3% de gasto en I+D sobre el PIB así como que el porcentaje de gasto privado de I+D en 2013 alcance el 63%. En el ERIDI se consideran estratégicos sectores como:

- biotecnología,
- biomedicina,
- nanotecnología,
- aeroespacial,
- energías renovables,
- tecnologías de la información y de la comunicación.

Destacar la importancia que tiene en estos sectores la robótica y automatización y control de procesos productivos y equipos mediante la incorporación de sistemas robotizados.

Cataluña. En año 2010 fue aprobado el Plan de Investigación e Innovación (PRI) con un presupuesto de 5300 M€ para el periodo 2010-2013. Se establecieron los siguientes focos estratégicos de actuación:

- Retos ambientales, del entorno y territoriales
 - Mitigación y adaptación al cambio climático
 - Eficiencia energética y energías renovables descentralizadas
 - Gestión y planificación del agua para un uso sostenible
 - Flujos eficaces de personas y mercancías (movilidad sostenible) y de información
 - Edificios, ciudades y territorios para vivir, generar valor y convivir
- Retos para las personas y la sociedad
 - Alimentos de calidad, saludables y placenteros
 - Prevención y cuidado de la salud de las personas

- Aprendizaje a lo largo de la vida y enseñanza a distancia
- Creaciones artísticas, productos y servicios culturales de excelencia y difusión amplia
- Productos y servicios vinculados al turismo, al ocio y al consumo de emociones
- Cohesión social y gestión de la complejidad social para generar oportunidades
- Nueva sociedad de servicios con serviproductos de consumo y comercio innovadores y e-servicios
- Seguridad de personas, bienes, información y territorios
- Retos científicos, productivos u organizativos
 - Investigación y tecnología de excelencia y de frontera
 - Desarrollo de materiales, sistemas de producción y ecoproductos con diseños innovadores
 - Innovación no tecnológica, transformación de las organizaciones y nuevas formas de trabajo
 - Mejora de los mecanismos de gobernanza, socioeconómicos y políticos

Comunidad de Madrid. El IV Plan Regional de Investigación Científica e Innovación Tecnológica (V PRICIT) tiene vigencia en el periodo 2009-2012.

La Comunidad de Madrid, mediante el programa de actividades de I+D con cofinanciación del Fondo Social Europeo, impulsa y potencia el desarrollo de actividades en equipos y laboratorios de investigación de la Comunidad de Madrid, favoreciendo la cooperación de los mismos en torno a líneas de investigación y además dar continuidad y flexibilidad de actuación a los grupos y laboratorios a través de una financiación a corto y medio plazo potenciando la colaboración entre los mismos de uno o diferentes organismos a fin de incorporar la capacidad necesaria para afrontar nuevos retos científicos y resolver problemas complejos. Se financian programas de investigación que deben ser ejecutados por varios grupos.

En su convocatoria del año 2009, la Comunidad de Madrid, concedió para el periodo 2010-2013, el proyecto “Robocity 2030 II: Robots de servicio para la mejora de la calidad de vida de los ciudadanos en áreas metropolitanas”, continuación del programa Robocity 2030. En este participan los 6 centros de excelencia en robótica de la Comunidad de Madrid (<http://robocity2030.org>)

Por otra parte la Comunidad de Madrid, junto con el Ministerio de Ciencia e Innovación desarrolla la ICTS (Infraestructuras Científico-Técnicas Singulares) Tecno-Fusión (http://www.technofusion.org/index_es.shtml), gran Instalación Científica de Fusión. En ella, entre otras áreas de I+D, se incluye el centro de Telerobótica, en el que se desarrollarán sistemas y procedimientos de trabajo robotizados, tanto autónomos como dirigidos a distancia por un operador, que puedan contribuir al mantenimiento y reparación de instalaciones de fusión nuclear.

Comunidad Valenciana. Cuenta con el “Plan General Estratégico de Ciencia y Tecnología de la Comunitat Valenciana 2010-2015 (PGECYT)” (http://www.edu.gva.es/poci/es/planes_id.htm) entre cuyos objetivos mantiene el alcanzar en el año 2015 un gasto de I+D del 2,1%. En el plan no se señalan claramente las ayudas en el área de la robótica.

País Vasco. En el “Plan de Ciencia, Tecnología e Innovación 2010” se establecen en torno a las siguientes áreas de actuación:

- Turismo
- Comercio
- *Manufacturing* de alto rendimiento
- Sector Energético
- Nuevos materiales
- Seguridad alimentaria
- TIC's
- Industria de la lengua
- Biociencias
- Nanociencias
- Energía alternativas
- Electrónica para transporte inteligente
- Medio Ambiente
- Meteorología y Climatología
- Innovación Social
- Transformación empresarial
- Entornos inteligentes
- Investigación social

No existe una línea específica en robótica estando incluida dentro del área “*Manufacturing* de alto rendimiento”.

7.5. Otras iniciativas de financiación de la I+D+i en robótica

7.5.1. Programa IBEROEKA

Los proyectos Iberoeka (http://www.cytel.org/cytel_innovacion/es/proyectos.php) son un instrumento de apoyo a la cooperación tecnológica empresarial en Iberoamérica. Esta iniciativa se incluye dentro del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el desarrollo (CYTED) en el que participan 19 países de América Latina, Portugal y España.

Iberoeka se basa en el principio fundamental de diseño descendente, en virtud del cual, los participantes son libres de utilizar su propio criterio para formular, desarrollar y financiar proyectos de I+D+i de acuerdo con sus necesidades. El CDTI, como organismo gestor español de los proyectos Iberoeka, promueve

la participación de las empresas españolas en esta iniciativa, asesorando en la presentación de nuevas propuestas, en la búsqueda de socios y en el acceso a fuentes de financiación.

En Iberoeka no existen programas cerrados que enmarquen las iniciativas innovadoras de empresas y centros de investigación. Por el contrario, los participantes pueden emprender proyectos adaptados a sus necesidades específicas, siempre que reúnan unos requisitos fundamentales.

En la misma línea que los proyectos Iberoeka están los programas bilaterales de España con Canadá (Canadeka), China (Chineka), India, Corea, Japón y Sudáfrica. Todos estos programas pretenden promover la cooperación tecnológica empresarial de los participantes de los dos países mediante la colaboración en proyectos de transferencia de tecnología, desarrollo tecnológico e innovación con el objetivo de generar beneficios económicos para los dos países. Los proyectos evaluados positivamente son financiados a través de los instrumentos de cada país que en el caso de España es realizado por el CDTI. En el caso de los proyectos presentados por las empresas españolas tienen las siguientes condiciones:

- Crédito a interés cero de hasta el 75% del presupuesto total amortizable en 10 años y hasta tres años de carencia.
- El 33% de la ayuda correspondiente a I+D+i será de carácter no reembolsable (subvención).

7.5.2. Incentivos Fiscales

La Ley del Impuesto sobre Sociedades contempla importantes deducciones en la cuota por actividades de investigación y desarrollo e innovación tecnológica, la cual se practica deduciendo de la cuota íntegra del impuesto los gastos en actividades I+D+i. La deducción a aplicar es diferente según la actividad se considere investigación o innovación tecnológica.

Según el Real Decreto Legislativo 4/2004 de 5 de marzo, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley del Impuesto sobre Sociedades, en su artículo 35, se considera la Investigación como:

“la indagación original planificada que persiga descubrir nuevos conocimientos y una superior comprensión en el ámbito científico o tecnológico y desarrollo a la aplicación de los resultados de la investigación o de cualquier otro tipo de conocimiento científico para la fabricación de nuevos materiales o productos y/o para el diseño de nuevos procesos o sistemas de producción, así como para la mejora tecnológica sustancial de materiales, productos, procesos o sistemas preexistentes”.

Las actividades de investigación con derecho a deducción son las siguientes:

- Proyectos de Investigación y Desarrollo contratados con universidades, organismos públicos de investigación y centros de innovación tecnológica.
- Materialización de los nuevos productos o procesos en planos, esquemas o diseños.

- Proyectos pilotos que no puedan convertirse o utilizarse para aplicaciones industriales o para explotación comercial.
- Diseño y elaboración de muestrarios.
- Concepción de “software avanzado” cuando suponga un progreso científico o tecnológico significativo mediante el desarrollo de nuevos teoremas o algoritmos o mediante la creación de sistemas operativos o lenguajes nuevos. No se incluyen las actividades habituales o rutinarias relacionadas con el software.

El mismo Real Decreto considera Innovación Tecnológica como: *“la actividad cuyo resultado es un avance tecnológico en la obtención de nuevos productos o procesos de producción o de las mejoras sustanciales de los ya existentes”*.

Las actividades que dan derecho a deducción son las siguientes:

- Proyectos encargados a universidades, organismos públicos de investigación y centros de innovación o tecnología con independencia de sus resultados.
- Diseño industrial e ingeniería de procesos de producción.
- Adquisición de tecnología avanzada en forma de patentes, licencias, *know-how* y diseños.
- Obtención del certificado de cumplimiento de las normas de aseguramiento de la calidad de la serie ISO 9000, GMP o similares, sin incluir los gastos correspondientes a la implantación de dichas normas.

7.5.3. Las empresas *spin-off*

La gran mayoría de las *spin-off* nace en universidades o en centros de investigación públicos. Estas empresas o entidades de las que surgen hacen la función de matriz o incubadora, y sirven de apoyo para el despegue de las *spin-off*. La tipología de *spin-off* se hace, habitualmente, en función de la entidad originaria. Así, se tiene tres tipos principales de *spin-off*:

- *spin-off* universitarias (sector público): creadas a partir de las universidades, incluye aquellas en las que participan empleados o miembros de la comunidad universitaria.
- *spin-off* institucionales (sector público): creadas a partir de centros de investigación públicos no universitarios, entre los que se encuentran los parques tecnológicos.
- *spin-off* empresariales o “*start-up*” (sector privado): creadas a partir de otras empresas privadas.

Las *spin-off* tienen su propia estructura jurídica, con independencia de la empresa o entidad matriz, por lo tanto, son empresas de nueva creación. Las empresas *spin-off* que surgen de las universidades ayudan a transferir el conocimiento y la investigación científica al mundo empresarial, buscando su aplicación directa en los procesos productivos, incluso su comercialización. Además, mejora la comunicación entre las universidades, el mercado y la sociedad. Normalmente estas empresas están fundadas por profesores, alumnos o miembros del personal administrativo y de servicios. Tienen apoyo institucional, pero persiguen intereses privados.

Es de esperar que las *spin-off* serán en un futuro uno de los pilares que ayuden difundir la robótica de servicio a nivel nacional e internacional, teniendo las universidades y centros de investigación entre otros la responsabilidad de fomentar su creación. El marco normativo de la Ley Orgánica de Universidades de 12 Abril de 2007 por la que se modifica la ley de 21 de Diciembre de 2001 establece una serie de medidas tendentes a favorecer la creación de Empresas de Base Tecnológica (EBT) por parte de la universidades y centros de investigación. Entre estas figuran que para potenciar su creación se permite bajo ciertas condiciones que los profesores funcionarios de los cuerpos docentes universitarios puedan pertenecer los Consejos de Administración de las EBTs y que su participación en el capital social de estas empresas sea superior al 10% fijado anteriormente. Además, se regula la posibilidad que los profesores puedan solicitar una excedencia temporal por un máximo de 5 años con derecho a reserva del puesto de trabajo y cómputo temporal a efectos de antigüedad.

Uno de los principales obstáculos de las *spin-off* es el acceso a la financiación. En efecto, resulta difícil para muchas *spin-off* el encontrar el capital financiero necesario para desarrollar ciertos tipos de productos o iniciativas. Esta escasez hace que muchas iniciativas no lleguen a desarrollarse y en otras ocasiones que conduzcan al fracaso de la iniciativa. Esta última situación ha sido muy palpable en la actual crisis económica donde un buen número de iniciativas han fracasado por la dificultad de obtener crédito de muchas de estas pequeñas empresas aunque con frecuencia los productos eran viables en el mercado.

Otro aspecto a mejorar son las ayudas a la creación de empresas de base tecnológica. Existen algunas ayudas financieras a este tipo de empresas en los programas actuales, pero no son ayudas a fondo perdido, sino créditos y con frecuencia se pierden si las empresas consiguen otras ayudas. En ocasiones estas ayudas se pierden simplemente por el hecho de conseguir participar en proyectos europeos, lo que genera situaciones de conflicto: por una parte se busca aumentar la participación de grupos y empresas en los programas europeos y por el otro se les penaliza por participar. En España no existen en la actualidad ayudas a fondo perdido para la creación de empresas de base tecnológica, al contrario que ocurre en países con una alta tradición de creación de empresas de base tecnológica, como es el caso de los Estados Unidos.

7.5.4. Otras iniciativas

A nivel nacional otras iniciativas de interés para la robótica son:

- Las incubadoras o viveros de empresas son organizaciones que, generalmente, se instalan en parques científicos o tecnológicos. Proveen de recursos de formación y asesoramiento en todas las etapas del proceso empresarial hasta la puesta en marcha de la EBT. En muchos casos entre los servicios que brindan, entre otros son espacio físico como oficinas o laboratorios, servicios compartidos como secretarías y equipos, acompañamiento y asesorías, establecimiento de contactos para posibles alianzas o actividades de inversión. En los últimos años se ha potenciado la creación de viveros de empresa al amparo de las universidades españolas como forma de potenciar la creación de EBTs. En (<http://investigacion.universia.es/spin-off/viveros/index.htm>) se lista la relación de viveros de empresas de las universidades españolas.
- *Business Angels*. Son inversores individuales (empresarios, directivos de empresa, emprendedores o ahorradores), que aportan a título privado, su capital, sus conocimientos técnicos y su red de contactos personales, a los emprendedores que quieren poner en marcha un proyecto empresarial o a las empresas que se encuentran en el inicio de su actividad con el objeto de obtener una plusvalía a medio plazo implicándose personalmente en la empresa para incrementar su valor.
- Capital Riesgo. Es un mecanismo de financiación a medio y largo plazo y por un tiempo limitado. Está especialmente indicado tanto para empresas que se encuentran en período de creación como para aquellas ya consolidadas pero que están llevando a cabo un proceso de ampliación. Suele articularse mediante la toma de participaciones en el capital social de la empresa a través de la compra de acciones. Las entidades que facilitan este tipo de financiación son las Sociedades de Capital Riesgo o Fondos de Capital Riesgo. El concepto de “riesgo” se relaciona con el hecho de que estas sociedades no les exigen garantías a las empresas participadas.
- El Programa Torres Quevedo, que se ocupa de facilitar a las empresas del sector privado la contratación de doctores, investigadores y tecnólogos a través de ayudas y subvenciones. El Programa trata de liberar a las empresas del alto coste de contratación de estos profesionales, especialmente al comienzo de un nuevo proyecto de empresa de nueva creación (principalmente PYMES). Igualmente, se pretende estimular la demanda de las empresas de contratar personal altamente cualificado para acometer planes y proyectos de I+D+i reduciendo, en gran medida, el riesgo de este tipo de actividades.

- Oficinas de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRIS), cuya labor, la identificación de proyectos de investigación susceptibles de ser transformados en actividades empresariales, resulta fundamental para el fomento de creación de *spin-off*. Las OTRIS constituyen canales institucionales que vinculan a las universidades y centros de investigación con las empresas. La Red de Oficinas de Transferencia de Resultados de Investigación de las Universidades Españolas es el organismo encargado del intercambio de información y cooperación universidad-empresa (<http://www.redotriuniversidades.net>.)
- Las Comunidades Autónomas tienen sus propios programas de ayudas a la creación de empresas de base tecnológica y fomento de la I+D+i. En la Tabla 7.4 siguiente se muestran las diferentes agencias de desarrollo regional que gestionan los programas.

Tabla 7.4: Programas de ayudas a la creación de empresas de base tecnológica y fomento de la I+D+i de las CCAA.

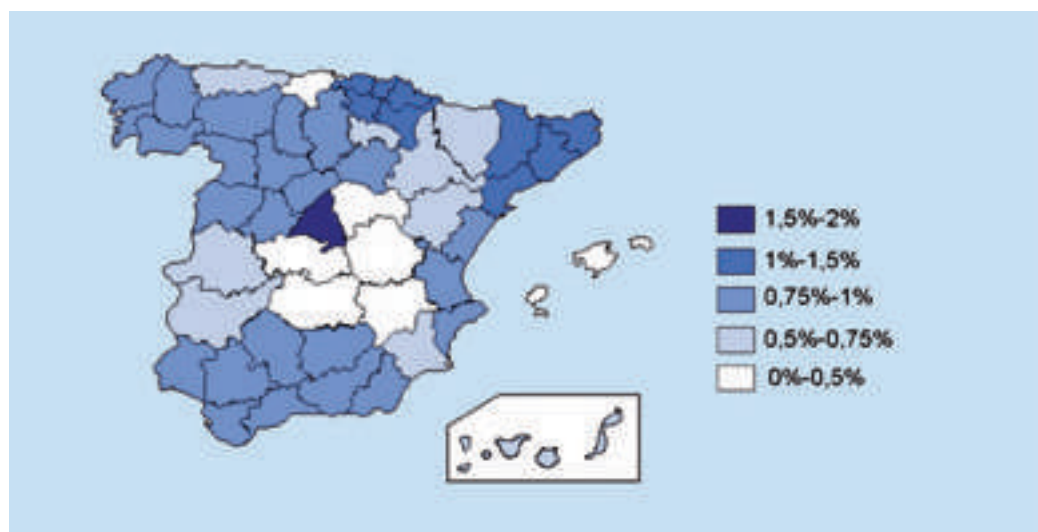
Comunidad	Agencia
Andalucía	IDEA Agencia de Innovación y Desarrollo de Andalucía (http://www.agenciaidea.es) CTA Corporación Tecnológica de Andalucía (http://www.corporaciontecnologica.com/)
Aragón	IAF Instituto Aragonés de Fomento (http://www.iaf.es)
Asturias	IDEPA Instituto de Desarrollo Económico del Principado de Asturias (http://www.idepa.es)
Baleares	IDI Institut d’Innovació Empresarial de les Illes Balears (http://www.idi.es)
Canarias	ACIISI Agencia Canaria de Investigación, Innovación y Sociedad de la Información (http://aciisi.itccanarias.org)
Cantabria	SODERCAN Sociedad para el Desarrollo Regional de Cantabria (http://www.sodercan.es)
Castilla la Mancha	Consejería de Industria de Castilla La Mancha (http://www.jccm.es)
Castilla y León	ADE Agencia de Inversiones y Servicios (http://www.ade.jcyl.es)
Cataluña	ACC10 (http://www.acc10.cat)
Ceuta	PROCESA Sociedad de Fomento de Ceuta (http://www.procesa.es)
Comunidad de Madrid	IMADE Instituto Madrileño de Desarrollo y su grupo empresarial (http://www.imade.es)
Comunidad Valenciana	IMPIVA Instituto de la Mediana y Pequeña Industria Valenciana (http://www.impiva.es)
Extremadura	Consejería de Economía, Comercio e Innovación de Extremadura (http://www.juntaex.es)
Galicia	IGAPE Instituto Galego de Promoción Económica (http://www.igape.es)
La Rioja	ADER Agencia de Desarrollo Económico de La Rioja (http://www.ader.es)
Melilla	PROMESA Proyecto Melilla S.A (http://www.promesa.net)
Murcia	INFO Instituto de Fomento de la Región de Murcia (http://www.institutofomentomurcia.es/)
Navarra	CEIN Centro Europeo de Empresas e Innovación de Navarra (http://www.cein.es)
País Vasco	SPRI Sociedad para la Promoción y Reconversión Industrial (http://www.spri.es)

7.6. Tendencias

7.6.1. Contribución de las Comunidades Autónomas

Hay que tener en cuenta, según se desprende de información proveniente de la CICYT, que las CCAA juegan un papel cada vez más importante en la financiación de la I+D+i. A partir de 2003 la contribución de CCAA fue superior a la del Estado. Ahora bien, el retraso en I+D+i afecta a todas las regiones aunque en distinto grado. Las CCAA que en 2009 tuvieron con un mayor esfuerzo en I+D+i en relación a su PIB son Navarra (2,13%), País Vasco (2,06%), Comunidad de Madrid (2,06%) y Cataluña (1,68%). Baleares, la última, apenas llega al 0,38% de su PIB (Figura 7.7).

Figura 7.7: Esfuerzo en I+D+i por comunidades en 2009.



Sería de esperar que el papel de las CCAA en la financiación de la I+D+i en robótica fuera mayor en el futuro y sobre todo que sea complementario con las ayudas estatales y europeas, sin crear duplicidades. De la misma forma, sería importante que la financiación fuera dirigida a grupos singulares con prestigio reconocido.

7.6.2. Previsiones en el ámbito del estado español

El programa INGENIO tenía como objetivo aumentar el ratio de inversión en I+D+i sobre el PIB hasta un 2% en 2010 e incrementar la contribución del sector privado en la inversión en I+D+i hasta un 55% en 2010. La inversión en I+D+i en

2009 fue del 1,38% sobre el PIB. A pesar de aún estar lejos de la media UE de 27 países, en los últimos años se ha producido un notable incremento del gasto del 30,2% (el gasto fue del 1,06% en 2004), siendo uno de los países donde dicho incremento ha sido mayor.

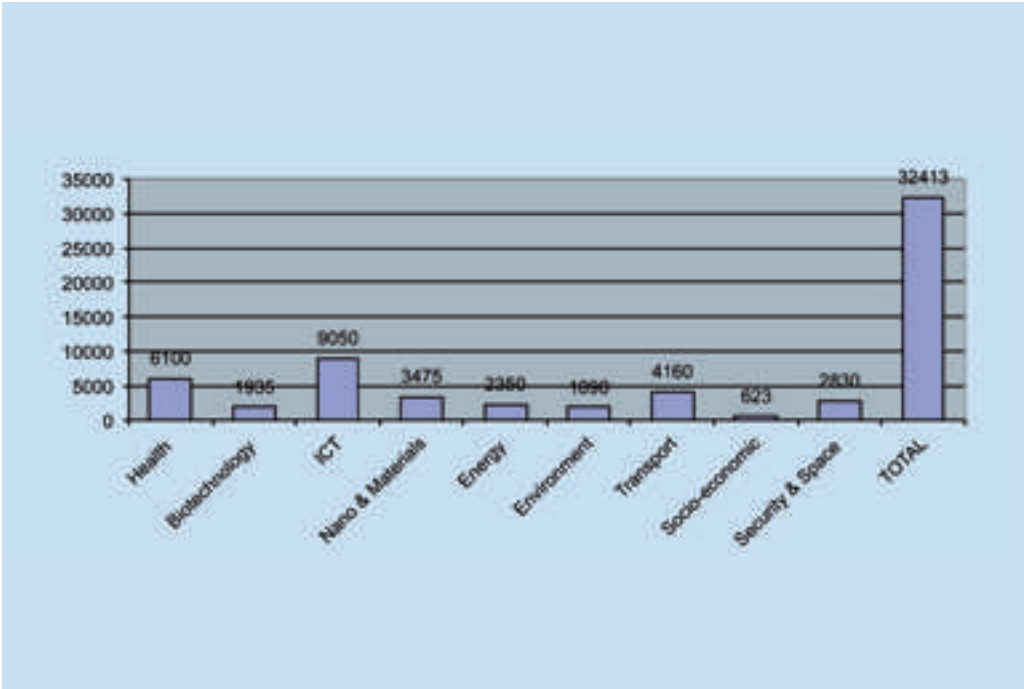
Sobre este dato hay que resaltar que las políticas de estimulación de actividades de I+D+i han tenido una muy buena acogida en términos de rendimiento científico e incremento del nivel tecnológico del tejido productivo.

En la “Estrategia Nacional de Ciencia y Tecnología (ENCYT)” se recogen los grandes principios y objetivos generales que han de regir las políticas de ciencia y tecnología, tanto nacionales como regionales, en el horizonte temporal 2007-2015. En esta estrategia se prevé alcanzar en 2015 el 2,5% del PIB en gasto de I+D, con una financiación por el sector industrial del 60%. Asimismo, se pretende alcanzar el 4% sobre el PIB en gastos de innovación.

7.6.3. Previsiones en el ámbito de la Unión Europea

A nivel de la UE las perspectivas son buenas, destacando el programa específico ICT, que incluye la robótica como uno de sus pilares en el 7º Programa Marco (Figura 7.8). Se constata el notable interés despertado hacia la robótica observando las últimas llamadas a la participación del 7º Programa Marco.

Figura 7.8: Esfuerzo en I+D+i en el 7º Programa Marco de la UE después de la decisión del Parlamento Europeo del 18 de Diciembre de 2006.



El objetivo es tratar algunos de los desafíos dominantes incluidos en el cambio del paradigma de sistemas robotizados actuales, en su evolución desde una tecnología industrial específica hacia tareas multipropósito orientada a ampliar la gama de productos y servicios destinados a los mercados de consumo, del hogar y del entretenimiento. El trabajo se centrará en el desarrollo de sistemas robotizados más inteligentes, más flexibles, rentables, modulares, seguros, fiables, robustos y dirigidos al usuario. Esto facilitará el camino a la introducción masiva de futuros robots en ambientes cotidianos humanos y su colaboración estrecha con las personas.

Otro dato, que constata el interés creciente por la robótica que parece claramente en aumento, proviene de las inversiones de los dos programas marco más recientes el quinto (FP5), con un total de 125 M€ destinados a proyectos de robótica, y el sexto (FP6), donde se registró un crecimiento del total dedicado a robótica de alrededor del 100%. Según fuentes del CDTI, los fondos dedicados a las áreas de robótica, sistemas cognitivos e interfaces multimodales ascendieron en el periodo 2003-2006 a un 7,1% del total del presupuesto ICT, mientras que en el periodo 2007-2008, ascendieron al 9,5% del total del presupuesto ICT.

8

Formación y divulgación *Training and dissemination*



La formación técnica, a distintos niveles, es un aspecto clave para la consecución de los objetivos fundamentales de la investigación, el desarrollo y la innovación. Una adecuada formación de todo el personal involucrado en los procesos productivos, desde el personal de producción hasta los cuadros directivos con responsabilidades de gestión y técnicas, redundará en una mayor iniciativa innovadora, generando la confianza necesaria para abordar el desarrollo de nuevos productos y líneas de mercado. Por su parte, la formación y actualización de conocimientos en los trabajadores, contribuye directamente a la capacidad de poner en marcha nuevas tecnologías y la aceptación sin prejuicios de éstas.

Cuando los estudiantes de cualquier nivel educativo construyen un robot están inmersos en un mundo multidisciplinar, dónde la geometría, la trigonometría, la electrónica, la programación, el control, la mecánica, etc, proporcionan las capacidades básicas que redundarán en el éxito de dicha tarea integradora. Aparte de los conceptos que le son propios, la robótica da la oportunidad de desarrollar otras aptitudes como son: la ingeniería de sistemas, el diseño, conceptos de ergonomía del trabajo y la planificación. La robótica es el “gran integrador” del conocimiento hoy en día, según la prestigiosa Universidad Carnegie-Mellon de Estados Unidos (<http://www.ri.cmu.edu>), de ahí su importancia.

Además, en el nuevo panorama del mercado global es imprescindible dominar las tecnologías que permiten automatizar muchos de los procesos de producción. La robótica toma un papel decisivo al ser una alternativa al bajo coste de la mano de obra de algunos países. Desafortunadamente, la automatización de muchos procesos de manufactura, manipulación de objetos flexibles u objetos con formas imprecisas, presenta retos tecnológicos de difícil solución o de un coste aún no asumible. Podría decirse que con los conocimientos actuales muchos procesos de manufactura no serán razonablemente automatizados a corto plazo.

Con este panorama, se hace evidente la necesidad de invertir en una formación de calidad para poder afrontar estos retos. Con toda seguridad, una inversión en formación proporcionará un retorno tangible a la sociedad a medio y largo plazo.

La robótica, como materia con contenidos multidisciplinarios y con aplicaciones en múltiples sectores, se puede estudiar en diferentes niveles de formación y con contenidos muy variados.

El objetivo de este capítulo es el de dar a conocer el estado actual de la enseñanza de la robótica en España y su proyección futura. Se pretende aportar datos sobre los contenidos formativos, la presencia de la robótica en todos los ámbitos de la educación, el material formativo y las actividades que con carácter general tratan de difundir la robótica. El análisis de la formación se ha realizado por el ámbito donde se desenvuelve esta actividad: enseñanza secundaria y el bachillerato, enseñanza universitaria y formación en empresas. Se incide fundamentalmente en la enseñanza reglada.

Technical training at different levels is a key aspect for the achievement of fundamental objectives of research, development and innovation. Suitable training of the personnel involved in productive processes, from production personnel to managers with management and technical responsibilities, will result in greater innovation initiative, thus generating the confidence required to address the development of new products and market lines. On the other hand, training contributes to the capacity to start new technologies and to gain their acceptance without prejudice.

When students at any educational level build a robot they are absorbed in a multidisciplinary world, where geometry, trigonometry, electronics, programming, automatic control and mechanics provide basic capabilities that will result in the success of that integrating task. Apart from its own concepts, robotics provides the opportunity to develop other aptitudes such as systems engineering, design, work ergonomics and planning. Robotics is the 'great integrator' of knowledge today, according to the prestigious Carnellie-Mellon University in the USA (<http://www.ri.cmu.edu>), and thus its relevance is evident.

Also, in the new global market scenario it is crucial to have a good command of technologies that allow the automation of many of the production processes. Robotics plays a very important role in this respect since it is an alternative to low cost labor in some countries. Unfortunately, automation of many production processes and the manipulation of flexible objects or objects with imprecise shapes present technological challenges that are difficult to solve or still have an unfeasibly high cost. One could say that with the current knowledge many manufacturing processes will not be automated within the short term.

With this scenario in mind, it becomes evident that there is a need to invest in quality training in order to address these challenges. Investment in training will provide a tangible outcome to society in the mid and long terms.

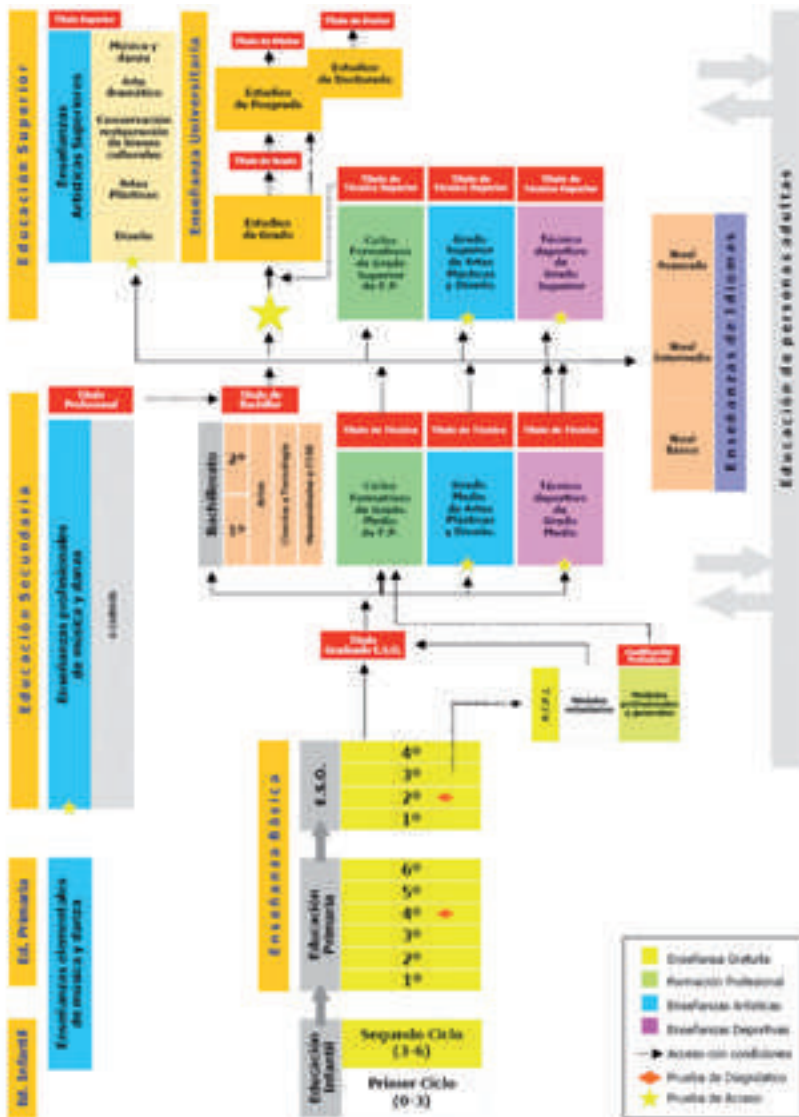
Robotics, as a subject with multidisciplinary content and applications in numerous sectors, can be analyzed under different training levels and with very varied contents.

The objective of this chapter is to describe the current state of training in robotics in Spain and the future scope of this training. We provide data on the formative contents, the presence of robotics in the training sphere and training material and activities for the dissemination of robotics. This analysis has been carried out in the sphere of the activity, secondary school, university and training in enterprises. The main focus of this analysis is on accredited studies.

8.1. Formación: enseñanza secundaria, Grado, Postgrado

El sistema educativo reglado español comprende enseñanzas de régimen general que se ordenan en las siguientes etapas formativas: educación infantil, educación primaria, educación secundaria, que comprende la educación secundaria obligatoria, el bachillerato y la formación profesional de grado medio, formación profesional de grado superior y educación universitaria (Figura 8.1).

Figura 8.1: Esquema del sistema educativo actualmente vigente en España (fuente: Ministerio de Educación).



La ley Orgánica de Educación (LOE), de 3 de mayo de 2006, establece una enseñanza obligatoria hasta la ESO (Escuela Secundaria Obligatoria), es decir, hasta los 16 años. Es posible, además, estudiar el bachillerato y hacer unos estudios universitarios a elegir por el estudiante.

Aunque es ampliamente reconocido el papel de la robótica, su presencia en las diferentes etapas formativas es relativamente escasa, tal como se analiza a continuación.

8.1.1. Formación en la enseñanza secundaria

En España se considera enseñanza secundaria a la que se imparte habitualmente en el tramo de edad entre los 12 y los 18 años. Comprende una parte obligatoria (la Enseñanza Secundaria Obligatoria-ESO, de 12 a 16 años) y una no obligatoria (el bachillerato y la formación profesional, de 16 a 18) (Figura 8.2).

Figura 8.2: Organización del acceso de las enseñanzas de formación profesional (fuente Ministerio de Educación).



Es difícil hacer un análisis detallado de todas las posibles alternativas que existen en España de la enseñanza secundaria, ya que las Comunidades Autónomas con competencias plenas en materia educativa pueden establecer distribuciones de contenidos diferentes, ampliando los contenidos especificados en los decretos

que fijan los contenidos mínimos. En el análisis que sigue, se destacan los contenidos de acuerdo con los decretos de enseñanzas mínimas (las Comunidades Autónomas con competencias en materia de educación secundaria pueden ampliar estos contenidos mínimos). La distribución de contenidos recogidos en las tablas que se presentan a continuación es la establecida en el territorio de administración directa del Ministerio de Educación.

El acceso a la formación profesional se realiza de forma directa cuando se está en posesión del título de Graduado en ESO. La formación profesional tiene como finalidad la preparación de los alumnos para la actividad en un campo profesional y comprende un conjunto de enseñanzas que, en la actualidad, está compuesta por 142 títulos oficiales y estructurados en 26 familias profesionales. Se compone de un conjunto de ciclos formativos, con dos niveles: ciclos formativos de grado medio y ciclos formativos de grado superior. Tiene una organización modular, de duración variable, constituidos por áreas de conocimiento teórico-prácticas en diversos campos profesionales. La duración de cada ciclo oscila entre 1.300 y 2.000 horas, de las cuales hasta un 25% de las mismas se realizan en empresas.

La formación en robótica, en términos generales, sólo suele aparecer con suficiente contenido en los programas de formación profesional en las asignaturas técnicas de las ramas correspondientes. En concreto, aparece en el título de Grado Medio de Técnico en Mecanizado (lenguajes de programación de robots), y en una parte del módulo de Sistemas de Control Secuencial en ciclo formativo de Grado Superior del título de Técnico Superior en Sistemas de Regulación y Control Automáticos, con los contenidos descritos en la Tabla 8.1.

Tabla 8.1: Contenidos del ciclo formativo de Grado Superior del título de Técnico Superior en Sistemas de Regulación y Control Automáticos.

Manipuladores y Robots:
Los dispositivos de actuación en los procesos secuenciales: manipuladores y robots.
Tipología y características. Campos de aplicación.
Morfología del Robot industrial.
Elementos de máquinas. Transformaciones y características.
Sensores, actuadores y sistemas de control para Robots y manipuladores.
La comunicación del Robot con su entorno. Características y procedimientos.
Conceptos generales sobre fabricación flexible y entornos CIM.

En la ESO aparece, generalmente asociado a contenidos de automatismos, en algunas de las pocas asignaturas de tecnología: Tecnología Industrial 3, obligatoria en 3º, y Tecnología Industrial 4, optativa de 4º curso (Tabla 8.2). En cambio, en bachillerato en la modalidad Tecnología, los contenidos de robótica sólo suelen

aparecer marginalmente en las asignaturas de Tecnología 1 y 2, del Bachiller de la Modalidad Tecnología.

Generalizando, se puede decir que la mayoría del alumnado no adquiere una formación específica importante en robótica tras su paso por la enseñanza secundaria. Sin embargo, el futuro profesional de muchos jóvenes que han estudiado formación profesional de segundo grado o un ciclo formativo superior va a estar ligado a la industria de fabricación, donde la automatización y la robótica, juega un papel fundamental. Se observa un creciente interés por incorporar contenidos relacionados con robótica en algunas de las asignaturas tecnológicas en la formación profesional.

En la enseñanza secundaria se realizan pocas experiencias docentes basadas en la formación “manos a la obra” (basada en un 70% de trabajo en laboratorio y 30% en conceptos teóricos) que estimulan muchísimo a los jóvenes creativos. Estas experiencias no son nuevas en la educación secundaria, ya que se han llevado a cabo desde hace mucho tiempo, pero no con la insistencia con que se realiza en otros países. Muchas veces, la competición tecnológica es una forma de atracción para mantener la atención del alumnado en un tema concreto. También se puede alentar al alumno planteando un reto científico o tecnológico que le estimule. Mediante estos y otros ejercicios docentes, el alumno se da cuenta de que aprender es divertido y que la adquisición de conocimiento no es un obstáculo. Si se llega a este nivel el alumno desea aprender y está dispuesto a esforzarse por ello; de esta forma, se puede ser más exigente en los años de formación de grado. Sólo con la estimulación el alumno estará dispuesto a entregar esfuerzo a cambio de conocimiento.

Tabla 8.2: La robótica en asignaturas de Tecnología de la ESO.

Tecnología 3. Tercer curso. Contenidos:
7. Control y robótica. Máquinas automáticas y Robots: automatismos. Arquitectura de un Robot. Elementos mecánicos y eléctricos para que un Robot se mueva.
Criterios de evaluación: 9. Montar, utilizando sistemas mecánicos y eléctricos, un Robot sencillo con capacidad de movimiento dirigido.
Tecnología 4 (optativa). Cuarto curso. Contenidos:
6. Control y robótica. Percepción del entorno: sensores empleados habitualmente. Lenguajes de control de Robots: programación. Realimentación del sistema.
Criterios de evaluación: 7. Montar un Robot que incorpore varios sensores para adquirir información en el entorno en el que actúa. 8. Desarrollar un programa que permita controlar un Robot y su funcionamiento de forma autónoma en función de la realimentación que reciba.

8.1.2. Formación en la universidad: enseñanzas de Grado

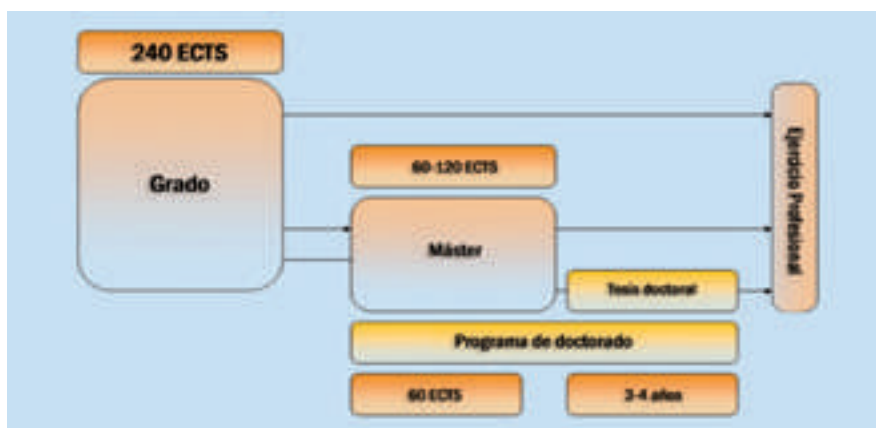
El proceso de convergencia europea en el mundo de la educación superior, planteado a finales del siglo pasado, ha dado lugar a que en las universidades europeas se cree un espacio común en el que los estudiantes se muevan con plena libertad a la hora de estudiar y de lograr su proyección profesional. Se trata de conseguir un marco legal homologable al validar la formación en distintos países europeos, promoviendo de esta forma un auténtico intercambio de culturas y de desarrollo del cosmopolitismo entre los más jóvenes.

En este contexto, la formación universitaria en España está actualmente inmersa en un proceso de cambio para su adaptación al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), la denominada Declaración de Bolonia de 1999. Las universidades españolas han reajustado su oferta académica, al tener que convertir forzosamente sus titulaciones al nuevo esquema de Grado + Máster + Doctorado establecido en la Ley Orgánica 4/2007, de 12 de abril, por la que se modifica la Ley Orgánica 6/2001 de Universidades de 21 de diciembre. Adicionalmente, se establece que dichas enseñanzas se agruparán en cinco ramas de conocimiento: (1) Artes y Humanidades; (2) Ciencias; (3) Ciencias de la Salud; (4) Ciencias Sociales y Jurídicas; y (5) Ingeniería y Arquitectura.

8.1.2.1. Estructura universitaria adaptada al Espacio Europeo de Educación Superior

El Real Decreto 1393/2007, modificado por el Real Decreto 861/2010, establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales, concretando la estructura mostrado en la Figura 8.3, de acuerdo con las líneas generales emanadas del Espacio Europeo de Educación Superior (EEES).

Figura 8.3: Estructura de las enseñanzas universitarias en España (fuente Ministerio de Educación).



En este Real Decreto podemos encontrar las características básicas de cada uno de los citados ciclos: (1) Las enseñanzas de Grado tienen como finalidad la obtención por parte del estudiante de una formación general, en una o varias disciplinas, orientada a la preparación para el ejercicio de actividades de carácter profesional; (2) Las enseñanzas de Máster tienen como finalidad la adquisición por el estudiante de una formación avanzada, de carácter especializado o multidisciplinar, orientada a la especialización académica o profesional, o bien a promover la iniciación en tareas investigadoras; y (3) Las enseñanzas de Doctorado tienen como finalidad la formación avanzada del estudiante en las técnicas de investigación, podrán incorporar cursos, seminarios u otras actividades orientadas a la formación investigadora e incluirá la elaboración y presentación de la correspondiente Tesis Doctoral, consistente en un trabajo original de investigación.

Según el citado Real Decreto, el haber académico que representa el cumplimiento de los objetivos previstos en los planes de estudios conducentes a la obtención de títulos universitarios oficiales se medirá en créditos europeos (ECTS), entendidos como la medida de la cantidad de trabajo del estudiante para cumplir los objetivos del programa de estudios. Así, en el caso general, las enseñanzas de Grado tendrán 240 ECTS y las enseñanzas de Máster entre 60 y 120 ECTS. El acceso al período investigador del Programa de Doctorado requerirá haber superado 300 ECTS en el conjunto de Grado y Máster.

Es importante resaltar que todos los estudios conducentes a títulos oficiales se rigen, en las universidades públicas, por el sistema de precios públicos que son establecidos por las Comunidades Autónomas, dentro de los límites que fija el Consejo de Universidades.

Para hacer cualquier análisis de contenidos hay que tener en cuenta que en estos momentos conviven, en las enseñanzas universitarias, titulaciones con el sistema antiguo (denominados actualmente de ciclo corto y de ciclo largo) y los títulos emanados del nuevo sistema adaptado al EEES. Además, en la mayoría de las universidades, los nuevos títulos de Grado se han empezado a impartir en los dos últimos cursos, con lo cual no se dispone todavía de información detallada de contenidos de asignaturas de todos los cursos.

Por todo ello, analizar la situación actual de la enseñanza de la robótica en la universidad es muy complejo. En cada escuela o facultad influyen muchas variables para el desarrollo de los planes de estudio y la situación es poco homogénea. Se ofrecen cursos de robótica en grados, másteres (tanto académicos como profesionales) y otros cursos de Posgrado. Actualmente, muchas universidades han adaptado los planes de estudio al marco del Espacio Europeo de Educación Superior, ofreciendo nuevos cursos a la vez que aún mantienen vigente los planes anteriores. En bastantes centros se ofertan ya cursos de posgrado según las propuestas del nuevo marco de educación europeo.

Además, en muchas asignaturas, el término robótica no se refleja directamente en el título de la misma, apareciendo solamente en el texto de la correspondiente guía docente. También, muchas veces los contenidos de robótica están asociados a asignaturas muy diversas que tratan de sistemas flexibles de fabricación, CAM

(*Computer Aided Manufacturing*), control y programación de robots, tecnología de control, automatismos, mecatrónica, microsistemas, automática avanzada, inteligencia artificial, etc. Los planes de estudio, donde la robótica está directa o indirectamente relacionada, pertenecen principalmente a estudios de Ingeniería Industrial, Informática, Telecomunicaciones y Mecatrónica. La situación es tan variada que, incluso en titulaciones equivalentes, la asignatura puede aparecer como troncal, obligatoria, como optativa o asignatura de libre elección.

El equipamiento de laboratorio para la formación práctica es también muy diverso según el centro o asignatura que se trate. Muchas veces, el alumno trabaja con programas de simulación que permiten ahondar en los algoritmos de control. Algunas asignaturas cuentan con programas de simulación de robots en 3D que permiten valorar el espacio de trabajo, los movimientos y la detección de colisiones. Cada vez más existen laboratorios que cuentan con modernos robots industriales con los que se puede practicar en entornos reales, utilizando las herramientas de programación que se emplean también en la industria. Sin embargo, debido al alto coste de adquisición, mantenimiento y condiciones de seguridad, generalmente se suele tener uno o pocos equipos industriales dentro del mismo laboratorio. Por ello, muchas veces se manejan robots educativos simples, que en ciclos formativos inferiores podrían considerarse suficientes, pero no en la enseñanza universitaria. Considerando que el estudio de la dinámica del robot forma parte del temario en aproximadamente el 80% de las asignaturas de introducción a la robótica, se produce la paradoja que no se han encontrado prácticas de dinámica con robots reales, a excepción de muy pocas algunas asignaturas de títulos de Máster.

A continuación se hace un balance de los diferentes estudios universitarios de Grado, así como de los estudios de ingeniería de planes de estudios en proceso de extinción.

8.1.2.2. Las enseñanzas universitarias de Grado

Con objeto de garantizar una mínima homogeneidad en las enseñanzas universitarias de Grado, se define una estructura común que contendrá toda la formación teórica y práctica que el estudiante debe adquirir: (1) Aspectos básicos de la rama de conocimiento; (2) Materias obligatorias u optativas, seminarios, prácticas externas, trabajos dirigidos; (3) Trabajo de Fin de Grado; y (4) Otras actividades formativas.

La enseñanza de la robótica y materias afines como la visión por computador, la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, de interés para nuestra comunidad, encuentra cobijo en las actuales enseñanzas de Grado, principalmente en el ámbito industrial, aunque también en el ámbito informático. Así, en el ámbito industrial, la orden CIN/351/2009, de 9 de febrero, establece los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Técnico Industrial según se indica en la Tabla 8.3.

Tabla 8.3: Estructura de los títulos de Grado del ámbito industrial.

Módulo	ECTS (mínimo)
Formación básica	60
Rama industrial	60
Tecnología específica (Mecánica, Eléctrica, Química Industrial, Textil, Electrónica Industrial)	48
Trabajo de Fin de Grado	12

Entre las competencias que deben adquirirse tras la consecución del plan de estudios destacaríamos la competencia de la rama industrial: Conocimientos sobre los fundamentos de automatismos y métodos de control.”

Así como las competencias de la tecnología específica de Electrónica Industrial:

- Conocimiento y capacidad para el modelado y simulación de sistemas.
- Conocimientos de regulación automática y de técnicas de control y su aplicación a la automatización industrial.
- Conocimientos de principios y aplicaciones de los sistemas robotizados.
- Conocimiento aplicado de informática industrial y comunicaciones.
- Capacidad para diseñar sistemas de control y automatización industrial.

Ejemplo 8.1. Grado en Ingeniería Electrónica y Automática de la Universidad de Zaragoza.

A modo de ejemplo de una de las titulaciones de Grado en el ámbito industrial que han aparecido reciente sirva considerar el Grado en Ingeniería Electrónica y Automática de la Universidad de Zaragoza, que oferta al estudiante, dentro de la tecnología específica de Electrónica Industrial, las asignaturas que se muestran en la Tabla 8.4.

Tabla 8.4: Asignaturas de tecnología específica del Grado en Ingeniería Electrónica y Automática de la Universidad de Zaragoza.

Asignatura	ECTS
Electrotecnia	6
Electrónica Analógica	6
Electrónica Digital	6
Sistemas Electrónicos Programables	10
Electrónica de Potencia	6
Instrumentación Electrónica	6
Señales y Sistemas	6
Ingeniería de Control	6
Robótica Industrial	6
Automatización Industrial	6

Debido a su mayor afinidad con los objetivos de este capítulo seleccionaríamos dos de las citadas asignaturas. En primer la asignatura “Robótica Industrial” (6 ECTS) cuyos resultados de aprendizaje son:

- Conocer en profundidad los subsistemas de accionamiento, sensorial y de control de un robot industrial.
- Conocer los fundamentos técnicos para abordar el diseño del sistema de control y programación de un robot industrial.
- Adquirir habilidades para modelar y programar un robot industrial.
- Evaluar la conveniencia y viabilidad de robotizar procesos productivos, atendiendo a aspectos económicos, de calidad y seguridad.
- Saber diseñar una célula robotizada, seleccionando el robot e integrándolo con otros elementos del proceso productivo, y diseñar la aplicación robótica, utilizando el lenguaje de programación suministrado con el robot.

Adicionalmente la mencionada titulación oferta un módulo optativo de 30 ECTS denominado “Automatización y Robótica” cuyos resultados de aprendizaje son los siguientes:

- Conocer y aplicar las técnicas básicas de la robótica móvil.
- Conocer y aplicar técnicas básicas de visión por computador.
- Diseñar y analizar sistemas de control de sistemas discretos.
- Conocer y aplicar técnicas de desarrollo de sistemas tiempo real.
- Saber utilizar la simulación como técnica de análisis de sistemas, tanto continuos como discretos.
- Tener un conocimiento práctico de los anteriores aspectos.

En lo que respecta al ámbito informático, la resolución de 8 de junio de 2009, de la Secretaría General de Universidades, estableció las recomendaciones para la propuesta por las universidades de memorias de solicitud de títulos oficiales en los ámbitos de la Ingeniería Informática, Ingeniería Técnica Informática e Ingeniería

Química. En particular, la Tabla 8.5 muestra la estructura de las titulaciones de Grado conducentes al ámbito de la Ingeniería Técnica Informática.

Tabla 8.5: Estructura de los títulos de grado del ámbito informático.

Módulo	ECTS (mínimo)
Formación básica	60
Rama informática	60
Tecnología específica (Ingeniería del Software, Ingeniería de Computadores, Computación, Sistemas de Información, Tecnologías de la Información)	48
Trabajo de Fin de Grado	12

Entre las competencias que deben adquirirse tras la consecución del plan de estudios destacaríamos la competencia de la rama informática: Conocimiento y aplicación de los principios fundamentales y técnicas básicas de los sistemas inteligentes y su aplicación práctica.”

Así como las competencias de la tecnología específica de computación:

- Capacidad para conocer los fundamentos, paradigmas y técnicas propias de los sistemas inteligentes y analizar, diseñar y construir sistemas, servicios y aplicaciones informáticas que utilicen dichas técnicas en cualquier ámbito de aplicación.
- Capacidad para adquirir, obtener, formalizar y representar el conocimiento humano en una forma computable para la resolución de problemas mediante un sistema informático en cualquier ámbito de aplicación, particularmente los relacionados con aspectos de computación, percepción y actuación en ambientes o entornos inteligentes.

Ejemplo 8.2: Grado en Ingeniería en Informática, Universidad de Málaga.

La titulación de Grado en Ingeniería en Informática de la Universidad de Málaga se ha desarrollado siguiendo estas directrices. Entre las asignaturas que se ofertan al estudiante destacaríamos la denominada “Robótica” de 6 ECTS y correspondiente a la tecnología específica de “Computación” cuyos resultados de aprendizaje son:

- Explicar las posibilidades y limitaciones de los robots actuales.
- Explicar los componentes de un robot (sensores, actuadores, software, elementos mecánicos, etc.), su funcionamiento como elementos individuales, y su funcionamiento como un sistema.
- Explicar y aplicar los métodos básicos de procesamiento de datos sensoriales para captar información del entorno.
- Explicar y aplicar los algoritmos básicos de planificación de movimientos.

- Programar un robot para que realice operaciones básicas en entornos no totalmente controlados.
-

Ejemplo 8.3: Grado en Ingeniería Informática, Universidad de Zaragoza.

En ella se puede encontrar la asignatura “Inteligencia Artificial” (6 ECTS) de la rama informática con los siguientes resultados de aprendizaje:

- Conocer los fundamentos, historia, principios y aplicaciones de los sistemas inteligentes.
- Aplicar técnicas de búsqueda para la resolución de problemas y juegos con adversario.
- Comprender las técnicas básicas de planificación y su aplicación práctica.
- Aplicar distintas técnicas de representación del conocimiento y razonamiento para la resolución de problemas.
- Conocer los principios de diseño y arquitecturas de los sistemas cooperativos multi-agente.
- Analizar qué problemas pueden abordarse mediante técnicas de aprendizaje automático, y aplicarlas en casos sencillos.
- Conocer los distintos campos de aplicación real de la inteligencia artificial y ser capaz de desarrollar aplicaciones prácticas sencillas en algunos de ellos.

En este mismo título de Grado, la asignatura “Aprendizaje” (6 ECTS) correspondiente a la tecnología específica de “Computación” presenta los siguientes resultados de aprendizaje:

- Conocer las técnicas básicas de aprendizaje automático y explicar sus diferencias.
- Determinar qué técnica de aprendizaje es más apropiada para un problema determinado.
- Implementar algoritmos simples para aprendizaje supervisado, aprendizaje por refuerzo, y aprendizaje no supervisado en problemas reales.
- Caracterizar el estado del arte en aprendizaje automático, logros y limitaciones.

8.1.3. Formación en la universidad: enseñanzas de Postgrado

Los programas de Máster y Postgrado están orientados hacia una formación avanzada y actualizada y es, por tanto, donde aparecen programas con más contenidos específicos de robótica. Estos programas proporcionan una especialización académica profesional, además de estar orientados a promover la investigación y tienen características propias diferenciadas (especialización, formación pedagógica, reciclaje) y pueden tener una duración variable.

Para iniciar los cursos de Máster y Postgrado, es necesario estar en posesión del título de Grado u otro expresamente declarado equivalente. El Máster es una

titulación de especialización académica y profesional, de una duración de entre 60 y 120 créditos ECTS, que contendrá toda la formación teórica y práctica que el estudiante deba adquirir: materias obligatorias, materias optativas, seminarios, prácticas externas, trabajos dirigidos, Trabajo de Fin de Máster, actividades de evaluación, y otras que resulten necesarias según las características propias de cada título. Una vez superados los créditos del programa de estudios se obtiene el título de Máster.

Por otro lado, los cursos de Postgrado son enseñanzas complementarias destinadas a la ampliación de los conocimientos de tipo específico o multidisciplinario, relacionados con los estudios anteriormente realizados. Se caracterizan por una duración inferior a la del Máster. Una vez superados se obtiene el Diploma de Postgrado. Muchas universidades ofrecen programas combinados de Máster y Postgrado. Así, un programa de Postgrado puede, entre otras opciones, contener: un solo Máster, un conjunto de materias o módulos conducentes a la obtención de varios títulos de Máster o estudios de Máster y Doctorado. En función de los módulos de formación elegidos, el estudiante obtendría un diploma de Máster o de Postgrado.

Al igual que en el caso de las enseñanzas de Grado, también los descriptores relacionados con la robótica y materias afines pueden encontrarse en las enseñanzas de Máster Universitario, tanto del ámbito industrial como del ámbito informático, concretamente en el Máster Universitario en Ingeniería Industrial y el Máster Universitario en Ingeniería Informática, respectivamente.

8.1.3.1. Máster Universitario

En el caso del ámbito industrial, la orden CIN/311/2009, de 9 de febrero, establece los requisitos para la verificación de los títulos universitarios oficiales que habiliten para el ejercicio de la profesión de Ingeniero Industrial, según se indica en la Tabla 8.6.

Tabla 8.6: Estructura del Máster Universitario en Ingeniería Industrial.

Módulo	ECTS (mínimo)
Tecnologías industriales	30
Gestión	15
Instalaciones, plantas y construcciones complementarias	15
Trabajo de Fin de Máster	6

Entre las competencias que deben adquirirse tras la consecución del plan de estudios destacaríamos la competencia del módulo de tecnologías industriales: Capacidad para diseñar y proyectar sistemas de producción automatizados y control avanzado de procesos.

En el caso del ámbito informático, la resolución de 8 de junio de 2009, de la Secretaría General de Universidades, establece las recomendaciones para la propuesta por las universidades de memorias de solicitud de títulos oficiales en los ámbitos de la Ingeniería Informática, Ingeniería Técnica Informática e Ingeniería Química, según se indica en la Tabla 8.7.

Entre las competencias que deben adquirirse tras la consecución del plan de estudios destacaríamos la competencia del módulo de tecnologías informáticas: Capacidad para aplicar métodos matemáticos, estadísticos y de inteligencia artificial para modelar, diseñar y desarrollar aplicaciones, servicios, sistemas inteligentes y sistemas basados en el conocimiento.

Tabla 8.7: Estructura del Máster Universitario en Ingeniería Informática.

Módulo	ECTS (mínimo)
Dirección y gestión	12
Tecnologías informáticas	48
Trabajo de Fin de Máster	6

Ejemplo 8.4: Máster en Ingeniería Informática, Universidad Carlos III de Madrid, 90 ECTS (Plan de estudios publicado en el BOE de 27 de septiembre de 2010).

Dentro del desarrollo de las materias que aparecen en la Tabla 8.8 cabe destacarse la presencia de dos asignaturas en el ámbito de la Robótica.

Tabla 8.8: Estructura del Máster en Ingeniería Informática, Universidad Carlos III de Madrid.

Materias	Tipo	ECTS
Dirección de proyectos e integración de sistemas	Obligatoria	12
Sistemas inteligentes	Obligatoria	12
Sistemas de información	Obligatoria	9
Empresa y Gestión Informática	Obligatoria	12
Automática y Telemática	Obligatoria	9
Técnicas de Computación	Obligatoria	15
Sistemas Multimedia	Obligatoria	9
Trabajo de Fin de Máster	Obligatoria	12

Como ejemplo, se analiza la asignatura “Diseño de Sistemas Inteligentes” (6 ECTS):

Competencias:

- Capacidad para aplicar métodos matemáticos, estadísticos y de inteligencia artificial para modelar, diseñar y desarrollar aplicaciones, servicios, sistemas inteligentes y sistemas basados en el conocimiento.
- Capacidad para proyectar, calcular y diseñar sistemas inteligentes.
- Capacidad para la aplicación de los conocimientos adquiridos y de resolver problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios y multidisciplinares, siendo capaces de integrar estos conocimientos.

Resultados de aprendizaje:

- Ser capaz de diseñar un sistema inteligente seleccionando la arquitectura más adecuada.
- Ser capaz de integrar en un sistema informático características de percepción computacional y actuación.
- Ser capaz de seleccionar el mecanismo de representación más adecuado para el modelado de un sistema inteligente.
- Ser capaz de construir sistemas que integren técnicas de razonamiento, planificación, búsqueda, control y aprendizaje.
- Conocer los métodos matemáticos, estadísticos y de inteligencia artificial que se usan en el diseño y construcción de sistemas inteligentes.
- Ser capaz de diseñar y construir sistemas inteligentes que permitan la toma de decisiones para la resolución de problemas con información incompleta o cambiante

Contenidos:

- Sistemas inteligentes: diseño, arquitecturas cognitivas y de ejecución.
- Percepción computacional, sensorización y actuación.
- Representación del conocimiento, modelado de sistemas inteligentes.
- Razonamiento, planificación, búsqueda y control de sistemas inteligentes.
- Aprendizaje de sistemas inteligentes.

A continuación se expone la asignatura “Sistemas de producción automatizados” (3 ECTS):

Competencias:

- Conocer los fundamentos de los sistemas de producción automatizados.
- Adquirir la capacidad para ampliar estos conocimientos y aplicarlos al desarrollo de proyectos informáticos relacionados con la producción.
- Capacidad para la puesta en marcha, dirección y gestión de procesos de fabricación, con garantía de la seguridad para las personas y bienes, la calidad final de los productos y su homologación.
- Capacidad para la dirección de obras e instalaciones de sistemas informáticos, asegurando la calidad del servicio.
- Capacidad para proyectar, calcular y diseñar procesos de fabricación de equipamiento informático.

Resultados de aprendizaje:

- Conocimientos sobre los fundamentos de sistemas de producción automatizados
- Conocimientos y capacidad de desarrollar un sistema informático para supervisión industrial
- Saber diseñar procesos de fabricación automatizada de equipos informáticos.
- Conocer los fundamentos de las instalaciones de sistemas informáticos

Contenidos:

- Fundamentos de los sistemas de producción
- Fundamentos de automatización de sistemas industriales.
- Sistemas robotizados y células flexibles de fabricación.
- Sistemas automatizados de almacenamiento y transporte.
- Sistemas integrados de fabricación. Sistemas SCADA.
- Instalaciones de sistemas informáticos.

El actual marco normativo profundiza en la concepción y expresión de la autonomía universitaria permitiendo que sean las propias universidades las que creen y propongan, de acuerdo con las reglas establecidas, las enseñanzas y títulos que hayan de impartir y expedir, sin sujeción a la existencia de un catálogo previo establecido por el Gobierno, como hasta ahora era obligado. En esta línea argumental se sustentan buena parte de los másteres universitarios ofertados en las diversas universidades españolas.

Ejemplo 8.5: Máster Universitario en Robótica y Automatización, Universidad Carlos III de Madrid, 90 ECTS (Plan de estudios publicado en el BOE de 17 de septiembre de 2010).

Tabla 8.9: Asignaturas del Máster Universitario en Robótica y Automatización, Universidad Carlos III de Madrid.

Materias	Tipo	ECTS
Control inteligente	Optativa	6
Modelización y simulación de sistemas dinámicos	Optativa	6
Planificación de tareas y movimientos de robots	Optativa	6
Procesamiento de imágenes por computador	Optativa	6
Robots autónomos inteligentes	Optativa	6
Teleoperación y telepresencia en robótica	Optativa	6
Manipuladores móviles	Optativa	3
Robots personales y asistenciales	Optativa	3
Robots espaciales	Optativa	3
Robótica y automatización en la construcción	Optativa	3
Robots humanoides	Optativa	3
Sistemas inteligentes de transporte	Optativa	3
Robots móviles	Optativa	3
Vehículos aéreos no tripulados	Optativa	3
Robótica industrial	Optativa	6
Automatización de sistemas industriales	Optativa	6
Seminarios	Optativa	1-2
Trabajo de investigación tutelado	Obligatoria	6
Tesis de Máster	Obligatoria	30

8.1.3.2. Máster Erasmus-Mundus

Los estudios oficiales de Máster *Erasmus Mundus* integran un conjunto de cursos de alto nivel que son impartidos por un consorcio formado, por al menos, tres universidades de tres países europeos diferentes. Son cursos integrados porque tienen un plan de estudios conjunto y comportan un período de estudio en al menos dos de las universidades participantes. Estos estudios están regulados por el Real Decreto 861/2010, de 2 de julio, por el que se modifica el Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales. Las titulaciones conjuntas creadas mediante consorcios internacionales en las que participen instituciones de Educación Superior españolas y extranjeras y que hayan sido evaluadas y seleccionadas por la Comisión Europea en convocatorias competitivas como programas de excelencia con el sello *Erasmus Mundus*, se entenderá que cuentan con el informe favorable de verificación.

Este tipo de másteres están pensados para fortalecer la cooperación europea y los vínculos internacionales en la enseñanza superior, ya que, sin duda, fomentan la movilidad de los estudiantes universitarios europeos hacia países terceros.

Ejemplo 8.6: VIBOT - *Erasmus Mundus Masters in Vision and robotics* (Universidad de Gerona, Université de Bourgogne y Heriot-Watt University).

El Máster VIBOT se estructura en cuatro semestres que proporcionan una formación integral en los ámbitos de la Visión por Computador y la Robótica como ilustra la Tabla 8.10.

Tabla 8.10: Estructura del Máster VIBOT.

Semestre	Universidad	Materia
1	Université de Bourgogne	Fundamentos de procesamiento de imágenes Adquisición de información sensorial Matemáticas Computación
2	Universidad de Gerona	Procesamiento de imágenes y reconocimiento de patrones Visión por Computador e imagen médica Introducción a la Robótica
3	Heriot-Watt University	Procesamiento de alto nivel Implementación en tiempo real de algoritmos de visión y robótica
4	Indistinta	Período investigador

8.1.3.3. Formación de Doctorado

En fechas recientes ha entrado en vigor el Real Decreto 99/2011, de 28 de enero, que regula la organización de los estudios de Doctorado correspondientes al tercer ciclo de las enseñanzas universitarias oficiales conducentes a la obtención del título de Doctor, con carácter oficial y validez en todo el territorio nacional. Este decreto entiende por Doctorado el tercer ciclo de estudios universitarios oficiales, conducente a la adquisición de las competencias y habilidades relacionadas con la investigación científica de calidad.

La duración de los estudios de Doctorado será de un máximo de tres años, a tiempo completo, a contar desde la admisión del doctorando al programa hasta la presentación de la Tesis Doctoral, entendiéndose como un trabajo que debe incorporar resultados originales de investigación. En los casos en que se realicen los estudios de Doctorado a tiempo parcial la duración máxima podría extenderse hasta los cinco años.

La obtención del título de Doctor debe proporcionar una alta capacitación profesional en ámbitos diversos, especialmente en aquellos que requieren creatividad e innovación. Los doctores deben adquirir, al menos, las siguientes capacidades y destrezas personales para:

- Desenvolverse en contextos en los que hay poca información específica.
- Encontrar las preguntas claves que hay que responder para resolver un problema complejo.
- Diseñar, crear, desarrollar y emprender proyectos novedosos e innovadores en su ámbito de conocimiento.
- Trabajar tanto en equipo como de manera autónoma en un contexto internacional o multidisciplinar.

Para el acceso a un programa oficial de Doctorado será necesario estar en posesión de los títulos oficiales españoles de Grado, o equivalente, y de Máster Universitario, aunque existen otros supuestos de interés que permiten igualmente el acceso: (a) Estar en posesión de un título universitario oficial español, o de otro país integrante del Espacio Europeo de Educación Superior, que habilite para el acceso a Máster de acuerdo con lo establecido en el artículo 16 del Real Decreto 1393/2007, de 29 de octubre y haber superado un mínimo de 300 créditos ECTS en el conjunto de estudios universitarios oficiales, de los que, al menos 60, habrán de ser de nivel de Máster y (b) Estar en posesión de un título oficial español de Graduado, cuya duración, conforme a normas de derecho comunitario, sea de al menos 300 créditos ECTS. Dichos titulados deberán cursar con carácter obligatorio los complementos de formación a que se refiere el artículo 7.2 de esta norma, salvo que el plan de estudios del correspondiente título de Grado incluya créditos de formación en investigación, equivalentes en valor formativo a los créditos en investigación procedentes de estudios de Máster.

En cualquier caso, las universidades podrán establecer requisitos y criterios adicionales para la selección y admisión de los estudiantes a un concreto programa de Doctorado.

La Tabla 8.11 muestra una relación de programas oficiales de Doctorado relacionados con la Robótica, según el RD 1393/2007, que deberán adaptarse a lo dispuesto en el nuevo RD con anterioridad al inicio del curso académico 2013-2014. En todo caso tales programas deberán quedar completamente extinguidos con anterioridad al 30 de septiembre de 2017.

Tabla 8.11: Ejemplos de programas oficiales de Doctorado RD 1393/2007 vinculados con la Robótica (fuente RUCT)

Programa Oficial de Doctorado	Universidad
Automática, Robótica e Informática	U. Politécnica de Valencia
Automática, Robótica y Telemática	U. Sevilla
Automática, Robótica y Visión	U. Politécnica de Catalunya
Automática y Robótica	U. País Vasco / EHU
Informática y Automática	U. Salamanca
Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática	U. Carlos III de Madrid
Ingeniería Eléctrica, Electrónica y Automática	U. Extremadura
Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones	U. Rovira i Virgili
Visión Artificial	U. Rey Juan Carlos
Electrónica: Sistemas Electrónicos Avanzados,	
Sistemas Inteligentes	U. Alcalá
Sistemas Inteligentes en la Ingeniería	U. León

8.1.4. Formación en la universidad: enseñanzas en extinción

En la actualidad, el conjunto de universidades españolas han comenzado el proceso de extinción de sus titulaciones de ciclo corto y ciclo largo regidas por la normativa previa al RD 1393/2007.

Entre dichas enseñanzas universitarias no existe ningún título de Grado con contenidos específicos en robótica. La titulación de segundo ciclo de Ingeniero en Automática y Electrónica Industrial, que se imparte en 17 universidades, es la única que tiene una materia troncal con nombre y contenidos de robótica (Tabla 8.12).

Tabla 8.12. Troncalidad en robótica del título de Ingeniero en Automática y Electrónica Industrial

Denominación	Créditos anuales			Breve descripción del contenido
	Totales	Teóricos	Prácticos	
Control y programación de robots	6	3	3	Modelado, programación y control de robots. Planificación de tareas e interacción con el entorno.

La robótica también aparece como materia optativa, asociada a un bloque de optatividad de Automática y Electrónica o similar, en la mayoría de los títulos siguientes:

- Ingeniero Industrial (especialidad Automática y Electrónica)
- Ingeniero Técnico Industrial Especialidad en Electrónica Industrial

Aunque también pueden aparecer asignaturas optativas de robótica en los planes de estudios de otras titulaciones en algunas universidades, tales como:

- Ingeniero en Informática
- Ingeniero Técnico Informática de Sistemas
- Ingeniero de Telecomunicación
- Ingeniero de Minas

En todo caso, existen otras materias de las diferentes titulaciones de ingeniería que incluyen en sus contenidos temas de robótica y sus aplicaciones. También existen otras materias con una fuerte relación con la robótica y que incluso muchas veces aparecen, tal como se ha indicado, con denominaciones muy diversas.

8.2. Formación en empresas

La formación en la empresa tiene una doble motivación generada por necesidades de diferente origen. Por un lado, busca la formación continua de los profesionales que trabajan en sectores donde la robótica y la automatización juega un papel fundamental. Estos profesionales, técnicos en la gran mayoría de las ocasiones, suelen requerir cursos de formación específicos de los equipos e instalaciones que van a ser utilizados en la empresa. Por otra parte, trata de dar formación a personal que no tiene los conocimientos suficientes para adaptarlos a las nuevas tecnologías y necesiten desarrollar, dentro de un ámbito concreto, alguna actividad que requiera tener algún nivel de conocimiento en robótica. En este segundo caso, la formación suele ser más generalista y no acostumbra abordar aspectos concretos de robótica en profundidad.

En cuanto al tipo de empresas que dan formación, cabe distinguir dos grupos. El primero es el de las empresas fabricantes de robots o sistemas relacionados con su integración en los procesos productivos. La mayoría de estas empresas ofrece cursos específicos sobre todos los aspectos necesarios para la correcta utilización de los robots. Dada la complejidad de un robot industrial, estas empresas son las primeras interesadas en formar a los profesionales que tendrán que sacar partido a sus productos. El segundo grupo abarca las ingenierías que se encargan de diseñar las aplicaciones con robots. En este caso, la formación a sus clientes habitualmente sólo abarca los aspectos necesarios para poder manejar correctamente la aplicación o maquinaria desarrollada.

Las universidades también imparten formación en robótica y temas afines a las empresas. Bien mediante acuerdos particulares entre universidad y empresa o bien dentro de programas generales de formación continua.

Las empresas fabricantes de robots suelen tener un departamento dedicado a la formación de sus clientes. Algunas empresas tienen centros exclusivos para la formación, los cuales tienen instructores experimentados, los robots más característicos y réplicas de procesos productivos para poder practicar. Así pues, los cursos suelen realizarse en estas infraestructuras y, por lo tanto, los profesionales en formación tienen que trasladarse hasta ellas. Las grandes empresas de robótica en España tienen centros de formación en el territorio nacional y centros en el extranjero.

Los cursos suelen ser muy específicos y de corta duración. La mayoría de ellos tienen una duración de entre 10 y 40 horas. Además suelen ser impartidos de manera muy intensa, concentrando estas horas entre 1 y 5 días consecutivos. Dada la especificidad de los cursos, se pueden establecer diferentes niveles y, por lo tanto, prerequisites para acceder a ellos. Evidentemente, se realizará una formación más o menos intensa según la necesidad de cada cliente.

Los contenidos de los cursos no cubren aspectos generales de la robótica, sino aspectos específicos del robot para el cual se necesita formación. Cada curso está dirigido a un perfil profesional determinado, de entre los que podríamos mencionar: profesionales técnicos de FP, personal de mantenimiento, oficina técnica y proyectistas de maquinaria. Así pues, se ofrecen cursos sobre mantenimiento mecánico, mantenimiento eléctrico, operación del robot, programación y utilización del software de simulación. También se imparten cursos en los que se explica cómo utilizar el robot y cómo solucionar los principales problemas en aplicaciones de manipulación, soldadura, sellado, paletizado, visión por computador, etc. La documentación que se entrega a los asistentes suele ser muy completa y el número de alumnos es siempre reducido, lo que permite al instructor personalizar los aspectos que más interesen.

Las empresas usuarias tienden a formar primero a los técnicos de mantenimiento, y luego al personal que trabaja con el robot a diario. No obstante, la formación también va dirigida al personal involucrado con el diseño y la programación de la celda de trabajo del robot, que serán los principales responsables en mejorar la productividad del robot. Con respecto al personal de mantenimiento, la formación asegura intervenciones rápidas y efectivas. Finalmente, la formación contribuye también a la seguridad del personal, un aspecto esencial en todos los cursos de formación en empresas.

8.3. Divulgación social

La robótica es una especialidad que tiene cierta facilidad para atraer el interés de un público más amplio que el de los propios especialistas. La literatura y el cine están llenos de ejemplos en los que los robots son protagonistas. La promesa del

“esclavo mecánico” ha calado bien hondo en la sociedad, con el beneficio que ello implica para el desarrollo de la especialidad y también los riesgos porque crea falsas expectativas.

En esta sección, se recogen todo tipo de eventos destinados a aumentar la visibilidad de la robótica a la sociedad. Se dividen en dos grupos: actividades de carácter científico-técnico, organizadas por la comunidad científica o la industria; y otras actividades más participativas, entre las que se incluyen exhibiciones, competiciones y clubes de aficionados, etc.

8.3.1. Divulgación científico-técnica

Existe un nutrido colectivo de personas, agrupado en diferentes organizaciones de ámbito nacional o internacional, que organizan una gran variedad de actividades de divulgación científico y técnica de la robótica. Algunas de las organizaciones más activas son:

- **CEA (Comité Español de Automática** - <http://www.ceautomatica.es/>). Es una asociación sin ánimo de lucro que tiene como objetivo básico el servir de foro y ofrecer el marco para el desarrollo en nuestro país de la automática. Como reestructuración del extinto Comité Español de la IFAC, es el miembro nacional de la Federación Internacional de Control Automático (IFAC) y canaliza las relaciones internacionales de nuestros técnicos y científicos con la misma. CEA ha promovido la creación de diferentes grupos temáticos de trabajo, entre los cuales el Grupo de Robótica (GTRob, <http://www.ceautomatica.es/og/robótica>) es uno de los más activos.
- **AER-ATP (Asociación Española de Robótica y Automatización Tecnologías de la Producción** - <http://www.aeratp.com/>). Es una organización sin ánimo de lucro que agrupa a diferentes miembros o colectivos en los que reside gran parte del empuje y desarrollo de la robótica (AER) y de la automatización tecnologías de la producción (ATP). Esta organización facilita permanentemente todo tipo de información y promueve encuentros especializados sobre diferentes programas y proyectos. La colaboración en la elaboración y difusión de las estadísticas nacionales y mundiales del sector es una de sus actividades más reseñables. Así, se encarga de la elaboración y difusión del catálogo sobre la “Oferta en Automatización de Tecnologías de la Producción y Robótica”. Asimismo, cuida los diferentes aspectos formativos que integran el sector y transmite una proyección del mismo más allá de nuestras fronteras. Como miembro fundador de la Federación Internacional de Robótica (IFR - <http://www.ifr.org>) goza de una posición de privilegio en el contexto mundial.
- **EURON (EUropean RObotics research Network** - <http://www.euron.org>). Es una organización europea formada por grupos de investigación, de la

industria y de la enseñanza que tienen como interés común la investigación y desarrollo en robótica. La participación española en esta organización es notoria alcanzando un 10,5% del número de grupos participantes (26 grupos de un total de 247 miembros). Dentro de las actividades de EURON se encuentra la organización de Escuelas Internacionales.

- **Spanish Chapter del IEEE Robotics and Automation.** Su actividad se centra en la organización de eventos promovidos por el IEEE y en la difusión de la automática y la robótica a través de diversas actividades, tales como las llamadas *Distinguished Lecture*.

Existen diferentes eventos de divulgación científico-técnica en el ámbito de la robótica entre los que cabría destacar la realización de congresos y conferencias, tanto nacionales como internacionales en las que los grupos de investigación españoles demuestran una activa participación. Así, la Tabla 8.13 muestra algunos de los próximos eventos en el ámbito científico de la Robótica, juntos con otros recientemente realizados.

Tabla 8.13: Principales congresos internacionales en el ámbito de la robótica entre Junio 2010 y Octubre 2011.

International Conference on Humanoid Robots. Blend, Eslovenia, Octubre 2011.
IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. San Francisco, CA, EEUU, Septiembre 2011.
European Conference on Mobile Robots. Örebro, Suecia, Septiembre 2011.
IEEE Conference on Automation Science and Engineering. Trieste, Italia, Agosto 2011.
IEEE International Conference on Mechatronics and Automation. Beijing, China, Agosto 2011.
12th Conference Towards Autonomous Robotics System. Sheffield, Reino Unido, Agosto 2011.
18th World Congress of the International Federation of Automatic Control (IFAC), Milano, Italy, Agosto 2011.
IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics. Budapest, Hungría, Julio 2011.
4th International Conference on Research and Education in Robotics. Prague, República Checa, Junio 2011.
2011 Robotics: Science and Systems Conference. Los Angeles, EEUU, Junio 2011.
IEEE 12th International Conference on Rehabilitation Robotics. Zurich, Suiza, Junio 2011.
15th International Conference on Advanced Robotics. Tallinn, Estonia, Junio 2011.
The 16th IASTED International Conference on Robotics and Applications. Vancouver, BC, Canada, Junio 2011.
IEEE International Conference on Robotics and Automation. Shanghai, China, Mayo 2011.
IEEE Systems Conference. Montreal, Canada, Abril 2011.
2011 International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems. Kuming, China, Marzo 2011.
6th ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction. Lausanne, Suiza, Marzo 2011.
IEEE/SICE International Symposium on System Integration. Sendai, Japan, Diciembre 2010.
2010 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. Tianjin, China, Diciembre 2010.
11th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision. Singapur, Diciembre 2010.
2010 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robotics. Nashville, Tennessee, EEUU, Diciembre 2010.
Israeli Conference on Robotics. Herzlia, Israel, Nov-2010.
10th International Symposium on Distributed Autonomous Robotic Systems. Lausanne, Suiza, Noviembre 2010.
2010 Robotics: Science and Systems Conference. Zaragoza, España, Junio 2010.

Entre otras actividades, podemos mencionar que CEA promueve todos los años diferentes cursos de especialización en automática. De ese modo, en 2003 se organizó el curso titulado “Robots Móviles”, impartido por la Universidad de Sevilla y Universidad de Málaga, respectivamente. Posteriormente, en 2005 se organizó el curso titulado “Reconocimiento de formas y fusión sensorial en automática y robótica”, impartido por la Universidad Politécnica de Cataluña.

La participación de miembros de la comunidad robótica española es muy significativa en la organización de congresos internacionales y como miembros de comités de programas, como se puso de manifiesto en el Capítulo 5.

Finalmente indicar la activa participación en la realización de ferias y exhibiciones de carácter industrial, donde diferentes grupos, empresas y organizaciones colaboran para promocionar actividades relacionadas con la automatización y con la robótica. Existen diferentes actividades en este ámbito, tales como las jornadas técnicas que se desenvuelven en salones industriales.

Así, por ejemplo, se realizó la segunda edición del Workshop ROBOT’09, tras el evento iniciado en Zaragoza en año 2007 en el marco del CEDI, cuyo principal objetivo fue dar a conocer los proyectos de investigación que se llevan a cabo en la universidades y centros de investigación españoles, que han llegado a un estado de desarrollo que son susceptibles transferir al mundo industrial. La tercera edición, el Workshop ROBOT’11, se celebrará en Sevilla en Noviembre de 2011.

8.3.2. Otras actividades de divulgación

8.3.2.1. Competiciones de Robots

Las competiciones robóticas son un elemento muy importante en la difusión de las técnicas que se emplean en robótica en combinación con otras técnicas: visión artificial, integración sensorial, planificación, inteligencia artificial, etc. Frecuentemente, se celebran en el marco de jornadas científico-técnicas (tales como *RoboCup*, <http://www.robocup.org/>, desde 1997; o la *Portuguese Robotics Open* <http://robotica2011.ist.utl.pt/> desde 2001), aunque cada vez más forman también parte de evaluaciones de asignaturas docentes relacionadas con la robótica, con lo que se integran el aspecto docente, el competitivo y el evidente carácter lúdico. Asimismo, este tipo de eventos tiene repercusión en los medios de comunicación.

Existen diversas competiciones que se realizan con periodicidad anual o bianual, organizados bien por grupos activos de universidades, bien por clubes de aficionados a la robótica de otras procedencias (Tabla 8.14).

Tabla 8.14: Competiciones de Robots.

Competición	Año 1ª edición	Organizador
EUROBOT	1998	Eurobot Association
ALCABOT-HISPABOT	2000	Departamento de Electrónica, Universidad de Alcalá
Ciudad de Mataró	2000	Club de Robòtica Autònoma, EUPMt, UPC
CYBERTECH	2001	Departamento de Automática, U. Politécnica de Madrid
Campeonato de Euskadi de Microrobots	2001	Universidad de Deusto
Concurso AESS de Robótica	2003	La Rama de Robótica de AESS Estudiantes
ROBOLID (AMUVA)	2003	Asociación de Microbótica, Univ. de Valladolid
ROBO-CAMPEONES Carlos	2004	Grupo de Robótica de la Universidad de Rey Juan
CAMPUSBOT	2005	Asociación E3 Futura, Campus Party
MADRIDBOT	2005	Centros de C.F.G.S. de Desarrollo de Productos Electrónicos, Comunidad de Madrid.
COMPLUBOT	2005	Universidad Complutense de Madrid
CosmoBot	2008	Obra Social "La Caixa", Alcobendas, Madrid
Concurs Internacional de Robòtica JET	2008	Campus Terrassa, UPC
MalakaBot	2009	IES Politécnico Jesús Marín, Málaga

Desde 2006 el GTRob está organizando el concurso CEABOT. En dicho concurso, que se celebra con carácter anual durante cada edición de las Jornadas de Automática, se realizan pruebas donde se mide el tiempo en que los robots humanoides completan un recorrido caminando y subiendo escaleras. Quizás la prueba más atractiva de CEABOT son luchas de sumo entre robots humanoides.

8.3.2.2. Clubes de robótica

Al igual que con las competiciones, los clubes de robótica frecuentemente tienen su origen en grupos universitarios, aunque cada vez más se van incorporando grupos heterogéneos de jóvenes aficionados de diferente procedencia que no tienen necesariamente una vinculación en la formación que poseen. Cabe señalar como excepción el grupo ARDE, que tiene una gran actividad, que incluye la organización de eventos (Tabla 8.15).

Tabla 8.15: Clubes de robótica en España.

Club	Año de creación
Club de Robòtica Autònoma, EUPMt, UPC	1998
Grupo de Robòtica, ISA, U.de Salamanca	2000
AMUVA: Asociación de Microbòtica de la Universidad de Valladolid	2001
Agrupacion Robòtica de España (A.R.D.E.)	2005
La Rama de Robòtica de AESS Estudiants	2004
AMUCA: Asociación de Microbòtica de la Universidad de Cádiz.	2005
ESIBOT. E.S. Ingenieros. Universidad de Sevilla	-
Complubot	-

8.4. Conclusiones

La formación es una necesidad reconocida en todas partes como motor de cambio, como una forma de superar la crisis actual en todos los ámbitos de actuación económica y social. Resulta evidente que el nivel de industrialización de un país depende, en gran medida, de unas políticas y programas específicos de apoyo a los sectores claves en los procesos productivos. Es una convicción generalizada que la proliferación y el correcto uso e implantación de la robótica industrial, así como de todas las tecnologías que tan íntimamente lleva consigo la integración de los diferentes sistemas de producción, son herramientas imprescindibles para la economía de un país y para el mantenimiento de unas adecuadas cuotas de competitividad en nuestra industria.

El incremento de la formación en los diferentes niveles de enseñanza contribuye al aumento de la disponibilidad de personas formadas en el ámbito tecnológico. En este sentido, para evitar algunos de los problemas derivados de la aparición de mano de obra barata en países en vía de desarrollo, es necesario que nuestra industria sea más competitiva en los próximos años. Disponer de tecnologías de automatización avanzada en procesos de manufactura es un aspecto clave y, para ello, son necesarios técnicos bien formados en procesos de automatización con robots industriales.

Además, hay que señalar que la robótica de servicios, la no industrial, ya está generando enormes expectativas a nivel mundial y cada vez más se están iniciando nuevos desarrollos y aplicaciones que sin duda jugarán un papel muy importante en un futuro inmediato. Por ello, para dinamizar del desarrollo de la automatización y la robótica es necesario disponer de profesionales formados dentro de este ámbito de la tecnología en los diferentes niveles de formación analizados en este capítulo.

En la enseñanza secundaria se hace necesario incrementar los contenidos de automatización y robótica en el ámbito de la formación profesional con el objetivo de formar técnicos especialistas capacitados para la programación

y mantenimiento de robots y células de fabricación flexible, así como para la modificación de instalaciones industriales que disponen de robots. La programación de robots móviles de bajo precio es una herramienta muy eficaz para la formación en programación de los estudiantes de enseñanza secundaria, ya que permite aunar los conceptos de programación y de experimentación práctica, con un indudable interés lúdico que crea una motivación extra a los estudiantes.

En la educación universitaria, donde se está produciendo el proceso de adaptación al Espacio Europeo de Educación Superior (EEES), se requiere de un profundo análisis de posibilidades y necesidades. Desde el curso académico 2010/11 las nuevas enseñanzas universitarias de Grado y Máster están sustituyendo completamente a las tradicionales licenciaturas y diplomaturas. En este nuevo contexto, los títulos de Grado cuentan con 240 créditos que se impartirán en cuatro años; los primeros 60 créditos corresponderán a enseñanzas comunes de las nuevas cinco grandes ramas de conocimiento: artes y humanidades, ciencias, ciencias de la salud, ciencias sociales y jurídicas, e ingeniería y arquitectura. Las cinco ramas agruparán a todos los títulos de Grado para evitar el abandono prematuro de estudios; así, los universitarios podrán cambiar de carrera, con mayor flexibilidad que en el pasado, dentro de una misma rama de conocimiento. El último curso del Grado incluirá la elaboración y defensa de un Trabajo de Fin de Grado, cuya valoración en créditos se fija en el plan de estudios correspondiente.

Entre las ventajas de esta reforma destacan las facilidades del nuevo sistema para que los estudiantes puedan realizar cursos en el extranjero. Es más, al estar generalizado en América, permite la homologación a otros proyectos como el Espacio Iberoamericano de Conocimiento. También promoverá que los estudiantes realicen al menos un semestre en una universidad extranjera. En cuanto al mercado de trabajo, el nuevo título de Grado facilitará el acceso al mercado de trabajo sin que sea necesario un nivel de formación complementario en buena parte de los casos.

Como resumen de la situación actual de la formación en robótica en la universidad y a la vista de la diversidad existente, creemos que hay que hacer esfuerzos para avanzar hacia una mayor homogenización de contenidos. La homogenización facilita un trabajo en común que pueda ser ampliamente compartido, mejorando así la calidad de la docencia.

Por último, y de acuerdo con una de las premisas del Espacio Europeo de Educación Superior, también es necesario incrementar la formación continuada para reciclar en nuevas tecnologías a profesionales de diferentes ámbitos. La velocidad del cambio es tan grande que obliga a una formación continua de los profesionales, al reciclaje y hasta a la posibilidad de cambiar de profesión. Este contexto justifica un sistema flexible y dinámico de educación permanente de adultos en activo o en paro, de carácter compensador de integración sociocultural, que pueden ofrecer las enseñanzas no regladas. La repercusión de las nuevas tecnologías en la reestructuración del mundo laboral, los problemas del paro, el impacto de las comunicaciones, la modificación de los procesos productivos, la amplitud de los conocimientos, la información disponible y el reto de la competitividad repercuten,

entre otros aspectos, en el mundo de las profesiones y crean la necesidad de adaptarse a nuevos perfiles profesionales.

9

Análisis estratégico de la robótica en España *Strategic analysis of robotics in Spain*



Este capítulo tiene por objetivo el análisis de las actuaciones en robótica en las próximas décadas. El estudio de los planes estratégicos más recientes y significativos ayudará a comprender mejor el futuro de las investigaciones en nuestro entorno socio-económico. Por otro lado, el capítulo analiza el potencial de nuestros investigadores en robótica para que, de esta manera, se puedan identificar los posibles retornos económicos de esa investigación.

Hay que tener en cuenta que el objetivo final del Libro Blanco es sintetizar y priorizar las líneas de I+D+i que pueden convenir a España tanto por sus necesidades socio-económicas, como por su potencial investigador en el área de la robótica y tecnologías afines. La elaboración de las líneas prioritarias para corto, medio y largo plazo es la recomendación final de este capítulo y del Libro Blanco de la Robótica.

The objective of this chapter is to analyze potential future developments in the coming decades. The analysis of the latest and most significant strategic plans will help us to understand better the future of research in our socio-economic scenario. On the other hand, this chapter also concerns the potential of our robotics researchers to identify the possible economic outcomes of this research.

The final objective of this White Book is to summarize and prioritize the R&D lines that are most suitable for Spain bearing in mind our socio-economic needs and the potential of our researchers in robotics and related technologies. A set of priority areas for the short, mid and long terms is the final recommendation of this chapter and of this White Book.

9.1. Líneas estratégicas en el mundo

Es difícil determinar con exactitud cuáles son las líneas estratégicas de investigación en robótica en el mundo. Por un lado, porque la información necesaria para realizar su análisis no siempre está disponible. Por ejemplo, los planes oficiales de países como Japón (definidos normalmente por el METI-*Ministry of Economy, Trade and Industry*) no están publicados y no se difunden, mientras que en la Unión Europea esta información suele ser pública. Por otro lado, los foros internacionales de discusión sobre el futuro de la robótica tampoco están del todo definidos, existiendo numerosos debates sectoriales, en muchos casos con resultados contradictorios. Algunos países, como Estados Unidos, tienen convocatorias de proyectos que se ajustan básicamente a las necesidades del momento, mientras otros países, como Alemania, sí que cuentan con estudios a 10 años vista. Por otro lado, proyectos muy significativos en el pasado muy reciente, como es el caso del proyecto japonés HRP (*Humanoid Robot Project*) en el cual se invirtió más de 37 M\$ sólo en ayudas públicas, actualmente se encuentra parado sin continuación oficial pero con gran actividad privada.

A pesar de lo mencionado, es posible detectar tendencias similares en muchos de los programas nacionales o regionales del mundo. En nuestro caso, el análisis se centrará, en primer lugar, en nuestro entorno socio-económico (Unión Europea) y en los Estados Unidos de América. Y, por último, se llevará a cabo la comparación y se comprobará la complementariedad entre los planes presentados. Estos planes de investigación en robótica son los correspondientes a: EURON (*European Robotics Network*), EUROP (*European Robotics Platform*), FP7 (*European Union 7th Frame Programme*), el IEEE-RAS (*Institute of Electrical and Electronics Engineering – Robotics & Automation Society*) y US Robotics. Un resumen de los mismos se presenta en las tablas mostradas a continuación, en las cuales algunas partes se han dejado sin traducción para respetar el original.

Tabla 9.1: Hoja de ruta de la robótica de servicio del IEEE-RAS.

Estudio	Service Robotics Roadmap
Organismo	IEEE RAS IAB (Industrial Activities Board) roadmap workshop on Intelligent Service Robots
Fecha	03/2005
Información	http://www.ieee-ras.org/
Prioridades de Estados Unidos	
1	Standards
2	Navigation
3	Mobility Systems
4	Manipulation
5	Human-robot interaction
6	Learning
7	Future classifications
8	Cooperation
Prioridades de Alemania	
1	Cleaning
2	Elderly asístanse
3	Able service robots
4	Affordable
5	Capable
6	Dependable
Prioridades de Suecia	
1	Entertainment
2	Personal
3	Home asístanse
4	Elderly services
5	Cognition
Prioridades de Francia	
1	Hazardous environment
2	Medical robotics
3	Edutainment and domestic applications
4	Micro-nano robotics
5	More intelligence
Prioridades de Finlandia	
1	Modular mobile field robots
2	Teleoperation and tele-existance
3	Human-like service robots for outdoor applications
4	Service robots for common daily use
5	Robots and neuro science

Tabla 9.2: Hoja de ruta de la red europea EURON II.

Estudio	EU Robotics Roadmap II
Organismo	EURON II (<i>European Robotics Network II</i>)
Fecha	03/2006 (ampliaciones continuas a través de un sistema tipo wiki)
Información	http://www.iain.ira.uka.de/euron/cwiki.php
Areas claves	
Sistemas avanzados de producción	
1	New light-weigh manipulation Systems
2	Collaborative and responsable Systems
3	Distributed and intelligent planning & scheduling
4	Fault detection, recovery and tolerance
5	Intelligent sensors & auto diagnostic
6	Universal manipulator hand
Sirviente robótico adaptativo & casas inteligentes	
1	Intelligent servant
2	Humanoid robots
3	Human-robot interaction
4	robot miniaturization
5	Agent-based architectures
6	Intelligence: leaning, reasoning, cognition and autonomy
7	Coalescence of robot servant and intelligent homes
Robots en red (network robotics)	
1	Self-organization robot teams
2	Self-configuration robot hardware
3	Miniaturized small-scale robots
4	Distributed sensors-actuators networks
5	Computer Networks
6	Ubiquitous computing
7	Distributed task decomposition, scheduling and assignment
Robots de exteriores	
1	Intelligent transportation systems
2	Intelligent vehicles
3	Disaster managements
4	Underwater vehicles
5	Detection of natural resources
6	Agrarian applications
7	Military and space applications
Cuidado de la salud & calidad de vida	
1	Monitoring of out-patients & telediagnosics
2	Surgical robots
3	Nano-invasive operation techniques
4	Automatic house hold robotics
5	Advanced imaging systems
6	All-purpose medical robots
7	Intelligent instruments
8	Hand-held mechatronics

Tabla 9.3: Agenda estratégica de investigación de la plataforma europea EUROP. Primera Edición (2006)

Estudio	Strategic Research Agenda
Organismo	EUROP (<i>European Robotics Technology Platform</i>)
Fecha	05/2006
Información	http://www.robotics-platform.eu/
Escenarios de aplicación	
1	Industrial segment
2	Professional service segment
3	Domestic service
4	Security segment
5	Space segment
Desafíos tecnológicos	
Sistemas robóticos	
1	Manipulation and grasping
2	Sensing and control
3	Intelligent and distributed environment
4	Dependability
5	Real time control
Componentes y robots miniaturizados	
1	Actuators
2	Sensors
3	Processing and communication
4	Human-machine interfaces
Comportamiento avanzado	
1	Cognitive
2	Autonomy
3	Collective behaviours
4	Human-machine interaction
5	Data fusion
6	Rich sensory motor skills
Áreas claves	
Sistemas de robots industriales	
1	Robot co-worker in the workplace
2	Increase productivity
3	Penetration into flexible and small scale manufacturing
4	Mobile robot with sub-millimeter geo-location
Robots de servicio	
1	Robot companion in the home
2	Robot servants and playmates
3	Robot assistance for service professionals
Robots en el espacio y de seguridad	
1	Security robots in civil applications (UGV, UAV, UUV)
2	Projection of human capability to remote & hostile environment
3	Assembly & repair in space
4	Planetary exploration

Tabla 9.4: Prioridades del 7º Programa Marco de la Unión Europea.

Estudio	7th Frame Program – ICT work program
Organismo	EU
Fecha	12/2006
Información	http://cordis.europa.eu
Challenge 2: Cognitive Systems, Interaction, Robotics	
Resultados objetivo	
1	Robots
2	Distributed robotics Systems
3	Interactive Systems
4	Cognitive Systems
Factores claves	
1	Robots can achieve general goals in a largely unsupervised way, and persevere under adverse or uncertain conditions; adapt, within reasonable constraints, to changing service and performance requirements, without the need for external re-programming, re-configuring, or re-adjusting
2	Robots communicate and co-operate with people or each other, based on a well-grounded understanding of the objects, events and processes in their environment
Áreas de interés	
1	Robots handling, individually or jointly, tangible objects of different shapes and sizes
2	Robots and other artificial systems monitoring and controlling material and informational processes
3	Intuitive multimodal interfaces providing personalized interactivity
Actividades propuestas	
1	Develop and apply engineering approaches that cater for real-time requirements (if present) and systems modularity, and ensure the reliability, flexibility, robustness, scalability and, where relevant, also the safety of the resulting systems; and develop criteria for benchmarking these properties
2	Contribute to the theory and application of learning in artificial systems, tackling issues related to the purposive and largely autonomous interpretation of sensor-generated data arising in different environments
3	Advanced sensor, actuator, memory and control elements, components and platforms, based on new, possibly bio-mimetic, materials and hardware designs
4	New, possibly bio-inspired, information-processing paradigms, and of models of natural cognition, adaptation, self-organisation, and emergence; and take account of the role of systems embodiment and affordances

Tabla 9.5: Agenda estratégica de investigación de *US Robotics*.

Estudio	A Roadmap for US Robotics
Organismo	<i>Computing Community Consortium</i> con 10 Universidades de EEUU
Fecha	05/2009
Información	http://www.us-robotics.us
Sectores	
	Manufacturing
	Medical and Health Care Robotics
	Service Robotics
Emerging Technologies and Trends	
	Actuation Systems
	Energy and Power systems
	Fabrication and Materials Technologies
	Micro and Nano Technologies
	Human-Robot Interfaces
	Communications and Networking
	Planning and control
	Robustness and Reliability
	Perception and Machine Learning
Manufacturing. Promising Directions	
	Learning and Adaptation
	Modeling, análisis, simulation and Control
	Formal Methods
	Control and Planning
	Perception
	Novel Mechanisms and High-Performance Actuators
	Human-Robot Interaction
	Architecture and Representations
Medical and Health Care. Robotics Strategic Findings	
	Surgical and Interventional Robotics
	Robotic Replacement of Diminished/Lost Function
	Robot-Assisted Recovery and Rehabilitation
	Behavioral Therapy
	Personalized Care for special-Needs Populations
	Wellness/Health Promotion
Service Robotics. Basic Research and Technologies	
	Architecture and Representations
	Control and Planning
	Perception
	Robust, High-Fidelity Sensors
	Novel Mechanisms and High-Performance Actuators
	Learning and Adaptation
	Physical Human-Robot Interaction
	Socially Interactive Robots

Tabla 9.6: Agenda estratégica de investigación de la plataforma europea EUROP. Segunda Edición (2009).

Estudio	Strategic Research Agenda. Second Edition
Organismo	EUROP (<i>European Robotics Technology Platform</i>)
Fecha	07/2009
Información	http://www.robotics-platform.eu/
Sectores	
Industrial	
Professional service	
Domestic service	
Security	
Space	
Application scenarios	
Industrial	
Robotic workers	
Robotic co-workers	
Logistic robots	
Professional service	
Robotic workers	
Robotic co-workers	
Logistic robots	
Robots for surveillance & intervention	
Robots for exploration and inspection	
Endutainment robots	
Domestic service	
Robotic co-workers	
Logistic robots	
Robots for surveillance & intervention	
Endutainment robots	
Security	
Robotic co-workers	
Logistic robots	
Robots for surveillance & intervention	
Robots for exploration and inspection	
Space	
Robotic workers	
Robotic co-workers	
Logistic robots	
Robots for exploration and inspection	
Technologies	
System architecture	
System engineering tools	
Cooperating robots & ambient technologies	
(Real-time) communication	
Human-machine interface	
Safety	
Actuation	
End effectors	
Locomotion	
Materials	
Navigation	
Planning	
Power management	
Control	
Learning	
Modelling	
Sensors	
Sensing & perception	

La síntesis de estos planes estratégicos permite seleccionar las líneas comunes a la mayoría de ellos. A continuación, se presentan estas líneas agrupadas según aplicaciones y según tecnologías.

Aplicaciones

- **Robots avanzados en factoría.** Nuevos robots industriales ligeros, con mayor capacidad de manipulación y agarre, así como de apoyo colaborativo a los operarios. Un punto clave es la mejora del sistema de control que permita incrementar la velocidad de funcionamiento, mayor precisión, mayor comunicación y más capacidad de integración. Se valorarán, además, las características de fiabilidad y seguridad. Otro factor importante es la movilidad con localización precisa en recintos cerrados. Finalmente, se plantea como objetivo la reducción de costes y un fácil uso para su introducción en todo tipo de factorías incluidas las de las PYMES.
- **Robots de servicio personal y entornos inteligentes.** Robots de servicio personal para todo tipo de usuarios y, en especial, para niños y personas mayores. Las aplicaciones de estos robots estarán también orientadas a la enseñanza y entretenimiento, según la definición de “*edutainment*”, vocablo que proviene de “*educational and entertainment*” y que representa cualquier forma de aprendizaje que lleva aparejada también una forma de entretenimiento o diversión. Un punto clave es que sean autónomos y que cuenten con la interacción multimodal robot-persona con un alto nivel de comprensión a nivel textual, gestual y hablado, así como el desarrollo de robots con apariencia humana (humanoides) o quasi-humana (androides) con un alto nivel de locomoción, navegación y percepción. Finalmente, se potenciará el desarrollo de entornos domésticos con redes de sensores y una alta capacidad de procesamiento y comunicación para crear ambientes inteligentes.
- **Robots de servicio social y profesional.** Robots para aplicaciones de servicios sociales, tales como inspección, mantenimiento (limpieza, reparación, sustitución) y gestión urbana (tráfico, riego, canalización) en entornos metropolitanos. Algunos de estos sistemas deberán tener un alto nivel de autonomía mientras otros incorporarán técnicas de teleoperación y telepresencia con un alto nivel de inmersión. Desarrollo de sirvientes urbanos (vendedores, camareros, recepcionistas) con un alto nivel de interacción y seguridad. Finalmente, desarrollo de sistemas de apoyo a profesionales en sus puestos de trabajo, tales como talleres y oficinas, creando un nuevo concepto de trabajador robótico de apoyo (“*co-worker*”).
- **Robots de medicina, rehabilitación y asistenciales.** Desarrollo de sistemas de tele-diagnóstico y monitorización de pacientes hospitalarios y domésticos. Desarrollo de robots de cirugía de mínima

invasión con un alto nivel de seguridad, interacción y teleoperación bilateral. Nuevas herramientas inteligentes quirúrgicas de alta prestación y nuevas técnicas de manipulación. Desarrollo de nanorobots de intervención quirúrgica e inspección del cuerpo humano. Impulso al desarrollo y aplicación de sistemas de rehabilitación de pacientes hospitalarios mediante sistemas robóticos y exoesqueletos. Nuevos sistemas robóticos de asistencia de personas con problemas de movilidad en sus operaciones diarias (comer, beber, limpieza personal) en entornos hospitalarios, residenciales y domésticos.

- **Robots de exteriores.** Los robots de exteriores (denominados también *"field robots"*, esto es, robots de campo) engloban todo tipo de robots de aplicaciones en tierra, aire y mar. Dentro de los robots terrestres se destacan los sistemas con capacidad de navegación y actuación autónoma en entornos reales y en tareas tales como inspección, mantenimiento, agricultura y prospección de yacimientos. De la misma forma, se considerarán robots de intervención subterránea en construcción de túneles y minería. El desarrollo de vehículos aéreos no tripulados (UAVs), en cualquiera de sus configuraciones, con peso reducido y una elevada capacidad de carga, es una de las prioridades reconocidas. En los UAVs son de especial interés las facetas de navegación, percepción y cooperación con otros sistemas, tanto aéreos como terrestres. Finalmente, en los sistemas en aplicaciones en el mar, tanto de navegación en la superficie como robots submarinos, son de gran interés las tareas de teleoperación, telepresencia, navegación y localización.
- **Robots en seguridad, defensa y espacio.** Las aplicaciones de la robótica en seguridad y defensa se centran en: robots autónomos (terrestres, aéreos y marinos) de intervención rápida, sistemas robóticos de logística militar, de comunicaciones y coordinación militar, y de ayuda a soldados. Una aplicación de especial interés es la desactivación de minas y explosivos sin intervención humana. En el área de seguridad la robótica se centra en la vigilancia de fronteras, vigilancia y extinción de incendios, recintos con sistemas sensoriales avanzados, seguridad personal tanto interna, con sistemas embebidos, como externa. Finalmente, las aplicaciones en el espacio se centran fundamentalmente en la exploración de superficie planetaria con robots todoterreno (*"rovers"*) autónomos e inteligentes de bajo coste, peso y consumo y largo alcance, y sistemas autónomos de navegación planetaria con un alto nivel de maniobrabilidad y con posibilidad de manipulación de objetos en el espacio.

Tecnologías

- **Sistemas mecatrónicos.** Estas tecnologías se centran en el desarrollo de sistemas mecánicos más eficientes, ligeros y duraderos, con nuevos materiales más ligeros y más resistentes (fibra de carbono, magnesio), y sistemas de control bioinspirados. El desarrollo de eficaces robots caminantes y humanoides es uno de los retos actuales del diseño mecatrónico. También abarca el desarrollo de robots modulares con interfaces de fácil interconexión; el desarrollo de sistemas bípedos dinámicos eficientes que minimicen el consumo energético; el desarrollo de sistemas de agarre y manipulación inteligente y auto-adaptables a las condiciones de contorno y a los objetos; exoesqueletos de estructura avanzada para ser empleados en diversas aplicaciones, así como sistemas de aumento de la capacidad humana. Finalmente, la miniaturización de los diseños mecatrónicos a escala micro y nanométrica con una alta capacidad de comunicación externa.
- **Nuevas tecnologías de sensores y actuadores.** Desarrollo de nuevos actuadores tanto electromecánicos, con un alto rendimiento y bajo peso, como de los basados en nuevos materiales bio-inspirados tipo “músculos artificiales” y bio-miméticos. El impulso al desarrollo de sistemas distribuidos actuador-sensor para robots en red (“*networked robots*”) y en particular de las redes inalámbricas de sensores. El desarrollo e integración de nuevos tipos de sensores para una percepción más realista, rápida, eficiente para su procesamiento y comunicación y la implementación de técnicas de fusión multi-sensorial en tiempo-real.
- **Sistemas abiertos de control de robots.** Desarrollo de nuevas arquitecturas abiertas de control de robots basadas en estándares existentes de software e independientes de las plataformas hardware. Se presta especial atención a los sistemas con restricciones estrictas de tiempo-real, inclusive para robots con un número elevado de grados de libertad. Asimismo, se incluye el desarrollo de software con técnicas de modularidad, reusabilidad, escalabilidad y robustez; la seguridad de los sistemas robóticos que debe jugar un factor inherente en los sistemas de control y finalmente el desarrollo de criterios que permitan evaluar y comparar el software desarrollado (“benchmarking”).
- **Sistemas cognitivos.** Desarrollo de conceptos y procedimientos de implementación de robots autónomos con un alto nivel de interacción cognitiva con los humanos en entornos reales de la vida diaria. Estos sistemas deben ser capaces de efectuar un aprendizaje evolutivo y responder a la falta de conocimiento de forma razonable. Desarrollo de modelos que contribuyan a la teoría de aprendizaje de sistemas artificiales. Es fundamental también que los robots se comuniquen con los humanos de cualquiera de las formas que estos utilizan para comunicarse entre sí (voz, lenguaje natural, gestos, miradas), desarrollando para ello

modelos de cognición natural para ser aplicados a sistemas robóticos con capacidad de reproducir la intuición y las intenciones. Finalmente, se considera el desarrollo de arquitecturas cognitivas robóticas con habilidades pseudo-humanas.

- **Interfaces humano-robot.** Desarrollo de interfaces humano-robot de uso fácil e intuitivo con una alta capacidad de interacción; la personalización de las interfaces mediante sistemas de aprendizaje basado en la observación; las interfaces que permitan una interacción aumentada basada en sistemas de comprensión avanzada, así como las que estén dotadas de un alto nivel de inmersión de las personas, tanto en realismo de las escenas como en sensaciones de los operarios.

9.2. Fortalezas y debilidades de la I+D+i en robótica en España

9.2.1. Fortalezas

El número de grupos de investigación en robótica en nuestro país es elevado si lo comparamos con el de otros países de nuestro entorno. Según los datos de la Red Nacional de Robótica (subvencionada por el Ministerio de Educación y Ciencia) y el Grupo Temático de Robótica (del Comité Español de Automática), en nuestro país existen unos 49 grupos de investigación en robótica pertenecientes a las universidades y al CSIC. Si se considera también los grupos de investigación procedentes de los centros tecnológicos, el número final de grupos es del orden de 70 (<http://www.ceautomatica.es/og/robótica>). Todo ello, sin contar con los equipos de investigación y desarrollo de empresas que se dedican a la automatización y la robótica en España.

De entre estos grupos, hay una docena que están en primera línea a nivel internacional. Estos grupos suelen tener una estructura bien definida, que mezcla la experiencia adquirida durante años de investigación con la juventud, entusiasmo y preparación de sus investigadores más jóvenes. Su masa crítica suele ser, en promedio, de aproximadamente 8 doctores y 15 doctorandos/investigadores. Los grupos pioneros en robótica datan del inicio de la década de los 1980.

En la Red Europea de excelencia EURON, foro europeo más representativo en robótica, del total de 247 grupos de 27 países, 26 son españoles (10,5%), ocupando nuestro país el tercer lugar en número de socios por detrás solamente de Alemania e Italia (ver Sección 5.3.1). Nuestros grupos e investigadores son reconocidos en todo el mundo, no solamente por el alto número y calidad de sus artículos científicos, sino también por su masiva participación en proyectos tanto científicos como tecnológicos, con un importante nivel de transferencia de tecnología a nuestros sectores productivos.

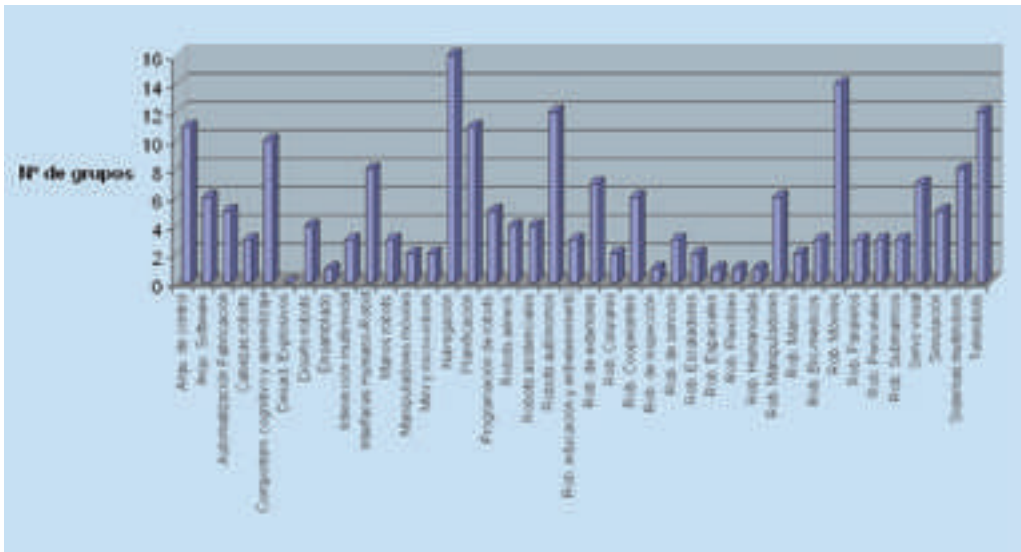
Por tanto, se puede afirmar que España tiene un potencial investigador significativo en el área de robótica, siendo algunos de nuestros grupos pioneros

y líderes en algunas líneas de investigación, tanto a nivel europeo como mundial. El peso de la investigación española en robótica es importante, e incluso, superior a países con mayor poder económico que el nuestro. Todo ello, garantiza los retornos socio-económicos de una financiación adecuada de nuestros grupos de investigación en robótica y tecnologías afines, que alcanzó en el VI Programa Marco (IST) un 249,3 M€, 6,4% del presupuesto total del programa IST, (fuente CDTI) siendo el área del VI Programa Marco donde los grupos Españoles obtuvieron el mayor retorno absoluto. Obsérvese, que dicho retorno es superior a la contribución española en los presupuestos de la UE. Además, el retorno en el VII Programa Marco (programa ICT) entre los años 2007 y 2009 fue del 6,9% del presupuesto total del programa ICT, observándose una clara tendencia creciente.

En los últimos años, como se ha descrito en el Capítulo 6, se ha acentuado la transferencia al sector productivo, bien por contratos con empresas o bien mediante la creación de un cada vez mayor y más importantes empresas de Base Tecnológica y *spin-off*.

Las principales líneas de I+D+i de nuestros grupos se muestran gráficamente en la Figura 9.1. Nótese, que esta clasificación corresponde a la adoptada oficialmente por EURON y que el número de líneas por grupo se considera en función de: a) que tengan proyectos en estas líneas y b) su tamaño, que limita el número de líneas (ya que no sería realista pensar que un grupo muy pequeño pudiera tener muchas líneas de investigación).

Figura 9.1: Líneas de I+D+i de los grupos de robótica en España (fuente: GTRob).



La Tabla 9.7 presenta un resumen de las líneas actuales en España, atendiendo al número de grupos implicados en éstas, a su fortaleza a nivel internacional y al interés futuro de estas líneas. La fortaleza internacional de las líneas se ha medido contabilizando la participación de los grupos españoles en proyectos de robótica y tecnologías afines en el VII Programa Marco de la UE. En cada uno de estos proyectos se han seleccionado las líneas prioritarias, clasificándolas de la siguiente manera: ***- fortaleza muy grande, **- fortaleza grande, *-fortaleza media y “-” -sin fortaleza.

El interés futuro de las líneas de I+D+i ha sido analizado según la inclusión de éstas en el resumen de los planes estratégicos internacionales del Apartado 9.1. Se ha adoptado una puntuación de estrellas similar que a la fortaleza internacional dado que algunas líneas presentan solapes y además, en algunos casos, están mezcladas las aplicaciones con las tecnologías, hay que entender que la exclusión de algunas líneas, según el interés futuro, es relativa. Así, por ejemplo, el tema de “diseño de robots” no aparece explícitamente en ninguno de los programas internacionales del Apartado 9.1. No obstante, en los temas relacionados con robots personales, asistenciales, de campo, etc., sí que esta implícito que es necesario diseñar robots.

De la Tabla 9.7 se desprende que en la actualidad en España, existen varias líneas abordadas por numerosos grupos de investigación con excelentes resultados, así como líneas con resultados o interés futuro muy inferiores. Por otro lado, se cuenta también con líneas con pocos grupos pero con una proyección internacional, interés y expectativas de futuro muy altos.

Tabla 9.7: Resumen de las líneas de I+D+i en robótica en España según el número de grupos, su fortaleza internacional e interés futuro.

nº	Línea de investigación de los grupos de I+D+i en España	Número de grupos	Fortaleza internacional	Interés futuro
1	Navegación	17	**	**
2	Robótica móvil	14	***	***
3	Robots autónomos	13	***	***
4	Telerrobótica	12	**	**
5	Planificación	11	*	*
6	Arquitecturas de control de robots	11	*	**
7	Comp. cognitivo y aprendizaje	10	**	***
8	Interfaces humano-robot	8	**	*
9	Sistema multirobot	9	***	***
10	Robots cooperantes	7	***	***
11	Diseño de robots	6	-	-
12	Automatización de factorías	5	*	**
13	Robots asistenciales	4	**	***
14	Robos aéreos	4	**	***
15	Robots submarinos	3	*	**
16	Robots personales	3	*	***
17	Robots escaladores	2	*	**
18	Robots humanoides	1	*	**

La Tabla 9.7 permite seleccionar, y en algunos casos agrupar, las actuales líneas fuertes de la robótica española. Esta selección se basa tanto en la masa crítica y la excelencia de los investigadores, como en la novedad de las líneas, según las prioridades marcadas por la mayoría de los organismos internacionales. Por tanto, se pueden ordenar, según importancia, seis líneas fuertes de la I+D+i de la robótica española:

- Robots autónomos
- Robots asistenciales y personales
- Sistemas multirobot
- Robots de exteriores
- Comportamiento cognitivo y aprendizaje
- Telerrobótica

9.2.2. Debilidades

La experiencia de la colaboración en proyectos I+D+i de los grupos de investigación del GTRob con empresas, resumida en la lista de proyectos (<http://www.ceautomatica.es/og/robótica/es/grupos-del-gtrob>) indica que hay temáticas en las cuales no se ha demostrado estar capacitado para ser líderes aunque el mercado nos demande actuaciones urgentes. En muchos casos, los desarrollos son puntuales y sin perspectiva futura. Se resuelven problemas desde el punto de vista del usuario, sin interés en la comercialización del producto o la tecnología.

Todo ello viene motivado por la falta de tejido industrial en algunos sectores, sobre todo de empresas comercializadoras, y la escasa visión industrial de algunos de los investigadores más interesados en la publicación de resultados que en el desarrollo de productos competitivos. Por tanto, se puede decir que el apoyo a la investigación no debería ser igual en todos los campos seleccionados en la Tabla 9.7. Existen campos de investigación en los cuales la inversión podría ser poco rentable, tanto socialmente como económicamente. Se analizan a continuación algunos de estas debilidades:

- La robótica industrial está cubierta por grandes empresas multinacionales, fundamentalmente extranjeras, por lo que la investigación en temas de robótica avanzada de factoría debería surgir desde estas empresas y de aquellas que se dedican a la implantación de sistemas automatizados avanzados.

Las aplicaciones industriales novedosas deberían ser apoyadas por programas de desarrollo e innovación tecnológica más que por programas de investigación, donde nuestros investigadores podrían aportar su potencial de conocimiento de integración de tecnologías. Se deberían apoyar actuaciones encaminadas a la asistencia tecnológica singular de la robótica industrial, que normalmente es efectuada por ingenierías y empresas de asistencia tecnológica. Los

aspectos de desarrollo serían numerosos, tales como diseño de manos y elementos especiales de agarre, sensores de esfuerzo, guiado sensorial, sistemas de programación integral y, en general, todas aquellas implementaciones novedosas que se salen del marco de la robótica tradicional.

- Dentro de la línea de robots de medicina, son varias las empresas extranjeras que comercializan desde hace tiempo robots de cirugía. Estas empresas dominan gran parte del mercado internacional, siendo el acceso a éste muy restringido. Además, la comercialización de estos productos necesita grandes inversiones empresariales. Sin embargo, el desarrollo de sistemas de asistencia médica y apoyo a los robots de medicina (programación, interfases, teleoperación) así como los temas de robótica de rehabilitación y asistencial, cuyo mercado es mucho más amplio no está, por ahora, dominado por ninguna empresa. En estos campos el apoyo de la administración debería ser crucial.
- Los robots en aplicaciones espaciales presentan una problemática que se sale fuera del contexto nacional, siendo las agencias espaciales, sobre todo la *Agencia Espacial Europea* (ESA), las que financian estas investigaciones. No obstante, dada la importancia de la robótica espacial, sería aconsejable que una parte de los fondos nacionales dedicados a la investigación en este sector sean empleados para la robótica dedicada a la exploración planetaria, a los vuelos no tripulados y a la ayuda a la construcción de estaciones espaciales.
- El desarrollo de interfaces humano-robot para la robótica industrial es difícil en nuestro país, dado que importantes grupos de investigación de países más punteros (Alemania, Japón, Suecia) están trabajando en este tema desde hace años y nos llevan la delantera. Lo que sí tiene un gran interés, y probablemente un gran mercado futuro, son las interfases de los nuevos tipos de robots (personales, asistenciales, seguridad, exteriores, etc.).

9.3. Propuesta de líneas estratégicas para el periodo 2012-2020

Las propuestas de las líneas estratégicas de investigación de la robótica en España para el período 2012-2020 se basan en 3 conceptos básicos: 1) definición de intervalo temporal de cada una de las líneas y la justificación del horizonte final de 2020, b) definición y justificación de las líneas, y 3) definición y justificación de las necesidades de financiación para la realización de una satisfactoria investigación.

9.3.1. Periodos temporales

Respecto a los periodos temporales, se define como horizonte final el año 2020. Dicha fecha es la que se suele barajar en la mayoría de los estudios y hojas de ruta (“roadmaps”) europeas, así como en la mayoría de las plataformas tecnológicas europeas y nacionales. Este horizonte coincidirá con el final del FP8 (en caso de que se siga con la misma cadencia de los Programas Marco de la UE). Respecto a las prioridades según tramos temporales, se proponen dos tramos: corto plazo (CP) – 2015, medio plazo (MP) – 2020.

9.3.2. Demanda empresarial

Para poder identificar las líneas prioritarias de investigación en las cuales los grupos españoles pueden destacar en el futuro hay que tener en cuenta los siguientes aspectos: a) las líneas fuertes en la actualidad, incluidos los aspectos de composición de los grupos, su excelencia y proyección internacional; b) la posibilidad de liderar nichos de investigación y mercados en los cuales se pueda competir con otros países; y c) la existencia de una razonable posibilidad de crear un tejido empresarial español en estas áreas.

En la Tabla 9.8 se realiza una correlación entre las líneas (aplicaciones y tecnologías) de los planes de investigación internacionales, descritos en el Apartado 9.1, las fortalezas de nuestros grupos de investigación (Tabla 9.7) y una previsible demanda ó interés de nuestras empresas en abrir mercados en estas líneas.

Tabla 9.8: Líneas de investigación futuras, fortaleza de los grupos españoles y previsión del interés de la empresas españolas.

nº	Línea de investigación de los planes internacionales	Número de grupos españoles/fortaleza	Previsión de interés
Aplicaciones			
1	Robots avanzados en factoría	5/*	***
2	Robots de servicio personales y entornos inteligentes	6/**	**
3	Robots de medicina, rehabilitación y asistenciales	4/**	**
4	Robots de servicios sociales y profesionales	4/***	**
5	Robots de exteriores	13/***	**
6	Robots en aplicaciones en defensa, seguridad y espacio	10/**	**
Tecnologías			
1	Sistema mecatrónicos	6/**	**
2	Nuevos tecnologías de actuadores y sensores	6/**	**
3	Sistemas abiertos de control de robots	11/*	*
4	Percepción avanzada y sistemas cognitivos	11/***	**
5	Interfaces humano-robot	9/**	***

En la columna “Número de grupos/fortaleza” de la Tabla 9.8 hay que tener en cuenta que en algunos casos han sido agrupados varios grupos pertenecientes a diferentes líneas de investigación afines. De la misma forma, han sido ponderadas las fortalezas de los mismos. Por ejemplo, en el caso de “robots de exteriores” no solamente se han tenido en cuenta los robots aéreos y submarinos, que suman 7 grupos, si no también han sido incluidos 5 grupos de “robots móviles” que se dedican a entornos exteriores. Lo mismo ocurre con los “robots en aplicaciones en defensa, seguridad y espacio” que cuentan tanto con robots terrestres como aéreos y submarinos.

La información de la columna “previsión de interés empresas españolas”, se ha obtenido con datos de la Plataforma Tecnológica Española de Robótica (HispaRob) (<http://www.hisparob.com>) y la Asociación Española de Robótica (AER) (<http://www.aeratp.com/>), a través de su informe “Estudio de robótica de servicio”. En él se realizó una encuesta empresarial de la cual se pueden deducir algunas conclusiones, aunque no definitivas en todos los campos. Así, en el campo del uso personal de robots de servicios, el interés futuro de las empresas españolas fue (según sectores): doméstico – 31%, seguridad – 25%, entretenimiento – 25% y asistencia a discapacitados – 19%. En los campos de uso profesional la distribución fue medicina – 15%, asistencia y guiado – 15%, limpieza – 10%, construcción – 10%, defensa – 10%, humanoides – 10%, logística – 10%, inspección – 10%, campo – 7%, sumergibles – 3%.

9.3.3. Líneas prioritarias

Como conclusión final, se puede afirmar que las líneas de investigación en las cuales se debería priorizar los esfuerzos de inversión en I+D+i han sido seleccionadas según los siguientes criterios: a) nuestras fortalezas y debilidades; b) las prioridades de la robótica internacional; c) la razonable demanda futura empresarial; y d) las necesidades de nuestro entorno social (ver las Tablas 9.7 y 9.8, Apartado 9.1). Estas líneas se pueden resumir en la siguiente lista, después de una agrupación de temáticas afines (por ejemplo, de los robots personales, sociales y profesionales en un solo grupo; lo mismo pasaría con los robots asistenciales y de rehabilitación para discapacitados, tercera edad, etc.).

Además, de las líneas fuertes en España del Apartado 9.2 se deberían incluir aquellas que tengan un futuro, tanto investigador como empresarial, según el Apartado 9.1. En este caso, se debería añadir a la lista de las siete líneas fuertes la de “seguridad y defensa”. De esta forma, y reorganizando la lista, las prioritarias de la robótica española quedarían de la siguiente manera:

- Robots autónomos
- Robots de servicio personal, social y profesional
- Sistemas cognitivos y aprendizaje
- Telerrobótica
- Robots de exteriores

- Robots de rehabilitación, asistenciales y ayuda médica
- Sistemas multirobot y robots cooperativos
- Robots con alto grado de movilidad
- Robots para aplicaciones de seguridad y defensa
- Asistencia tecnológica a la robótica industrial

Estas líneas estratégicas se desarrollan a continuación mostrando sus contenidos concretos, tanto desde el punto de vista de aplicaciones, como de tecnologías.

Robots autónomos

- Nuevos sistemas de control integrados con los sistemas de adquisición y procesamiento de la información sensorial en tiempo-real.
- Desarrollo de nuevos algoritmos de navegación robusta en entornos reales, tanto interiores como exteriores.
- Desarrollo de “*testbeds*” y criterios que permitan evaluar y comparar el software desarrollado.
- Desarrollo de nuevas arquitecturas abiertas de control de robots basadas en estándares existentes de software e independientes de las plataformas.

Robots de servicio personal, social y profesional

- Robots de servicio personal para todo tipo usuarios en entornos domésticos y oficinas: actividades cotidianas en el hogar (limpieza, planchado, lavado) y actividades en lugar de trabajo (reparto de correspondencia, manipulación de documentos).
- Robots para aplicaciones de servicios sociales tales como inspección, mantenimiento, gestión urbana, limpieza metropolitana, reparación, sustitución, etc.
- Robots para enseñanza, entretenimiento y cuidados personal, en especial para los mayores y niños.
- Robots de servicios profesionales para cooperar con trabajadores en entornos productivos: transporte de cargas, ensamblado, manipulación, etc.

Sistemas cognitivos y aprendizaje

- Desarrollo de conceptos y procedimientos de implementación para robots autónomos con un alto nivel de interacción cognitivo con los humanos.
- Sistemas capaces de efectuar un aprendizaje evolutivo y responder a la falta de conocimiento de forma razonable.
- Sistemas de percepción y fusión multisensor.
- Desarrollo de modelos que contribuyan a la teoría de aprendizaje de sistemas artificiales.
- Desarrollo de modelos de cognición natural para ser aplicados a sistemas robóticos con capacidad de reproducir la intuición y las intenciones.

- Implantación de arquitecturas cognitivas robóticas con habilidades pseudo-humanas.

Telerrobótica

- Sistemas eficaces de teleoperación de robots basados en interfaces hápticas de última generación y conectadas al cerebro.
- Sistema de telepresencia basados en realidad virtual 3D de gran nivel de inmersión.
- Arquitecturas avanzadas de control de sistemas telerobóticos, incluido el concepto de propio-teleoperación.

Robots de exteriores

- Desarrollo de robots terrestres con capacidad de navegación y actuación autónoma en entornos reales en tareas tales como inspección y mantenimiento.
- Robots aéreos (UAVs): integración, navegación, percepción y cooperación con otros sistemas tanto aéreos como terrestres.
- Robos submarinos: teleoperación, telepresencia, navegación, localización y manipulación diestra.
- Robots subterráneos de intervención en la construcción de túnel, espacios subterráneos y en la minería.

Robots de rehabilitación, asistenciales y ayuda médica

- Sistemas de rehabilitación de pacientes hospitalarios mediante sistemas de exoesqueletos.
- Nuevos sistemas robóticos de asistencia de personas con problemas de movilidad en sus operaciones diarias.
- Entornos reales de vida y trabajo para personas discapacitadas que integren electrodomésticos robóticos.
- Sistemas robóticos de apoyo a la medicina atendiendo especialmente las características de fácil programación, seguridad, teleoperación y telepresencia en entornos quirúrgicos.

Sistemas multirobot y robots cooperativos

- Robots cooperativos de forma autoajutable para diferentes tipos de aplicaciones y para diferentes entornos de trabajo.
- Esquemas de cooperación de robots aéreos con robots terrestres.
- Cooperación de robots móviles con infraestructura desplegada en tierra.
- Desarrollo de los conceptos y elementos de robots modulares con interfaces de fácil interconexión.
- Desarrollo de una “conciencia” de robots en cooperación o en red para la eficaz autoreprogramación del colectivo robótico.

Robots con alto grado de movilidad

- Desarrollo y control de robots caminantes de bajo coste para entornos de interiores como exteriores.
- Desarrollo de sistemas bípedos eficientes que optimicen el consumo energético y la carga útil, combinando sistemas de actuación activa y pasiva.
- Nuevos sistemas de control de robots con un elevado número de grados de libertad basado en estrategias distribuidas y en comunicaciones en red.
- Impulso al desarrollo de humanoides a escala natural para aplicaciones personales y de asistencia en entornos colaborativos de trabajo.

Robots para aplicaciones de seguridad y defensa

- Sistemas robóticos de vigilancia de recintos tanto cerrados (aeropuertos, oficinas) como abiertos (fronteras, calles) con sistemas sensoriales avanzados.
- Robots en sistemas de vigilancia en el hogar, en factorías y en oficinas.
- Robots para la detección y desactivación de minas y explosivos sin intervención humana, con un alto nivel de autonomía y toma de decisión.

Asistencia tecnológica a la robótica industrial

- Integración de sistemas sensoriales (visión, fuerza/par, distancia) con los controladores de robots industriales.
- Desarrollo de nuevas pinzas robóticas para una manipulación más diestra de todo tipo de objetos: flexibles, de geometría variable, líquidos, etc.
- Desarrollo de sistemas con un mayor nivel de fiabilidad y seguridad.
- Robots con capacidad de movilidad autónoma y localización precisa en recintos cerrados para aplicaciones industriales.

9.3.4. Acciones prioritarias

En la situación de crisis internacional es donde España tiene una valiosa oportunidad para realizar un cambio en el modelo económico y empezar a poner en valor el alto nivel de la I+D+i española para ponerla al servicio de la mejora del tejido productivo.

Las principales acciones necesarias para poder llevar a cabo las investigaciones en las líneas prioritarias descritas en el apartado anterior se centran en cinco acciones fundamentales:

- **Apoyo a medio/largo plazo de la excelencia de la labor investigadora** con acciones y programas específicos y a largo plazo. La excelencia de los grupos de investigación se deberá evaluar con múltiples indicadores tanto clásicos (artículos, patentes), como nuevos (reconocimiento internacional y nacional, proyectos europeos y nacionales de extrema competitividad,

proyectos de transferencia efectiva de tecnología, iniciativas de lanzamiento de líneas innovadoras). Se deberá valorar positivamente la continuidad innovadora de sus líneas de investigación y los resultados previos.

- **Focalizar las líneas prioritarias de investigación.** En contra de la política de dispersión de las mismas. Se pretende que el apoyo a la investigación sirva para concentrar esfuerzos y para generar conocimientos mucho más valiosos. Se deberían crear mecanismos que impidieran la duplicidad de la inversión pública para las mismas investigaciones, incentivando la colaboración. Es necesario introducir programas específicos a largo plazo, creando consorcios que focalicen la investigación en objetivos concretos que dieran lugar a productos pre-competitivos.
- **Potenciar los mecanismos de control de los resultados,** que deberían ser factor determinante para conseguir financiaciones futuras. Estos mecanismos considerarían cual es el retorno científico-técnico de la inversión pública destinada a la investigación financiada.
- **Ampliar los sistemas de almacenamiento e intercambio del conocimiento** generado durante las investigaciones con subvenciones públicas. Los resultados de estas deben ser públicos y puestos a disposición de la comunidad científica. Estos sistemas deberían ser tutelados por organismos públicos, generando bases de datos colaborativas. También deberían ser usados de forma intensiva a la hora de adjudicar ayudas de investigación.
- **Establecer mecanismos de impulso y apoyo a la creación de empresas de robótica de alta tecnología,** así como para incentivar la relación de los centros de I+D+i con las empresas para el desarrollo de proyectos y la transferencia de tecnología, o para facilitar la reorientación de negocio hacia desarrollos en robótica. Estos mecanismos deberían implicar nuevos modelos de relación universidad-empresa que potencien la investigación a más largo plazo y no sólo para desarrollos puntuales, que incluyan mecanismos tales como: ventajas fiscales, primar la explotación de patentes y de nuevos desarrollos.
- **Mantener y potenciar la robótica como una línea estratégica en el futuro Plan Nacional de I+D+i.** En el Plan Nacional de I+D+i 2008-2011 la robótica aparecía como una sublínea dentro de la “Acción Estratégica de Nanociencia y Nanotecnología, Nuevos Materiales y Nuevos Procesos Industriales”. Ya se ha puesto de manifiesto en los capítulos anteriores su importante impacto tanto desde el punto de vista científico como el de la transferencia al sector productivo y la formación de empresas de

base tecnológica en robótica. Si se quiere potenciar la robótica y crear un tejido industrial y de servicios de alta tecnología, es imprescindible mantener y potenciar la robótica como línea estratégica. Es importante también que las líneas prioritarias se basen en los estudios y conclusiones de este Libro Blanco de la Robótica, y que estas sean implantadas a largo plazo con proyectos de duración superior a 3 años. Este sub-programa permitirá la agrupación, coordinación, sincronización y, en definitiva, el fortalecimiento de la robótica en nuestro país.

10

Conclusiones

Conclusions

Los saltos tecnológicos en la sociedad actual se producen de forma discreta, aunque su preparación se prolonga durante décadas. Su predicción es compleja y difícil, y, en algunos casos, errónea o se retrasa muchos años, como es el caso de la física de fusión. También se producen saltos tecnológicos provenientes del lado del usuario al emplear estas nuevas tecnologías de forma diferente a la que inicialmente estaba previsto (véase el caso de los SMS de la telefonía móvil).

Por esto es interesante, y a la vez indicativo, que Bill Gates, uno de los artífices de uno de los últimos saltos tecnológicos de la humanidad, el computador personal, aparezca en la portada del mes de enero de 2007 de la revista *Scientific American* hablando sobre la robótica. En su artículo "A robot in every home" (Un robot en cada casa) compara la situación de la robótica actual con la época de los mediados 70 en la cual se gestó el lanzamiento del PC. Y no es solamente una intuición personal de Bill Gates, se basa en un estudio que encargó en 2004 para hacer una prospectiva del estado de la tecnología y de mercado en robótica. Su conclusión es rotunda: *"But what I really have in mind is something much more contemporary: the emergence of the robotics industry, which is developing in much the same way that the computer business did 30 years ago."* (Pero lo que yo tengo en mente es algo mucho más actual: la emergente industria robótica, que se está desarrollando de un modo similar a lo pasado con el negocio de la informática hace 30 años). Compara la robótica actual (manipuladores industriales) con los grandes computadores de antaño (*mainframes*) que dieron paso al PC. Afirma, en dicho artículo, que los nichos de la nueva robótica serán los robots cirujanos, de vigilancia y desactivación de explosivos, domésticos y de entretenimiento.

En ese mismo sentido discurre el Libro Blanco de la Robótica, que a través de sus páginas, ha intentado presentar un estudio serio y riguroso de las actuales líneas de investigación en el campo de la robótica. Con el importante esfuerzo de la comunidad investigadora se ha podido crear una imagen realista del estado de la técnica, así como responder a las preguntas básicas que se debe plantear cualquier sociedad que quiera avanzar: ¿quiénes somos?, ¿cuáles son nuestras fortalezas y debilidades?, ¿hacia dónde vamos? y ¿por qué tenemos que avanzar en esa dirección? ¿cómo será la nueva robótica del siglo XXI?

La garantía de un salto tecnológico orientado al mercado la tiene la comunidad robótica española, relativamente pequeña comparada con otras áreas de conocimiento en España. Sin embargo, es una comunidad bien organizada, muy activa y bien situada, tanto a nivel nacional e internacional, y con numerosos contactos empresariales. Es una comunidad que mantiene un equilibrio entre la investigación básica, que se traduce en un alto nivel de publicaciones internacionales y patentes, y una investigación aplicada que genera numerosos proyectos nacionales e internacionales, y un alto nivel potencial de transferencia de tecnología al mundo empresarial.

Es en robótica y tecnologías afines donde los grupos de investigación españoles, obtienen la mayor financiación, en términos absolutos, de los fondos de I+D+i europeos. El lanzamiento de un “Programa Nacional de Robótica” permitiría, sin duda, obtener unos retornos socio-económicos importantes para nuestro país y situarlo en la vanguardia tecnológica.

Los autores creen que este esfuerzo no será en balde, y permitirá a los organismos y personas responsables de la investigación pública y privada entender el por qué de esta revolución hacia la nueva sociedad robótica y comprender la importancia de esta para nuestra sociedad y economía. Sin embargo, hay que crear y adaptar los mecanismos necesarios de potenciación de la robótica nacional, no solamente aumentando el presupuesto, sino también focalizando y racionalizando la inversión a largo plazo, creando mecanismos eficaces de retorno y nuevas estructuras organizativas. Esperamos que esta vez “¡sí podamos coger el tren a tiempo!”.

Technological leaps in current society are produced in a discrete way although the groundwork may have been under way for decades. The prediction of this process is complex and, in many cases, erroneous and the leap can be delayed for many years – as in the case fusion physics. Also, there are technological leaps from the user since in many cases new technologies are used in a different way to that initially envisaged (this is the case of SMS in mobile telephony).

Thus, it is very interesting that Bill Gates, one of those responsible for the last great technological leap of humanity, the personal computer, appeared in January 2007 on the cover of the magazine *Scientific American* to speak about robotics. In his paper entitled “A robot in every home” he compares the status of current robotics with that of the computer in the mid 1970s, which represented the dawn of the PC. This statement is not only the intuition of Bill Gates, it is based on a study he commissioned in 2004 to gauge the potential of robotics technology and its market. The conclusion is categorical “But what I really have in mind is something much more contemporary: the emergence of the robotics industry, which is developing in much the same way that the computer business did 30 years ago”. He compares current robotics (industrial manipulators) with the mainframe computers that gave rise to the PC. He affirms that the niche of the new robotics field will be surgery, surveillance, explosives deactivation robots as well as domestic and entertainment robots.

The White Book of Robotics in Spain has attempted to provide a detailed and rigorous analysis of the main current research lines in robotics. Based on the significant effort of the Spanish robotics research community, we have created a realistic view of the current status of the technology and have attempted to answer the basic questions that must be addressed in each society that is willing to advance: Who are we? What are our strengths and weaknesses? Where are we going? Why do we have to advance in this direction? What will 21st century robotics be like?

The guarantee for this technological leap oriented towards the market is the robotics research community. Although this community is relatively small compared to those of other knowledge areas, it is well organized, very active, well situated in national and international scenarios and has many enterprise contacts. This community maintains a balance between the basic research, which results in the large number of high quality national and international publications, and application-oriented research, which generates numerous national and international projects and has great potential for technology transfer to productive sectors.

It is in robotics and related technologies that Spanish research groups obtain the greatest funding in absolute terms from European R&D funds. The launch of a National Program in Robotics would undoubtedly allow important socio-economic returns to be obtained for our country.

The authors of this book believe that the effort will not be in vain and will allow the organizations and those responsible for public and private research to understand this revolution to the new robotics society and to frame its relevance for our society and economy. However, it is the need to create and adapt the mechanisms required to leverage national robotics, not only by increasing the budget but also by focusing and rationalizing the long-term investment, that will create more effective mechanisms for return and new organizational structures. We hope that this time “we do catch the train on time!”

11

Referencias

References

Informes/Reports

- [Balaguer 2003] "Robotics and Automation in Construction Industry: From Hard to Soft Robotics", 3rd IARP International Workshop on Service, Assistive and Personal Robots, Madrid 2003.
- [Basañez 2006] "Robótica de Servicio", L. Basañez, X. Grau, A. Barrientos, L. Montano, J. Tornero, J. Nogués, Editorial AER-ATP, 2006.
- [Bourne 2006] "The Bourne Report – Robotics", Bourne Research, 2006.
- [COTEC 2006] "Robótica y Automatización", Informe de la Fundación COTEC, coordinador C. Balaguer, 2006.
- [EUROP 2005] "Building the European Robotics Platform EUROP", High Level View Report, 2005.
- [Hisparob 2010] "Agenda Estratégica", Hisparob, 2010.
- [NSF 2005] "Robotics", Special report of the NSF, 2005.
- [NOR 2005] "North American Industrial Robotics Markets for Cleanroom Applications", Global Information, 2005.
- [NSF 2005] "Robotics", Special report of the NSF, 2005.
- [ROB 2004] "Robotics: Mobility, Reflexes and Teamwork", Technology Research News, Making the Future Report, 2004.
- [SRA 2009] "Robotic Visions. To 2020 and Beyond", The Strategic Research Agenda for Robotics in Europe, EUROP, 2009.

[US 2009] "A Roadmap for US Robotics - From Internet to Robotics", Computing Community Consortium, 2009.

[WOR 2009] "World Robotics 2009, Statistics, Market Analysis, Forecasts, Case Studies and Profitability of Robot Investment", IFR & UNECE, 2010.

Libros de robótica/Robotics books

[Barrientos 2007] "Fundamentos de Robótica", A. Barrientos, L.F. Peñin, C. Balaguer, R. Aracil, McGraw Hill, 2ª edición, 2007.

[Gómez 2006] "Teleoperacion y Telerrobotica", J. M. Gómez de Gabriel, A. Ollero, A. J. García Cerezo, Prentice Hall, 2006.

[Ollero 2001] "Robótica. Manipuladores y Robots Móviles", A. Ollero, Marcombo Boixareu, 2001.

[Rodríguez 2005] "Control y Robótica en Agricultura" F. Rodríguez Díaz y M. Benranger, Universidad de Almería, servicio de publicaciones, 2005.

[Torres 2002] "Robots y Sistemas Sensoriales", F. Torres, J. Pomares, P. Gil, S. Puente y R. Aracil, Prentice Hall, 2002.

Páginas web organismos internacionales/ Websites of international organisms

<http://www.clawar.org/>

http://cordis.europa.eu/home_es.html

<http://www.esa.int/TEC/Robotics/>

<http://www.euron.org>

<http://www.ieee-ras.org>

<http://www.ieeesmc.org>

<http://www.ifr.org>

<http://www.ifrr.org>

<http://www.isab.org.uk/ISAB/>

<http://www.robotics-platform.eu/>

<http://www.rsj.or.jp>

<http://www.service-robots.org>

Páginas web organismos nacionales/ *Websites of national organisms*

<http://www.aeratp.com/>

<http://www.ceautomatica.es>

<http://www.cotec.es/>

<http://www.hisparob.es/>

<http://www.opti.org/>

12

Participantes
Contributors**Autores coordinadores/Coordinating authors:**

Carlos Balaguer (Universidad Carlos III de Madrid)
Antonio Barrientos (Universidad Politécnica de Madrid)
José Ángel Castellanos (Universidad de Zaragoza)
Alfonso García-Cerezo (Universidad de Málaga)
J. Ramiro Martínez-de Dios (Universidad de Sevilla)
Pedro J. Sanz (Universidad Jaume I de Castellón)
Rafael Sanz (Universidad de Vigo)
Eduardo Zalama (Fundación Cartif)

Esta edición actualizada del Libro Blanco de Robótica fue preparada por GTRob siendo J. Ramiro Martínez-de Dios (Universidad de Sevilla) Coordinador del Libro Blanco, Pedro J. Sanz (Universidad Jaume I de Castellón) Coordinador del DVD y Alfonso García-Cerezo (Universidad de Málaga) Coordinador de GTRob.

Autores colaboradores/Contributing authors:

Juan Carlos Álvarez (Universidad de Oviedo)
Joan Aranda (Universidad Politécnica de Cataluña)
Francisco Blanes (Universidad Politécnica de Valencia)
Marc Carreras (Universidad de Girona)
Juan Antonio Corrales Ramón (Universidad de Alicante)
Juan Carlos Fraile (Universidad de Valladolid)
Manel Frigola (Universidad Politécnica de Cataluña)
Ernesto Gambao (Universidad Politécnica de Madrid)
María García Alegre (Instituto de Automática Industrial – CSIC)
Antonio Giménez (Universidad Carlos III de Madrid)
Fernando Gómez (Universidad de Huelva)
Pablo González de Santos (Instituto de Automática Industrial – CSIC)
Juan López (Universidad Politécnica de Cartagena)

Anthony Mandow (Universidad de Málaga)
Enric Xavier Martín (Universidad Politécnica de Cataluña)
Vicente Matellán (Universidad Rey Juan Carlos de Madrid)
Martín Mellado (Universidad Politécnica de Valencia)
Luis Montano (Universidad de Zaragoza)
Luis Moreno (Universidad Carlos III de Madrid)
Víctor Muñoz (Universidad de Málaga)
Francisco J. Ortiz (Universidad Politécnica de Cartagena)
Ángel P. del Pobil (Universidad Jaume I de Castellón)
Jorge Pomares (Universidad de Alicante)
José Luis Pons (Instituto de Automática Industrial – CSIC)
Pere Ponsa (Universidad Politécnica de Cataluña)
Francisco Rodríguez (Universidad de Almería)
Alberto Sanfeliu (Instituto de Robótica e Informática Industrial-CSIC)
Tim Smithers (Centro Tecnológico Fatronik)
Raúl Suárez (Instituto de Organización y Control de Sistemas Industriales - UPC)
Fernando Torres (Universidad de Alicante)

Asesores/Consultants:

Josep Amat (Universidad Politécnica de Cataluña)
Rafael Aracil (Universidad Politécnica de Madrid)
Luís Basañez (Asociación Española de Robótica)
Alicia Casals (Universidad Politécnica de Cataluña)
José de No (Instituto de Automática Industrial – CSIC)
José Ramón Perán (Fundación Cartif)
Fernando Rico (Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial - CDTI)
José Rodríguez Cortezo (Observ. de Prospectiva Tecnológica Industrial -OPTI)
Salvador Ros (Instituto de Automática Industrial – CSIC)
Miguel Ángel Salichs (Universidad Carlos III de Madrid)
Federico Thomas (Instituto de Robótica e Informática Industrial-CSIC)
Manuel Zahera (Fundación COTEC)

