

ROBOTS DE SERVICIO

Rafael Aracil*, Carlos Balaguer, Manuel Armada*****

**División de Ingeniería de Sistemas y Automática.*

*Departamento de Automática, Ingeniería Electrónica e Informática Industrial.
Universidad Politécnica de Madrid. c/ José Gutiérrez Abascal, 2, 28006 Madrid
(e-mail: aracil@etsii.upm.es)*

***Robotics Lab. Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática.
Universidad Carlos III de Madrid. Av. Universidad, 30, 28911 Leganés, Madrid
(e-mail: balaguer@ing.uc3m.es)*

****Departamento de Control Automático, Instituto de Automática Industrial, CSIC.
Ctra. Camporreal, Km. 0,200, La Poveda, 28500 Arganda del Rey, Madrid
(e-mail: armada@iai.csic.es)*

Resumen: El término *Robots de Servicio* apareció a finales de los años 80 como una necesidad de desarrollar máquinas y sistemas capaces de trabajar en entornos diferentes a los fabriles. Los Robots de Servicio tenían que poder trabajar en entornos noestructurados, en condiciones ambientales cambiantes y con una estrecha interacción con los humanos. En 1995 fue creado por la *IEEE Robotics and Automation Society*, el *Technical Committee on Service Robots*, y este comité definió en el año 2000 las áreas de aplicación de los Robots de Servicios, que se pueden dividir en dos grandes grupos: 1) sectores productivos no manufactureros tales como edificación, agricultura, naval, minería, medicina, etc. y 2) sectores de servicios propiamente dichos: asistencia personal, limpieza, vigilancia, educación, entretenimiento, etc. En este trabajo se hace una breve revisión de los principales conceptos y aplicaciones de los robots de servicio. *Copyright © 2008 CEA-IFAC*

Palabras Clave: Robots de servicio, robots autónomos, robots de exteriores, robots de educación y entretenimiento, robots caminantes y escaladores, robots humanoides.

1. INTRODUCCION

Desde los primeros desarrollos hace unos 50 años, la Robótica ha experimentado una extraordinaria expansión en el ámbito de la fabricación de diferentes sistemas industriales, especialmente de automóviles. Para ello ha utilizado los robots, denominados industriales, de gran popularidad en los ámbitos tecnológicos que tienen un mercado ampliamente consolidado (Taner, 1979).

En la última década ha aparecido una necesidad de extender estas realizaciones a otros ámbitos, tratando de que los robots realicen tareas distintas de las

industriales de producción citadas anteriormente (García *et al.*, 2007). Para responder a esta demanda aparece lo que se denomina Robótica de Servicio (Engelberger, 1989). La Federación Internacional de Robótica, organismo que coordina las actividades en esta área tecnológica de los países con mayor nivel de desarrollo define un robot de servicio como:

Un robot que opera de manera automática o semiautomática para realizar servicios útiles al bienestar de los humanos o a su equipamiento, excluyendo las operaciones de fabricación.

El nombre surge por la inquietud de la comunidad científica de realizar desarrollos destinados a estar al servicio de la sociedad, tratando de que ésta reconozca y apoye sus resultados.

Desde el punto de vista social hay aún muy pocos desarrollos en esta área que hayan impactado en nuestra forma de vivir, pero en los centros de investigación especializados en robótica hay una gran actividad en investigación con este objetivo y, posiblemente, en un plazo relativamente inmediato podremos ver robots de servicio operando de forma masiva (Balaguer, 2005; Balaguer *et al.*, 2007)).

2. SECTORES ECONÓMICOS DE APLICACIÓN

Es evidente, y está en la mente de todos, que los robots son los sistemas que en un futuro van a realizar la mayor parte de las tareas de tipo físico, especialmente las más pesadas. Sin querer ser exhaustivos se pueden citar los siguientes sectores como posibles usuarios principales de estos robots:

- Agricultura
- Construcción
- Minería
- Energía
- Espacio
- Seguridad y defensa
- Sanidad

En todos ellos, y en muchos más, hay cantidad de tareas que se deben y se pueden robotizar (United Nations EC for Europe, 2006). Ello requerirá el desarrollo de robots específicos, labor que los fabricantes de robots no están realizando y que sólo en centros de investigación se efectúa.

Como características especiales de los robots de servicio, que los hacen diferentes de los robots industriales, se pueden destacar las siguientes:

- En su aspecto físico los robots dejan de ser un simple brazo, como lo son los robots industriales, para formar una estructura más compleja que puede tener varios brazos y otros dispositivos.
- En general los robots de servicio incluyen dispositivos de locomoción que le dan la capacidad de desplazarse en los diferentes medios en que se vaya a desenvolver. A veces el robot es sencillamente este dispositivo de locomoción.
- La complejidad y falta de estructuración de las operaciones que tienen que realizar, así como la diversidad de objetos que deben manipular, exigen que los robots de servicio estén dotados de un potente sistema sensorial.

En cuanto a la estructura física existen cada vez más exigencias respecto a las características de éstas. Se puede hablar de robots de elevadas dimensiones o de elevada capacidad de carga (Song y Waldron, 1989; Molino *et al.*, 2005 (ver Fig. 1)), lo que requiere

estructuras muy robustas, o mini, micro y nanorobots, de dimensiones extraordinariamente pequeñas, capaces de introducirse en cavidades de dimensiones muy pequeñas para realizar tareas complejas (Cavalcanti *et al.*, 2008; Requicha, 2003).



Figura 1. Roboclimber, robot escalador para consolidación de laderas de montañas (CSIC)

Los robots de servicio deben tener también la capacidad de desplazarse para situarse en su lugar de trabajo, a veces situado alejado del puesto de control o en un lugar de muy difícil acceso o situado en un entorno incómodo o peligroso para los humanos (Aracil *et al.*, 2002; Ferre *et al.*, 2005) (ver Fig. 2).



Figura 2. ROBTET, robot para el mantenimiento de líneas de alta tensión (UPM)

La gran variedad de entornos y situaciones en los que se puede desenvolver un robot exige capacidades de locomoción desarrolladas para ello. Así se puede hablar de robots terrestres dotados de sistemas de desplazamiento basados en ruedas o, cuando la disposición del medio lo requiera, de patas (González de Santos *et al.*, 2006).

Una de las contribuciones de los trabajos en locomoción de robots, con buenos resultados prácticos aunque aún no definitivos, ha sido en los sistemas automáticos de conducción de automóviles.

Estos, con exigencias en cuanto al entorno mucho más fuertes que los ya citados de aviones o barcos, son uno de los puntos de atracción de los investigadores en robots móviles.

Igualmente en sistemas de locomoción hay que citar los robots submarinos con capacidad de desplazarse en el agua (ver Fig. 4) (Aracil *et al.*, 2005, Ridao *et al.*, 2001). Igualmente los robots aéreos con capacidades de volar (ver Fig. 3) (del Cerro *et al.*, 2006, Ollero *et al.*, 2006), robots trepadores y deslizantes (Balaguer *et al.*, 2006).



Figura 3. Robot helicóptero para inspección y vigilancia (UPM).

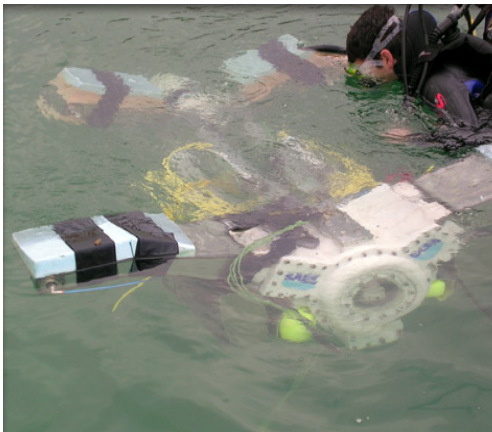


Figura 4. REMO, robot de rescate submarino (UPM).

Las necesidades de navegación autónoma de los robots, así como los requerimientos de manipulación de objetos de formas y tamaños diversos exigen también la dotación de sofisticados sistemas sensoriales (Montes *et al.*, 2006). Un robot debe ser capaz de reconocer el entorno en el que se va a mover, así como la forma de los objetos que va a manipular. Ello le permitirá además conocer los obstáculos que impiden su movimiento y tomar decisiones para esquivarlos. La visión, igual que en los seres vivos, es el sentido más apropiado para este cometido, especialmente la denominada visión 3D cuyo propósito es conocer la tercera dimensión de los objetos. También es importante destacar las

capacidades sensoriales en fuerzas de las que pueden estar dotados los manipuladores de los robots que les permiten realizar tareas con gran destreza y precisión.

3. ROBOTS PERSONALES

Se pueden considerar bajo este término todos aquellos robots con capacidades de convivir con las personas y de realizar tareas que incidan directamente en su forma de vida (Hüttenrauch y Severinson, 2006). Formalmente formarían parte de los robots de servicio, pero merecen un apartado por su mayor impacto social. Se incluyen en este grupo los robots domésticos, robots de vigilancia, robots de entretenimiento, robots sanitarios, robots en bibliotecas y museos, etc. (Balaguer *et al.*, 2005; Ballantyne y Moll, 2003; Bostelman y Albus, 2006, Prats *et al.*, 2004).

La realización de las tareas domésticas, todos sabemos, es uno de los problemas importantes con que se enfrentan actualmente las sociedades avanzadas. El desarrollo de equipos capaces de aminorar la carga de trabajo en las casas se ha venido haciendo desde hace más de cincuenta años con la invasión de electrodomésticos, bastantes de ellos imprescindibles en toda vivienda. Pero, aunque a algunos se les haya denominado robots, todos tenemos la conciencia de que esa denominación no corresponde a sus prestaciones. Un robot doméstico debe realizar las tareas de la casa con total autonomía sin más intervención de las personas que, como mucho, para realizar una programación previa de sus actividades (Park *et al.*, 2008).

El primer sistema que responde a las características de un robot que ha penetrado en el mercado de los equipos domésticos ha sido el robot aspiradora. Éstos son programables, están sensorizados, utilizan algoritmos que les permiten cubrir todo el suelo del recinto a aspirar, se desplazan siguiendo el límite de las paredes y alrededor de los muebles y son capaces de dirigirse al punto de alimentación eléctrica cuando sienten que sus baterías están bajas. Además sus costes están en línea con cualquiera de los electrodomésticos de funcionamiento manual. Existen varias compañías que los comercializan y sus ventas han sido del orden de un millón de unidades. Se espera que en el plazo de unos diez años en la mayor parte de las viviendas exista uno.

Otras funciones susceptibles de ser robotizadas en un futuro son las de manipulación inteligente de objetos domésticos, como vajillas u otros utensilios, ordenación de armarios o estanterías, etc. Estos robots todavía no existen, aunque en algunos centros de investigación se está trabajando en su desarrollo. Deben contar, además de con brazos manipuladores, con sistemas de locomoción, así como con métodos sencillos de programación de sus actividades. En este sentido, los métodos de aprendizaje automático e imitación son los que quizás tengan mayor futuro. Ya

hay algunas compañías comerciales que ofertan robots de vigilancia en las casas, que pueden recorrer las distintas habitaciones o los alrededores de una vivienda detectando la presencia de intrusos e identificándolos. Tienen dispositivos de locomoción, normalmente con ruedas, y un sistema de comunicaciones que permite ser programado desde un lugar remoto y enviar información de sus sensores o imágenes a un puesto de control en la vivienda o a un teléfono programado.



Figura 5. ASIBOT, robot de asistencia a personas discapacitadas (UC3M).

Una extensión de este tipo de robots, aún en desarrollo en ciertos centros de investigación, es el robot de asistencia a ancianos o discapacitados (Balaguer *et al.*, 2005) (ver Fig. 5). Se estima que en el año 2025 el 20% de la población europea será mayor de 65 años, muchos de ellos con necesidad de ayuda para desarrollar una vida normal.

Es claro que la solución definitiva a este problema se tendrá que realizar con la introducción masiva de robots que ayuden a personas dependientes en la realización de sus tareas cotidianas como vestirse, bañarse, realizar su aseo personal, comer, etc. Lógicamente, el nivel de interacción de estos robots con los humanos tiene que ser muy fuerte y ello exige un elevado sistema cognitivo cuyo desarrollo se encuentra en la actualidad lejos de poderse considerar acabado.

Un colectivo muy importante que tiene que tener una atención especial en temas de dependencia es el infantil y adolescente, periodo de desarrollo que exige especial atención. En la actualidad es complejo de prestar este cuidado por la estructura de la sociedad actual. En este sentido, lo dicho en robots de vigilancia es válido para realizarla igualmente en este grupo social.

Pero más interesante para este colectivo que lo dicho es la educación. En este tema es posible el desarrollo de robots específicos que pueden aportar elementos de ayuda que contribuyan a mejorar esta actividad tan importante socialmente. Se trataría de robots con un gran sistema sensorial, buena capacidad de movimiento, en especial de las fracciones de la cara para producir gestos y, por supuesto, con

synthesizers and voice recognizers for communication. All this with the objective of achieving a high degree of interaction.



Figura 6. Maggie, robots de educación y entretenimiento (UC3M).

El robot podría ayudar a buscar información a través de una interconexión a Internet, recomendar temas de estudio, hacerles preguntas sobre determinadas materias, proponerles problemas, todo ello acompañado de los movimientos y gestos o cambios de voz que hagan más agradable el aprendizaje. En los ratos libres puede ser un compañero de juegos adaptándose a la edad de sus interlocutores o intercambiando chistes, canciones o bailes, tal y como aparece en la Fig. 6 (Salichs *et al.*, 2006, Gorostiza *et al.*, 2006)

En este último sentido de robots de entretenimiento, pero con muy escasas funciones en cuanto a interacción, se encuentran los robots mascota. En la actualidad existen en el mercado bastantes robots con forma de perros, gatos, muñecos, etc. Especialmente en Japón, aunque también en toda Europa, este mercado ha experimentado un gran crecimiento que sin duda se incrementará con la incorporación de otras funciones como vigilancia, seguridad, etc.

Es importante, para completar esta visión de los robots personales, hablar de la asistencia y cuidado de enfermos y, en general, de las oportunidades que los robots ofrecen en el campo de la sanidad.

En asistencia a enfermos existen ya prototipos de robots que realizan rondas de vigilancia en hospitales llevando los medicamentos que los enfermos deben ingerir en cada momento. Igualmente pueden monitorizar y transmitir a un puesto remoto de control las variables sobre el estado del paciente.

Pero en lo que se vislumbra un futuro verdaderamente prometedor es en el campo de la cirugía. Ésta ha prosperado en los últimos años gracias a los medios tecnológicos de la que se ha

dotado. Entre los principales figuran los que introducen elementos robóticos como los de laparoscopia y, en general, la denominada cirugía mínimamente invasiva (Casals *et al.*, 1996, Muñoz *et al.*, 2000).

4. EL FUTURO DE LA ROBÓTICA

Ya en la década de los 70 se decía que en el desarrollo de la Robótica se iban a suceder tres fases: el nacimiento e infancia, que reflejaba la situación de la misma en aquellos tiempos, un crecimiento progresivo hasta alcanzar una madurez, y la explosión. En esta última fase, se decía, se iba a producir un uso masivo de los robots en todas las actividades de la vida con la pretensión de que ellos hicieran todas las labores productivas y de servicio (Rosheim, 1994). Los humanos se podrían dedicar entonces de lleno al desarrollo y disfrute de la familia, de la naturaleza, de la cultura, del deporte y de las artes (Hirai *et al.*, 1998; Armada, 2005).

Técnicamente gran parte de las bases para esta revolución están desarrolladas. Como primer paso será necesario hacer real el uso de los robots de servicio en todas sus aplicaciones (Aracil *et al.*, 2007; Armada *et al.*, 2003; Asada y Christensen, 1999). Los trabajos en las minas o en el campo los pueden realizar robots (Armada *et al.*, 2007). Igual los de la construcción, tanto civil como en edificación (ver Fig. 7) (Balaguer *et al.*, 2005; González de Santos *et al.*, 2000; González de Santos *et al.*, 2008).



Figura 7. Robotab2000, robot de asistencia para el manejo de cargas elevadas (CSIC).

Los servicios de seguridad y defensa son más eficaces si los realizan robots. Será necesario desarrollar robots especializados en cada una de estas actividades y en cada uno de esos entornos en que se desenvolverán (ver Fig. 8). La cantidad de personas que en la actualidad trabajan en estas tareas puede dar idea de la cantidad de robots que serían necesarios para sustituirlos.

En lo referente a robots personales (Zinn *et al.*, 2004) los intentos están en concebir uno que realice todas las funciones que se han citado para ellos (ver Fig 9).

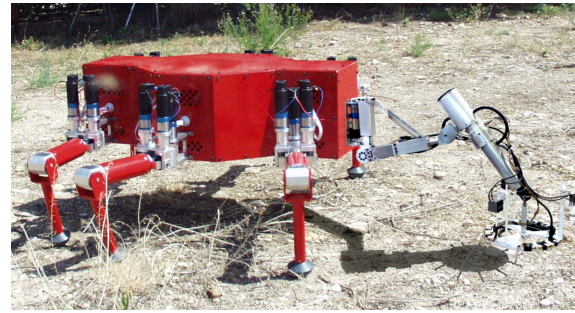


Figura 8. Silo 6, robot caminante hexápodo para la detección de minas antipersona (CSIC).

Será un robot asistente, vigilante y amigo que conviva con cada familia compartiendo todos sus hábitos. Serán los que hagan las tareas de la casa de cocinar, limpiar y realizar sus reparaciones y mantenimiento, pero además vigilarán la misma y ayudarán a las personas que requieran asistencia, como niños y ancianos. Podrán distraernos relatándonos noticias o fantasías, jugar con nosotros a nuestros juegos favoritos o recordarnos nuestras obligaciones y compromisos diarios. De una idea del número necesario de estos robots ya tenemos la referencia: al menos uno en cada casa.

Hay temas para hacer esto realidad que aún requieren un desarrollo tecnológico importante, aunque ya se han dado bastantes pasos en esa dirección. Se trata del desarrollo de lo que podríamos denominar los cerebros de los robots. Estos deben ser procesadores con capacidad de realizar las mismas funciones que los cerebros humanos. Es claro que en capacidad de memorizar datos y en rapidez de procesado los equipos de cálculo superan las capacidades de nuestro cerebro. También se han dado pasos importantes en el desarrollo de sistemas con capacidad de razonar y tomar decisiones sobre una situación concreta: en este sentido tenemos los sistemas de lógica borrosa, los sistemas expertos y las redes neuronales.



Figura 9. Rh1, robot humanoide de tamaño natural (UC3M).

Pero aún hace falta más, por ejemplo el sistema emocional. La interacción con humanos exige dotar a los robots de un sistema de estas características. Los robots deben expresar emociones como alegría, tristeza, sorpresa, miedo, etc. Realmente en humanos, y también en robots, el expresar estas emociones se realiza con los gestos de la cara, en realidad movimientos de cejas, ojos y boca, y también con el tono de la voz. Esto es sencillo de implementar en robots y de hecho ya se realiza en algunos. Más complejo es construir modelos del sistema emocional de tal manera que estos estados emotivos respondan a estímulos que el robot percibe de su exterior: en qué situaciones y cuando un robot debe sonreír o llorar, gritar o susurrar, mostrar simpatía o firmeza, miedo, etc. (Malfaz *et al.*, 2006). Esto es más complejo de realizar, aunque ya existe algún modelo del sistema emotivo. Más difícil aún es captar el estado emocional de las personas u otros robots con las que se interactúa para adaptar su comportamiento al mismo.

Además de estos intentos de modelar comportamientos hay varias líneas de estudio que tratan de modelar el comportamiento del cerebro desde el punto de vista de aprendizaje y creación de la conciencia. La línea de investigación, quizás, más prometedora, es aquella que configura estos cerebros como redes de neuronas artificiales que interactúan entre ellas y que pueden aprender conductas de comportamiento en función de estímulos. Así se puede ya sintetizar comportamientos semejantes a los insectos y se podrá ampliar estos al de animales con mayores aptitudes de interacción como los de los mamíferos y posteriormente como los de los hombres. La naturaleza tardó millones de años en realizar esta evolución pero, sin ninguna duda, en algunas décadas tendremos buenos resultados en estos cerebros artificiales.

También es interesante, en un contexto de vaticinio del futuro de los robots, citar alguna de las aportaciones que otras disciplinas, como la nanotecnología o la biotecnología, pueden realizar a la robótica en las próximas décadas. La primera de ellas, la nanotecnología, permitirá la construcción de nanorobots (Cavalcanti *et al.*, 2008), es decir, sistemas del tamaño de una molécula dotados de movimientos y que, unidos entre sí formando colonias que operan conjuntamente, permitirán la sintetización de objetos que cambien de forma o de color. Se podrá pensar en disponer de herramientas que se adapten al perfil del objeto sobre el que van a actuar o utensilios que cambien de forma en función de la tarea a la que se vayan a destinar.

También estos nanorobots trabajando colectivamente podrán ser usados como infatigables trabajadores construyendo o montando todos los objetos que necesitemos. De manera similar a las hormigas o las abejas, siguiendo sus estrategias de trabajo en grupo, con cientos o miles de estos nanorobots, se podrá, por

ejemplo, realizar exploraciones de zonas desconocidas, quizás en otros planetas o en las profundidades marinas. Nanorobots de características similares podrán ser utilizados en biotecnología. Con concepciones semejantes, pero utilizando componentes orgánicos, se podrían construir órganos artificiales para implantes o vehículos diminutos que se introduzcan en los cuerpos para realizar cirugías o reconocimiento de determinados órganos o para depositar, o incluso ser, la medicación microscópica para curar determinadas células enfermas.

Igual a como los pueblos y ciudades cambiaron de aspecto durante el siglo pasado y a como la vida de los hombres se hizo más confortable por la influencia de la electricidad y de los desarrollos electrónicos, un mayor cambio ocurrirá en el mundo de nuestro entorno cuando se haga realidad esa explosión en el uso de los robots.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer el apoyo recibido en su actividad investigadora por diversas Instituciones, en especial la CICYT (Ministerio de Educación y Ciencia), y la Consejería de Educación de la Comunidad de Madrid (Proyecto RoboCity2030, S-0505/DPI-0176).

REFERENCIAS

- Aracil, R., Ferre, M., Hernando, M., Pinto, E., Sebastian, J.M. (2002) *Telerobotic system for live-power line maintenance: ROBTET*, Control Eng. Practice, **10**, 11, 1271-1281.
- Aracil, R., Saltarén, S., Ferre, M., Yime, E., Alvarez, C., García, V.M. (2005). REMO Project: Design, Modelling and Hydrodynamic Simulation of a Robot of Variable Geometry For Actuators on Maritime Disasters, *Symposium on Marine Accidental Oil Spills, Vigo, España*.
- Aracil, R., Ferre, M., Sánchez-Urán, M.A. (2007) Arquitecturas de control de robots, *Actas 1er. Workshop RoboCity2030*, UPM, Madrid.
- Armada, M., Gonzalez de Santos, P., Jiménez, M.A., Prieto, M. (2003) Applications of CLAWAR Machines, *The International Journal of Robotics Research*, **22**, 3-4, 251-264.
- Armada, M. (2005). Robotics: now and beyond. *Industrial Robot: An Int. Journal*, **32**, 2.
- Armada, M.A., Ribeiro, A., Seco, F. (Ed.) (2007) Robots de Exteriores. *Actas 2º Workshop RoboCity2030*, Madrid.
- Asada, M., Christensen, H.I. (1999) Robotics in the home, office, and playing field, Proc. IJCAI, 1385-1392.
- Balaguer, C., Gimenez, A., Jardon, A., Cabas, R., Coreal, R. (2005) Live experimentation of the service robot applications for elderly people care in home environments, *IEEE/RSJ*

- International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*. 2345- 2350.
- Balaguer, C. (Editor) (2005) *Robótica y automatización*, Informe COTEC.
- Balaguer, C., Gimenez, A., Jardon, A. (2005) Climbing Robots' Mobility for Inspection and Maintenance of 3D Complex Environments, *Autonomous Robots*, 18, 2, 157-169.
- Balaguer, C., Virk, G.S., Armada, M. (2006) Robot applications against gravity. *IEEE Robotics and Automation Magazine*,
- Balaguer, C., Barrientos, A., Sanz, P.J., Sanz, R., Zalama, E. (Coordinadores) (2007) *Libro Blanco de la Robotica*, CEA-GTRob.
- Ballantyne, G.H. , Moll, F. (2003) The Da Vinci telerobotic surgical system: the virtual operative field and telepresence surgery, *Surg Clin North Am*, 86, 6, 1293-1304.
- Bostelman, R., Albus, J. (2006) HLPR Chair – A Service Robot for the Healthcare Industry, *3rd International Workshop on Advances in Service Robotics, Vienna, Austria*.
- Casals, A. Amat, J. Laporte, (1996) Automatic guidance of an assistant robot in laparoscopic surgery, *IEEE Robotics and Automation Conference, Minneapolis, Estados Unidos*.
- Cavalcanti, A., Shirinzadeh, B., Freitas Jr, R., Hogg, T. (2008) Nanorobot architecture for medical target Identification, *Nanotechnology*, 19, (15p).
- del-Cerro, J. Barrientos, A. Artieda, J. Lillo, E. Gutierrez, P. San Martin, R. (2006) Embedded Control System Architecture applied to an Unmanned Aerial Vehicle, *IEEE International Conference on Mechatronics, Budapest, Hungria*.
- Engelberger, J.F. (1989) *Robotics in Service*, MIT Press.
- Ferre, M., Aracil, R., Navas, M. (2005) Stereoscopic video images for telerobotic applications, *Journal of Robotic Systems*, 22, 3, 131-146.
- Garcia, E., Jiménez, M.A., González de Santos, P., Armada, M.A. (2007). The evolution of robotics research from industrial to service robots. *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 14, 1, 2-15.
- Gonzalez de Santos, P., Armada, M.A., Jimenez, M.A. (2000) Ship building with ROWER, *IEEE Robotics and Automation Magazine*, 7, 4, 35-43.
- Gonzalez de Santos, P., Garcia, E., Estremera, J. (2006). *Quadrupedal Locomotion: An Introduction to the Control of Four-Legged Robots*, Springer, London.
- Gonzalez de Santos, P. , Estremera, J., Garcia, E., Armada, M. (2008) Power assist devices for installing plaster panels in construction *Automation in Construction*, 17, 4, 459-466.
- Gorostiza, J.F., Barber. R., Khamis, A.M., Malfaz, M., Pacheco, R., Rivas, R., Corrales, A., Delgado, E., Salichs, M.A. (2006) Multimodal Human-Robot Interaction Framework for a Personal Robot. *15th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, Hatfield, United Kingdom*.
- Hirai, K., Hirose, M., Haikawa, Y., Takenaka, T. (1998) The development of Honda humanoid robot, *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1321-1326.
- Hüttenrauch, H., Severinson, K. (2006) To help or not to help a service robot: Bystander intervention as a resource in human-robot collaboration, *Interaction Studies*, 7, 3, 455-477.
- Malfaz, M., Salichs, M.A., (2006) Using Emotions for Behaviour-Selection Learning . *17th European Conference on Artificial Intelligence. ECAI 2006. Riva del Garda. Italy*.
- Molfino, R., Armada, M., Cepolina, F., Zoppi, M. (2005) Roboclimber the 3 ton spider, *Industrial Robot: An International Journal*, 32, 2, 163-170.
- Montes, H., Nabulsi, S., Armada, M. (2006) Reliable, Built-in High-Accuracy Force Sensing for Legged Robots, *The International Journal of Robotics Research*, 25, 9, 931-950.
- Munoz, V.F., Vara-Thorbeck, C., DeGabriel, J.G., Lozano, J.F., (2000) A medical robotic assistant for minimally invasive surgery, *IEEE Robotics and Automation Conference, San Francisco, Estados Unidos*.
- Ollero, A., Martinez de Dios, J. R., Merino, L., (2006). Unmanned Aerial Vehicles ss Tools for Forest-Fire Fighting. *Forest Ecology and Management* . vol. 234.
- Park, K.-H. Lee, H.-E. Kim, Y. Bien, Z. Z. (2008) A Steward Robot for Human-Friendly Human-Machine Interaction in a Smart House Environment, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 5, 1, 21-25.
- Prats, M., Ramos-Garijo, R., Sanz, P.J., Del Pobil, A.P. (2004), Autonomous localization and extraction of books in a library, *8th conference on intelligent autonomous systems, Amsterdam, The Netherlands*.
- Requicha, A.A.G. (2003) Nanorobots, NEMS and nanoassembly, *Proc. IEEE*, 91, 11, pp. 1922-1933.
- Ridao, P. Battle, J. Amat, J. Carreras, M. (2001) A distributed environment for virtual and/or real experiments for underwater robots, *IEEE Robotics and Automation Conference, Seoul, Korea*.
- Rosheim, M.E. (1994) *Robot Evolution. The Development of Anthrobotics*, John Wiley & Sons.
- Song, S.M., Waldron, K.J. (1989) *Machines that walk: The adaptive suspension vehicle*, MIT Press.
- Taner, W. R. (Ed.) (1979) *Industrial robots. vol. 2, Applications*. SME.
- Salichs, M.A., Barber, R., Khamis, A., Malfaz, M., Gorostiza, J.F., Pacheco, R., Rivas, R.,

- Corrales, A., Delgado, A. (2006) Maggie: A Robotic Platform for Human-Robot Social Interaction. IEEE International Conference on Robotics, Automation and Mechatronics, Bangkok, Thailand.
- United Nations Economic Commission for Europe (2006) "World robotics 2006-statistics, market analysis, forecasts, case studies and profitability of robot investment".
- Zinn, M., Khatib, O., Roth, B., Salisbury, J.K. (2004) Playing it safe [human-friendly robots], IEEE Robotics and Automation Magazine, 11, 2, 12-21.