

APLICACIONES DE LA ROBÓTICA: ÚLTIMAS TENDENCIAS Y NUEVAS PERSPECTIVAS

ROBÓTICA INDUSTRIAL Introducción

La Robótica, hasta hace unos 40 años, era un tema que sólo estaba en la imaginación de algunos autores literarios. Hoy, es una realidad imprescindible dentro del mercado productivo actual. Como consecuencia, la robótica forma parte desde finales de los 80 del perfil de Formación de los ingenieros. Posee un carácter multidisciplinar, participando en ella numerosas disciplinas básicas y tecnológicas como: Matemáticas, Electrónica, Mecánica, Control e Informática.

A través de la literatura y el cine de ciencia - ficción, la mayor parte de la población tiene una "idea aproximada" de lo que es un robot. Con objeto de situar en el tiempo la aparición de los robots, repasemos brevemente algunos antecedentes históricos de los robots industriales:

- 1954: G.C. Devol establece las bases del robot industrial moderno (EE UU).

- 1957: C.W. Kenward crea la primera patente de un dispositivo robótico (Gran Bretaña).

- 1960: Instalación primer robot *Unimate* en GM.

- 1972: Nissan crea la primera asociación robótica del mundo "Asociación de Robótica Industrial" de Japón (JIRA).

- 1973: ASEA construye el primer robot con accionamiento eléctrico (IRB 6).

- 1974: Creación del "Instituto de Robótica de América" (RIA).

- 1980: Creación de la "Federación Internacional de Robótica" (IRF) en Estocolmo.

- 1982: Makino desarrolla el concepto de robot SCARA (Japón).

J. Pérez Turiel, Dr. I. I., Director de Comunicaciones Industriales

J.C. Fraile Marinero, Dr. I. I., Director de Robótica

J. R. Perán, Dr. I. I., Director de Investigación

Centro de Automatización, Robótica, Tecnologías de la Información y de la Fabricación (CARTIF) Parque Tecnológico de Boecillo (Valladolid)

Definición y clasificación de robots industriales

A la hora de definir el concepto de robot industrial debe tenerse en cuenta si estamos considerando el mercado japonés o el mercado euro-americano. Para el mundo industrial de Japón, un robot industrial es un sistema mecánico dotado de articulaciones móviles destinado a tareas de manipulación. En cambio, en Europa y EE UU la definición de robot industrial es más restrictiva, y exige, además de lo anterior, una mayor complejidad relativa a aspectos de control. Algunas de las definiciones de robot industrial más aceptadas son:

"Un robot industrial es un manipulador multifuncional reprogramable, capaz de mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales, según trayectorias variables, programadas para realizar tareas diversas". Fuente: RIA (Asociación de Industrias de Robótica)

"Un robot industrial es una máquina de manipulación automática, reprogramable y multifuncional con tres o más ejes que puedan posicionar y orientar materias, piezas, herramientas o dispositivos especiales para la ejecución de trabajos diversos en las diferentes etapas de la producción industrial, ya sea en una posición fija o en movimiento". Fuente: Federación Internacional de Robótica (IFR).

La Asociación Francesa de Robótica Industrial (AFRI) establece la

siguiente clasificación de robots industriales:

- Robots tipo A: Manipulador con control manual o telemando.
- Robots tipo B: Manipulador automático con ciclos preajustados.
- Robots tipo C: Robot programable con trayectoria continua. No tiene conocimiento de su entorno.
- Robots tipo D: Robot capaz de adquirir datos de su entorno, readaptando su tarea en función de éstos.

Otra posible clasificación de robots industriales es por sectores de aplicación (Fuente: IFR):

- Mantenimiento de productos.
- Soldadura: arco, gas, láser.
- Aplicación de producto: pintura, mástico, pegamento,...etc.
- Carga y descarga de máquinas.
- Mecanización: corte, fresado, taladrado,..., etc.
- Procesos especiales: corte por láser, corte por chorro de agua,..., etc.
- Ensamblado de productos: insertar, montar, pegar,..., etc.
- Paletización.
- Medición e inspección.

Estructura mecánica de un robot industrial

Desde un punto de vista mecánico, un robot industrial está formado por un conjunto de eslabones (también llamados elementos o brazos) unidos mediante articulaciones que permiten un movimiento relativo entre dos articulaciones consecutivas. El movimiento de cada articulación

puede ser: desplazamiento lineal, giro o combinación de ambos, dando lugar a articulaciones de los siguientes tipos: Prismática (1 g.d.l.), rotación (1 g.d.l.), cilíndrica (2 g.d.l.) y esférica o rótula (3 g.d.l.).

Ligado el movimiento de las articulaciones aparece el concepto de "grado de libertad" (g.d.l.): cada uno de los movimientos independientes que puede realizar una articulación con respecto a la anterior. El número de grados de libertad de un robot es la suma de los g.d.l. de cada una de las articulaciones. Dependiendo del tipo de articulaciones se obtienen diferentes configuraciones geométricas para los robots industriales. Las más usuales son las siguientes:

adaptar el par y la velocidad de salida del actuador a valores adecuados para el movimiento de las articulaciones del robot.

- **Accionamiento directo:** El eje del actuador se conecta directamente a la articulación del robot. Se usa para robots con accionamiento eléctrico en los que se requiere combinar gran precisión con alta velocidad.

- **Actuadores:** Neumáticos, hidráulicos o eléctricos generan el movimiento de las articulaciones del robot a partir de las órdenes de la unidad de control.

Sensores

Para que un robot industrial realice correctamente sus tareas, es nece-

“sensores internos”, mientras que la información de su entorno la adquiere con los “sensores externos”.

Sensores internos:

- De posición: *encoders* (captadores incrementales) y *resolvers* (captadores analógicos)
- De velocidad: tacómetros.

Sensores externos:

- De presencia: detectores de presencia de pieza (con o sin contacto), detector de máquina en posición.
- Sistemas de visión: para determinar las coordenadas (posición y orientación) de agarre de piezas.
- Etc.

Elementos terminales:

- Pinzas neumáticas o eléctricas para el agarre de piezas.
- Pistolas neumáticas para pulverizar pintura.
- Pinzas de soldadura.

CONTROL Y PROGRAMACIÓN

Un robot industrial consta fundamentalmente de dos partes: Manipulador y controlador. Para el robot industrial IRB 4400-S4C, la estructura del manipulador se puede ver en la figura siguiente. Se trata de manipulador de tipo antropomórfico de 6 g.d.l., motores de corriente alterna con frenos electromecánicos incorporados.

El controlador de un robot es un armario que contiene todos los dispositivos eléctricos y electrónicos que permiten controlar el robot. En la parte frontal se sitúa el panel de control, que permite seleccionar el modo de funcionamiento del robot y realizar su puesta en servicio.

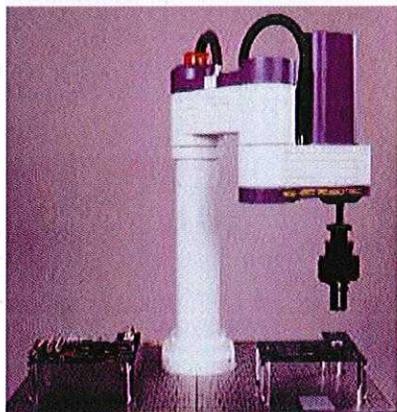
La programación y el pilotaje manual del robot se realizan desde la



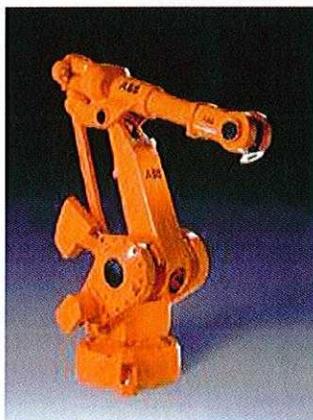
Robot cartesiano (3 g.d.l.).



Robot hexápodo.



Robot Scara (4 g.d.l.).

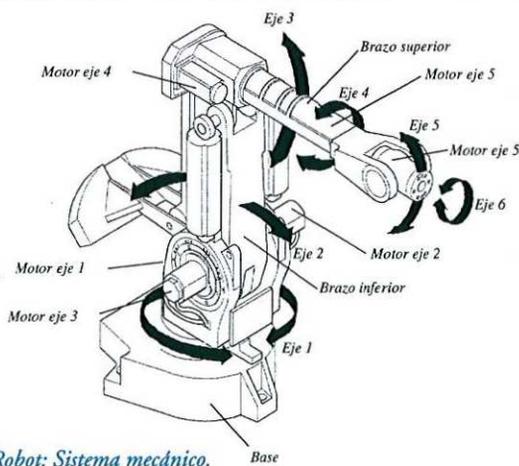


Robot antropomórfico (6 g.d.l.)

Otros elementos importantes dentro de la estructura mecánica del robot son los siguientes:

- **Transmisiones:** encargados de transmitir el movimiento desde los actuadores hasta las articulaciones.
- **Reductores:** Encargados de

sario que disponga de información de su propio estado, y del estado del entorno que le rodea (otras máquinas). La información relacionada con su estado (fundamentalmente posición, velocidad y aceleración de sus articulaciones) la consigue mediante los



Robot: Sistema mecánico.

unidad de programación. Cada empresa fabricante de robots industriales tiene un diseño propio de su unidad de programación.

- **Unidades de accionamiento:** regulan el par de los motores del robot. Cada unidad controla dos o tres motores.

Los ordenadores del robot son el centro procesador de datos del sistema robot. Poseen todas las funciones necesarias para la creación, ejecución y almacenamiento de un programa robot, así como las funciones para la coordinación y regulación de los movimientos de los ejes.

Los últimos desarrollos relacionados con la integración de robots en entornos de producción están relacionados con la conexión, vía red Ethernet, de todos robots de una línea de producción, con objeto de realizar la monitorización y supervisión de dichos robots desde un ordenador personal.

Una de las características más importante de un robot industrial es su reprogramación, con objeto de que puede ser adaptado y reutilizado en aplicaciones distintas. La programación de un robot consiste en indicarle el conjunto de acciones a ejecutar para realizar una tarea. A través de la programación del robot se logra aprovechar al máximo las prestaciones.

Para programar el robot se utilizan los lenguajes de programación pero el problema es que no existe un lenguaje normalizado para los robots industriales y cada fabricante desarro-

lla y utiliza su propio lenguaje.

Existen dos modos de programar un robot:

- **Programación on-line:** mediante aprendizaje o guiado.

- **Programación off-line:** programación sobre ordenador.

En el mercado español, los robots industriales más instalados corresponden a las empresas ABB y KUKA, por ello, sus lenguajes de programación *Rapid* (ABB - 1994) y *KRL* (KUKA - 1998) son los más utilizados.

Características a considerar en la elección de un robot

A pesar de que los robots industriales son máquinas de tipo general para aplicaciones multifuncionales, debe procederse a la selección del tipo más adecuado. El diseñador debe, en la última etapa de diseño, seleccionar entre los que existen en el mercado eligiendo el más adecuado a sus necesidades. ¿Bajo qué criterios puede realizar esta selección? En la casi totalidad de las aplicaciones deberán tenerse en cuenta algunos de los siguientes.

- **Zona de trabajo:** Es el volumen del espacio que queda definido por el conjunto de puntos al que puede llegar el elemento terminal del robot.

- **Precisión:** Distancia entre el punto geométrico al que se manda ir al robot y la media de los puntos realmente alcanzados tras ejecutar el mismo posicionamiento en repetidas

ocasiones (en idénticas condiciones de funcionamiento). Su valor está determinado fundamentalmente por: errores de calibración del robot, deformaciones, errores de redondeo en el cálculo (puntos singulares), errores entre las dimensiones teóricas y reales del robot.

- **Repetibilidad:** Radio de la esfera que engloba a todos los puntos realmente alcanzados por el robot tras ejecutar el mismo posicionamiento en repetidas ocasiones (en idénticas condiciones de funcionamiento).

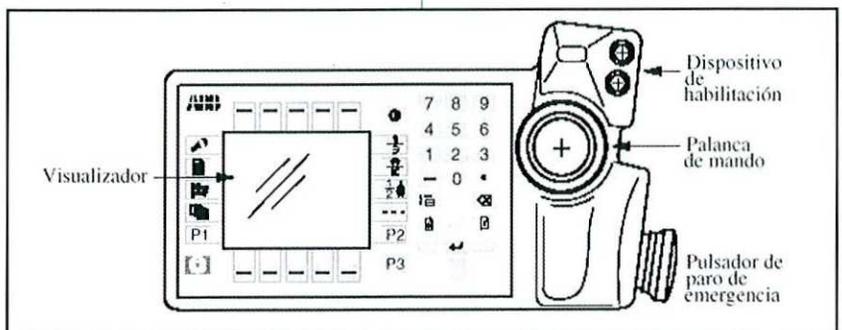
- **Resolución:** Mínimo incremento de posicionamiento que puede aceptar la unidad de control del robot. Este parámetro viene determinado básicamente por la resolución de los captadores de posición de los ejes del robot. Su valor viene determinado fundamentalmente por problemas en el sistema mecánico de transmisión: rozamientos, histéresis, zonas muertas.

- **Velocidad:** En los catálogos de robots se indican dos tipos de velocidades: velocidad de cada una de las articulaciones del robot y velocidad del extremo del robot.

- **Capacidad de carga:** Peso de la carga y la herramienta que el robot debe mover.

Seguridad en instalaciones robotizadas

En instalaciones robotizadas, la seguridad tiene especial relevancia ya que el robot tiene mayor índice de riesgo que otras máquinas. La seguridad de los sistemas de robots presenta dos aspectos:



- La seguridad intrínseca al propio robot (responsabilidad del fabricante del robot).

- La seguridad del diseño, implantación y uso del robot industrial (responsabilidad el usuario).

La norma europea armonizada EN775 "Robots manipuladores industriales" define a los diseñadores y fabricantes el marco para la construcción de máquinas seguras. La seguridad en las instalaciones robotizadas (células de producción) debe incluir tres frentes:

**ROBOTS AVANZADOS:
ROBÓTICA DE SERVICIOS**
Aplicaciones no industriales de la Robótica

Aunque el entorno industrial sigue siendo el campo de aplicación por excelencia de la Robótica, desde hace más de dos décadas han ido surgiendo aplicaciones alternativas cuyo interés ha ido en aumento en los últimos años con la aparición de los primeros productos comerciales. Esto ha hecho que paulatinamente se vayan popularizando términos como "robótica avanzada" o "robots de servicio". Una de las primeras actuaciones significativas en esta línea fue el lanzamiento del proyecto internacional de

colaboración denominado en la actualidad "Programa Internacional en Robótica Avanzada" (IARP: *International Advanced Robotics Programme*) iniciado en 1982, a raíz de la Cumbre Económica de Versalles, con el objetivo de *potenciar la colaboración internacional para el desarrollo de sistemas robotizados que permitan reducir la participación humana en actividades complejas en entornos o condiciones inhóspitos, agresivos o peligrosos*

El IARP no proporciona una definición explícita de "robot avanzado". En su lugar plantea que éstos deben tener una o más de las siguientes características:

- Ser capaces de desplazarse de forma autónoma.
- Poder operar en condiciones o entornos inhóspitos, agresivos o peligrosos.
- Ser utilizados en aplicaciones no industriales: Agricultura, nuclear, espacio, Medicina, Ingeniería civil y construcción, operaciones de rescate, fabricación inteligente, etc.

Otra muestra de la creciente importancia de este sector es la creación del **Comité Técnico sobre Robots de Servicios** (IEEE *Robotics and Automation Society*) durante la Conferencia Internacional sobre Robótica y

Automatización de 1995 en Nagoya, con el objetivo de *".. servir de apoyo a la creciente comunidad internacional de investigadores e ingenieros que desarrollan sistemas robotizados que prestan servicios de diferentes clases al ser humano"*.

La IFR (*International Federation of Robotics*) ha elaborado la siguiente definición preliminar de "robot de servicios":

"Un robot que funciona de forma total o parcialmente autónoma para proporcionar servicios de utilidad del ser humano o en instalaciones y equipos, excluyendo las operaciones de fabricación"

Este mismo Organismo propone la siguiente clasificación:

- Servicio al ser humano: entretenimiento, atención sanitaria, etc.
- Servicios aplicables a instalaciones o equipos: mantenimiento, reparación, limpieza, etc.
- Otras funciones realizadas de forma autónoma (vigilancia, transporte, toma de datos) y/o robots de servicio no clasificables en las dos categorías previas.

Otras definiciones propuestas son:

La robótica de servicios incluye todos aquellos aspectos en los que un sistema robotizado interactúa con seres humanos en el mismo espacio de trabajo. Esto implica que factores como la seguridad, interacción con el ser humanos y un mayor grado de autonomía en entornos parcialmente estructurados tienen mucha más importancia que en los robots industriales.

Los robots de servicios son dispositivos mecatrónicos, sensorizados y reprogrables cuya participación es beneficiosa en las actividades humanas cotidianas. Se sitúan en algún punto entre los robots industriales y los robots de campo.

Medidas de seguridad a adoptar durante la fase de diseño del robot	Medidas de seguridad a adoptar durante la fase de diseño de la célula	Medidas de seguridad a adoptar durante la fase de instalación y explotación de la célula
Supervisión del sistema de control	Barreras de acceso a la célula	No invadir la zona de trabajo del robot cuando esté en servicio
Parada de emergencia	Dispositivos de intercambio de piezas robot-operario	Señalización adecuada del estado del robot (señales luminosas y acústicas)
Velocidad máxima limitada	Parada del robot cuando el operario entra en zona de trabajo	Depuración y comprobación de todas las tareas de producción que debe realizar el robot
Detectores de sobreesfuerzo	Zonas aisladas para reparación del robot	
Pulsadores de seguridad	Protección adecuada para las instalaciones auxiliares	

País	1990	1994	1998	2002	Relación 98/97 (%)
Japón	274.200	377.000	411.800	366.600	-0,3
EE.UU.	39.000	57.100	81.700	120.200	6,0
Alemania	27.300	45.300	73.200	103.800	9,5
Italia	12.200	20.600	31.500	47.400	11,0
Francia	8.400	12.300	16.200	20.000	3,7
Reino Unido	5.900	8.100	10.800	15.000	8,1
Sub total	367.000	520.400	625.200	673.000	2,3
Austria	1.100	2.100	2.800		5,2
Benelux	2.300	4.500	7.200		11,2
Dinamarca	500	600	1.000		20,5
Finlandia	800	1.200	1.900		17,8
Noruega	400	500	500		-2,1
España	2.100	4.200	8.600		23,4
Suecia	3.300	4.200	5.300		7,1
Suiza	1.500	2.500	3.300		8,7
Sub total	12.000	19.800	30.600	48.700	13,2
Europa del Este	7.500	2.600	2.700	4.100	-1,6
Australia	1.400	1.800	2.600		8,2
Corea, Rep. Of.	3.000	12.700	31.400		4,1
Singapur	1.400	2.300	5.000		7,6
Taiwán	1.300	3.300	5.800		13,5
Sub total	7.100	20.100	44.800	53.600	5,8
Antigua URSS	64.200	20.000	10.000	10.000	
Otros	1.400	3.400	7.000	10.000	10,7
Gran total	459.200	586.300	720.300	799.400	3

Mercado de robots industriales en España y en el mundo

Los robots de campo son robots móviles utilizables en áreas abiertas en las que deben desplazarse de forma autónoma para realizar actividades no repetitivas.

Mercado y sectores de aplicación

En la primavera de 2000, la ECE y la IFR realizaron un estudio de mercado sobre robots de servicios. Las 80 compañías de todo el mundo encuestadas proporcionaron datos de

ventas acumuladas hasta 1999 (incluido) y proyecciones para el periodo 2000-2003. Las cifras mostradas en la tabla son valores estimados a partir de los datos recibidos, teniendo en cuenta las compañías que no respondieron a la encuesta.

Excluyendo las aplicaciones domésticas, el mayor parque de unidades instaladas corresponde a los robots para aplicaciones de inspección y mantenimiento (1.000 unidades, el 90 % en tareas de inspección sub-

acuática) y los utilizados en aplicaciones quirúrgicas (800 unidades), seguidos de las plataformas móviles y robots de limpieza. Analizando el mercado desde el punto de vista del coste de las unidades instaladas por sectores, las diferencias son aún más evidentes: los robots médicos representan más del 40 % del coste total mientras que los robots para operaciones subacuáticas suponen casi otro 40 %. Estos valores son el resultado de su alto coste unitario.

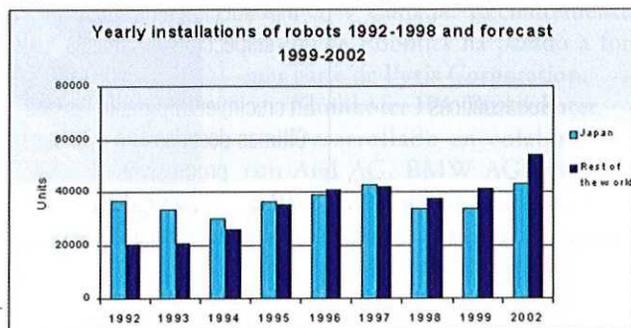
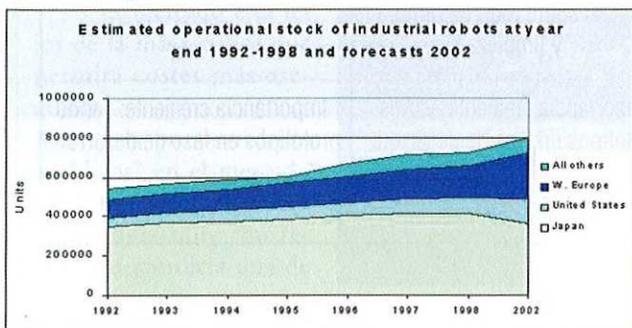
Cabe destacar que, a la vista de las previsiones, el sector de la robótica quirúrgica es el que, con gran diferencia con respecto al resto, experimentará el mayor crecimiento, pasando de las 800 unidades instaladas en 1999 a casi 6.000 a finales de 2003.

A continuación damos un breve repaso de los aspectos más importantes relacionados con los dos sectores de aplicación dominantes en la actualidad: Inspección y Mantenimiento, y robots aplicados a la Cirugía.

Robots de inspección y mantenimiento:

Estas tareas son habituales, y de gran importancia, en la práctica totalidad de los sectores productivos. La aplicación de robots este campo tiene una larga tradición en sectores como el nuclear y el petroquímico y se va introduciendo en otros como el de transporte (aeronaves y barcos), distribución, servicios, etc. La tabla siguiente resume las tareas relacionadas con la inspección y el mantenimiento que son o pueden ser realizadas por robots en diferentes sectores .

Parque mundial de robots industriales instalados por países (periodo 1990-1998) y previsión para 2002



En la industria nuclear se llevan utilizando tele-manipuladores desde hace más de cuatro décadas debido a factores como la baja frecuencia de las operaciones, que favorece el empleo de equipos polivalentes capaces de realizar diferentes tareas, el alto grado de precisión exigido y la impredecibilidad de la complejidad de las tareas debido a la posibilidad de fallos. Las funciones realizadas mediante robots en este sector son: mantenimiento de reactores nucleares, desmantelamiento de instalaciones e intervenciones de emergencia. Las principales ventajas que aportan son evitar riesgos a los operarios y mejorar la disponibilidad al poder realizar ciertas operaciones sin tener que detener el funcionamiento.

El otro ámbito en el que el uso de robots en estas tareas ha alcanzado gran difusión es el subacuático. El tipo de aplicaciones es muy diverso. Una posible clasificación distingue entre robots ligeros y pesados. Los

Tipo de robot	Unidades Instaladas (finales 1999)	Instalaciones previstas 2000-2003
Robots de limpieza (tanques, fachadas, etc.)	400	700
Robots de Inspección y Mantenimiento		
General: centrales nucleares, puentes, etc.	100	150
Robots de inspección subacuática	900	200
Robots médicos (Cirugía)	800	5.000
Sillas de ruedas robotizadas	200	200
Plataformas robotizadas móviles (Usos múltiples)	500	400
Robots de vigilancia y seguridad	50	250
Robots Guía (p.e. en museos)	10	50
Robots servidores de combustible	50	1.200
Robots para la desactivación de explosivos	150	250
Robots en la industria de Construcción		
Robots agrícolas		
Robots espaciales		
Robots en laboratorios	180	500
Otros tipos	260	500
Unidades totales	3.600	9.400
Robots domésticos (no incluye "aspiradores")	3.000	40.000
Robots "aspiradores"		270.000
Mercado mundial de robots de servicios (adaptado de [6])		

primeros (menos de 50 kg) pueden realizar tareas de inspección en los muelles, cascos de buques o plataformas petrolíferas a una profundidad

de hasta 300 m. Los segundos pueden trabajar hasta 3.500 m de profundidad y deben ser mucho más pesados (hasta 5 t). Se emplean en la

Campo de aplicación	Tarea realizada		
	Inspección	Mantenimiento preventivo	Gestión de Incidentes
Industria nuclear	Campo en crecimiento, muy ligada a la introducción de sistemas de mantenimiento remoto	Campo consolidado, con varias décadas de utilización satisfactoria de sistemas robotizados.	Sector de gran actividad: descontaminación, transporte de residuos, etc.
Líneas ferroviarias	Poco interés y escasa actividad	Campo de aplicación habitual pero con poca actividad reciente	Escasa utilización
Distribución de electricidad	Escasa utilización	Interés creciente: sobre todo en el uso de robots en tendidos de alta tensión	Sector de mayor aplicación en la actualidad y con una demanda creciente debido al interés en evitar riesgos a los operarios.
Aeronaves	Crecimiento moderado por la introducción de técnicas de inspección automática	Crecimiento moderado: se aplican sobre todo en pintura y limpieza	Escasa aplicación
Subacuáticas	En crecimiento durante las dos últimas décadas con avances progresivos.	Importancia creciente: varios prototipos en fase de desarrollo	Importancia creciente: varios prototipos en fase de desarrollo

Tabla 2. Resumen de aplicaciones de la Robótica en mantenimiento y reparación.

construcción de oleoductos submarinos y plataformas de extracción, y en las correspondientes tareas de inspección y mantenimiento.

Otra clasificación distingue entre manipuladores, ROVs (*Remote Operated Vehicles*) y AUVs (*Autonomous Underwater Vehicle*). Estos últimos son los más sofisticados y comenzaron a ser comercializados en 2000.

Robots aplicados a la Cirugía

En este campo el planteamiento, unánimemente aceptado, es que, excepto en muy pocos casos, los robots no realizarán operaciones de forma totalmente autónoma sino que ayudarán al cirujano a obtener mejores resultados. La investigación sobre aplicaciones de la Robótica en Cirugía se intensifica a partir de la segunda mitad de los 80. Sin embargo, después de más de diez años de desarrollos, la utilización práctica de sistemas robotizados de ayuda al cirujano es todavía muy reducida a pesar de las ventajas que ofrece:

- El robot no tiembla ni tiene sacudidas inesperadas.
- La precisión de un robot es muy superior a la de un ser humano.
- El sistema de control de un robot puede responder ante un estímulo mucho más rápidamente que un cirujano.
- Un robot puede ser operado de forma remota sin necesidad de presencia del cirujano.

Esta utilización limitada es debida, entre otras, a las siguientes causas:

- En la actualidad no existen normas sobre el desarrollo, instalación, uso e integración de sistemas robotizados en los quirófanos.
- El mercado está lejos de la masa crítica que permita costes más asequibles.
- Los pocos robots "médicos" en el mercado están limitados a realizar operaciones muy concretas (se desperdicia una de

las características fundamentales de los robots: la versatilidad para realizar tareas diversas)

Los sistemas robotizados de ayuda a la Cirugía (presentes y futuros) pueden clasificarse en tres grandes tipos:

1. **Robots teleaccionados para Cirugía mínimamente invasiva:** el robot no es autónomo sino controlado indirectamente por el cirujano. Se utilizan sobre todo en operaciones laparoscópicas. La aplicación habitual es utilizarlo para mover una cámara endoscópica. Sólo unos pocos se utilizan para manipular instrumentos quirúrgicos.

2. **Sistemas autónomos:** en la actualidad sólo se utilizan para el fresado / conformado de la cabeza del fémur en las operaciones de prótesis de cadera y, recientemente, para intervenciones de rótula.

3. **Robots controlados de forma interactiva:** permiten restringir el volumen de trabajo y combinar movimientos programados con desplazamientos guiados por el cirujano. Se utilizan sobre todo para posicionar microscopios en operaciones de neurocirugía.

Ejemplos de otras aplicaciones

A continuación se muestran algunos ejemplos de robots comerciales o prototipos avanzados de sistemas orientados a otros sectores de aplicación:

Este robot, instalado sobre una grúa, permite el cableado y recableado de líneas de alta tensión sin nece-



sidad de cortar el suministro. La estructura del robot está recubierta de material plástico garantizando el aislamiento adecuado. Está dotado de dos manipuladores que pueden ser teleaccionados aplicando diferentes estrategias de control y cooperación.

Automax Co., Ltd., (Japón)

Helpmate es un correo robotizado diseñado para el transporte de materiales dentro de un hospital: documentación, comidas, radiografías, material de laboratorio y farmacéuti-



co, etc. Incorpora diferentes sistemas sensoriales y de navegación en entornos semiestructurados que le permiten llegar a su destino evitando obstáculos fijos o móviles.

Desarrollado por **Helpmate Robotics** (EE UU), con financiación parcial del *Advanced Technology Program* del gobierno de EE.UU. Desde 1997 se han vendido o alquilado unas 100 unidades a hospitales en EE.UU. y Canadá. Recientemente, Helpmate Robotics ha pasado a formar parte de **Pyxis Corporation**.

Fraunhofer IPA Tankroboter

Desarrollado en colaboración con **Aral AG**, **BMW AG**, y **Mercedes-Benz AG**, permite establecer una conexión estanca entre el surtidor y el depósito del vehículo. Éste debe es-



tar dotado de un identificador electrónico que es leído por el robot. La posición exacta del coche se detecta mediante cámaras mientras que el espacio de trabajo del robot es vigilado mediante *scanners* de láser.

MANUS-arm es un manipulador ligero (13 kg, que soporta una carga de hasta 2 kg) de 6 gdl preparado para ser instalado en una silla de ruedas y orientado a pacientes con fuertes discapacidades. Permite la ejecución de tareas sencillas como abrir y cerrar puertas, coger y depositar objetos li-

vianos, etc. El control por parte del usuario es personalizable en función de las limitaciones de éste, pudiendo realizarse mediante voz, *joystick*, etc. (Exact Dynamics, Holanda)

Tendencias actuales

Aunque en la actualidad, la investigación en los temas relacionados con la Robótica sigue abordando la solución de problemas "clásicos" (control, programación, etc.), también se ha ampliado el espectro de

campos de trabajo con la aparición de nuevas aplicaciones y sectores de aplicación. Algunas de las líneas de trabajo más interesantes en la actualidad son:

- **Integración con otros sistemas.** El robot deja de considerarse como un elemento aislado y pasa a ser un componente de un sistema más complejo (células de fabricación, sistemas de cirugía asistida por ordenador). Esto plantea nuevos retos que obligan a modificar el enfoque tradicional en el diseño de sistemas robotizados.

- **Interfaz hombre-máquina.** Muchos robots de servicios deberán ser manejados por usuarios no expertos y sin ningún tipo de familiaridad con componentes informáticos como un teclado o un *joystick*. Por lo tanto, es esencial que estos sistemas estén dotados de interfaces "naturales" que hagan su manejo lo más simple posible.

- **Cooperación entre robots.** Al igual que ocurre con los seres humanos, en muchos casos puede ser más eficiente realizar una tarea entre varios robots que de forma aislada. Aunque el concepto de "sistema multi-robot" surgió hace más de una década, en la actualidad este tipo de sistemas sólo se aplican en configuraciones muy simples y rígidas. El desarrollo de robots capaces de coordinarse y cooperar de forma dinámica es una de las líneas de investigación más interesantes en la actualidad.

- **Seguridad.** Tradicionalmente, la solución al problema de la interacción entre robots (industriales) y operarios consistía en entrenar al operario y aislar el robot. Este planteamiento es simple y efectivo pero, aún así, es imposible evitar accidentes. Los robots avanzados y de servicios no pueden adoptar este enfoque simple de la seguridad que va contra su propia naturaleza de interacción con el ser humano. Esto obliga a buscar nuevos planteamientos en este aspecto tan crítico para su implantación con éxito. ■

