

Cuadernos CDTI

Centro para el Desarrollo
Tecnológico Industrial.
Ministerio
de Industria y Energía.

Robótica Industrial



Cuadernos CDTI

Septiembre, 1982

Centro para el Desarrollo
Tecnológico Industrial.
Ministerio
de Industria y Energía.

Robótica Industrial

Depósito Legal: M-25801 - 1984
ISBN: 84-500-7808-3
Fotomecánica y Fotocomposición:
CASTELLANA, S.A.
Solana de Luche, 11
MADRID-11
Impreme: EPES - Ind. Gráf. S.L.
Camino Valgrande, s/n.
Alcobendas (Madrid)

CDTI Septiembre 1982

PRESENTACION

La sustitución de las funciones de decisión y de cálculo, que siempre habían sido privativos de la mente humana, por procesos realizados mediante dispositivos artificiales, constituye una auténtica revolución y está en la base de todos los sistemas automáticos. En el marco general de estos últimos, la aportación de la robótica es esencialmente instrumental y consiste en la sustitución de máquinas o equipos capaces de automatizar operaciones concretas para cuyo fin han sido específicamente diseñados, por dispositivos mecánicos de uso general, dotados de algún grado de libertad en sus movimientos y capaces de adaptarse a la automatización de un número muy variado de procesos u operaciones. Aunque la robótica pueda no ser considerada conceptualmente como una auténtica revolución, está llamada a tener un impacto extraordinariamente importante sobre la forma de concebir muchos procesos productivos a través, principalmente, de los denominados "sistemas de fabricación flexible". Debo aclarar que me refiero, naturalmente, a la llamada "robótica industrial" que es la única que ha sido desarrollada con vistas a su utilización práctica. El término "robot" está asociado en general, a nivel popular, a dispositivos mecánicos antropomórficos (y algunas veces zoomórficos), al servicio o esclavos del hombre...

El campo de aplicación de los robots industriales aparece prometedor porque, en principio, casi cualquier función en una línea o cadena de producción es robotizable. Otra cosa distinta es que lo sea en condiciones de rentabilidad...

Por lo general, los robots industriales se adaptan bien a tres tipos de funciones: la manipulación, el ensamblaje y la operación o fabricación propiamente dicha. De otra manera: hay robots que manejan piezas, y robots que manejan herramientas. En la primera categoría encontramos, entre otros, los robots para carga-descarga de máquinas herra-

mienta, hornos, máquinas de estampación, máquinas de moldes por inyección y de manutención en general, y los robots de montaje y ensamblaje de piezas. Entre los segundos, los robots de soldadura, los de pintura y los de tratamiento de superficies son los más extendidos.

Los robots son particularmente adaptables a todas aquellas operaciones en las que haya que efectuar movimientos relativamente importantes de las piezas o de las herramientas. Los campos de aplicación aumentan sin cesar, pero ha sido la industria del automóvil, principalmente en el Japón, la primera y la que más ha contribuido a la expansión y al desarrollo de la robótica. Las operaciones de ensamblaje van ganando terreno, aunque precisan robots de mayor precisión y complejidad que puedan requerir la capacidad de visión del entorno.

La introducción de robots en cadena de fabricación y montaje puede afectar sensiblemente al conjunto de la organización del sistema productivo. Su flexibilidad y su capacidad de adaptación a secuencias de operaciones distintas permiten contemplar la producción de equipos o piezas de modelos distintos, intercalados siguiendo las necesidades del mercado o las características más o menos personalizadas en función de los deseos de los clientes. Con ello se evita la necesidad de producir series elevadas de un mismo modelo o elemento, debido a la dificultad de adaptar la maquinaria de las cadenas de fabricación clásicas. La consecuencia es una previsible disminución de los stocks de productos terminados y un acortamiento de los plazos de entrega, conllevando una exigencia de organización estricta del aporte de componentes y de materiales para su integración en el proceso de fabricación flexible.

Por lo que se refiere a la repercusión social de la introducción del robot y frente al argumento repetidamente utilizado de la posible creación de

paro, debo aclarar que la robótica se viene incorporando típicamente en procesos industriales que son particularmente penosos, peligrosos o desagradables para el hombre y que aunque se estima que un robot desplaza, por término medio, tres puestos de trabajo, crea una nueva ocupación generalmente más cualificada. Lo que sí es evidente es que en un mundo altamente interrelacionado y competitivo la falta de productividad puede ocasionar todavía más paro al hacer inviable la propia supervivencia de muchas empresas.

Creo que puede resultar interesante, en este punto, citar las palabras de Pedro Durán Farrell, conocida personalidad del mundo industrial que dijo en unas recientes declaraciones a la prensa: "Las grandes empresas históricas clásicas, la gran siderurgia, la industria naval, las grandes industrias de bienes de equipo, etc., tienen para mí dos grandes alternativas: o bien la robotización, transformándose en industrias creadoras de riqueza, con mano de obra reducida y altamente cualificada, o bien simple y llanamente su desaparición... Creo que todos debemos hacer un gran ejercicio de reflexión, pues el mundo evoluciona por caminos nuevos. Hemos de analizar qué aspectos son robotizables y cuáles no lo son y, sobre todo, hemos de acostumbrarnos todos a vivir y a actuar en un mundo que es una transformación tecnológica permanente, increíblemente acelerada y que representa una revolución, una gran aportación, pero que exige un replanteamiento total de posturas."

Es obvio que habrá que estudiar a fondo todas las repercusiones sociales de la robótica aunque de momento sólo sean susceptibles de robotización un pequeño porcentaje de las tareas industriales. Se debe abordar el reciclado y la reconversión de la mano de obra y la aparición de nuevos puestos de trabajo altamente cualificados. Son éstos problemas complejos que hay que prever con tiempo para evitar los desfases y los

baches que la toma tardía de decisiones puede ocasionar.

El parque actual de robots en España puede estimarse cercano a los 250. Casi todas las grandes marcas europeas y americanas están presentes y sólo una o dos empresas han iniciado o contemplan de momento la fabricación de robots en España. El desarrollo de la robótica no requiere complejas instalaciones industriales ni inversiones espectaculares. Es, fundamentalmente, un problema de innovación y creatividad. Se trata de una tecnología moderna e interdisciplinar que puede estar perfectamente al alcance de nuestros técnicos y de nuestras empresas. Lo importante es que haya la decidida voluntad y la visión para introducirse en este campo. Todavía estamos a tiempo, pero dos o tres años de retraso nos podrían resultar fatales. Se debe proceder a una decidida colaboración entre el sector público y el sector privado y desencadenar un programa de investigación y desarrollo bien pensado.

Tres debieran ser, a mi entender, los objetivos de la robótica en España:

- En primer lugar y a medio plazo, se debe proceder a la creación y fabricación de una familia de robots adecuada a nuestras necesidades.
- Se debe promover y desarrollar la tecnología de su utilización, incluyendo el estudio de los sistemas de fabricación flexible.
- Se debe proceder a la creación de tecnología de punta para preparar las futuras familias de robots avanzados. En particular, se deben estudiar todos los problemas relacionados con la percepción, sea ésta visual o táctil; se debe trabajar en la línea de la generación de planes de acción y en la de recuperación de situaciones de emergencia y se deben desarrollar lenguajes eficientes de comunicación hombre-robot.

Toda esta actuación no debe olvidar que, tal como he indicado más arri-

ba, la robótica es una tecnología interdisciplinar en la que intervienen los campos mecánico, hidráulico, electrónico e informático, y automático, por lo que habrá que programar y coordinar adecuadamente las actuaciones que se emprendan.

El Ministerio de Industria, consciente de la importancia y transcendencia para nuestro futuro de la robótica, ha tomado esta vez la iniciativa y ha desencadenado toda una serie de actuaciones encaminadas a promoverla y encauzarla. A través del CDTI se han programado diversas reuniones con expertos de centros de investigación y de empresas y se organizó una jornada de reflexión sobre robótica en la que se presentó y debatió el informe elaborado por CEAM, objeto de la presente publicación. Todo ello ha cristalizado en la preparación de un "Plan Especial" que espero podrá ser realidad bien pronto y constituirá un buen punto de arranque para estimular a la industria y coordinar y potenciar la investigación, poniendo en contacto la Universidad y los centros del CSIC con las empresas del Sector. Espero y deseo que todo ello sea el catalizador que haga que nos introduzcamos de una vez en serio y profesionalmente en el campo de la robótica.

GABRIEL FERRATÉ
Rector de la Universidad
Politécnica de Barcelona

INDICE

	<i>Página</i>		
Objetivo de este Cuaderno	7	Análisis de la demanda por tipos de robots y aplicaciones tecnológicas	36
Conclusiones y recomendaciones	8	Análisis de la demanda por sectores utilizadores.	38
 DOCUMENTO BASE			
Robótica industrial y automatización de procesos industriales	13	Repercusiones de la introducción de los robots en el sistema industrial	41
¿Qué son los robots industriales?	14	Repercusiones sociales	41
Aplicaciones de la robótica industrial	19	Repercusiones económicas y productivas	44
Campos de aplicación actuales	19	La realidad de la industria española frente a la nueva tecnología del robot industrial	46
Desarrollo tecnológico del sector y tendencias futuras en las aplicaciones de la robótica industrial	20	Nivel de adecuación de las características tecnológicas y productivas de la industria española para la producción y empleo de robots	46
El mercado de robótica industrial	21	Actuaciones españolas en el campo de la robótica industrial	46
Origen y expansión del mercado del robot	21	Estrategia para el desarrollo de la robótica en España	49
Análisis de la oferta	23	Principales acciones a llevar a cabo	49
La oferta mundial de robots	23	Instituciones implicadas.	51
Análisis por países y zonas		ANEXOS	
a) Japón	23	Programa Especial de Robótica	55
b) Estados Unidos	25	Otros datos de interés	56
c) Europa	27	Índice de tablas y figuras aparecidas en el Documento Base	60
Suecia	27	Bibliografía	62
Noruega	28		
República Federal Alemana	28		
Italia	29		
Francia	30		
Finlandia	30		
Gran Bretaña	31		
Tipología de empresas fabricantes	31		
Principales características de la estructura productiva del sector y otras características de la oferta	32		
Análisis de la demanda	34		
Demanda de robots industriales por países.	34		

ILUSTRACION
JUAN JOSE MACHIN

OBJETIVO DE ESTE CUADERNO

Con este nuevo Cuaderno de la Serie Amarilla, el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI) continúa su labor de análisis y estudio de las características y la problemática que plantean las nuevas tecnologías industriales. En esta ocasión, el protagonismo corresponde a una tecnología "de punta" de gran actualidad: la robótica industrial.

A lo largo del mismo se incide de un modo particular en tres cuestiones fundamentales: la evolución futura previsible de la oferta y la demanda mundial de robots industriales, tanto en lo que se refiere a volumen de mercado como a características de los productos (aplicaciones, sectores utilizadores) y de los productores (tipos de empresas); las repercusiones que tendrá en los niveles social, económico y productivo, la introducción de la robótica en el sistema industrial en el transcurso de las dos próximas décadas, y, por último, la situación de la industria y la investigación española con respecto a la posibilidad de incorporar y desarrollar esta nueva tecnología en España.

La robotización de las plantas industriales constituye una tendencia creciente en los principales países industriales del mundo. Dos consecuencias de la implantación de los robots tienen un papel decisivo y convierten en irreversible este proceso. A nivel económico, la robotización y automatización de los procesos de producción implica importantes mejoras en la productividad industrial y, lógicamente, incrementa substancialmente la competitividad de las empresas a todos los niveles.

A nivel social, libera a los trabajadores industriales de tareas productivas de carácter penoso y desagradable, mejora el entorno de trabajo industrial y supone una revalorización del papel de la fuerza de trabajo en la industria.

Indudablemente se plantean problemas de readaptación o desplazamiento de mano de obra pero, en todo caso, la no incorporación de la nueva tecnología parece constituir

una alternativa cuyos efectos negativos pueden superar con creces los que puedan derivarse de su adopción.

Este Cuaderno pretende constituir una llamada de atención sobre la imperiosa necesidad de que la sociedad española (empresas, trabajadores y Administración, principalmente), afronte sin más dilación el reto de la robotización y automatización de los procesos productivos con todas las mejoras que la nueva tecnología comporta y con la pretensión fundamentada de asimilar todos los profundos cambios sociales que la misma origina.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

PERSPECTIVAS DE LA ROBOTICA INDUSTRIAL

1. La robótica industrial es un sector en pleno crecimiento en los principales países industriales del mundo. En el transcurso de los próximos años, se prevé que el mercado mundial de robots programables crecerá a una tasa de un 25% anual en términos monetarios.

2. En este mercado en expansión, adquirirán un peso creciente aquellos robots programables con un mayor nivel de sofisticación y que incorporen los avances tecnológicos del sector (robots repetitivos, robots con control numérico y robots inteligentes).

3. Contribuirá a la expansión del mercado el incremento de las aplicaciones tecnológicas del robot que se deriva de los avances de la tecnología del sector. Esta mayor diversificación de aplicaciones, junto con el afianzamiento de la nueva tecnología, permitirá una mayor penetración de la robótica en importantes sectores industriales en los que hasta el presente ha tenido un papel reducido: fabricación de maquinaria, electrónica, metalurgia básica, etc.

4. Los desarrollos tecnológicos del sector que han de permitir esta expansión en el mercado conciernen a áreas de investigación como la inteligencia artificial, la sensorización, el reconocimiento de formas y, en términos más generales, el "software" de control.

5. Entre las aplicaciones tecnológicas de la robótica con un futuro más esperanzador se encuentra el ensamblaje. De su desarrollo con éxito por parte de las compañías fabricantes depende en gran medida la fuerte expansión prevista en el sector.

6. Al ser aún el mercado mundial de robótica de un volumen reducido, son numerosas las firmas que operan en el mismo y el mercado se encuentra aún poco desarrollado sin que existan empresas con posiciones preeminentes. El futuro próximo

habrá de contemplar el afianzamiento de 1 ó 2 de las 4 ó 5 empresas con una mejor posición en la actualidad.

7. Estas empresas en su mayoría forman parte de grandes grupos industriales fabricantes de bienes de equipo, maquinaria y otros productos industriales de tecnología electromecánica.

La gran incógnita respecto a la conformación de la oferta en los próximos años se plantea respecto a la posible penetración en el mercado de los grandes fabricantes mundiales especializados en otra de las tecnologías que confluyen en la robótica: la electrónica.

8. La robótica industrial ha de ser considerada como una técnica de automatización que, junto con otras técnicas alternativas y complementarias, contribuye al desarrollo de la automatización y flexibilización de los procesos productivos.

9. La introducción de la robótica en la industria y la correspondiente flexibilización de la producción comportan amplias repercusiones en el sistema industrial cualitativamente comparables a las que en su momento produjo la introducción de la fabricación en cadena en los procesos manufactureros, aunque de signo opuesto en lo que a las repercusiones sociales se refiere.

10. A nivel social, la robotización supondrá, por una parte, el liberar a los hombres de trabajos que éstos no desean por su penosidad o monotonía, y, por otra, aumentar el nivel de cualificación requerido en los puestos de trabajo en el sector industrial.

11. En cuanto al empleo, la incorporación de los robots supondrá indudablemente el desplazamiento de mano de obra de sus puestos de trabajo. Sin embargo, los efectos compensatorios que se producen a causa de las beneficiosas repercusiones de la robotización en los niveles económico y productivo (por ejemplo, la liberación de recursos en términos de capital circulante que supone la au-

tomatización y flexibilización del proceso productivo), pueden compensar con creces este saldo negativo inicial.

12. Efectivamente, la robotización y flexibilización de los procesos de producción repercute en importantes aumentos de productividad y, por ello, en mejoras en la competitividad de las empresas. En último término, este proceso conduce a una expansión en la producción y, por tanto —en mayor o menor medida— en el empleo.

13. Bajo una perspectiva global y a más largo plazo, la robotización constituye una opción insoslayable en los procesos de producción discretos. En el caso de que un sector industrial no la lleve a cabo, el mantenimiento de unos pocos puestos de trabajo a corto plazo, puede suponer a medio y largo plazo, y a través de la pérdida de competitividad de la industria, la pérdida de todos ellos.

ACTUACIONES ESPAÑOLAS EN ESTE CAMPO

La robótica industrial se encuentra aún en un primer estadio de desarrollo en nuestro país y son muy escasas las iniciativas que se han llevado a cabo tanto a nivel público como privado.

El sector privado ha concentrado su atención principalmente en el empleo de robots de importación y son muy pocos los casos en los que se han efectuado desarrollos de modelos propios. Cuando ello ha sido así, en la mayoría de las ocasiones se ha tratado de actuaciones realizadas en el seno de las empresas, sin contactos con centros de investigación. Constituyen una importante excepción a esta norma las experiencias llevadas a cabo por centros de investigación del País Vasco.

A nivel público, cabe destacar la tarea investigadora que llevan a cabo dos centros de investigación dependientes del Consejo Superior de In-

vestigaciones Científicas. Se trata del Instituto de Automática Industrial y el Instituto de Cibernética. Estos dos centros cuentan con una cierta experiencia en las tecnologías implicadas en la robótica.

En la actualidad, ambos institutos proyectan iniciar —con el apoyo de la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica del Ministerio de Educación y Ciencia— un programa conjunto de investigación sobre "Sistemas flexibles de fabricación" de indudable interés pero en el que sería muy beneficiosa la colaboración de empresas interesadas en estas nuevas tecnologías.

Paralelamente, el I.A.I. está iniciando junto con la empresa Experiencias Industriales, S. A. (EISA), del Instituto Nacional de Industria, un proyecto para el desarrollo en un período de tres años de un robot industrial programable.

Además de las experiencias citadas, cabe reseñar la labor que están llevando a cabo distintos departamentos universitarios (Madrid, Barcelona, Valladolid, Sevilla, Zaragoza y Valencia) en diferentes áreas de investigación que afectan a la robótica.

RECOMENDACIONES PARA EL CASO ESPAÑOL

El planteamiento de una estrategia de actuación en materia de robótica en España debe tener en cuenta tres consideraciones. En primer lugar, el hecho de que la robótica constituye un aspecto parcial dentro de una problemática más amplia que abarca un conjunto de tecnologías y técnicas que de un modo genérico podríamos denominar como tecnologías de automatización industrial. En segundo lugar, que las actuaciones en robótica industrial deben suponer tanto la acción en la vertiente de la oferta como de la demanda, y que precisamente en robótica industrial parece más interesante incidir en este último aspecto. Y, en tercer lugar,

una actuación en robótica industrial para obtener y emplear los robots industriales actualmente en el mercado mundial sin una potenciación de la investigación en las tecnologías básicas a emplear en los robots del futuro volverá a situar a España, dentro de unos años, en peores circunstancias que en las que actualmente se encuentra.

En cuanto a actuaciones globales que afectan tanto a la utilización como a la producción de robots, las acciones han de dirigirse esencialmente a la coordinación de la investigación básica y al fomento de la formación en robótica. Concretamente las principales medidas a tomar serían:

— Coordinación de acciones tendentes a fomentar la automatización.

— Coordinación de la investigación tecnológica básica de incidencia en la automatización en general y en robótica en particular con una doble visión: a corto plazo para el desarrollo de robots industriales sin servocontrol y servocontrolados para abastecer el mercado nacional, y a largo plazo para poder desarrollar, en el futuro, robots inteligentes, con control evolucionado, dotados de sentidos y capacidad de decisión.

— Lanzamiento de un plan nacional de formación a todos los niveles en todas las tecnologías que intervienen en la automatización y la robótica para poder contar con técnicos preparados, que debe contemplar los siguientes puntos:

- Potenciación de los estudios de Formación Profesional actualizando su contenido, adecuándolo a las necesidades y dotándolos de personal y medios necesarios.

- Potenciación de los estudios de licenciatura e ingenierías técnicas y superior en las ramas donde se imparten enseñanzas de las tecnologías necesarias, dotándolos del profesorado y material necesarios.

- Ayuda a la especialización del personal titulado, tanto por la creación de centros y cursos de especialización, como por la dotación de becas para formación en centros y universidades españoles y extranjeros.

- Apoyo a un plan de formación del personal de las empresas también a todos los niveles.

- Articulación de una legislación que obligue a emplear parte de los beneficios obtenidos mediante la automatización, en formación del personal sustituido, a la vez que se prima este tipo de acciones.

- Promoción de cursos sobre automatización y sus tecnologías, sus problemas, beneficios y forma de utilización, para personal directivo y gerencial.

Por lo que respecta al fomento de la oferta, se proponen las siguientes acciones:

— Realización de estudios de mercado para determinación de los robots más adecuados al mercado nacional y no excesivamente desarrollados en el extranjero.

— Fomento del diseño de robots, en coordinación con los centros de investigación básica y aplicada, a fin de conseguir robots de las características delimitadas en los estudios de mercado.

— Ayudas de carácter técnico y financiero al desarrollo de prototipos por parte de las empresas.

— Estimulo a la formación de sociedades de capital-riesgo, para el desarrollo industrial de la robótica. En este tipo de sociedades podrían participar incluso organismos de la Administración y empresas públicas.

En cuanto a la vertiente de la demanda, las principales medidas serían las siguientes:

— Realización de estudios de aplicaciones tecnológicas sectoriales, para dar a conocer las potenciali-

dades de la robótica en los diferentes sectores productivos.

- Apoyo técnico y financiero para la realización de estudios particulares sobre implantación de robots en instalaciones industriales.
- Concesión de facilidades crediticias para posibilitar la adquisición de robots por parte de las empresas. Estas medidas podrían abarcar la concesión de créditos preferenciales y bonificaciones en el tipo de interés de los préstamos.
- Fomento de la creación de sociedades de financiación del tipo "leasing" especializadas en robótica, o bien que puedan ofrecer condiciones ventajosas en las operaciones relacionadas con la tecnología de la robótica.
- Articulación de medidas de carácter fiscal que promuevan y estimulen la inversión en los nuevos equipos productivos generados por la robótica, tales como la amortización acelerada y otros incentivos fiscales.

ROBOTICA INDUSTRIAL Y AUTOMATIZACION DE PROCESOS INDUSTRIALES

La aparición de la tecnología y de la industria del robot constituye un paso más dentro del largo proceso de mecanización y, más concretamente, automatización de los procesos industriales. No es tanto una revolución tecnológica, sino el resultado lógico de una evolución en las técnicas de automatización de la producción.

Esencialmente, la automatización de procesos industriales en un sentido amplio, se inició en los años 50 y las primeras actividades industriales en las que se introdujo fueron aquellas cuyo proceso productivo era de carácter continuo. Los sectores afectados fueron principalmente el energético, el químico, el papel, el textil y la fabricación de vidrio y cemento.

En los procesos discontinuos (como por ejemplo, fabricación de automóviles, electrodomésticos, etc.), la transformación no se inició hasta la década de los 60 y, en un principio se creyó que la automatización era un sistema de producción aplicable únicamente a procesos de fabricación en grandes series. La maquinaria y las líneas de producción empleadas eran rígidas, destinadas a la fabricación de una gama muy reducida de productos y de vida tan corta como la del propio producto fabricado. De este modo, la automatización se justificaba en la fabricación de productos en masa y carecía de interés para la producción en series pequeñas y medianas.

Los años 70 han significado un nuevo eslabón en el progreso de la automatización industrial. El nuevo elemento incorporado en esta década pasada ha sido la flexibilidad, que ha permitido que la automatización pueda abarcar a casi la totalidad de fabricaciones discontinuas. Gracias al desarrollo de la informática y la electrónica, los nuevos equipos industriales (por ejemplo, máquinas-herramienta con control numérico, robots programables) han superado a la maquinaria tradicional (máquinas-herramienta normales, manipuladores), permitiendo, por su flexibilidad y capacidad de adapta-

ción, la automatización de numerosos procesos caracterizados por la diferenciación y especialidad de la producción. La nueva tecnología ha permitido la modificación rápida de los programas de producción sin cambios radicales en los equipos productivos.

La automatización de procesos industriales no masivos es de una gran importancia, pues un elevado porcentaje de los productos industriales son fabricados mediante este tipo de procesos. En Estados Unidos, se estima que un 75% de los productos manufacturados lo son a través de la fabricación y montaje de pequeños lotes en la medida en que varían el tamaño y otras características del producto. En Europa, este tipo de procesos suponen el 50% del total de procesos industriales, repartiéndose el 50% restante entre un 40% de producción en masa y un 10% de producción artesanal no automatizable. En la producción por lotes, las series oscilan entre 100 y 10.000 unidades y son numerosas las series de productos distintos.

En el contexto de la automatización flexible de la producción industrial, el robot es uno de los elementos de más reciente incorporación y juega un papel esencial. El origen de su tecnología se encuentra en la fabricación de aparatos manipuladores y su desarrollo ha tenido lugar gracias a los progresos en la industria nuclear, manejo de productos radiactivos, proyectos submarinos etc.

En la actualidad, sin embargo, la robótica se concibe como una técnica más de automatización industrial, que debe ser utilizada en un contexto de automatización total o parcial de la producción.

La automatización total de la producción se fundamenta en la división de la fabricación, en lo que se denomina células de producción. Estas células, coordinadas todas ellas por un control informático central, se conciben como fases del proceso productivo, divisibles cada una de ellas en seis

grandes áreas: diseño del producto, maquinaria de proceso, ensamblaje, inspección y control de calidad, carga y descarga y servicio a la maquinaria, y control general informatizado del proceso de fabricación de la célula.

Para la realización de cada una de estas funciones es posible contar con técnicas de automatización diversas.

El robot industrial puede situarse en cualquiera de las cuatro áreas siguientes: maquinaria de proceso, ensamblaje, inspección y control de calidad, y carga y descarga y servicio de la maquinaria, si bien, por sus características de versatilidad, su mejor aprovechamiento lo sitúa en las áreas de carga y descarga y servicio de la maquinaria, inspección y ensamblaje. Su empleo como maquinaria de proceso le supone entrar en competencia con la maquinaria especializada que, por su parte, se hace día a día más flexible gracias a los avances de la electrónica. Por lo que respecta al área de transporte de productos y materias primas, son más adecuados otros sistemas de manutención más simples.

Sin embargo, y como se verá más adelante, el empleo del robot en la actualidad abarca aún en gran medida áreas de maquinaria de proceso y sólo relativamente la carga y descarga, el servicio a la maquinaria y el ensamblaje. Indudablemente, la fabricación completamente automatizada no es aún hoy día factible, si bien su desarrollo en los años 80 se considera asegurado. La robótica industrial ha de ser considerada como una técnica de automatización que, aunque en competencia con otras técnicas alternativas, será fundamental en este desarrollo.

¿QUE SON LOS ROBOTS INDUSTRIALES?

El nombre de "robot" surge en 1917, acuñado por Karel Capek, del término checo "robota", que significa servidumbre, trabajo obligado, esclavitud. Capek lo utilizaba por primera vez en una novela corta titulada "Opilec", y tres años después, en 1920, en la obra de teatro "R.U.R." (Rossum's Universal Robot), a la que se atribuye generalmente el origen del término. En ella describe el robot como una máquina con forma humanoide, producida en grandes cantidades y vendida como mano de obra barata.

Hoy día se asigna el nombre de robot a muy distintos tipos de dispositivos y máquinas que van, por ejemplo, desde electrodomésticos programados que realizan distintas operaciones, a aquellas otras de parecido externo humano o que realizan funciones de ayuda al hombre, con las características de un cierto grado de automotricidad y adaptabilidad, normalmente mediante programación.

Existen, pues, tres tipos de robots: los móviles, los médicos y los industriales.

Los robots móviles son máquinas con ruedas o patas, capaces de desplazarse en terrenos apropiados de forma autónoma, guiados por la información obtenida por sus propios sistemas de percepción para cumplir las órdenes recibidas desde el exterior. Están en plena etapa de concepción y experimentación. Los dotados de ruedas se emplean en transporte de materiales, en fábricas y almacenes automatizados; los de patas son más apropiados para desplazarse en terrenos no pavimentados, abruptos y tienen su campo de aplicación principal en la exploración espacial y submarina.

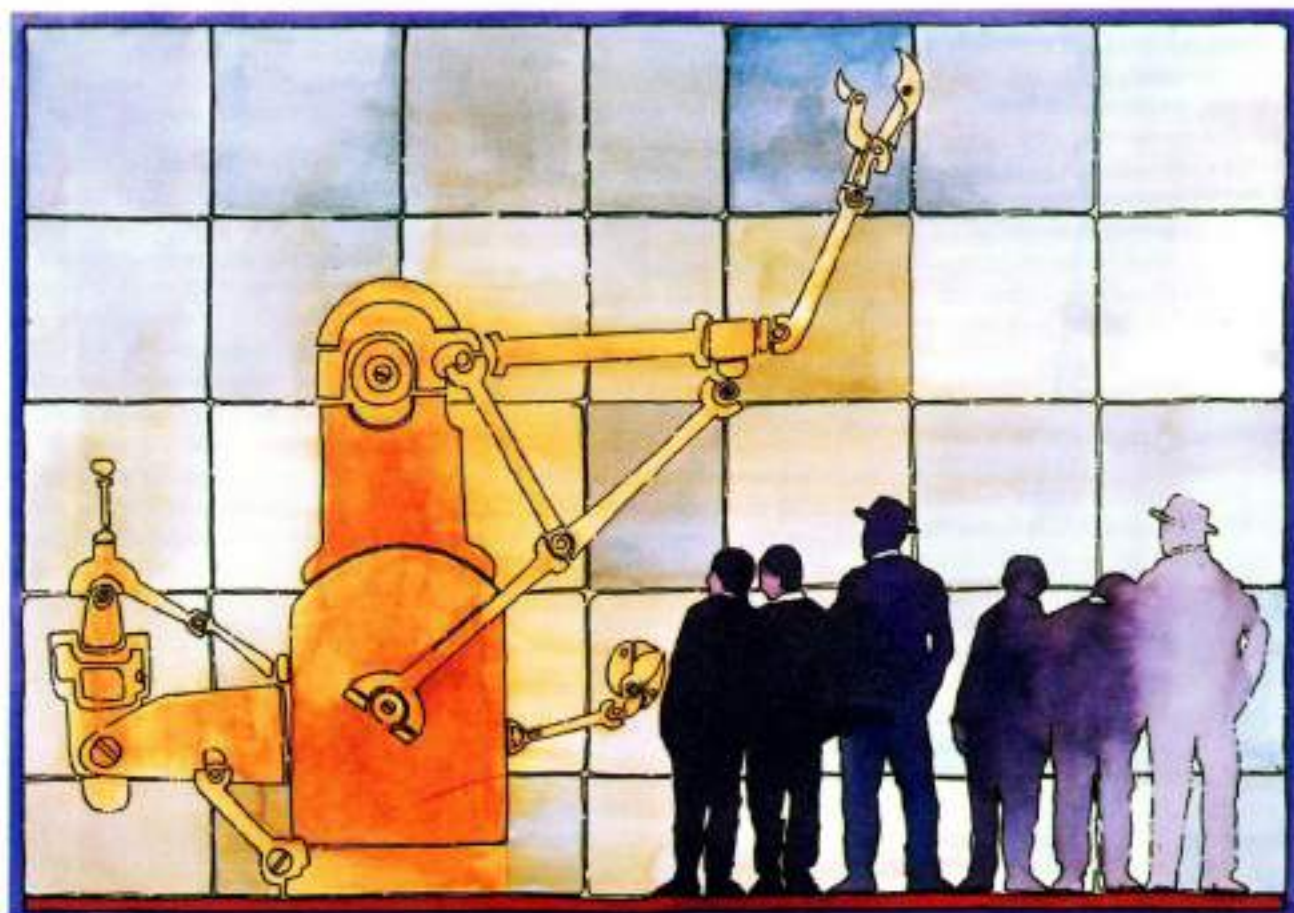
Los robots médicos son las prótesis para disminuidos físicos que se adaptan al cuerpo y están dotadas de sistemas muy potentes de mando. Tienen problemas en común con los

robots industriales y se benefician de sus logros tecnológicos en los niveles más elaborados.

Se entiende por robot industrial un conjunto diverso de maquinaria cuyo nexo común es el hecho de tratarse de artificios mecánicos destinados a la manipulación y dotados de algún grado de libertad en sus movimientos.

A partir de esta primera aproximación, es posible distinguir dos grandes definiciones de robot industrial. La primera, de carácter amplio, es la adoptada por la industria fabricante y los usuarios japoneses, y abarca toda aquella maquinaria que reúna los dos requisitos anteriores —artificio mecánico con algún grado de libertad—, y que esté concebida para su uso industrial.

La segunda definición, adoptada en Europa y los Estados Unidos, tiene un carácter más restringido y, partiendo de la definición anterior, exige



la universalidad de uso de la maquinaria, universalidad que supone que la máquina sea capaz de efectuar operaciones diferentes sin necesidad de llevar a cabo cambios fundamentales en ella, sino únicamente a través de procedimientos de programación informática. El RIA (Robot Institute of America) define el robot industrial como "manipulador programable multifuncional, diseñado para mover material, piezas, herramientas o dispositivos especiales, mediante movimientos variados programados para la ejecución de tareas variadas".

Esta diversidad de acepciones da lugar a discrepancias estadísticas a la hora de contabilizar por países el número de robots vendidos anualmente o el parque de robots existentes.

La definición de robot industrial que se adopta en el presente documento se fundamenta en la acepción europea y americana del término; considerándose robot industrial aquella máquina independiente de manipulación, concebida para el uso industrial, susceptible de efectuar operaciones diferentes mediante su programación, y capaz de moverse simultáneamente con un mínimo de tres grados de libertad (*).

Las características señaladas en esta definición permiten distinguir al robot de otros equipos usados en la industria. En particular, la posibilidad de ser fácilmente programado para efectuar procesos distintos, distingue al robot de los manipuladores todo o nada —accionados directamente por el hombre—, e incluso de los robots denominados "robots secuenciales fijos" que son máquinas automáticas preparadas para la realización de un conjunto de operaciones previamente establecidas que, sin embargo, son difícilmente reprogramables para la realización de otros procesos, o, en todo caso, pre-

cisan para ello ser objeto de modificación.

El robot industrial se distingue, pues, claramente de todo tipo de maquinaria ideada para la realización de un único proceso. También hay que diferenciarlo de aquella maquinaria de manipulación especialmente diseñada para el uso con determinados equipos, por muy complicados que sean los programas de trabajo que se efectúen. La característica que diferencia al robot del resto de maquinaria industrial es su versatilidad y capacidad de adaptación a procesos productivos cambiantes.

Es posible establecer una tipología de sistemas mecánicos de manipulación o robots en sentido amplio, en función de la potencialidad que desarrollan y de la complejidad del modo de operación o programación del aparato. La clasificación establece los cinco tipos siguientes:

- 1.º Manipulador simple: sistema mecánico poliarticulado y multifuncional concebido para ayudar al hombre y que es mandado directamente por éste. Su nivel de automatización es muy pequeño o nulo.
- 2.º Robot secuencial: manipulador que realiza paso por paso, de forma autónoma, tareas repetitivas, en condiciones preestablecidas. Los hay de dos tipos:
 - a) de secuencia fija: la secuencia de pasos y las condiciones son difícilmente variables;
 - b) de secuencia variable: tanto la secuencia como las condiciones pueden cambiarse con facilidad, poseyendo cierta flexibilidad.
- 3.º Robot de aprendizaje (o robot "playback"): manipulador que repite una secuencia que ha almacenado en su memoria y que con anterioridad ha aprendido mediante la enseñanza de un operador humano, existiendo diversas formas de realizar ésta.

4.º Robot con control numérico: manipulador que recibe las órdenes relativas a la secuencia y condiciones de trabajo directamente de forma numérica.

5.º Robot inteligente: es el robot propiamente dicho en sentido estricto. Es un manipulador dotado de un sistema de control muy sofisticado, comportando una cierta inteligencia artificial y dotado de un equipo de sensores o sentidos que le permiten examinar, si no totalmente, sí de forma parcial, las variaciones de su entorno y decidir en tiempo real, en función del contexto, las acciones a realizar y las secuencias de trabajo. Se trata de robots con el máximo nivel de automatización posible.

Mientras los japoneses consideran todos estos tipos como robots, aunque distinguiendo unos de otros, en Europa y Estados Unidos solamente se consideran tales a partir de los robots de secuencia variable, no faltando quien juzga que sólo los robots inteligentes pueden ostentar con propiedad ese nombre.

Con independencia de esta pugna conceptual, se puede decir que un robot, en general, es una máquina que está destinada a realizar trabajos similares a los del hombre; posee cierto nivel de automatización y cierta flexibilidad o adaptabilidad gracias a la posibilidad de ser programado.

Los robots inteligentes añaden a las anteriores características, además de una mayor automatización, las de tener "sentidos" para recibir información del medio exterior y relacionarse con él y la de poseer un cierto grado de inteligencia artificial que les permite tomar decisiones y generar sus propias órdenes de funcionamiento.

Los elementos que componen un robot industrial son esencialmente la estructura mecánica y el equipo de control. Ambos elementos juegan un

(*) El número de cuerpos, que coincide con el número de articulaciones, contando la que une el armazón al suelo o parte fija, recibe el nombre de grados de libertad.

papel fundamental en el funcionamiento del robot e ilustran el hecho de que la tecnología de esta nueva maquinaria sea multidisciplinaria, con aportaciones básicamente de los campos electromecánico, informático y electrónico.

Puede ser ilustrativo el paralelismo entre los componentes esenciales del robot y algunas partes y funciones del ser humano, que se incluye en la Tabla 1.

Estructura mecánica	Cuerpo
Armazón	Esqueleto
Posicionador	Brazo
Orientador	Mano
Prensor	Dedos
Motores	Músculos
Sensores	Sentidos
Equipo de control	Cerebro y sistema nervioso
Lenguaje de programación	Idioma

Tabla 1. Paralelismo robot-ser humano.

La estructura mecánica se compone de dos elementos principales: el armazón o soporte mecánico y los órganos de potencia, con las transmisiones correspondientes. Puede incluirse un tercer tipo de elementos, los sensores, que merecen una consideración aparte.

El armazón está constituido por cuerpos unidos unos a otros por articulaciones, con lo que puede variarse su posición relativa. Estas articulaciones pueden ser de dos tipos:

- Prismático (P) o de traslación, por el que un cuerpo tiene un movimiento longitudinal respecto al otro mediante una guía o carril.
- Angular (R) o de rotación, por el que dos cuerpos están unidos entre sí por un punto, desplazándose uno angularmente respecto al otro.

En el armazón pueden considerarse tres partes distintas:

- El elemento posicionador, constituido normalmente por los tres primeros cuerpos, es el responsable de situar el extremo del robot en el punto del espacio deseado.
- El elemento orientador, o mano o muñeca, suele estar constituido por dos o tres cuerpos, dependiendo de las exigencias de orientación del extremo.
- El órgano prensor o herramienta

permite al robot aprehender las piezas o tratarlas de la forma deseada.

Los robots pueden clasificarse en función del tipo de articulaciones del elemento posicionador. Surgen así cuatro clases de robots que reciben el nombre de las coordenadas utilizadas para determinar la posición de su extremo en el espacio:

- cartesianos: sus tres articulaciones son prismáticas —PPP—. Cuando están suspendidos del techo, reciben el nombre de robot pórtico.
- cilíndricos: tienen la primera articulación angular y las otras dos prismáticas —RPP—.
- polares: las dos primeras articulaciones son angulares y la tercera prismática —RRP—.
- angulares: todas sus articulaciones son angulares —RRR—.

No existen normas internacionales respecto a nomenclatura en los robots, pero suelen adoptarse, por su similitud, nombres de partes del cuerpo humano. Así, la parte fija es la base y los tres primeros cuerpos se denominan cuerpo o tronco, brazo y antebrazo, llamándose la segunda articulación hombro, la tercera, codo y la cuarta, muñeca.

Los robots pueden también clasificarse según el número de grados de libertad y el número de éstos que son angulares, ya que no suelen abundar los robots en articulaciones prismáticas.

La mano o muñeca suele ser modular e independiente del elemento posicionador, debiendo ser concurrentes los ejes de giro de sus articulaciones. En algunos casos, se utilizan muñecas incompletas, con menos de tres grados de libertad, porque son adecuadas a las tareas que tienen que realizar.

El órgano prensor depende totalmente de la aplicación y se diseña específicamente para cada una, aunque se investiga en manos de propósito general. Los tipos de órganos más utilizados son las pinzas, variando la forma de presión, el número de dedos, las ventosas y los imanes. Para simplificar operaciones se emplean órganos prensores dobles.

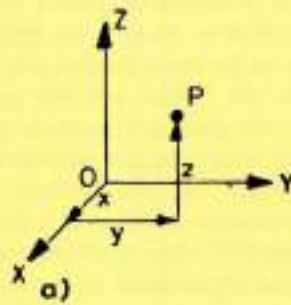
A los órganos de potencia les corresponde dotar de capacidad de movimiento al armazón que se acaba de analizar. En función del tipo de fuente de energía empleada, de los accionadores y de los dispositivos de transmisión, los robots adquieren modalidades diversas.

Según el tipo de sistema de accionamiento utilizado, los robots pueden ser:

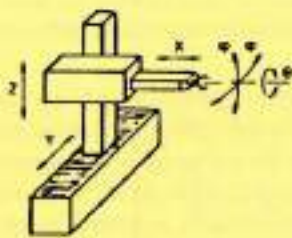
- neumáticos: son de movimientos simples, sin servocontrol de posición, muy rápidos y de gran potencia instantánea, además de ser muy limpios y plantear escasos problemas. La tecnología neumática que se impuso en un principio para tareas simples de manipula-

ESTRUCTURAS MECANICAS USUALES

COORDENADAS
CARTESIANAS

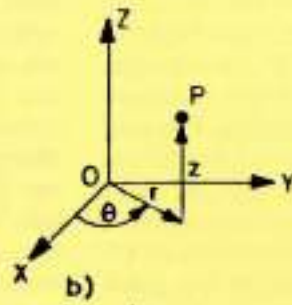


a)

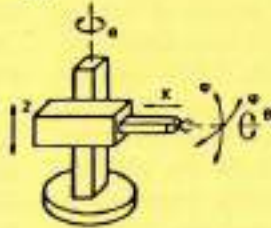


PPP-RRR

COORDENADAS
CILINDRICAS

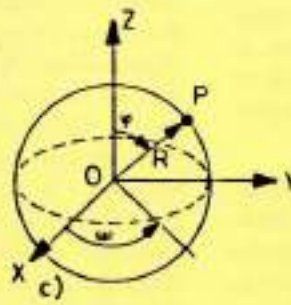


b)

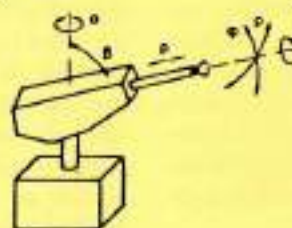


RPP-RRR

COORDENADAS
POLARES

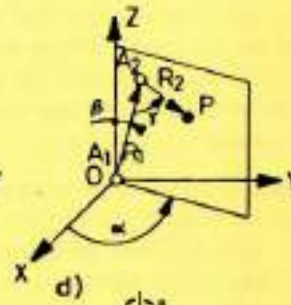


c)



RRP-RRR

COORDENADAS
ANGULARES



d)



RRR-RRR

ción de cargas limitadas por su bajo coste, alta precisión y flexibilidad mecánica, ha sido desplazada casi totalmente del sector.

- hidráulicos: son adecuados para aquellas tareas más duras en las que se requiere una mayor potencia. El motor hidráulico presenta una alta relación potencia/masa y es especialmente apto para el trabajo en ambientes peligrosos. Entre sus principales inconvenientes hay que señalar los riesgos de pérdidas y obturaciones, el desgaste de componentes y el hecho de que requiere una mecánica de gran precisión, lo que encarece mucho.

- eléctricos: cada vez más utilizados para potencias medias y bajas por la facilidad de transporte y control, reúnen unas características de precisión y calidad de movimientos que los hacen imprescindibles en determinadas aplicaciones.

La elección del tipo de motores eléctricos, hidráulicos o neumáticos, es

la que determinará el tipo de energía y por lo tanto el tipo de robot. Tanto las articulaciones prismáticas como las angulares, suelen emplear motores rotativos, aunque en algunos casos las prismáticas pueden emplear los lineales. Normalmente el objetivo de los motores es que la articulación correspondiente alcance una determinada posición y, en algunos casos, que lo haga con la velocidad e incluso la aceleración deseadas. Entre los motores eléctricos, los tipos más utilizados son los paso a paso, porque se controla la posición sin necesidad de medirla, y los de continua. Los motores hidráulicos son muy apropiados para desplazamientos muy rápidos pero cuando sólo interesa que las articulaciones del robot puedan permanecer fijas en las posiciones extremas. Cuando el motor que debe mover una articulación no está situado directamente sobre ésta, es preciso recurrir a un elemento de transmisión que une mecánicamente el motor con la articulación.

Un último tipo de elementos inclui-

dos dentro de la estructura mecánica son los sensores. Se les agrupa en dos clases, propioceptivos y exteroceptivos, según que se utilicen para medir las propiedades del robot (valor de los ángulos de cada articulación, velocidad de sus movimientos, funcionamiento de los motores, etc.) o las características del entorno que le rodea y la interacción del robot con aquél. Entre los primeros están los sensores de posición y velocidad; entre los segundos están los sistemas de captación que hacen el papel de "sentidos": detectores de proximidad, medidores de distancia, sensores de esfuerzo para ensamblaje, dispositivos táctiles, sistemas de visión y sistemas de tratamiento de la voz, que habrán de incorporar los robots del futuro.

El equipo de control, segundo gran componente de los robots, está formado por dispositivos electrónicos complejos que muchas veces incluyen microprocesadores. Tiene a su cargo cuatro funciones distintas: control de la estructura mecánica,

seguridad del sistema total, programación y elaboración de la información de los sensores, especialmente los complejos.

La técnica de control empleada es una de las características más importantes de un robot. Según ésta, se establece la clasificación de los robots en servocontrolados y no servocontrolados.

Los robots sin servocontrol se caracterizan porque no pueden fijar la posición de cada articulación más que en las posiciones extremas. Estas se fijan mediante topes mecánicos que en algunos casos pueden variarse manualmente. Por tanto, el robot sólo puede situarse en un número limitado de posiciones. Estos robots suelen ser de tipo neumático y se les conoce en general con el nombre inglés de "pick and place".

Los robots servocontrolados (o con control de posición) son aquellos en los que el sistema de control puede actuar sobre cada articulación, de forma que se puede fijar la posición de ésta en cualquier punto intermedio de su campo de recorrido. Todos los robots evolucionados (de aprendizaje, control numérico e inteligentes) entran dentro de esta clase.

Dentro de los robots con servocontrol existe una gran variedad de técnicas de control, según que se controle solamente la posición, se controle también la velocidad (control cinemático), se tengan además en cuenta las inercias, el juego y la histéresis de los motores (control dinámico), o incluso se considere la variación de los parámetros del sistema (control adaptativo).

Por otra parte, el sistema de control, en unos casos, puede controlar solamente el brazo para hacerlo llegar a los puntos deseados sin fijar el comportamiento entre dos puntos.

Puesto que los incrementos de cada articulación serán distintos y todas las articulaciones se mueven a la máxima velocidad, no se puede predecir la trayectoria a seguir por el extre-

mo del robot. Esto se conoce como control punto a punto. Este control no se puede utilizar en los robots de pintura que necesitan seguir una trayectoria prefijada a una velocidad dada. La solución ha sido aumentar el número de puntos hasta llegar en algunos casos a los 80 por segundo, aunque no llega a tratarse de un control por trayectoria continua. Esta consiste en que, fijadas las posiciones entre las que el robot ha de moverse, el sistema de control determina la velocidad de desplazamiento de cada articulación de forma que todas las articulaciones lleguen al mismo tiempo a su posición final. Cuando el sistema de control, dados los dos puntos extremos de un desplazamiento, controla el movimiento de todas y cada una de las articulaciones en los puntos intermedios mediante técnicas de generación de trayectorias, se dice que tiene trayectoria controlada.

Los sistemas de control tienden cada vez más a estar realizados sobre microprocesadores con una componente muy fuerte de software. El sistema más elemental de control, el que llevan los robots "pick and place" neumáticos, como antes se ha indicado, consiste en unos topes mecánicos, fijos o ajustables, para limitar el recorrido de cada articulación y una matriz de diodos o un cilindro con levas ajustables para establecer la secuencia de control y de movimientos. La programación se hace entonces moviendo los topes mecánicos y actuando sobre la matriz de diodos o las levas del cilindro.

Al utilizar sistemas electrónicos de control, los puntos por los que se quiere que pase el robot se graban en una memoria, y el robot se programa llevándolo físicamente por los puntos por los que se quiere que pase. Es lo que se conoce como programación por enseñanza. La forma de llevar el robot puede ser muy diversa: puede hacerse llevándolo físicamente y ajustando los topes, como en los robots "pick and place", o dando la orden de grabar en memoria dicha

posición. Puede también llevarse en lugar del robot un maniquí, con la misma estructura física, aunque mucho más ligero, lo que permite realizar el movimiento que ha de hacer el robot a la misma velocidad que se quiere obtener de éste. En otros casos, se va llevando el robot por cada uno de los puntos por los que se quiere que pase la trayectoria, mandándolo mediante una caja de botones o pupitre de programación portátil, y cuando se alcanza un punto deseado de la trayectoria se graba en memoria. Otros sistemas incorporan en la consola de programación un "joystick" que se emplea para mover simultáneamente dos articulaciones.

La introducción de los microprocesadores permite una mayor sofisticación en los programas, permitiendo la introducción de subrutinas, saltos condicionales, subprogramas y, posteriormente, la aparición de lenguajes específicos de programación de robots que se introducen mediante una consola. Actualmente existen lenguajes de alto nivel para programación de robots que dotan a éste de una flexibilidad total. Los lenguajes más importantes son VAL, AL, MAL, WAVE, AUTOPASS, LAMA, LM y SIGLA. La mayoría de ellos están pensados para tratar también información de sensores complejos, visión, tacto y tomar decisiones en función de dicha información. Con estos lenguajes, el control puede realizarse hasta en cuatro niveles: nivel accionador (comportamiento del accionador de cada grado de libertad), nivel extremidad (desplazamiento y operaciones de la extremidad del robot), nivel objeto (operaciones a realizar sobre un objeto exterior al robot, como mover A de P_1 a P_2) y nivel objetivo (se especifica el objetivo a alcanzar, como, por ejemplo, ordenar las piezas de la mesa de mayor a menor diámetro). En este último caso, el robot debe poseer una cierta inteligencia y ser capaz de establecer por sí mismo las acciones a realizar para alcanzar el objetivo fijado.

APLICACIONES DE LA ROBOTICA INDUSTRIAL

CAMPOS DE APLICACION ACTUALES

Como se acaba de señalar en el análisis de la definición y las principales características de un robot industrial, el elemento que en mayor grado caracteriza a este tipo de maquinaria es su versatilidad. Es indudable, pues, que el estudio de los campos de aplicación de la robótica industrial cobra especial relevancia ya que éstos son múltiples y variados.

La Tabla 2 constituye un resumen ordenado del amplio abanico de aplicaciones posibles en robótica industrial.

Fundamentalmente, las funciones que puede ejecutar un robot son cinco: la carga y descarga y el servicio a la maquinaria, la manutención, la inspección, el ensamblaje y la fabricación propiamente dicha.

Un robot puede realizar una o varias funciones en cada uno de estos campos e, incluso, abarcar funciones particularmente diferenciadas correspondientes a campos distintos.

Las actividades englobadas bajo los epígrafes de *carga y descarga y servicio a la maquinaria* y de *manutención*, constituyen tareas de manipulación de partes y piezas. Como se



Carga y descarga y servicio a la maquinaria	Carga y descarga de	
	<ul style="list-style-type: none"> ● máquinas de fundición inyectada (presofusión) ● máquinas de moldeo por inyección ● máquina-herramienta de corte de metales ● hornos ● máquinas de estampación 	
Manutención	Paletización y empaquetado Transporte por líneas automáticas	
Maquinaria de proceso	Soldadura	<ul style="list-style-type: none"> por puntos por arco por resistencia
	Tratamiento de superficies	<ul style="list-style-type: none"> pintura esmaltado pulverización a la llama arenado, etc.
	Encoladura Pulido y desbastado Desbarbado Fusión a la cera perdida	
Embalaje		
Inspección y test		

Tabla 2. Aplicaciones de los robots industriales.

avanzó anteriormente, son tareas en las que el robot industrial entra en competencia con manipuladores industriales más simples, pues se trata de funciones con programas relativamente sencillos. La programación de los robots empleados en este campo es punto a punto y únicamente precisan servocontroles los que efectúan tareas de paletización y transporte de materiales.

En *maquinaria de proceso* se comprenden todas aquellas funciones en las que el robot opera una herramienta (o encara una pieza a una herramienta independiente), efectuando una transformación en el producto. Para este tipo de aplicaciones de proceso se precisan, por lo general, robots de programación continua, con servocontroles y elevada capacidad de carga.

Las aplicaciones más extendidas de las que aquí se señalan son la soldadura y el tratamiento de superficies.

En *ensamblaje* se comprende, como el término indica, el montaje de partes y piezas. Es éste un campo de aplicación aún escasamente desarrollado dada su complejidad y la sofisticación de los robots que se precisan. Los principales desarrollos hasta el presente han afectado al montaje de pequeños componentes en las industrias electrónica y electromecánica.

Por último, el área de *inspección y test* comprende el empleo de robots industriales para el control de los procesos productivos así como en los controles de materias primas y productos semi o totalmente elaborados.

Las aplicaciones señaladas en la Tabla 2 tienen una importancia relativa dispar, que quedará de manifiesto en el análisis correspondiente de la demanda mundial de robots. De todas formas, los robots industriales tendrán su máxima difusión formando parte de equipos de automatización complejos y de algún modo au-

tosuficientes: los sistemas integrados de fabricación flexible.

Es importante recalcar que existe una íntima relación entre las aplicaciones del robot y sus características técnicas. Para cada gama de aplicaciones, el robot debe reunir unas cualidades (precisión, rapidez, potencia, etc.) distintas, que condicionan hasta cierto punto el tipo de estructura modular, o el mecanismo de motorización y otros mecanismos técnicos. Ejemplos de esto pueden serlo los robots de pintura, que poseen una estructura modular particular y que se caracterizan por su bajo costo y su alta fiabilidad. Estos robots deben ser rápidos, ágiles y precisos pero no se requiere que sean capaces de manejar grandes cargas. Su tracción puede ser neumática. Del mismo modo, los robots con funciones de proceso o ensamblaje precisan por lo general de una motorización eléctrica puesto que requieren una mayor calidad en los movimientos. El robot de soldadura por puntos debe reunir, entre otras características, la de trabajar en coordenadas polares y la de poseer elevado número de grados de libertad, al objeto de tener la adecuada accesibilidad a los puntos de soldadura. Por último, las tareas de carga y descarga de grandes pesos, p. e., carga y descarga de máquinas de inyección, se efectúan con robots con tracción hidráulica y de configuración cilíndrica o de torreta.

DESARROLLO TECNOLÓGICO DEL SECTOR Y TENDENCIAS FUTURAS EN LAS APLICACIONES DE LA ROBOTICA INDUSTRIAL

El análisis de los previsibles desarrollos futuros en el área de las aplicaciones de la robótica industrial es de indudable importancia, pues constituye un indicador del potencial del sector en la creación de nuevos mercados.

Naturalmente, estos desarrollos se encuentran íntimamente relaciona-

dos con los avances de las tecnologías inmersas en el mundo de la robótica.

Los aspectos tecnológicos que jugarán un papel fundamental en la orientación del sector en la década de los 80, son los tres siguientes:

- En primer lugar, el abaratamiento —en términos relativos— de la tecnología del robot industrial. Este proceso tiene lugar en una doble vertiente: por un lado, gracias a la participación de la tecnología microelectrónica; por otro, gracias a una constante reducción de los costes de mantenimiento de los equipos de robótica. Este elemento económico-tecnológico será analizado con mayor detalle en un apartado posterior.
- En segundo lugar, la posibilidad de aprehensión de las condiciones del entorno del robot mediante la sensorización. Las tres principales áreas de investigación en este campo son la sensorización de presión, la táctil y la visual.

Los sensores de presión tienen su principal empleo en las operaciones de colocación de piezas o productos incorporados a los ejes de los elementos del manipulador (brazos y muñecas). Los sensores táctiles son especialmente adecuados para las tareas de posicionamiento y orientación de piezas y permiten además la incorporación de sistemas de control adaptativo. Tanto unos como otros son objeto ya de una reducida explotación comercial y es previsible su expansión y perfeccionamiento en el período 1981-1985.

Respecto de los sensores visuales, constituyen en el área en la que están incidiendo en mayor grado, los principales centros investigadores del mundo.

Naturalmente, estos sensores poseen una mayor versatilidad que los táctiles y los de presión. Además de realizar las funciones que aquéllos ejercen, permiten el reconocimiento y selección de par-

tes, la inspección y el control de procesos, etc. Este tipo de sensores se encuentran en la actualidad en fase experimental y se prevé que su comercialización sea factible a finales de los años ochenta.

- En tercer lugar, los progresos en el campo de los "robots inteligentes", capaces de establecer por sí mismos programas de actuación tras la captación de información del entorno mediante algún tipo de sensorización. Las mejoras en este aspecto implicarán crecientes complejidades en el "software" de la unidad de control de los robots, al objeto de conseguir lo que se denomina "inteligencia artificial". Este constituye uno de los campos de investigación de la ciencia de la informática de una mayor previsible fecundidad en los años próximos y señala el creciente peso que en el futuro tendrá en la robótica industrial la tecnología de los computadores.

De acuerdo con las tendencias del progreso tecnológico hasta aquí apuntadas, algunas de las aplicaciones de los robots industriales señaladas en la Tabla I adquirirán particular importancia en el transcurso de los años próximos. Parece evidente que el desarrollo de la sensorización y la inteligencia artificial potenciarán de un modo importante las aplicaciones de montaje, facilitarán las tareas de manipulación y permitirán desarrollos fundamentales en las tareas de inspección y control.

En términos generales, se observa por otra parte una tendencia creciente a la especialización de los robots en aplicaciones concretas. Aunque ello va en contra de la versatilidad que es la característica básica de un robot industrial, se explica por la creciente competencia en el sector que impulsa a los constructores a ofrecer gamas más variadas —y más especializadas— de productos con objeto de que cumplan a la mayor perfección los requerimientos de los usuarios.

ORIGEN Y EXPANSION DEL MERCADO DEL ROBOT

El robot industrial tiene su más inmediato antecedente tecnológico en las técnicas de manipulación empleadas en la industria nuclear para el manejo de elementos radiactivos y en los proyectos submarinos y mineros en los que es preciso efectuar tareas de manutención difíciles o inaccesibles para el hombre.

Los primeros desarrollos de la nueva tecnología se efectuaron en el seno de una compañía americana, Unimation, fundada en 1958 por el físico norteamericano Joseph F. Engelberger. Las primeras aplicaciones industriales datan de los años 1967 y 1968 en los que, tras diversos ensayos, los primeros robots Unimate serie 2000 (fabricados por la citada compañía) fueron incorporados a las cadenas de fabricación de carrocerías de la General Motors.

Las primeras aplicaciones de la nueva tecnología fueron esencialmente en los campos de la soldadura y la pintura.

En Europa las instalaciones de robots se iniciaron en 1970 y 1971 y las efectuaron también los fabricantes de automóviles (en los comienzos Daimler Benz y Fiat, principalmente).

La nueva tecnología fue adoptada igualmente con prontitud por los industriales japoneses que, en el transcurso de pocos años, no sólo asimilarían esta nueva técnica de automatización, sino que devendrían líderes mundiales en su aplicación efectiva a los procesos industriales.

En el año 1974, la población mundial de robots industriales se estimaba ya en 3.700 unidades, lo que significaba un desarrollo espectacular desde las primeras instalaciones del periodo 1967-1971.

Hasta 1974, la mayoría de las instalaciones efectuadas tuvieron lugar en la industria automovilística y correspondieron a robots de pintura y de soldadura por puntos. Los robots de soldadura por arco se desarrollaron

en 1973 y junto con los robots comandados numéricamente, que se fueron instalando en el período 1974-75, constituyen la base de la expansión del mercado una vez remontada la crisis energética de 1974-75, que afectó indudablemente a los planes de inversión de las grandes empresas y, por tanto, a la incorporación de la nueva tecnología.

En el período 1974-80 la producción mundial de robots fue de 10.200 unidades pasando el parque mundial de 3.700 unidades en 1974 a 13.900 en 1980 (ver Figura 1).

El crecimiento a lo largo de estos años, y tras un ligero retroceso en 1975, fue espectacular. De una producción anual que en 1974 no superó las 700-800 unidades se pasa a más de 2.500 en 1980. El crecimiento en el período ha dado lugar a una tasa acumulativa anual real cercana al 25%.

Los factores que han incidido en mayor medida en el actual despegue de la industria de la robótica industrial puede sintetizarse en los cuatro puntos siguientes:

— Recuperación de la evolución de las inversiones en los principales

países industrializados en el período 1976-79, tras el impacto negativo de la primera crisis energética en 1974-1975 que frenó la expansión del sector.

- Creciente conciencia de la repercusión de la nueva tecnología en la productividad y, por tanto, en la competitividad de las empresas. Este elemento ha sido esencial en los acelerados programas de robotización de los grandes constructores automovilísticos, principal industria consumidora de robots.
- Desarrollo del proceso de automatización de las plantas industriales. En algunos países en los que la robótica es un elemento fundamental y de un modo particular en Japón, estos proyectos son apoyados por la administración y ha ampliado notablemente el mercado mundial de robots.
- La evolución tecnológica del sector, que con la generación de productos con mayores potencialidades ha ido ampliando el espectro de los posibles usuarios, generando de este modo un mercado de mayor amplitud.

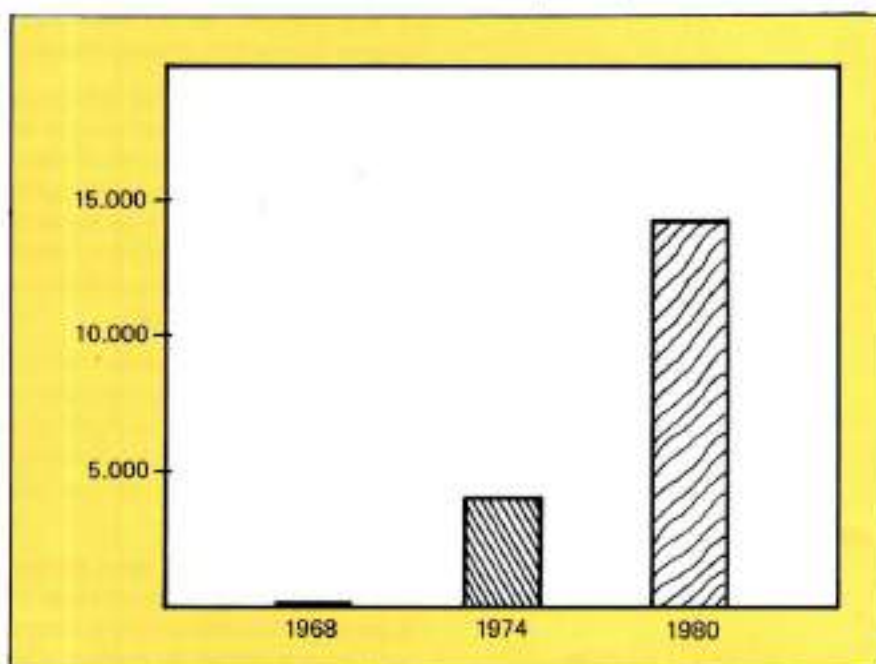


Figura 1. Parque mundial de robots industriales.
Fuente: British Robot Association (BRA).

LA OFERTA MUNDIAL DE ROBOTS

Como se adelantó anteriormente, Japón es el país líder mundial en el sector de robótica industrial. A pesar de que no se dispone de cifras oficiales de la producción correspondiente a cada uno de los principales países productores del mundo, la Figura 2 representa una aproximación efectuada a partir de las cuotas de mercado de las principales empresas fabricantes.

Tal y como se desprende del gráfico, la producción japonesa de robots industriales supone alrededor de un 50% del total mundial. Aunque en sus inicios se fundamentó en tecnología estadounidense, la industria de la robótica japonesa constituye hoy en día una de las pioneras del sector desde un punto de vista tecnológico y la más importante en lo que se refiere a volumen. Este predominio productivo no se traduce en la influencia en el mercado mundial que cabría esperar, pues se trata de un sector orientado en su práctica totalidad al mercado doméstico. Se calcula que sólo un 3% de la producción japonesa se destina a mercados exteriores.

El segundo productor mundial son los Estados Unidos de América, país en el que se efectuaron los primeros desarrollos tecnológicos de la robótica y en el que se obtuvieron por primera vez los actuales modelos industriales. En los EE. UU., el sector ha tenido un desarrollo más lento a causa de que el mercado interior no ha respondido del modo que en un principio se esperó, y de que, a diferencia del Japón, el sector no ha contado con una decidida ayuda por parte de la Administración. Además, los productores americanos han topado en su expansión en los mercados europeos con importantes competidores.

Efectivamente, tras los gigantes japonés y americano, que suponen el 75% de la producción mundial, el 25% restante corresponde a productores europeos: por un lado, los fa-

bricantes suecos y noruegos (más de un 15% de la producción mundial) y, por otro, los principales países comunitarios (Alemania Occidental, Italia, Francia y Gran Bretaña con casi el 10%).

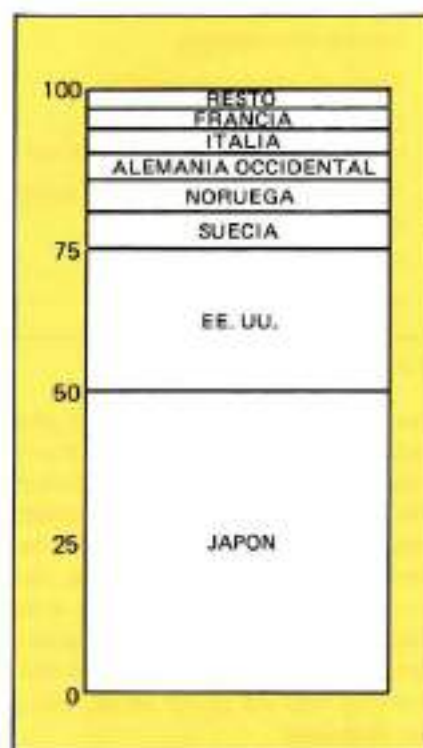


Figura 2. Estimación de la distribución por países de la producción de robots industriales en 1980. (% unidades producidas en cada país).

Fuente: BRA y Veckans Affärer.

El mayor desarrollo de la robótica en los países nórdicos frente a los de Europa central se fundamenta esencialmente en que a pesar de poseer todos ellos una capacidad similar en las especialidades tecnológicas implicadas en la robótica, en los países nórdicos se ha dado una escasez relativa de mano de obra muy superior, lo que ha justificado económicamente el desarrollo del sector con anterioridad a otros países. Por otro lado, las tecnologías desarrolladas en Europa han sido en gran medida autónomas con respecto a los desarrollos efectuados por japoneses y norteamericanos, lo que se traduce en un mercado en el que actualmente compiten tecnologías alternativas.

ANÁLISIS POR PAISES Y ZONAS

a) Japón

La producción de robots industriales en el Japón tiene su punto de arranque en 1968. Con anterioridad se habían desarrollado modelos de secuencia fija. A partir de esta fecha la tecnología de la empresa estadounidense Unimation es desarrollada por Kawasaki Heavy Industries y aparecen los primeros modelos japoneses de robots de secuencia variable y robots repetitivos.

Desde entonces, el sector en el Japón se ha desarrollado de un modo importante, contabilizándose en la actualidad más de 40 empresas operando en el mismo. En la mayor parte de estas compañías, sin embargo, la producción de robots constituye una línea más de fabricación, por lo general de pequeña importancia.

La Tabla 3 constituye un resumen de los principales productores así como señala ya algunas de sus características significativas. A pesar de que en el sector concurren más de cuarenta firmas, la producción se concentra en gran medida en las primeras cuatro empresas de la tabla, todas ellas con una producción anual superior a los dos centenares de unidades y que suponen más de 3/4 partes de un sector cuya producción en 1980 se estima alrededor de los 30.000 millones de yens y 1.800 unidades y que ha crecido en el período 1974-1980 a tasas anuales superiores al 60% anual en términos de valor de la producción. Esta tasa de expansión indica claramente que se trata de un sector en plena fase de despeque. Los responsables del sector en el país, el Ministerio de Comercio e Industria (MITI) y la asociación japonesa de industriales fabricantes y utilizadores de robots (JIRA), señalan que la producción (se comprenden en este caso los robots secuenciales fijos y los simples manipuladores) pasará de 60.000 millones de yens en 1980 a 290.000 en 1985 y 400.000 al final de la década, progresivamente con un mayor componente de robots

Empresa	Fabricación principal	Principales tipos de robot según sus aplicaciones
Kawasaki Heavy Industries	Bienes de equipo	Soldadura por puntos
Yasukawa Electric	Equipo de control numérico	Soldadura por arco
Hitachi	Electrónica	Pulverización Soldadura por arco
Fujitsu Fanuc	Máquina-herramienta	Control de máquinas-herramienta
Mitsubishi Heavy Industries	Bienes de equipo, Automóvil	Pulverización
Toxico	Componentes electrónicos, instrumentos de medida y compresores	Pulverización
Nachi - Fujikoshi	Rodamientos, herramientas de corte y equipos hidráulicos	Soldadura por arco
Japan Industrial Robot Company	Robots	Transporte
Shin Meiwa	Material de transporte	Soldadura por arco

Tabla 3. Principales fabricantes de robots en Japón

programables y con porcentajes de exportación crecientes. Estas estimaciones han sido calificadas de optimistas por expertos de Europa, que cifran la producción potencial japonesa en 1985 en 100.000 millones de yens. Pasado el despegue inicial, el sector crecerá entre 1980 y 1985, según esta estimación a una tasa escasamente superior al 10% anual acumulativo.

Como se desprende de la Tabla 3, las empresas del sector son, por lo general, de gran tamaño y en algunos casos verdaderos consorcios industriales y financieros, en las que la división de robótica constituye una pequeña parcela de sus actividades. Son empresas que operan en su mayoría en la fabricación electromecánica, aunque es de notar la presencia de alguna empresa de electrónica.

En cuanto a los tipos de robots fabricados, predominan naturalmente los de soldadura y pulverización, pues son los más usados en la industria japonesa, especialmente del automóvil, principal cliente del sector.

Los fabricantes japoneses de robots han iniciado en los últimos años el desarrollo de tecnologías propias en el sector. Hasta hoy en día, el sector ha abastecido únicamente a la demanda interna, y aún así ha podido

configurarse como el principal país productor del mundo, tanto por unidades producidas como por número de empresas. Además, la principal empresa del sector se sitúa en el segundo puesto a nivel mundial, con una producción anual cercana a las 500 unidades, escasamente inferior a las cifras obtenidas por la firma Unimation, líder del sector en EE. UU. y en el mundo.

No resulta arriesgado, pues, prever un intento de expansión exterior de las principales firmas japonesas en los próximos años. La configuración del mercado de la robótica a nivel mundial así lo hace esperar. Además, el sector cuenta con el respaldo de la participación de importantes grupos industriales y financieros así como con el apoyo de la Administración nipona. Este apoyo, se concreta en las siguientes medidas adoptadas por o bajo el patrocinio del MITI.

— Fundación, en abril de 1980, de la Japan Robot Leasing Company (JAROL), compañía dedicada al "leasing" de robots a pequeñas y medianas empresas. Con un capital desembolsado de 100 millones de yens, la compañía pertenece en un 70% a la Japan Industrial Robot Association (JIRA) y en un 80% a diez compañías de seguros generales, exceptuados los segu-

ros de vida. La empresa opera en condiciones más ventajosas que las compañías normales de "leasing", pues un 60% de sus fondos de operación proceden de subsidios gubernamentales, a través de préstamos del Banco Japonés de Desarrollo.

- Concesión de préstamos preferenciales a las PMI para incentivar la instalación de robots que efectúen procesos industriales de carácter peligroso y para conseguir aumentos de productividad. Estos préstamos, tramitados a través de la Small Business Finance Corporation, alcanzaron en 1980 la considerable cifra de 5.800 millones de yens (aproximadamente 2.500 millones de pesetas).
- Sistemas de amortización acelerada (12,5% del valor de compra en el primer año), para aquellas empresas que instalen un robot en sus plantas industriales.

Como es evidente, el alcance de estas medidas indica que la robótica constituye uno de los ejes fundamentales en la estrategia industrial nipona para la década de los 80. Esta estrategia se concibe de un modo más amplio, bajo el prisma de la automatización total de la producción, y hay que considerarla dentro de un proyecto más ambicioso tendente a

la instalación en las factorías a partir del año 1984 de complejos de producción flexibles. Bajo la dirección del Mechanical Engineering Laboratory y con unos recursos de 13.000 millones de yens, el proyecto permitirá llegar a la construcción de la factoría totalmente automatizada en 1982 y a su difusión en el sistema industrial dos años después.

b) Estados Unidos

Estados Unidos es el país en el que tuvo su origen la tecnología de la robótica industrial. En el año 1958 el físico Joseph F. Engelberger fundó la empresa Unimation que desde entonces ha ostentado la supremacía mundial en el sector. En la actualidad esta firma forma parte de Condec Corp. Inc. si bien la gestión de la misma es independiente. La empresa controla un 35% del mercado estadounidense. Su volumen de ventas en 1980 fue de 50 millones de dólares, de los cuales, más de un 70% se dirigió al mercado interior, mientras que el 30% restante correspondió a ventas en Europa, zona en la que esta empresa se encuentra bien implantada a través de redes propias de distribución o de terceros. La red propia en Europa tiene como centro de operaciones la planta de la empresa de Telford (Gran Bretaña), en la que ya se fabrican algunos mode-

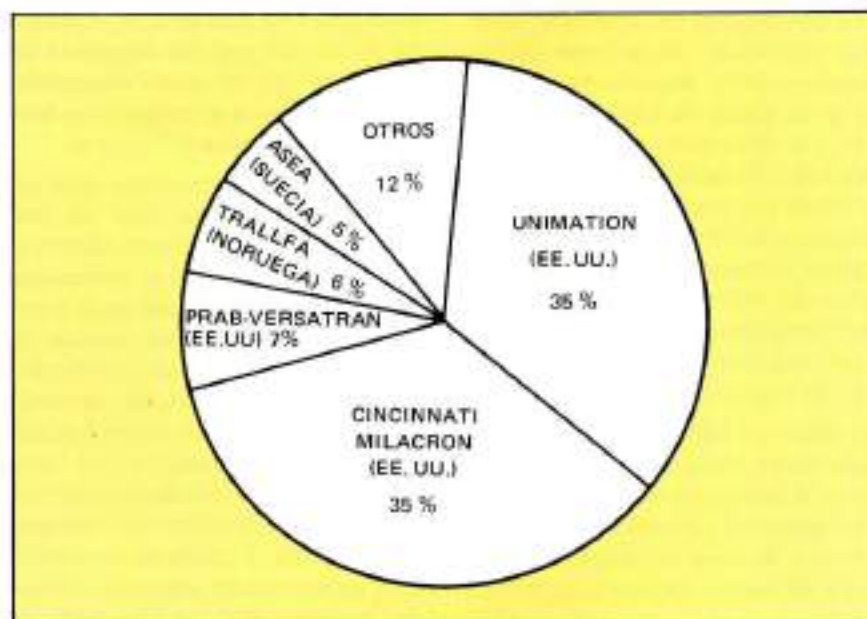


Figura 3. Cuotas de mercado de los constructores de robots industriales. Estados Unidos 1979-80. (% sobre el total de unidades instaladas).

Fuente: Veckans Affärer.

los y se mantiene un servicio de aplicaciones de robótica.

A pesar de ser Estados Unidos el segundo país productor del mundo, el número de grandes empresas fabricantes es reducido. Tras Unimation, que en 1980 alcanzó una producción mensual de 55 unidades, hay que señalar la presencia de dos empresas de consideración: Cincinnati Milacron Inc. y Prab-Versatran Inc. Como se desprende de la Figura 3, estas tres empresas controlan un 77% de

las instalaciones en Norteamérica. Cincinnati Milacron, importante firma fabricante de máquinas-herramienta, se encuentra ampliamente asentada en el mercado americano, con niveles de producción no muy alejados de los de Unimation, alrededor de las 500 unidades anuales. La empresa opera en el sector desde mediados de los años 70 y su principal línea de producción en robótica es de robots para el servicio y control de máquinas-herramientas. La compañía cuenta con una red de distribución propia en Europa.

Prab-Versatran es la tercera firma del mercado. La empresa es el resultado de la fusión de dos firmas que ya operaban en el sector y se encuentran en la actualidad en fuerte competencia con las firmas europeas (Asea y Trallfa) que intentan conquistar la tercera posición en el mercado USA. El campo principal de operaciones de Prab Engineering Corp. es la fabricación de aparatos transportadores, en la que esta pequeña firma cuenta con un mercado establecido. Su aparición en el mercado de robots se produce en los primeros años de la década de los 70 y se ha potenciado recientemente con

Empresa	Fabricación principal	Principales tipos de robots según su aplicación
Unimation	Robots industriales	Servicio de maquinaria Soldadura Ensamblaje
Cincinnati-Milacron	Máquina-herramienta	Carga y descarga y servicio a la maquinaria
Prab-Versatran	Transportadores	Carga y descarga y servicio a la maquinaria

Tabla 4. Principales fabricantes de robots en USA.

la incorporación del avanzado sistema "Versatran" de la firma norteamericana AMF, importante fabricante en el sector de bienes de consumo. La comercialización de los robots de la firma en Europa se efectúa a través del grupo Acheson, con representantes en la mayoría de los países europeos. Precisamente esta empresa trabaja en el campo de la conformación de materiales en el que tiene una mayor aplicación el robot de Prab-Versatran.

Ni Cincinnati Milacron, ni Prab-Versatran tienen una presencia significativa en el campo de las exportaciones. Sus principales mercados son Italia y Francia, aunque en ningún caso se trata de cuotas de mercado importantes.

Otras empresas de menor importancia en el sector en Estados Unidos son Auto-Place Inc. y De Vilbiss.

La gran incógnita respecto de la evolución futura del sector en EE. UU. es

la postura que mantendrán respecto del mismo las grandes empresas de la electrónica y del sector electromecánico que hasta el presente se han mantenido alejados del mismo.

Es obvio que un mercado que en 1980 se cifraba tan sólo en los EE. UU. en 100 millones de dólares y que se espera que en el transcurso de los próximos 10 años pase a ser de 700 a 2.000 millones, supone un foco de interés para las grandes firmas de sectores afines. En ese sentido los primeros pasos ya los han dado algunas empresas. Por un lado, General Electric, gran consumidor de robots, acaba de entrar recientemente en el sector a través de la adquisición de tecnología japonesa e italiana. Por otro, IBM ha anunciado su presencia en marzo de 1982 en la exposición de robots industriales en Detroit y Westinghouse está llevando a cabo un proyecto de investigación en robótica en colaboración con la National Science Foundation. A la

expectativa se encuentran otras grandes firmas: Digital, Texas (que ya produce robots para uso interno), etc.

El desarrollo del sector en EE. UU. parece, pues, asegurado por la propia dinámica del mercado. Las actuaciones oficiales que puedan potenciar o ya hayan ayudado a la robótica en este país son escasas. Hay que señalar, sin embargo, la existencia de dos proyectos iniciados en 1975. El primero de ellos es un importante proyecto financiado por las Fuerzas Aéreas Estadounidenses en colaboración con grandes empresas aeronáuticas y fabricantes de máquinas-herramientas y robots. Se trata de la *Fabricación integrada con ayuda de computador* de las Fuerzas Aéreas (Air Force's Integrated Computer-Aided Manufacturing, ICAM), cuyo objetivo es la consecución en 1985 del primer centro de fabricación completamente automatizado. El segundo de ellos, denominado IPAD,

Empresa	Fabricación principal	Principales tipos de robots según sus aplicaciones
Asea AB (Suecia)	Equipo eléctrico	Maquinaria de proceso. Soldadura por arco.
Trallfa Nils Underhaug (Noruega)	Robots	Pintura.
Volkswagen (R. F. Alemana)	Automóvil	Carga y descarga y servicio a la maquinaria. Maquinaria de proceso.
Electrolux (Suecia)	Electrodomésticos	Carga y descarga y servicio a la maquinaria.
Kaufeldt (Suecia)	Robots (Ingeniería) y automatismos	Carga y descarga y servicio a la maquinaria.
Kuka (R. F. Alemana)	Manutención (Ingeniería)	Soldadura, Tratamiento de superficies y servicio a la maquinaria.
Acma-Cribier (Francia)	Robots y máquinas-herramientas (Automóvil)	Soldadura, carga y descarga y Ensamblaje.
Olivetti Osai (Italia)	Robots (Maquinaria de oficina informática)	Ensamblaje.
Oglaend (Noruega)	Material de Transporte	Carga y descarga y servicio a la maquinaria.
Oy. W. Rosenlew AB (Finlandia)	Productos de madera, papel y embalaje. Maquinaria agrícola	Maquinaria de proceso.
Comao Industrial, S. A. (Italia)	Robots y máquinas-herramienta (Automóvil)	Carga y descarga.
ZF (R. F. Alemana)	Engranajes. Industria Auxiliar del automóvil	Soldadura.
Hall Automation (G. B.)	Robots (Electrónica)	Carga y descarga.
Atlas Copco (Suecia)	Herramientas y equipo neumático	Tratamiento de superficies. Soldadura.
Dea (Italia)	Sistemas de automatización	Pintura.
		Ensamblaje.

Tabla 5. Principales fabricantes de robots en Europa.

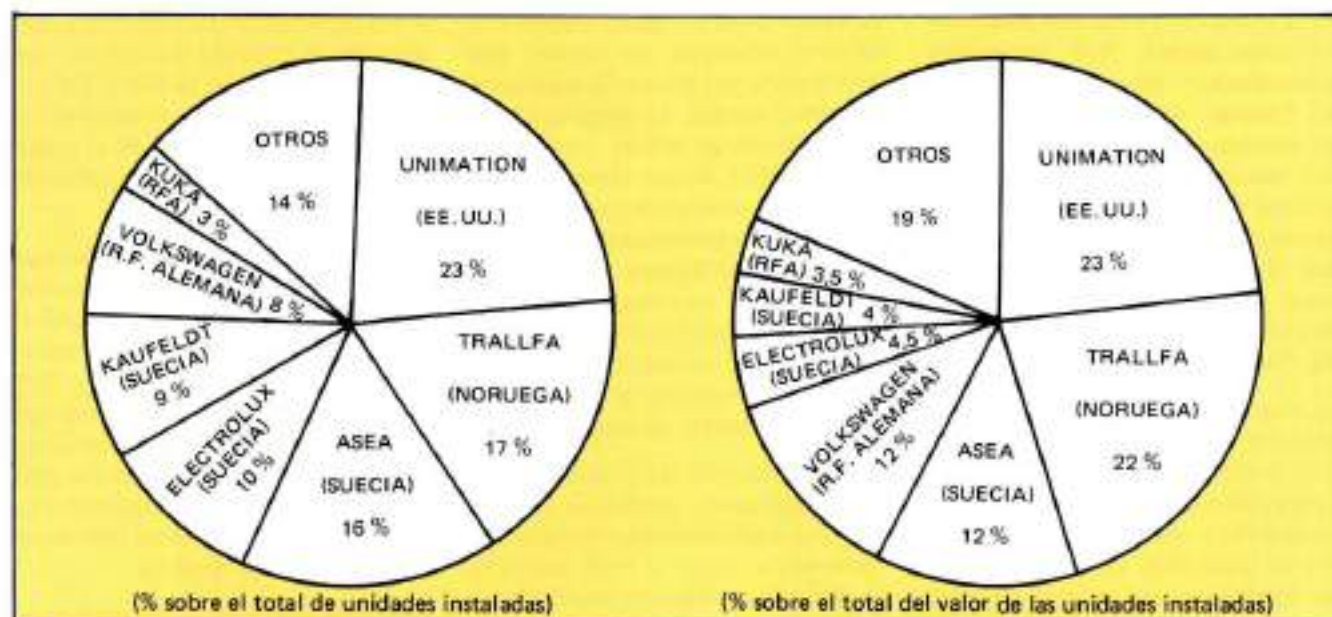


Figura 4. Cuotas de mercado de los constructores de robots industriales. Europa Occidental, 1979-1980.

Fuente: Información propia.

constituye también un programa de *Sistemas flexibles de fabricación* y es auspiciado por la NASA.

c) Europa

Como ya se reflejó en la Figura 3, la producción europea de robots industriales supone aproximadamente una cuarta parte del total mundial. La Tabla 5 comprende una relación de los principales fabricantes europeos.

A pesar de que el número total de fabricantes pueda ser cerca del medio centenar, la Figura 4 muestra cómo el mercado europeo, único al que sirven la mayoría de las empresas con la excepción de Asea y Trallfa, se encuentra dominado por un número reducido de fabricantes. Las características de las empresas incluidas se estudian a continuación en el análisis por países que se efectúa. Como en el caso del Japón y los Estados Unidos, este análisis por países valorará al propio tiempo que la evolución de las empresas de cada país, la del sector en su conjunto.

• Suecia

El desarrollo de la robótica en Suecia se ha fundamentado en dos características diferenciales del sistema in-

dustrial sueco. Por un lado, la escasez relativa y el alto coste del factor trabajo y, por otro, la existencia de un tejido industrial constituido en gran parte por pequeños subcontratistas metalúrgicos, suministradores de grandes empresas como Volvo y Saab-Scania y cuya fabricación se realiza básicamente en series cortas de piezas escasamente diferenciadas.

Todo ello junto con el apoyo estatal canalizado a través de un organismo creado al efecto (S.T.U.). Este organismo ha participado en tres tipos de actuaciones relacionadas con el sector: financiación de la adquisición de robots por parte de las PMI, estudios de incorporación de robots en los procesos productivos y, desde 1972, organización de cursos de formación en robótica.

La producción sueca de robots se espera que alcance en 1981 las 700/800 unidades, lo que supondrá que el sector mantendrá su privilegiada tercera posición a nivel mundial, produciendo una cuarta parte de los robots de la industria occidental.

Las empresas de robótica de Suecia son en la actualidad tres: Asea, Kaufeldt y Atlas Copco. Recientemente,

Asea ha adquirido los intereses en robótica de la que había sido segunda empresa del sector en Suecia, Electrolux. Por la importancia que había tenido esta firma en el mercado y por lo reciente de la absorción, se efectúa su análisis a continuación del de Asea y con carácter independiente.

El principal fabricante de robots en Suecia es Asea AB, uno de los primeros grupos mundiales en fabricación de equipo y maquinaria eléctrica, que posee desde principios de los 70 una división de robots industriales dentro de su División Electrónica. En un principio los robots se desarrollaron en la empresa para uso interno, pero a partir de 1973/74 fueron comercializados. La facturación de la división de robótica en 1980 rozó los 40 millones de dólares con una producción cercana a las 500 unidades, que configura a la empresa como líder mundial, tras la norteamericana Unimation, y en línea con Kawasaki Heavy Industries y Cincinnati Milacron.

Al contar ya con una importante red comercial presente en casi todos los países del mundo, la expansión exterior de Asea ha sido importante. La

firma cuenta con empresas filiales en múltiples países. Sus principales mercados son, sin embargo, Alemania Federal —donde recientemente ha conseguido importantes contratos automovilísticos— y Estados Unidos, país en el que Asea tiene un centro de servicios en Detroit y en el que la cuota de mercado de la empresa es del 5% en abierta competencia con la tercera firma americana, Prab-Versatran.

La posición de Asea en el mercado mundial se ha afianzado tras la reciente compra de Electrolux. Esta operación supone una consolidación de la firma y una extensión de su gama de productos, pues los modelos de Electrolux, en general de nivel medio, complementan la gama alta en la que está especializada Asea.

Los productos de Asea son esencialmente robots eléctricos de proceso y de sofisticada tecnología, mientras que la gama de Electrolux está constituida por robots simples, de tracción neumática, aplicables también como maquinaria de proceso más simple y para la manutención y servicio de otra maquinaria.

A. B. Electrolux, inició su fabricación de robots en 1970, en un principio también para su uso interno. Se trata de una empresa de conocida presencia en el campo de los electrodomésticos y la fabricación de material eléctrico. En esta empresa, hasta la reciente adquisición de Asea, la robótica se circunscribía a la división de sistemas industriales de la firma, generando un modesto volumen de negocio en comparación con el resto de actividades de la empresa.

Para 1981 las predicciones de la empresa cifran en 120 los robots producidos, con un volumen de negocio cercano a los 6 millones de dólares.

Electrolux cuenta con una amplia red comercial en Europa, con una cuota de mercado del 10% y una presencia especialmente significativa en Noruega, Finlandia, Gran Bretaña, Alemania Federal e Italia.

R. Kaufeldt AB (*) es un pequeño y pionero fabricante de robots, que forma parte del grupo de Ingeniería Monark-Crescent. La empresa está especializada en robots neumáticos de baja gama, siendo la mitad de su producción robots programables y el resto simples manipuladores. La empresa colaboró durante cierto tiempo con la firma alemana VFW-Fokker pero en la actualidad comercializa en Europa por sí misma desde Suecia. Su cuota de mercado en Europa Occidental se estima en un 9%.

La última compañía sueca de robótica, Atlas-Copco, constituye una de las más importantes incorporaciones recientes al sector a nivel mundial. La firma es un experimentado fabricante de herramientas y equipo neumático que comercializa desde 1979 un robot de tratamiento de superficies. Este modelo se ha realizado en colaboración con Retab, firma fabricante de máquinas-herramienta con control numérico, e Hiab-Foco, constructor de componentes hidráulicos. La firma es un experimentado fabricante de máquinas-herramienta con control numérico, e Hiab-Foco, constructor de componentes hidráulicos.

• Noruega

El principal fabricante de robots en Noruega es la empresa Tralffa Nils Underhaug A/S. Esta empresa inició sus actividades en el sector en 1969 y en la actualidad es líder mundial en la especialidad de robots de pintura. Estos robots fueron desarrollados en el seno de la empresa para usos internos en 1965, y tras un sorprendente éxito se comercializaron y pasaron a constituir la principal línea de producción. Tralffa cuenta con una presencia mundial importante, con un 17% del mercado europeo, un 6% del norteamericano y cierta implantación en Japón y los países del Este, a los que se ha dirigido un 18% de las unidades vendidas desde que se

inició la comercialización. Para su expansión, la empresa ha contado con la colaboración de la firma De Vilbiss, fabricante norteamericano de equipos de pintura, que es el distribuidor exclusivo de la compañía excepto en Noruega y Suecia.

Otro fabricante de robots noruego digno de mención es Jonas Oglænd AS, empresa cuya línea de producción principal es el material de transporte, en especial bicicletas. La División de Ingeniería de esta empresa lleva a cabo desde 1970 aplicaciones internas de robots de diversos grados de sofisticación. Recientemente se han iniciado las ventas exteriores con un éxito significativo.

La problemática del sector en Noruega es similar a la del resto de países escandinavos. La robotización en este país constituye un reto para la competitividad de la industria ante los crecientes costos salariales. En esta línea, el Gobierno noruego apoyó ya en 1977 el Proyecto Biorke 1977, plan de implantación de factorías automatizadas en diversas zonas del país.

• República Federal Alemana

La fabricación de robótica en Alemania Occidental, la llevan a cabo esencialmente cuatro empresas: Volkswagen, Kuka, Zahnradfabrik Friedrichshafen (ZF) y VFW-Fokker. En los últimos años el sector se ha desarrollado de un modo importante, llegando a abastecer un 50% del mercado interior.

El principal fabricante es la empresa automovilística Volkswagen que comenzó la producción de robots para la automatización de sus propias plantas y que sólo recientemente inició las ventas a terceros a través de agentes de diferentes países. En la actualidad, casi una tercera parte de los robots instalados en Alemania son Volkswagen. Su presencia a nivel europeo es aún escasa, pero al ser Alemania uno de los principales

(*) Esta empresa ha sido absorbida recientemente por la firma sueca Arboga Mekaniska.

mercados del continente, la cuota de mercado de la empresa es de un 8% de las instalaciones en Europa Occidental.

Keller & Knappich Ansburg (KUKA), forma parte del grupo de ingeniería Industriewerke Karlsruhe Ansburg (IWKA), y constituye su división de mantenimiento. Inicialmente, KUKA trabajó bajo licencia de Unimation pero en la actualidad la firma se encuentra asociada —en lo referente a robots programables— con la firma japonesa Nachi.

Los robots de KUKA tienen sus principales aplicaciones en la soldadura por arco, el tratamiento de superficies y el servicio de maquinaria. La cuota del mercado alemán de este fabricante es del 10% pero la firma está implantada en algunos países europeos, siendo su participación en este mercado de un 3%.

El futuro del sector en Alemania Occidental se encuentra favorecido por una demanda interior singularmente importante y por un apoyo institucional decidido y constante desde hace algunos años. En este sentido, el Instituto de Tecnología de Producción y de Automatización (IPA) de Stuttgart lleva a cabo en la actualidad un programa de humanización de los puestos de trabajo, que incluye el apoyo a la investigación en robótica y a la aplicación de robots en el sistema industrial.

• Italia

Las primeras empresas fabricantes de robots aparecieron en Italia en los primeros años 70. En la actualidad hay 6 fabricantes de robots industriales programables: Olivetti OSAI, Dea, Basfer, Comau, Bisiach e Carrù y Norda. Dos de ellos, Olivetti OSAI y Comau son filiales de grandes empresas consumidoras (Olivetti y Fiat); otras tres —Dea, Basfer y Bisiach— son empresas que, operando anteriormente en otros sectores, han optado por una diversificación de su



producción y, por último, únicamente Norda constituye una empresa crecida específicamente en el campo de la robótica.

La empresa OSAI, S. A. (Olivetti Sistemi per l'Automazione Industriale, S. A.) constituye como su nombre indica una filial del gran productor de maquinaria de oficina y equipos de informática que es Olivetti. Esta firma cuenta con una amplia experiencia en el campo del ensamblaje automático. Las primeras actuaciones en robótica datan de mediados de los años 70. Los primeros modelos fueron diseñados para uso interno, iniciándose la comercialización en 1977. Las principales aplicaciones del robot de Olivetti han sido en el campo del montaje de sistemas electrónicos y pequeños productos mecánicos. El principal mercado de la empresa es naturalmente Italia, si bien se han registrado ventas en toda Europa, USA y Japón.

Comau Industriale, S. A., es la empresa de robótica del fabricante de automóviles Fiat. Se trata de una firma que produce máquinas-herramienta y sistemas de producción integrada y que inició su producción en robótica en el área de las líneas de soldadura por puntos. Con esta producción la empresa completa su gama de productos de soldadura en los que está especializada.

Basfer SRL es una empresa de tamaño medio, fabricante de componentes neumáticos y sistemas de pulverización, que complementa su gama de productos con el robot de pintura. La comercialización se efectúa a través de la firma americana Norda Company, especializada en el diseño e instalación de sistemas de pulverización.

Norda es una pequeña empresa especializada en robots de manipulación y, por último, Dea (Digital Electronic Automation) está especializada en sistemas de automatización entre los cuales figura la robótica. El área de aplicación de su producción es fundamentalmente el ensamblaje.

• Francia

Francia es un país que a pesar de ser importante utilizador de robots, se ha incorporado con retraso a la robótica, por lo que a la vertiente de la oferta se refiere. En el apartado de gama alta, que es el que fundamentalmente interesa a este documento, existen pocos fabricantes. Los más destacados son Acma-Cribier, AOIP, Languepin y Sciaky. Estas firmas son relativamente nuevas en el mercado y a pesar de encontrarse en plena expansión, la balanza comercial francesa del sector es deficitaria desde los inicios de la producción en 1978. Desde entonces, se han producido en Francia 250 unidades (200 Acma, 30 Languepin, 15 AOIP y 5 Sciaky) con una exportación inferior al 10% de la producción mientras las importaciones han sido cercanas a las 200 unidades (principalmente de las firmas Unimation (120), Asea (45) y Tralifa (39)).

Las empresas francesas del sector son pequeñas firmas subsidiarias de grandes grupos industriales (Renault, Télémecanique, Matra), desarrolladas por éstos en el contexto de programas más amplios de automatización de la producción.

Acma-Cribier constituye la empresa líder del sector. Especializada en la fabricación de máquinas-herramienta y otros equipos productivos, la empresa ha desarrollado recientemente sistemas de robots principalmente empleados por Renault, en las áreas de soldadura por puntos, manipulación y pintura.

Las otras tres firmas mencionadas producen principalmente robots de soldadura por arco (Languepin), soldadura por resistencia (Sciaky) y tratamiento de superficies (AOIP).

El futuro de la robótica en el país vecino debe contemplarse bajo la perspectiva del programa de investigación ARA (Automatisation et Robotique Avancées) que bajo el patrocinio de la CNRS y la DGRST abarca el período 1980-83 y prevé que en los pró-

ximos años Francia pasará a ser un país exportador de robótica. Además, en Francia la Agencia Nacional para el Desarrollo de la Producción Automatizada (ADEPA) lleva a cabo una intensa labor de promoción de la robótica y la automatización desde 1968. Esta labor se despliega en cuatro frentes: a) préstamos, subvenciones y ayuda técnica para los utilizadores; b) apoyo financiero para la creación de una industria nacional de equipos de robótica; c) formación de personal especializado en el Centro de Formación Interprofesional de la Producción Automatizada (CEFI-PA), y d) apoyo a la investigación a través del Centro Interprofesional de Estudio e Investigación de la Producción Automatizada (CIERPA).

Para terminar con esta serie de medidas que ha adoptado la administración francesa en el área de la robótica, hay que señalar que recientemente (diciembre de 1980) el Gobierno ha acordado destinar al desarrollo del sector 2.000 millones de francos bajo la forma de préstamos preferenciales. Estos préstamos pueden concederse incluso por un 70% de las inversiones previstas y no son incompatibles con el resto de ayudas que reciben los industriales, utilizadores y oferentes del sector.

Asimismo, hay que destacar la reciente creación de la Association Française de Robotique Industrielle (AFRI), equivalente de la asociación japonesa JIRA.

• Finlandia

El principal fabricante de robots en Finlandia es la empresa Oy W. Rosenlew Ab., dedicada principalmente a la fabricación de productos de madera, papel y embalaje, así como maquinaria agrícola y herramientas. Los robots fabricados por esta empresa cuentan ya con un mercado afianzado, fundamentalmente interior dado que la red de distribución exterior no está excesivamente desarrollada.

Las aplicaciones principales han sido en el campo de la industria electrónica.

• Gran Bretaña

En Gran Bretaña el sector de robótica se encuentra escasamente desarrollado. Sólo un 20% de los robots instalados son construidos en el interior del país y aun esto es así gracias a la presencia de factorías de algunas empresas extranjeras. Hay un solo fabricante inglés de consideración. Se trata de Hall Automation Limited, empresa que forma parte del grupo GEC Marconi y que fabrica básicamente robots de tratamiento de superficies y de soldadura por arco. El mercado británico es, pues, abastecido por las principales firmas europeas y americanas. Como se ha adelantado, Unimation produce en su fábrica de Telford algunos de sus más recientes modelos. Cincinnati Milacron posee también factoría en las islas británicas pero únicamente se fabrican en ella algunos componentes.

El desigual desarrollo de la robótica en Gran Bretaña podría deberse en gran parte a una política de apoyo gubernamental que ha incidido más en la introducción de robots en la industria que en la promoción de la producción de estos robots en el país.

En la actualidad las actuaciones que la Administración está instrumentando son dos: por un lado, el National Enterprise Board (NEB) junto con la National Research Development Corporation (NRDC) proyectan un nuevo programa de apoyo a la introducción de la robótica en los procesos industriales. Por otro, bajo los auspicios del Science and Engineering Research Council, se está llevando a cabo un programa de investigación conjunto en las principales áreas avanzadas de robótica (sensores, técnicas de control adaptativo, etc.), en el que participan diez universidades británicas, diez empresas industriales, el Instituto de Tecnología de Cranfield y la Produc-

tion Engineering Association Research.

TIPOLOGIA DE EMPRESAS FABRICANTES

Tras el estudio que se ha efectuado de los principales fabricantes del mundo, es posible establecer una tipología de las diferentes unidades productivas que operan en el sector de la robótica industrial.

Esencialmente, son cuatro grandes clases de unidades productivas las que se encuentran inmersas en la naciente industria de robótica.

Por un lado, aquellas empresas, de tamaño intermedio-grande, especializadas en tecnologías afines a la robótica, y que complementan sus producciones con la fabricación de robots industriales. Se trata, por ejemplo, de firmas como Cincinnati Milacron Inc., Fujitsu Fanuc, Hitachi, Toxico, Nachi, Basfer, Dea, Atlas Copco, Yasukawa Electric y otras. Estas empresas son de reconocido prestigio en sectores como el de fabricación de máquinas-herramienta, en control numérico, electrónica, equipos neumáticos e hidráulicos, automatismos, etc.

Un segundo grupo lo constituyen aquellas empresas que son divisiones de grandes grupos industriales principalmente en los sectores eléctricos, de ingeniería y de fabricación de bienes de equipo. Este es el caso de las firmas japonesas Kawasaki y Mitsubishi, de Asea, Electrolux y Kaufeldt en Suecia (actualmente la división de robots de Electrolux está incorporada a Asea) y de otras empresas importantes como Olivetti OSAI (Italia) y KUKA (Alemania).

El tercer grupo lo constituyen los fabricantes que han surgido bajo el amparo del sector de la automoción, principal sector demandante de robótica en la década de los 70. Las empresas de este grupo constituyen en ocasiones filiales de grandes firmas automovilísticas; es el caso de

Comau (Fiat) y Acma Cribier (Renault) o bien en ocasiones el propio fabricante de automóviles efectúa directamente la fabricación (Volkswagen).

En cualquier caso, la fabricación de robots en estas empresas apareció en un momento dado para atender a las necesidades interiores (lo que también ocurre con las empresas del segundo grupo, si bien en menor medida, pues no se trata de sectores consumidores de tanta importancia), y sólo posteriormente se llevó a cabo la comercialización de la producción.

El cuarto y último grupo es el compuesto por las empresas, por lo general, de tamaño reducido, nacidas con la robótica o dedicadas exclusivamente a ella. Se incluyen aquí firmas que o bien surgieron para la fabricación de robots industriales: Unimation (a pesar de estar incorporada en la actualidad al grupo Condec Corp. Inc.), Jirc, Norda; o firmas en las cuales la robótica ha pasado a ser de las principales gamas de productos, cuando su origen se debió, por lo general, a estrategias de diversificación. Se incluirán aquí Tralifa, Prab Versatran, Shin Meiwa, Ogiend, Bislach e Carrú, etc.

Como se desprende de la observación de las empresas incluidas en cada grupo, los líderes del sector (Unimation, Kawasaki, Cincinnati y Asea, esencialmente) pertenecen a tres grupos distintos. No es posible, pues, establecer una relación unívoca entre el tipo de empresa fabricante y su posición en el mercado pues en esta posición influyen elementos que no se han considerado en la tipología antes establecida.

Sin embargo, sí es posible establecer que hay dos elementos muy importantes que condicionan la entrada en el mercado de nuevos competidores y que por tanto son importantes aspectos a tener en cuenta en el momento de considerar la evolución futura de la oferta. Por un lado, la robótica es un sector en plena fase de despegue con un mercado aún redu-

cido. Por ello, el *cash-flow* generado por la actividad no es por lo general suficiente y la penetración en el mercado requiere unos recursos financieros accesibles únicamente a grandes empresas o grupos industriales.

Por otro, la introducción en el mercado de la robótica requiere la difícil conjunción de la avanzada tecnología de la automatización de trabajos mecánicos con la tecnología electrónica, y todo ello en un ambiente operativo de procesos productivos en series reducidas y cambiantes.

Estos dos elementos que se han señalado deben tenerse en consideración al plantearse las perspectivas futuras del sector y, de un modo especial, la posible penetración en el mismo, así como la forma en que se llevará a cabo esta penetración, de grandes fabricantes de electrónica (Digital, Texas, IBM) y electromecánica (Westinghouse, Brown Boveri, General Electric, etc.).

PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA PRODUCTIVA DEL SECTOR Y OTRAS CARACTERÍSTICAS DE LA OFERTA

Dadas las tecnologías que confluyen en la robótica industrial, ésta constituye un sector industrial íntimamente relacionado con el resto de la estructura industrial. Las interrelaciones productivas tienen lugar de un modo especial con múltiples sectores metalúrgicos de los que los fabricantes de robots se proveen de productos total o parcialmente elaborados y a los que el sector dirige una parte no despreciable de su oferta.

Estas importantes interrelaciones productivas y tecnológicas de la robótica con otros sectores industriales suponen que las grandes empresas industriales que operan en diferentes campos de la fabricación de bienes de inversión cuentan con unas ventajas claras en el desarrollo de actividades en el nuevo sector. De hecho, la experiencia existente acerca de las empresas fabricantes indica

	Manutención y servicio de la maquinaria	Tratamiento de superficies	Soldadura	Ensamblaje
Mano de obra	35	20	30	25
Componentes eléctricos y electrónicos	25	40	20	50
Componentes mecánicos	40	40	50	25
TOTAL	100	100	100	100

Tabla 6. Estructura de costes de la producción de robots industriales según aplicaciones tecnológicas, 1979. (% sobre el coste total de la producción).

Fuente: Databank, y datos de las empresas.

claramente la importancia de este fenómeno.

La importancia de las interrelaciones productivas del sector viene resaltada también por la estructura de costes "típica" de sus empresas. La Tabla 6 muestra el importante peso de los componentes o productos elaborados en los costes totales de fabricación de robots. El peso de la mano de obra oscila entre el 25 y el 35% en función del tipo de robot. El peso de los productos elaborados supone el resto: entre un 65 y un 75%.

Las implicaciones del sector de robótica son ciertamente importantes pues las empresas del sector adquieren los componentes ya elaborados

en la mayor parte de las ocasiones generando a su alrededor importantes actividades auxiliares. El énfasis principal de las firmas se centra, pues, no tanto en la fabricación de componentes como en el montaje y la concepción y el desarrollo del "software" de la nueva maquinaria.

Como se observa en la Tabla 6, el coste de los componentes mecánicos predomina sobre el de los eléctricos y electrónicos en los robots con aplicaciones tecnológicas en los que se requiere una mayor capacidad de carga. Por contra, en robots más sofisticados como los de ensamblaje el peso de los elementos electrónicos (sensores, etc.) es fun-

	1980	1985
Parte mecánica	15	10
Parte electrónica	15	15
Órgano motor	20	15
Órganos de reconocimiento y visión	5	15
Sensores	15	25
Microprocesadores	30	20
TOTAL	100	100

Tabla 7. Cambios previstos en la estructura de costes en la producción de robots industriales, 1980-1985. (% sobre el coste total de los productos total o parcialmente elaborados).

Fuente: Forst.

damental. Por otro lado, en los robots de tratamiento de superficies, que son de menor costo y sofisticación, tienen una significación similar los dos principales tipos de componentes. En esta clase de robots menos complejos, el valor añadido es más reducido que en los robots con otras aplicaciones.

La Tabla 7 muestra las perspectivas de evolución futura en el coste de los diferentes componentes del robot industrial. Las tendencias más importantes que se pueden observar son la reducción del porcentaje de coste atribuible a productos tecnológicamente ya asimilados (de un modo especial los microprocesadores), y la ganancia de cuota de los componentes que incorporarán al sector las tecnologías más avanzadas: sensores y órganos de reconocimiento y visión. Las tendencias apuntadas en la Tabla 7, confirman la evolución en años recientes, en los que el coste de los componentes electrónicos del robot ha pasado de suponer un 50% del total a un 25% o menos en la actualidad. Entre tanto, el coste de los elementos mecánicos ha permanecido constante en términos reales en los últimos años.

Como ya se ha adelantado, el "software" constituye en robótica uno de los aspectos de la fabricación de un robot al que los fabricantes conceden una mayor importancia. Del mismo modo, a nivel de usuario hay que señalar que las fases de estudio y proyecto de una instalación de robots en una empresa son fundamentales y, junto con el equipo auxiliar que, a menudo, es preciso modificar o instalar, pueden significar una duplicación del costo del robot.

La necesidad de un apoyo técnico de la empresa oferente al potencial utilizado es originada por las propias características de la nueva tecnología que afecta al proceso productivo en su propia esencia.

La importancia que se concede a la implementación del robot por parte de las empresas oferentes corre pa-

ralela al papel del servicio técnico de la post-venta. La capacidad de oferta de este servicio, que es esencial para el usuario, condiciona en gran medida las posibilidades de implantación de las empresas y prima a los fabricantes en sus correspondientes países.

El costo de adquisición de un robot, sin proyectos de instalación y otros componentes del costo total, oscila en la actualidad entre los 20.000 y los 120.000 dólares, en función del nivel de complejidad del modelo. La lucha de los fabricantes en la actualidad se centra en la consecución de modelos que tengan el nivel de sofisticación necesario para las funciones a desempeñar, pero al costo más reducido posible. Ello implica, a menudo, la limitación de complejidades innecesarias.

ANÁLISIS DE LA DEMANDA

DEMANDA DE ROBOTS INDUSTRIALES POR PAISES

La demanda de robots industriales se distribuye en la actualidad en tres grandes zonas: Japón, EE. UU. y Europa. El mercado japonés absorbe casi la mitad de un mercado mundial que en 1980 se estimaba en 300 millones de dólares. Tras el mercado japonés, se sitúa el norteamericano, que en 1979 rebasó la cifra de negocios de los 100 millones de dólares. Por último, Europa supone un mercado que no llega a ser el 50% del americano, cifrándose alrededor de los 40 millones de dólares. En el mercado europeo, los principales países consumidores son de un modo destacado Suecia y Alemania Occidental, seguidos, ya a cierta distancia, de Italia.

La estimación del parque mundial de robots en 1980, que se corresponde en gran medida con las tendencias de la demanda en el momento actual, aparece reflejada en la Tabla 8.

Al ser la robótica una industria reciente son múltiples las previsiones que se han efectuado acerca de la futura evolución de la demanda de productos del sector. También por el hecho de ser una industria aún poco desarrollada, estas previsiones se encuentran rodeadas de una incerti-

dumbre mayor de la habitual en este tipo de ejercicios prospectivos.

Los puntos de coincidencia, sin embargo, apuntan a unos elevados ritmos de expansión del sector en la próxima década. Ritmos de crecimiento que oscilan entre el 10% y el 25% anual en términos reales. Se asimila la evolución próxima de la demanda del sector a nivel mundial, a la que ha tenido lugar en otras industrias puntas de desarrollo reciente, como es el caso de los microprocesadores, sin tener en cuenta en ocasiones, el distinto carácter de los productos y su distinta repercusión en los procesos productivos. La evolución en estos y otros aspectos similares condicionará, sin duda, el ritmo de introducción de la nueva tecnología en los procesos productivos.

Tras estas precisiones, es posible ya considerar las previsiones de crecimiento de la demanda del sector que barajan las oficinas gubernamentales, los gabinetes consultores internacionales y otros expertos en el tema.

En el caso japonés, el MITI estima que el crecimiento del sector en la década de los 80 hará que el mercado actual de su país de 300 millones de dólares (constituyendo algo más de la mitad robots programables) se

sitúe en 1990 entre los 1.100 y 1.400 millones de dólares. La demanda de robots programables para dicho año hay que cifrarla, por tanto, en cerca de 1.000 millones de dólares, pues se considera que este tipo de robots irá constituyendo el grueso de la demanda al igual que ha ocurrido en los últimos años en los que ha pasado de suponer un 10,8% del mercado en 1974, a un 50,8% en 1980.

Los responsables japoneses esperan que el crecimiento del mercado japonés (un 20% anual acumulativo en términos monetarios) sea especialmente fuerte en el período 1980-85 y que en el conjunto del período sea particularmente inferior al crecimiento de la producción, puesto que de ésta debería destinarse ya en 1985 un 33% al mercado exterior mientras que a este mercado se destinan en la actualidad unos porcentajes despreciables del total de robots producidos.

Si en el caso japonés algunas de las previsiones de evolución de la demanda se han tachado de excesivamente optimistas, otro tanto ocurre en el mercado americano. Los expertos de este país consideran que la demanda de robots programables puede pasar de suponer algo más de 100 millones de dólares en 1980, a 2.000 millones en 1990. Estimaciones más razonables optan por el establecimiento de alternativas en la evolución futura de la demanda, situando entre 700 y 2.000 millones de dólares la demanda de 1990. Las tasas de crecimiento del sector en los años 80 habrían de situarse pues entre el 20 y el 35% en términos monetarios. Con una u otra alternativa no es un crecimiento en absoluto despreciable.

Por lo que respecta al mercado europeo, informes elaborados en 1980 señalaban que el crecimiento de la demanda en Europa entre 1980 y 1990 se situaría entre el 17 y el 24% en términos reales. Ello supone que el mercado europeo al estar aún menos desarrollado, ofrece unas perspectivas de crecimiento ligeramente

País o Zona	Unidades	(%)
Japón	6.000	43,2
Estados Unidos	3.500	25,2
Suecia	1.200	8,6
Alemania Occidental	1.133	8,2
Gran Bretaña	371	2,9
Italia	353	2,7
Francia	200	2,5
Países del COMECON	500	3,6
Otros países Europa Occidental	430	3,1
TOTAL	13.687	100,0

Tabla 8. Parque mundial de robots. 1980.

Fuente: British Robot Association (BRA).
Japan Industrial Robot Association (JIRA).
Societa italiana per la Robotica industriale (SIRI).
Association française de robotique industrielle (AFRI).

superiores al americano, y claramente por encima del japonés.

De este modo, una proyección más global supondría que el mercado mundial pasara de los 300 millones de dólares actuales a 3.000 millones en 1990, con un peso creciente de la zona europea en detrimento del mercado japonés, de tal modo que para 1990 ambos mercados, junto con el estadounidense, tendrían dimensiones similares, alrededor de los 1.000 millones de dólares.

Las proyecciones efectuadas en el mercado europeo incluyen también un análisis de la evolución futura de la demanda en los principales países de Europa. Como se observa en la Figura 5, los crecimientos más acentuados están previstos en el Benelux, la Península Ibérica y el Reino Unido. Todas estas zonas son las que en la actualidad tienen un mercado aún escasamente desarrollado. De cumplirse las previsiones de la Figura 5 en 1990 se habrían operado los cambios en la distribución por países en la demanda europea de robots que aparece en la Figura 6.

Naturalmente, son diversos los elementos que implican un desigual desarrollo de los mercados. Entre los más importantes hay que señalar el nivel de los costes salariales en el país, la facilidad o no de introducción de nuevas tecnologías y, por supuesto, la existencia o no de una industria productiva nacional. Estos elementos determinan el momento de creación de un mercado. En las dimensiones de éste, y a más largo plazo, es determinante naturalmente el volumen e importancia de los sectores industriales potenciales utilizadores del producto.

ANÁLISIS DE LA DEMANDA POR TIPOS DE ROBOTS Y APLICACIONES TECNOLÓGICAS

Como ya se vio en apartados anteriores, es posible establecer diferentes tipologías de robots atendiendo a diversos criterios de clasificación. En función de la clase de control de los

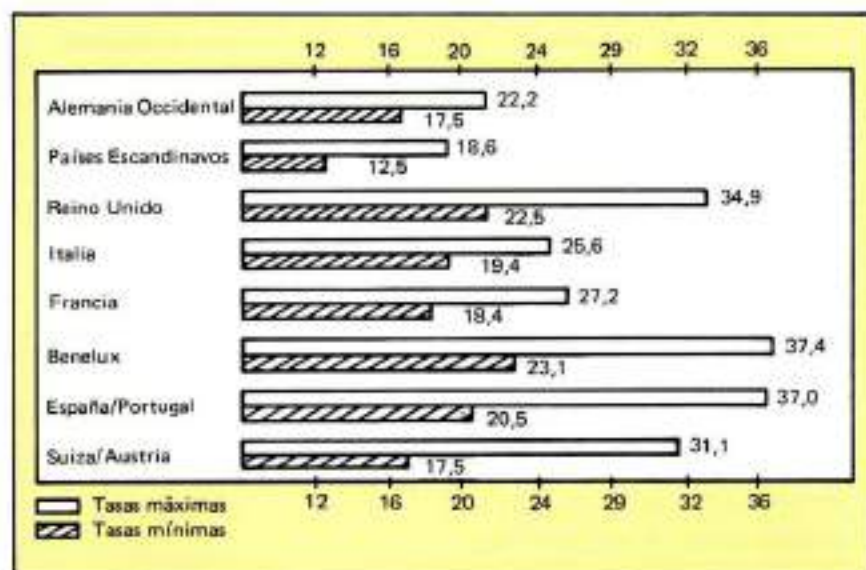


Figura 5. Tasa de crecimiento de la demanda futura de robots industriales en Europa Occidental. (Tasas anuales acumulativas de crecimiento real). Fuente: Elaboración propia a partir de diversas fuentes.

movimientos de los robots, las Tablas 9 y 10 muestran la distribución del parque europeo actual de robótica, en porcentaje de unidades de cada tipo de robot. Destacan indudablemente los robots servocontrolados punto a punto, pues éste es el tipo de control que se destina a dos aplicaciones tecnológicas muy ex-

tendidas: la soldadura por puntos y las operaciones de manipulación. Los robots con servocontrol de senda continua son, por lo general, robots de pulverización. En cuanto a los no servocontrolados, sus aplicaciones son muy variadas en el campo de la manipulación. El predominio de los robots servocontrolados

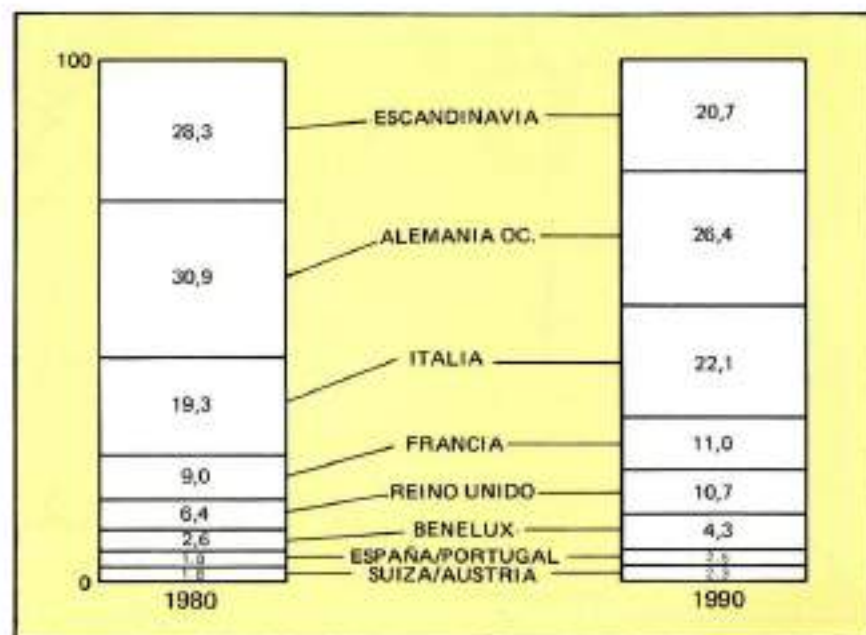


Figura 6. Distribución por países de la demanda europea de robots industriales. (% en valor, sobre el total). Fuente: Información propia.

Tipo de robots	(% de unidades de cada clase)
No servocontrolados	28
Servocontrolados punto a punto	44
Servocontrolados de senda continua	28

Tabla 9. Parque de robots industriales en Europa Occidental por tipos de robots. (Estimación a finales de 1979).

Fuente: Información propia.

Tipo de robots	Tasa anual acumulativa en %	
	MINIMA	MAXIMA
No servocontrolados	15,7	– 19,2
Servocontrolados punto a punto	15,2	– 18,3
Servocontrolados de senda continua	18,9	– 22,3

Tabla 10. Tasas de crecimiento de la demanda de robots industriales por tipos de robots en Europa Occidental en el período 1980-1990.

Fuente: Información propia.

se acentuaría, sin duda si en lugar de considerar porcentajes de unidades instaladas, se tuvieran en cuenta porcentajes en valor.

Por lo que respecta a la evolución futura de la demanda de uno u otro tipo de robots, la Tabla 10 muestra las

tasas de crecimiento esperadas para la década de los 80 en el caso europeo.

El crecimiento más fuerte se registra en los robots con servocontrol de senda continua. El desarrollo de las aplicaciones del robot como maqui-

naria de proceso, la profundización en el empleo de robots en tratamiento de superficies y la previsión de que se emplearan este tipo de robots en tareas de manipulación, hacen prever este fuerte crecimiento. Esta expansión podría ser aún mayor según cual fuera el ritmo de introducción de los robots de ensamble, pues se trata de robots incluidos en esta categoría.

Los robots sin servocontrol seguirán contando con un mercado en los próximos años, pues constituyen una alternativa adecuada en términos económicos y tecnológicos para aplicaciones de escasa complejidad.

Por último, los robots con servocontrol punto a punto han alcanzado un cierto nivel de saturación en su aplicación en soldadura y su crecimiento no será tan fuerte como el de los robots tipos, pues habrán de competir con ellos en diferentes aplicaciones y en especial en tareas de manipulación.

Por lo que se refiere al nivel de sofisticación del robot, aunque no se dis-

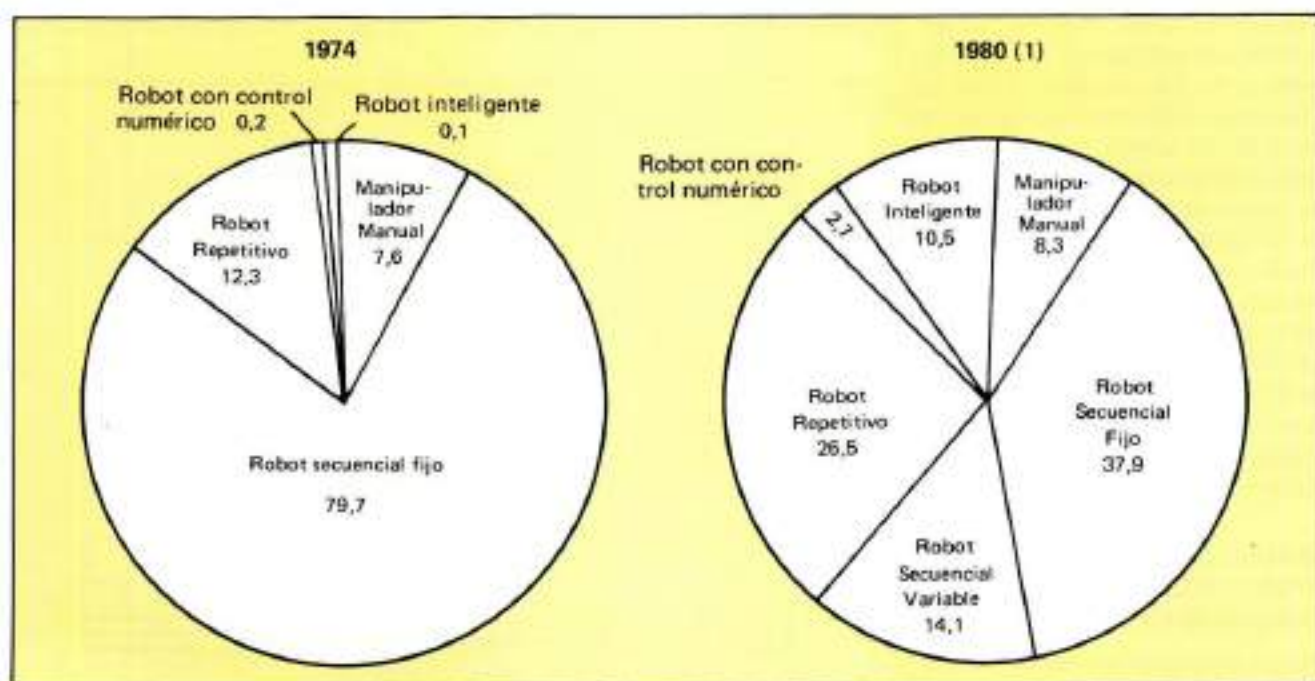


Figura 7. Distribución de la demanda de robots industriales en Japón según niveles de sofisticación. 1974-1980. (% del valor de las ventas totales, por tipos de robots).

Fuente: Daiwa Securities America.

Aplicaciones tecnológicas	% s/total de unidades instaladas
Carga y descarga y servicio a la maquinaria	56,4
Carga y descarga de	41,8
• máquinas-herramienta	7,3
• máquinas de moldeo y estampación de plásticos	3,6
• máquinas de inyección	7,3
• fundición y estampación en caliente	5,5
• maquinaria de estampación en frío	7,3
• hornos	3,6
• tratamientos térmicos	5,5
• otra maquinaria	1,7
Manutención de materiales	9,1
Paletización	5,5
Maquinaria de Proceso	32,7
Soldadura por puntos	14,6
Soldadura continua	3,6
Tratamiento de superficies (pintura, esmaltado, etc.)	9,1
Resto	5,4
Ensamblaje	10,9
TOTAL	100,0

Tabla 11. Distribución del parque nacional de robots por aplicaciones tecnológicas. 1979.

Fuente: SIRI (Società Italiana per la Robotica Industriale).

pone de estadísticas a nivel mundial, sin embargo se cuenta con datos japoneses que suponen, aproximadamente, un 50% del mercado de todo el mundo.

La Figura 7 ilustra cómo en el transcurso de la segunda mitad de la década de los 70 se ha producido un cambio importante en el nivel de sofisticación requerido por el mercado de robótica. El porcentaje de robots programables ha aumentado de un modo espectacular frente a los robots no programables. Al propio tiempo, y dentro de la categoría de programables, aumenta la importancia de unidades de mayor sofisticación: los robots repetitivos, con control numérico e inteligentes.

Estas tendencias observadas en el mercado japonés son las que los expertos de todo el mundo prevén para el conjunto del mercado mundial en los años 80. De hecho, las formidables tasas de expansión del mercado mundial dependen, en gran medida, de que la oferta sea capaz de ofrecer una producción progresivamente

más diversificada, amplia y sofisticada, capaz de crear un mercado cada vez mayor.

Por lo que se refiere a la demanda de robots en función de las tareas para los que son utilizados, la Tabla 11 muestra la distribución por aplicaciones tecnológicas de los robots instalados en todo el mundo a finales de 1979. Como se observa en la tabla, casi un 60% de las unidades se dedican a aplicaciones de manipulación y servicio de maquinaria, mientras algo más de un 30% efectúa operaciones de fabricación y un 10% se dedica al ensamblaje.

Con relación a las tareas concretas, las predominantes son, sin embargo, las aplicaciones de proceso y, concretamente, la soldadura a puntos y el tratamiento de superficies (de un modo especial la pintura).

Tras estas dos aplicaciones principales, hay que situar la manipulación de materiales y las principales tareas

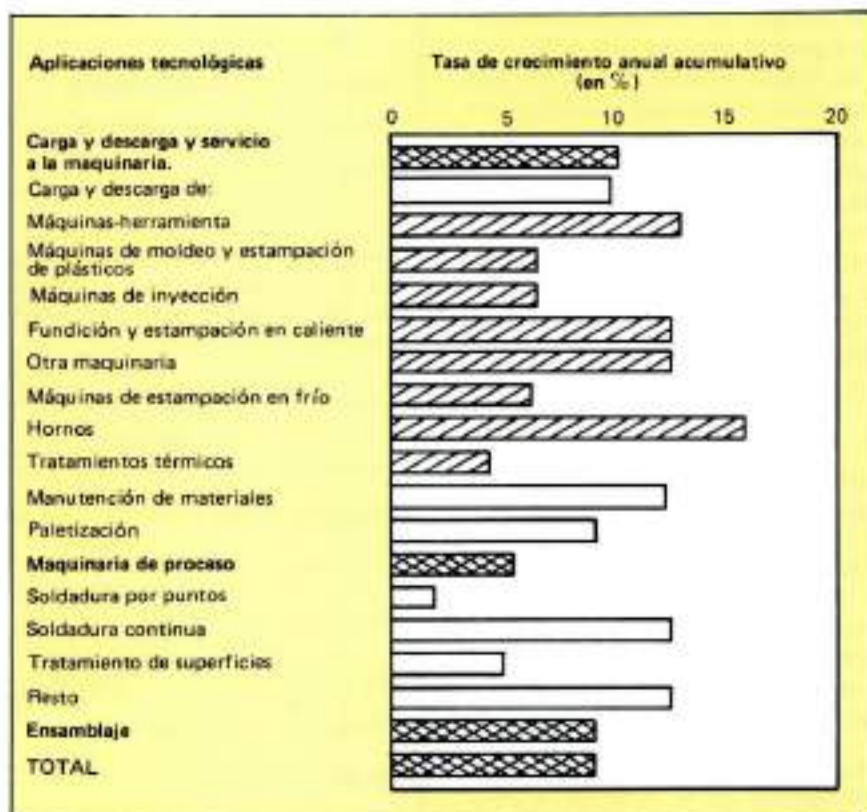


Figura 8. Tasas de crecimiento (1979-1985) del parque mundial de robots por aplicaciones tecnológicas.

Fuente: SIRI (Società Italiana per la Robotica Industriale).

de servicio a la maquinaria; concretamente se trata del servicio de máquinas-herramienta, máquinas de inyección y máquinas de estampación en frío.

El predominio de este conjunto reducido de aplicaciones se fundamenta en las condiciones en que se ha efectuado el desarrollo inicial de la industria de la robótica. Por un lado, los primeros modelos de robots que tuvieron aplicación industrial estuvieron destinados a sustituir al hombre de tareas nocivas, fatigosas y repetitivas, y en gran parte esto sucede aún con la mayoría de los productos actualmente en el mercado. Por otro lado, los principales sectores usuarios, en especial el sector del automóvil, han condicionado en gran medida junto con lo dicho anteriormente, la extensión de algunas aplicaciones como, por ejemplo, la soldadura por puntos o la pintura.

Por lo que respecta a la evolución futura en las aplicaciones de la robótica, la Figura 8, ofrece una previsión que para el periodo 1979-1985 efectuó, a nivel mundial, la SIRI. En esta previsión se establece que los mayores desarrollos tendrán lugar en el campo de la manipulación y servicio de la maquinaria y, a continuación, en ensamblaje. En cuanto a las aplicaciones como maquinaria de proceso, se considera que, al estar ya el mercado parcialmente abastecido, el crecimiento futuro será menor que en otras aplicaciones.

ANÁLISIS DE LA DEMANDA POR SECTORES UTILIZADORES

Los principales sectores industriales clientes de la robótica industrial son el sector del automóvil, los sectores metalúrgicos, el sector fabricante de materiales para la construcción y el sector del plástico y caucho.

Las Tablas 12, 13 y 14 presentan la distribución de la demanda de robots por sectores utilizadores en Japón, EE. UU. y Europa respectivamente. A pesar de las diferencias

Sector	%	
	1976	1979
Automóvil	31	40
Maquinaria eléctrica	22	19
Productos moldeados de plástico	13	11
Productos metálicos	6	8,5
Productos metalúrgicos de primera transformación	6	4
Maquinaria no eléctrica	5	7
Maquinaria de precisión	2	4
Otros	15	10,5
TOTAL	100	100,0

Tabla 12. Principales sectores utilizadores de robots (1) industriales en Japón, 1976-1979. (% en valor sobre el valor total de las instalaciones de cada año).

(1) Al igual que en todas las estadísticas proporcionadas por el sector en Japón, los datos corresponden a robots industriales incluyendo manipuladores todo o nada y robots secuenciales fijos.

Fuente: JIRA.

Sectores	%
Industria del automóvil	58
Productos metalúrgicos de primera transformación	9
Maquinaria no eléctrica	8
Maquinaria eléctrica	6
Electrónica	5
Materiales para la construcción	5
Productos plásticos y de caucho	4
Resto	5
TOTAL	100

Tabla 13. Principales sectores utilizadores de robots industriales en Europa, 1979. (% de robots sobre el total de robots instalados).

Fuente: Información propia.

Sectores	%
Electromecánico	20,1
Automóvil	18,8
Construcciones metálicas	20,0
Electrónica	15,1
Maquinaria no eléctrica	2,0
Resto	24,0

Tabla 14. Principales sectores utilizadores de robots industriales en EE.UU., 1979. (% en valor de robots sobre el valor total de las instalaciones en el año).

Fuente: Centro Ricerche Fiat.

metodológicas que pueda haber en la elaboración de unas y otras estadísticas, es posible establecer una relación como la que se ha señalado. El primer sector consumidor es, sin lugar a dudas, el automovilístico, ya sea la fabricación de los vehículos o la de sus partes y piezas. En segundo lugar se sitúan los principales sectores del metal (con exclusión del automovilístico): la fabricación de maquinaria y equipo eléctrico, la electrónica, la fabricación de productos metálicos, metalurgia de primera transformación y construcción de maquinaria eléctrica. Tras éstos, en la industria no metalúrgica destacan las aplicaciones en los sectores de fabricación de materiales para la construcción y en el sector de plásticos.

A continuación se efectúa un breve análisis de las principales causas de

la expansión de la robótica en los sectores industriales en los que hasta el presente ha tenido una mayor incidencia. Del mismo modo se analizan las principales aplicaciones que ha recibido la nueva tecnología en cada sector y se valora el futuro del sector como demandante de robots, en función de las aplicaciones potenciales en el mismo. La Tabla 15 constituye un resumen de este análisis conjunto de sectores usuarios y aplicaciones tecnológicas, que se extiende a sectores industriales cuyo análisis detallado no se efectúa. Incluye también una caracterización técnica indicativa de los robots más adecuados para cada uno de los sectores industriales considerados.

Por último, la demanda futura proveniente de cada sector no depende únicamente de las aplicaciones nue-

vas que pueda tener la robótica en dicho sector. Depende también, por supuesto, de la propia evolución del sector en cuestión.

Este aspecto es considerado en las previsiones de demanda por sectores que se muestran en la Figura 9. En ellas se muestra que en los años próximos se asistirá a un descenso del predominio del sector del automóvil como sector cliente, con un ascenso de la práctica totalidad de los sectores y de un modo especial de la maquinaria no eléctrica, y la electrónica.

Automóvil

Desde el inicio del empleo de robots en el sector industrial, el sector del automóvil ha constituido el principal consumidor de entre los sectores in-

Sectores	APLICACIONES TECNOLÓGICAS							CARACTERÍSTICAS DEL ROBOT					
	Servicio de maquinaria	Manipulación y mantenimiento de mater.	Soldadura	Tratamiento de superficies	Otra maq. de proceso	Ensamblaje	Inspección	Capacidad (kg.)	Visión	Clase de sensores	Facilidad de reprogram.	Precisión	Servo-control
Alimentación	-	P	-	-	-	-	P	5-10, >30	Simple	Presión	-	-	-
Minería y química	-	AP	-	P	-	-	-	<5, >30	-	-	-	Medio-baja	-
Metalurgia básica	P	-	-	-	P	-	-	>50	-	Temperatura	-	Baja	-
Metalurgia de primera transformación	A	P	-	-	P	-	-	10-50, <5	-	Proximidad	-	-	-
Maquinaria no eléctrica	A	P	P	A	P	P	-	<5, >30	-	-	SI	Medio-Alta	-
Mecánica de precisión	-	-	-	-	-	P	P	<5	Simple	Táctiles	-	Alta	-
Maquinaria eléctrica	P	-	P	A	P	P	-	<10	-	Táctiles	-	Medio	Punto a punto
Electrónica	-	AP	P	P	-	A	P	<5, 20-50	Compleja	Táctiles	-	Alta	SI
Industria naval	P	-	AP	P	P	-	-	-	-	-	SI	-	-
Industria automoción	AP	-	AP	AP	-	P	-	>50, <10	-	-	-	-	SI
Aeronáutica	AP	P	-	P	P	-	-	10-20, <5	-	-	-	Alta	-
Otro material de transporte	AP	-	P	P	P	P	-	10-50	-	Proximidad	-	-	-
Herramientas de mano	A	P	P	-	P	P	-	5-10	-	-	-	Medio-Alta	-
Otros productos metálicos	-	AP	P	AP	P	P	-	-	-	-	-	-	-
Textil, calzado y confección	-	P	-	-	P	-	-	5-10	Simple	-	-	Medio	-
Materiales para la construcción	P	P	-	A	P	-	-	20-100	Simple y complejo	-	-	Medio-Baja	-
Madera y muebles	P	P	-	AP	P	-	-	5-10, >50	-	-	-	-	-
Papel y Artes Gráficas	P	P	-	P	-	-	-	50-100 y >10	-	-	-	Baja	-
Productos de plástico y caucho	AP	P	-	-	AP	-	P	<5, 20-30	Simple	-	-	Medio	-
Otra industria manufacturera	P	P	-	P	-	P	-	5-10	-	-	-	Medio	-

Tabla 15. Aplicaciones tecnológicas y características de los robots industriales por sectores utilizadores. A: Actual - P: Potencial.

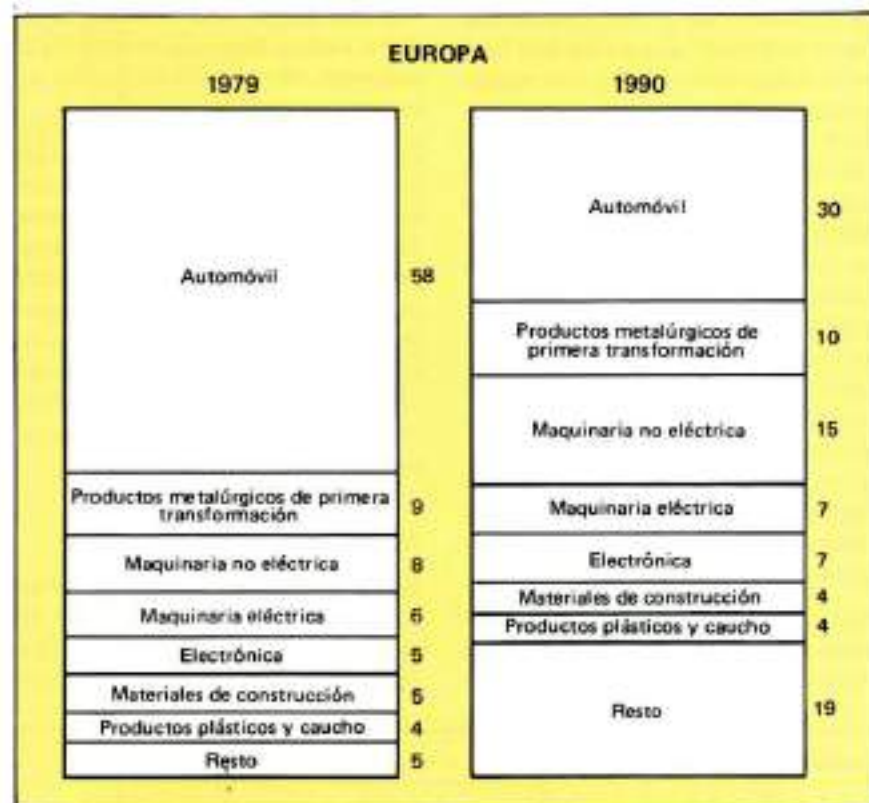


Figura 9. Demanda futura de robots industriales por sectores utilizadores en Europa. (Porcentajes en valor).

Fuente: Centre Ricerche Fiat.

dustriales. Una muestra de la importancia que para la robótica ha tenido la demanda de robots proveniente de los grandes fabricantes de automóviles es el hecho de que estos propios fabricantes han entrado en el campo de la fabricación de sus propios robots. Unas veces directamente como es el caso de la Volkswagen. En otras ocasiones a través de filiales: Acma Cribier en el caso Renault, y Comau en Fiat.

La industria del automóvil ha constituido un elemento fundamental en el desarrollo de la robótica, pues las inversiones en robots han sido cuantiosas en los últimos años. En el sector del automóvil, el robot permite compaginar la producción seriada con la flexibilidad que requiere el mercado; y, al propio tiempo, supone ganancias de productividad necesarias en un sector en fuerte competencia. Por otro lado, la gran dimensión de las firmas automovilísticas ha permitido llevar a cabo la inver-

sión en la nueva tecnología, lo que hubiera sido difícil en sectores con unidades productivas de menor tamaño.

Las principales aplicaciones de robots en la fabricación de automóviles han sido la soldadura por puntos y la pulverización. Por lo que respecta a la industria auxiliar las aplicaciones han afectado a tareas de servicio de maquinaria. Los desarrollos futuros se prevén en la soldadura continua, y la pulverización (hasta ahora únicamente se efectúa la pulverización de los bajos de los vehículos) y, en el caso de la industria auxiliar, en el ensamblaje.

Maquinaria no eléctrica

El sector de maquinaria no eléctrica constituye uno de los sectores potencialmente utilizadores de robots de mayor importancia. En la actualidad ya supone una parte considerable de la demanda aunque sólo se

han desarrollado algunas aplicaciones. Fundamentalmente el servicio a la maquinaria.

Un elemento que ha limitado la introducción de la robótica en el sector hasta el presente ha sido el escaso nivel de concentración de sus unidades productivas.

Conforme sea asimilada la tecnología de la robótica por el conjunto del sistema industrial es de esperar una fuerte penetración en este sector, en el que las aplicaciones potenciales son muy importantes en prácticamente todos los campos. El desarrollo de este sector demandante puede también significar un cambio de la tendencia actual de especialización de los robots, y una vuelta a la esencia de la robótica que es la versatilidad.

Electrónica

El empleo de robots en el sector electrónico afecta primordialmente a aspectos de manipulación de materiales y a funciones de pintura. Sin embargo, se han registrado ya aplicaciones en el ensamblaje de pequeños componentes. Este ha sido el primer sector en que los robots de montaje han tenido una aplicación concreta y es de esperar que en el futuro esta aplicación sea aún superior. El montaje de productos electrónicos es una operación intensiva en trabajo en la actualidad y su automatización parece asegurada de continuar el progreso tecnológico en las materias que afectan a los robots de montaje (reconocimiento, sensores, visión, etc.).

Metalurgia de primera transformación

La fabricación de productos metalúrgicos manufacturados reúne dos características que han propiciado el empleo de robots en su proceso productivo. Se trata de una fabricación en lotes reducidos y poco diferenciados y que tiene lugar en condiciones ambientales perjudiciales para la persona humana.

REPERCUSIONES DE LA INTRODUCCION DE LOS ROBOTS EN EL SISTEMA INDUSTRIAL

Como aún en la actualidad son múltiples las labores ingratas al hombre que se deben efectuar en este sector, es de esperar un afianzamiento como sector consumidor de un modo paralelo a la aportación de nuevas soluciones tecnológicas por parte de los fabricantes.

Maquinaria eléctrica

El sector de maquinaria eléctrica ofrece grandes posibilidades como mercado de robótica. Se trata de un sector ampliamente diversificado como ocurre con la maquinaria no eléctrica, y en el que son múltiples las operaciones o procesos productivos susceptibles de ser automatizados.

En la actualidad las principales aplicaciones se dan en esmaltado y en tratamientos de superficies pero hay posibilidad de desarrollos en todas las áreas de robótica.

Las producciones en las que con mayor facilidad se incorpora la robótica son aquellas que por tratarse de producciones no masificadas no han podido automatizarse con las técnicas clásicas de automatización.

Fabricación de materiales para la construcción

El empleo de robots en este sector tiene lugar en una tarea muy penosa para los operarios: el esmaltado por pulverización. Al tratarse de una industria en la que se trabaja por lo general en condiciones desagradables, en un entorno hostil y debiendo manipular grandes piezas, es de esperar la progresiva implantación de robots. Los subsectores que ofrecen un mayor interés son los de cerámica, vidrio y refractarios.

Fabricación de productos de plástico y caucho

La principal aplicación de los robots en este sector es en el servicio a la maquinaria (de un modo especial maquinaria de inyección y moldeo). Los desarrollos futuros tendrán lugar también en esta aplicación, así como, en algunas tareas de proceso y mantenimiento.

REPERCUSIONES SOCIALES

La problemática de las repercusiones sociales de la introducción de la robótica en los procesos industriales puede ser abordada distinguiendo por una parte entre los efectos que la nueva tecnología puede tener en el nivel de empleo y, por otra, las repercusiones en las características (condiciones, cualificación, etc.) de los puestos de trabajo.

Por lo que respecta al nivel de empleo, es indudable que la introducción de robots en los procesos fabriles supone en un primer momento una sustitución y un ahorro de mano de obra. Como gran parte de las nuevas tecnologías, la robótica genera lo que se denomina paro tecnológico. Sin embargo, el fenómeno es lo suficientemente complejo como para que sea extremadamente difícil el conocimiento de la extensión de dicho paro generado por la incorporación de nueva tecnología.

Esencialmente, la complejidad del fenómeno reside en el hecho de que, si bien es posible la estimación de los puestos de trabajo desplazados por la nueva tecnología, resulta particularmente complicada la valoración de los efectos que, de un modo indirecto, pueden ocasionar una evolución en sentido contrario en el mercado de trabajo.

Estos efectos compensatorios pueden ser esencialmente de dos tipos:

- a) En primer lugar, la adopción de la nueva tecnología supondrá mejoras en la productividad de aquellas industrias o sectores que la adopten. De este modo tendrá lugar un aumento del valor añadido en algunos sectores de la economía y este aumento se traducirá, eventualmente, bien en un incremento de los beneficios y posiblemente en la demanda de bienes de inversión, bien en un aumento de la masa salarial de los trabajadores que permanezcan en los sectores innovadores y, así, en un incremento de la demanda de bienes de consumo.

Por una vía u otra, el efecto global sobre el empleo habrá de ser positivo a través del aumento originado en la demanda global de la economía. Como es obvio, además, se trata de un efecto compensatorio de muy difícil medición.

- b) Un segundo efecto compensatorio es el ocasionado por el empleo creado en los sectores implicados en la concepción y fabricación de la nueva tecnología. La expansión de la demanda de robots en los próximos años puede originar el crecimiento de un sector fabricante y de una industria auxiliar de verdadera importancia, la dimensión de los cuales es imposible prever en la actualidad.

Tras estas consideraciones resulta fácil comprender la precariedad de las estimaciones que se pueden efectuar sobre la repercusión de la introducción de robots en la década 1980-1990, en el empleo industrial del mundo occidental. Sobre la base de la experiencia de empresas concretas (en promedio, un robot sustituye a 3 personas pero crea al propio tiempo un puesto de trabajo en el mismo emplazamiento). Sin tener en cuenta los efectos compensatorios antes señalados, se han efectuado diversas estimaciones del porcentaje de trabajadores industriales que pueden ser desplazados por la nueva tecnología en el período 1980-90. Estas estimaciones, basadas en los campos de aplicación previstos y a un ritmo determinado de introducción de la tecnología, así como de desarrollo de la misma, consideran que el paro generado afectará aproximadamente a un 5% del total de trabajadores industriales directos de Occidente. Joseph F. Engelberger, gerente de Unimation Inc., reconocido "padre de la robótica industrial" considera que aun con la más elevada tasa de expansión del mercado de robots, el porcentaje no sería superior al 5% en el año 2000. Otro estudio reciente efectuado para el caso americano por la Carnegie Mellon

University sitúa el porcentaje entre el 4 y el 7% en 1990.

En el caso español no es difícil efectuar unos cálculos aproximativos de este tipo. Según estimaciones efectuadas (ver Figura 5), la demanda de robots crecerá en la década de los 80 a una tasa anual, que se situará entre el 37% en el caso máximo y el 20,5% en el mínimo. Esto significa que los robots a instalar en el período 1980-90 serán algo más de 3.000 en el supuesto de que el mercado crezca fuertemente, y cerca de 1.500 si la expansión es la mínima prevista. Como es obvio, el número de puestos de trabajo afectados (3.000-6.000) es extremadamente reducido suponiendo un porcentaje muy bajo de los trabajadores industriales directos del país.

La cifra obtenida es más reducida que las que se han expuesto anteriormente y de un modo especial si se compara con los niveles de paro actuales. En gran medida ello se debe al hecho de que el resto de países occidentales registrarán en la próxima década un número absoluto de instalaciones de robots sensiblemente superior al español a partir de unas poblaciones de robots ya superiores. Por otro lado, aquellas estimaciones corresponden a hipótesis de expansión del mercado tal vez excesivamente optimistas.

Por lo que respecta a la repercusión de la introducción de la robótica en otros aspectos del mundo laboral, dos son las facetas en las que la incidencia de la nueva tecnología reviste un especial interés.

Por un lado, la robótica se incorpora en procesos industriales que son especialmente penosos, agotadores y desagradables para el hombre. Procesos en los que se deben manejar grandes pesos o bien soportar condiciones ambientales adversas. Se trata de funciones de las cuales los mismos trabajadores desean verse liberados y que, en ocasiones, la propia legislación laboral proscriba o no recomienda para la persona humana.

En las aplicaciones de este tipo, que han sido muchas de las desarrolladas hasta el presente, el robot beneficia al trabajador, velando por su salud y seguridad y mejorando su entorno de trabajo. La introducción de robots en este tipo de procesos industriales apenas ha sido discutida por las fuerzas sindicales, y se espera que continúe siendo aceptada en los próximos años.

Una segunda repercusión de la nueva tecnología afecta al nivel de cualificación de la mano de obra y plantea la problemática del reciclaje de la fuerza de trabajo desplazada por los robots. Indudablemente el problema que se plantea es grave pues los puestos de trabajo que crea la nueva tecnología no tienen lugar siempre en aquellos establecimientos industriales en los que se pierden empleos. La labor de la Administración en este campo es muy importante y constituye uno de los ejes de toda política industrial relacionada con la robótica. El problema se atenúa parcialmente en el caso de la tecnología de la robótica. La sencillez de operación de esta nueva maquinaria permite en múltiples ocasiones que el control de los robots se efectúe por alguno de los mismos operarios que anteriormente ocupaban el puesto de trabajo. Por otro lado, éstos son tal vez precisamente quienes mejor conocen la tarea que la nueva maquinaria debe ejecutar.

La magnitud de las repercusiones sociales de la robótica a largo plazo, escapa probablemente del ámbito estrictamente industrial y afecta a la sociedad en su conjunto pues transforma de un modo esencial los procesos productivos y repercute en el período de vida de todos los componentes de la comunidad. Sin embargo, circunscribiéndonos a las repercusiones en la industria, es indudable que el tema es de particular importancia y que desde esta perspectiva es necesario tener en cuenta la reacción y el papel que pueden tener las fuerzas sindicales en la adopción de la nueva tecnología.

La experiencia de los últimos años en que otra tecnología de punta, la microelectrónica, se ha incorporado aceleradamente a los procesos productivos, ofrece tal vez una perspectiva adecuada de lo que muy bien pudiera ocurrir en el caso de la robótica.

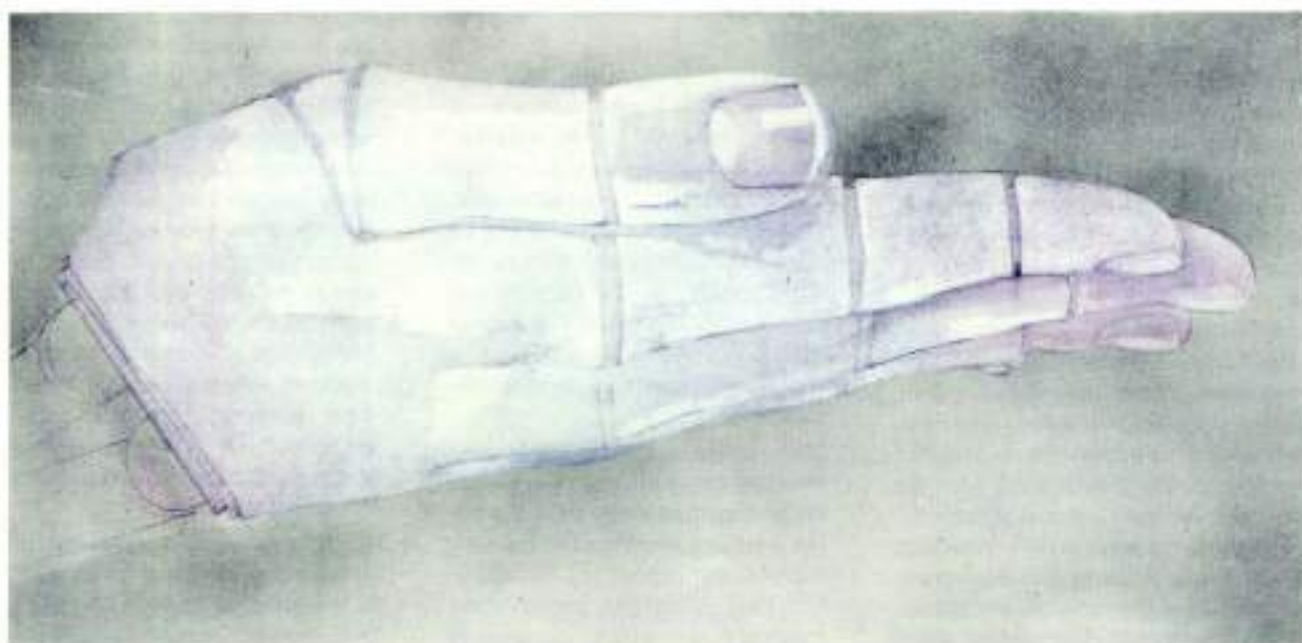
Las principales organizaciones de trabajadores de los países occidentales (Japón, dado su complejo siste-

ma laboral, constituye un caso aparte), han adoptado una actitud abierta frente a las nuevas tecnologías. Esta actitud cabe sintetizarla en dos puntos:

a) Por un lado, se acepta la necesidad de la incorporación de los adelantos tecnológicos a los procesos productivos. Se valora que las consecuencias a largo plazo de la no introducción de tecnolo-

gías, pueden ser especialmente negativas en el volumen de empleo dado el factor esencial que constituyen las innovaciones tecnológicas para el mantenimiento de la competitividad en los mercados internacionales.

b) Por otro lado, se preconizan los denominados "Acuerdos de Tecnología". Este tipo de acuerdos entre organizaciones empresaria-



les-empresas y sindicatos-comités de empresa, son documentos en los cuales se establecen las bases para regular los efectos que la nueva tecnología suponga en lo que se refiere a nivel de empleo, condiciones de trabajo y organización, capacitación de la mano de obra y retribución de la misma.

REPERCUSIONES ECONOMICAS Y PRODUCTIVAS

La introducción de robots industriales en las empresas origina repercusiones económicas y productivas a dos niveles. En un primer plano tiene una clara repercusión sobre la filosofía productiva de la empresa. Esto ocurre principalmente a nivel de proceso productivo, pero los efectos de la introducción de la automatización pueden llegar a suponer incluso una alteración en la propia concepción de los productos.

Esta repercusión a nivel global se traduce en hechos concretos, principalmente hechos que dificultan la incorporación de robots a procesos industriales y que corroboran la tendencia a la implantación de los nuevos equipos en plantas industriales completamente nuevas. En efecto, la tecnología de la robótica incorporada a procesos ya en funcionamiento puede implicar la necesidad de adaptación del entorno a las necesidades de la nueva técnica. Ello puede referirse tanto al propio entorno ambiental, como a cuestiones del espacio muerto creado por el robot, como a la necesidad de integrar la nueva maquinaria con el resto del equipo y utillaje, de características que en ocasiones pueden ser radicalmente distintas. En definitiva, todo ello puede suponer la necesidad de adaptar la organización global de la producción a la flexibilidad que supone la robótica, que como ya se ha repetido en otros apartados de este documento, constituye únicamente una tecnología más entre las técnicas de auto-

matización de la producción a las que se encuentra profundamente ligada.

Todas estas repercusiones en la producción provienen principalmente de la introducción de robots de carga y descarga, manutención y ensamblaje, pues los robots de proceso no se encuentran tan integrados en el proceso productivo.

A un segundo nivel, se consideran a continuación una serie de repercusiones específicas que tiene la robótica en los ámbitos económico y productivo. En esta ocasión, estas repercusiones se refieren a todo tipo de robots si bien, en función de la clase de robots, unos elementos pueden tener una mayor incidencia que otros.

En el ámbito productivo, se registrarán:

- a) **Una importante mejora en el control de la producción.** El tipo de fabricaciones en las que se aplica la robótica requiere frecuentes cambios del diseño y de los modelos de productos, lo que implica muchos cambios de programas de producción que dificultan la tarea del control de la misma. Los robots con controles numéricos facilitan enormemente esta labor.
- b) **Mejoras en la organización y programación de la producción.** En la misma línea del punto anterior, las modificaciones en el programa de producción implican diferentes volúmenes de trabajo y, en ocasiones, distintos niveles de cualificación de los operadores. Con su flexibilidad el robot simplifica la organización y programación de este tipo de situaciones.
- c) **Mejoras en la calidad de la producción.** Estas mejoras se reflejan en una calidad de producto estable y en una disminución del porcentaje de productos defectuosos. La regularidad y precisión del robot son elementos clave para la

consecución de este tipo de mejoras.

- d) **Ahorro de materiales y de energía.** Este tipo de mejoras se han registrado, por ejemplo, en el caso de los robots de pintura, en los que el ahorro de materiales se calcula entre el 5 y el 15% según el proceso de aplicación empleado.
- e) **Mejoras en la prestación de la maquinaria servida.** Este tipo de mejoras se originan gracias a que el robot es capaz de mantener un ritmo de trabajo más sostenido (que no más rápido) que el operador humano y ello de un modo especial en ambientes nocivos, monótonos o peligrosos.
- f) **Mejoras en la flexibilización de la producción y en la reducción de tiempos muertos.** Son éstas unas mejoras muy importantes que junto con las más genéricas incluidas en el apartado b), pueden tener importantes consecuencias financieras en la empresa.

Los cambios sociales analizados comportan unas consecuencias en el terreno económico que se sintetizan en un aumento de la productividad de los *inputs* productivos.

- a) En cuanto al factor trabajo, se registra un descenso en los costes a él asociados, en primer lugar, por la disminución del empleo de mano de obra; en segundo lugar, por una reducción del absentismo (muy frecuente en las actividades nocivas o peligrosas) y en tercer lugar, por una reducción en los costes no salariales afectados a este *input* (costes derivados de legislaciones laborales sociales, etcétera). Otro efecto de interés es el aumento en la cualificación de la mano de obra empleada, lo que repercute en la productividad del trabajador.
- b) Por lo que respecta al capital, los efectos son diversos. En cuanto a la maquinaria, como se ha señalado antes, pueden registrarse

importantes mejoras en su rendimiento.

Por otro lado, las reducciones en los costes de materias primas y de control de la producción suponen beneficios nada despreciables.

Por último, un efecto que es de sumo interés señalar es la reducción en las necesidades de capital circulante. Esta disminución se origina por la reducción de los stocks de productos en elaboración que se consigue con la flexibilización de la producción y la reducción de tiempos muertos. La liberalización de capital puede llegar a ser de cuantías considerables y constituye uno de los efectos compensatorios de mayor interés para que la robótica contribuya a la creación de empleos. En efecto, el resultado final es naturalmente una mejora en el excedente de la empresa, aunque ésta pueda o no traducirse en inversión productiva.

Las repercusiones en el ámbito económico-financiero de la empresa son, pues, considerables. En este sentido dos son los aspectos que se deben también destacar. En primer lugar que la inversión en robótica supone una disminución de los riesgos de la inversión en comparación con la inversión en otros equipos productivos. La versatilidad del robot implica su adecuación potencial a cambios imprevistos en la producción, lo que no es posible con otros materiales.

En segundo lugar, los plazos de recuperación de una inversión en robótica son extremadamente cortos, oscilando entre uno y tres años. Efectivamente, a este fenómeno coadyuvan, por un lado, la expansión de la producción que implica la nueva tecnología y por otro, la reducción en el empleo de mano de obra. Este último elemento justifica por sí solo la mayor parte de las inversiones en robótica, en especial en aquellos países de elevado nivel salarial en los

que el coste de adquisición de un robot únicamente duplica o triplica el coste anual de la mano de obra sustituida.

Las inversiones en robótica se justifican en definitiva por su consecuencia última que es una mejora en la competitividad de las unidades productivas obtenida a través de importantes mejoras de productividad y fuertes reducciones de costes.

LA REALIDAD DE LA INDUSTRIA ESPAÑOLA FRENTE A LA NUEVA TECNOLOGIA DEL ROBOT INDUSTRIAL

NIVEL DE ADECUACION DE LAS CARACTERISTICAS TECNOLOGICAS Y PRODUCTIVAS DE LA INDUSTRIA ESPAÑOLA PARA LA PRODUCCION Y EMPLEO DE ROBOTS

El sector industrial español está estructurado de un modo especialmente apto para el empleo de robots industriales.

Por un lado, a nivel de relaciones productivas y estructura empresarial, la industria española se caracteriza —en términos generales— por la existencia de un extenso tejido de pequeñas y medianas empresas subcontratistas de grandes fabricantes. Los grandes fabricantes, en especial en determinados sectores, son, sin duda, los principales consumidores de robots en la actualidad, fundamentalmente a causa de las posibilidades financieras de que disponen. Sin embargo, el tipo de procesos productivos que se llevan a cabo en las pequeñas y medianas empresas "subcontratadas" por las grandes empresas es particularmente adecuado para la introducción de la flexibilidad de la producción mediante robots. Esta flexibilidad puede permitir importantes aumentos de productividad de tal modo que este segmento del mercado constituye uno de los principales potenciales demandantes del sector fabricante de robots en los próximos años.

A nivel de estructura sectorial, el importante peso del sector metalúrgico (y dentro de él, de la industria de la automoción) en España, indica que el mercado potencial del sector en nuestro país es importante. Como se ha visto con anterioridad, los distintos subsectores metalúrgicos constituyen el grueso de la demanda de robots (85-90% en Europa) y estos sectores, en España, generan casi una tercera parte del Producto Interior Bruto Industrial.

La demanda de robots en España en los próximos años se prevé que tendrá una evolución muy favorable. Las estimaciones, sin embargo, oscilan fuertemente y van desde predecir

que el parque nacional pasará de 60/70 robots en 1980 a 5.000 en 1985 como hipótesis máxima, hasta la previsión señalada anteriormente que cifra el parque en 1990 entre 1.700 y 3.300 unidades.

Por lo que respecta a la producción de robots industriales, las perspectivas no son tan halagüeñas como en el caso de la evolución futura de la demanda.

En la actualidad, existe únicamente un fabricante en España (*). Se trata de la firma Asea-Ces. Esta empresa tiene su origen en la participación a partir de 1965 de la firma sueca ASEA en la empresa Construcciones Eléctricas Sabadell (C.E.S.), fabricante de motores eléctricos. En la actualidad la empresa pertenece en su totalidad a la firma sueca y ha iniciado a lo largo de 1981 el montaje de los robots eléctricos Asea de 6 y 60 Kg. en su planta de Sabadell. El resto del mercado español es prácticamente abastecido por fabricantes extranjeros.

Unimation, la empresa con mayor cuota de mercado, cuenta con representación en nuestro país (la ostenta la empresa Instrumentos y Herramientas Gumuzio, S. A.). Además de esta firma americana, algunos otros fabricantes están presentes ya en el incipiente mercado español.

Las posibilidades de desarrollo de una tecnología nacional en el sector se encuentran parcialmente limitadas debido al escaso desarrollo de una de las dos tecnologías que intervienen de un modo fundamental en robótica: la electrónica. Por lo que se refiere a la vertiente mecánica de la nueva tecnología, la situación de la industria española es positiva. El sector electromecánico español cuenta con empresas de indudable prestigio, solidez y experiencia, lo que permitiría afrontar la fabricación

[*] Hay varios robots (programables) construidos por una filial de Seveco, destinados a fábricas de ladrillos. También se ha registrado la fabricación para usos internos en algunas otras firmas (Patricio Echevarría, G.E.E., etc.).

industrial de robots. Las principales dificultades surgirían, tal vez, del excesivamente reducido tamaño de las empresas. Como ya ha quedado indicado, la mayor parte de los fabricantes de robots de todo el mundo, son empresas de gran tamaño, con importantes recursos financieros, comerciales y tecnológicos, especialmente.

El análisis de las actuaciones llevadas a cabo en España, que a continuación se efectúa, ilustra el desigual desarrollo de las dos tecnologías que intervienen en la robótica. Al propio tiempo, resume la situación de la investigación española en este campo.

ACTUACIONES ESPAÑOLAS EN EL CAMPO DE LA ROBOTICA INDUSTRIAL

Actividades industriales

Las principales experiencias en robótica en España se dan en la utilización de robots por parte de grandes empresas (Seat, Ford, Motor Ibérica, la propia Asea-Ces). Por lo que respecta a producción, aparte de Asea-Ces, algunas firmas han desarrollado algunos modelos para uso interno en sus plantas de fabricación. Este es el caso de General Eléctrica Española, Aurki (Fagor), Ekain, Eisa, Amper, Patricio Echevarría, etc. Algunos de estos desarrollos constituyen, sin embargo, modelos sofisticados de manipuladores, sin alcanzar el grado de versatilidad necesario para poder ser calificados de robots industriales programables.

Investigación

En cuanto a investigación en robótica, las principales iniciativas corren a cargo, por un lado, de Ikerlan (Centro de Investigaciones Tecnológicas de las cooperativas de Mondragón) y, por otro, del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (C.S.I.C.), a través del Instituto de Automática Industrial (I.A.I.) y el Instituto de Cibernética. Además, hay que reseñar las

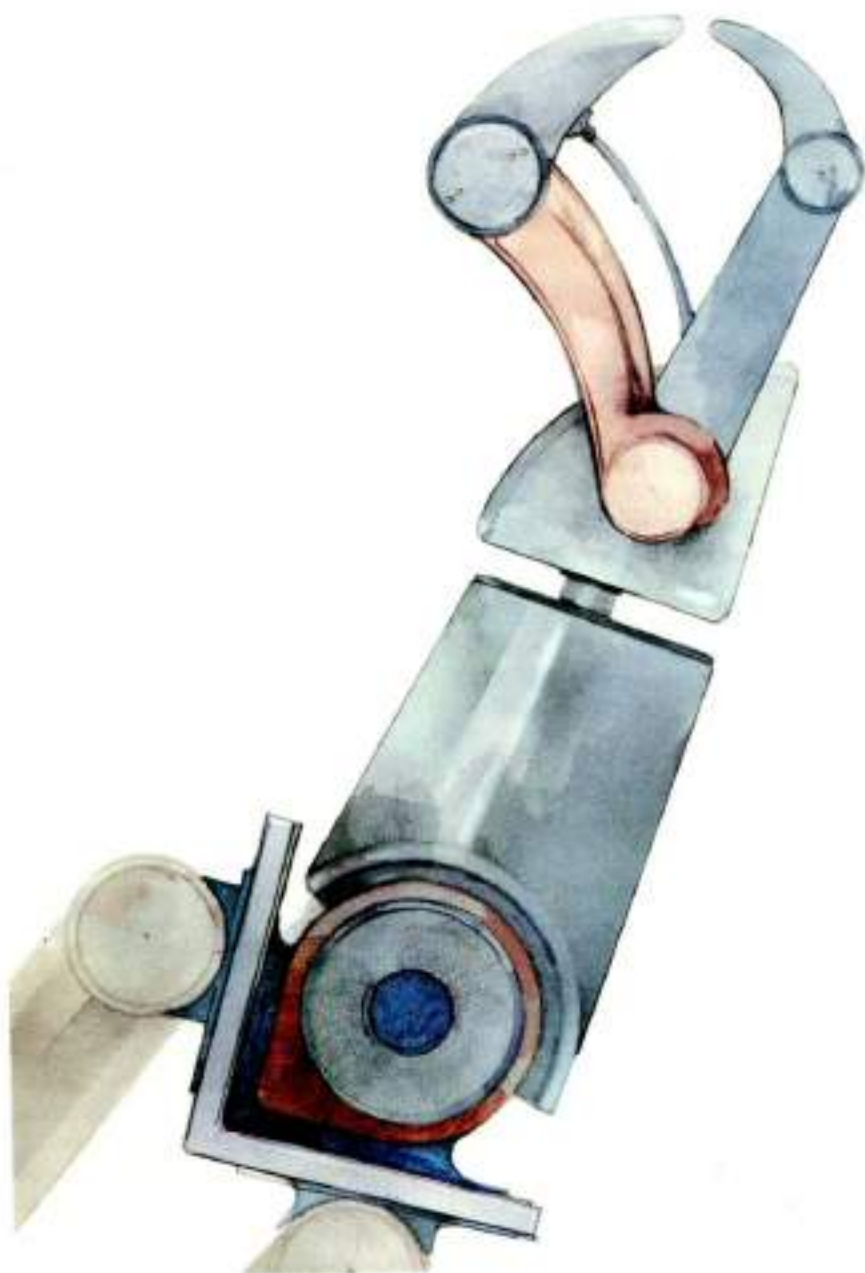
actuaciones llevadas a cabo por algunos departamentos universitarios de diversas Universidades españolas y por otros centros de investigación de carácter privado.

Ikerlan es, sin duda, uno de los centros de investigación de España pionero en el tema de la robótica industrial. Las primeras experiencias del centro en este campo datan de los años 1975 y 1976, tras un período de preparación y seguimiento del tema que se inicia a finales de los años 60. En el período 1977-79, el Centro realiza los prototipos Gizamat I y II. Se trata de dos robots programables (tipos torreta y articulado), dotados de servocontrol, tracción hidráulica y con funcionamiento punto a punto, que demuestran la preparación del centro para futuras realizaciones en robótica.

En la actualidad, Ikerlan está llevando a cabo dos tipos de actuaciones. En primer lugar, se investiga fundamentalmente en el software de la unidad de control pues éste es uno de los principales elementos de desarrollo futuro en robótica. Esta investigación se efectúa con el soporte de los prototipos mecánicos anteriormente realizados y esencialmente trata de desarrollar nuevas técnicas de control encaminadas a resolver la problemática de robots con capacidad de generación de trayectoria con control continuo. Como primera etapa, el centro terminó en 1981 un proyecto de seguimiento de trayectoria previo aprendizaje.

En segundo lugar, y manteniendo la línea de estrecha colaboración con empresas, se desarrollan experiencias de implantación de robots de importación, así como otros sistemas de automatización, en empresas de la zona en donde Ikerlan está ubicado.

El Instituto de Automática Industrial (I.A.I.) constituye un centro de investigación con amplias experiencias en el campo de las máquinas-herramienta con control numérico (campo en el que ha colaborado con empre-



sas industriales) y, en general, en el área de automatismos. El Instituto cuenta en la actualidad con un equipo de veinticinco científicos y desarrolla en la actualidad dos proyectos relacionados con la robótica.

Por un lado, y en colaboración con el Instituto de Cibernética de Barcelona, existe un programa de investigación conjunto presentado a la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica. Este programa de

"Sistemas flexibles de fabricación" consta de diferentes subprogramas llevados a cabo coordinadamente por los dos Institutos. Las áreas de conocimiento que incluye el programa son: informática industrial (software de aplicaciones), sistemas electrónicos con microprocesadores (sistemas digitales) y teoría del control. En términos de investigación aplicada, el programa se divide en cuatro subprogramas: control numérico con microprocesadores, sistemas de

control de robótica industrial de ensamblaje, diseño por ordenador y reconocimiento de formas. Este último subprograma es desarrollado por el Instituto de Cibernética.

El segundo campo de actuación del I.A.I. es un proyecto conjunto con la empresa del INI, Experiencias Industriales (EISA), para el desarrollo de un robot en el plazo de tres años. EISA es una firma con experiencia en electrónica, maquinaria de precisión y articulaciones mecánicas.

Como se ha avanzado, el Instituto de Cibernética desarrollará un programa de investigación en el campo de reconocimiento de formas. Más concretamente, en sistemas artificiales de percepción aplicables a robots, especialmente sistemas de percepción visual. El programa tiene una duración de tres años (1982-1985) y sus objetivos son:

- análisis de los principales sistemas de percepción y su capacidad informática,
- diseño y puesta a punto de un sistema de adquisición y tratamiento de estímulos externos,
- elaboración de algoritmos de reconocimiento para cada tipo de formas,
- estudio de la complementariedad de los distintos sistemas de percepción y desarrollo de algoritmos interactivos,
- implementación, experimentación y evaluación de los algoritmos y sistemas.
- estudio de la incorporación de los sistemas de percepción desarrollados a robots industriales.

Por lo que respecta a Departamentos universitarios en los que se efectúan investigaciones relacionadas con la robótica hay que señalar los siguientes:

- Facultad de Informática de la Universidad Politécnica de Barcelona. Las principales áreas de investigación son tratamiento de imágenes, reconocimiento de formas y

lenguajes de programación especializados.

- Departamento de "Ingeniería de Sistemas y Automática" de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid. Trabajos en las áreas de diseño, construcción y control de un robot-manipulador, así como desarrollo de técnicas avanzadas de control para su utilización industrial. Las investigaciones de este departamento se desarrollan en tres grandes líneas: a) construcción y estudio mecánico del robot (brazo articulado al que se le añadirá una pinza con el fin de lograr cinco grados de libertad); b) identificación del robot, y c) desarrollo de técnicas avanzadas de control (programación de algoritmos adaptativos que se han aplicado al control del brazo). En la actualidad el mencionado centro tiene intención de realizar un estudio bajo el título "Automatización de procesos industriales y cadenas de fabricación flexibles mediante técnicas de control basadas en robots y autómatas programables".
- Otros departamentos que efectúan interesantes trabajos en robótica o temas conexos son los siguientes: en la Universidad de Sevilla, los departamentos de Automática de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales (trabajos en el área de máquina-herramienta experimental dotada de control numérico) y de Electricidad y Electrónica de la Facultad de Físicas; en Valladolid, el Departamento de Automática e Informática de la Facultad de Ciencias (trabajos en el área de teoría de sistemas); en Valencia, la Cátedra de Cinemática y Dinámica de Máquinas de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica (especializados en el área mecánica y de articulaciones) y, por último, los Departamentos de Electrónica y Automática de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros In-

dustriales de Zaragoza (programación y sistemas de visión tridimensionales para robots).

En el campo privado, además de Ikerlan, hay que reseñar la existencia de algunos centros de investigación aislados (Ikaslan del Grupo Artech) y de las investigaciones que las empresas con experiencia en el sector desarrollan en sus departamentos técnicos y de investigación (Amper, Ekain, etc.)

En conjunto, las actuaciones en materia de investigación que se han efectuado en España han adolecido de una falta de coordinación global, así como de una excesiva independencia respecto de las necesidades reales del mundo empresarial. Estos son, pues, los dos elementos que una política de fomento de la investigación en robótica debería tener en cuenta fundamentalmente.

ESTRATEGIA PARA EL DESARROLLO DE LA ROBOTICA EN ESPAÑA

PRINCIPALES ACCIONES A LLEVAR A CABO

Cualquier planteamiento de una estrategia de actuación en materia de robótica en España debe tener en cuenta tres consideraciones fundamentales.

En primer lugar, una estrategia de política industrial en el campo de la robótica constituye un aspecto parcial de un plan de actuación que ineludiblemente debe poseer un carácter más global, abarcando a un amplio conjunto de tecnologías y técnicas que de un modo genérico se podría denominar tecnologías de automatización industrial. El desarrollo de estas tecnologías, que en algunas ocasiones pueden ser complementarias y en otras sustitutivas, ha de ser coordinado con objeto de maximizar los resultados que se realicen en cada campo específico.

En segundo lugar, el desarrollo de la robótica en España ha de significar tanto el desarrollo de la producción de robots en el interior del país, como la extensión del empleo de la nueva tecnología en el conjunto del tejido industrial español. El desarrollo de la producción interior constituye un reto que el sector industrial español debe afrontar, porque ello aún es posible, y al objeto de no desaprovechar una vez más la oportunidad de estar presente en una tecnología de punta a nivel mundial. La extensión de la utilización de los robots en la industria, por su parte, es una alternativa tecnológica que es posible calificar de inevitable para múltiples sectores manufactureros desde una perspectiva del mantenimiento de la competitividad en los mercados exteriores a medio y largo plazo.

En tercer lugar, el convencimiento de que sin una investigación básica de punta, la situación española no sólo no mejorará, sino que a largo plazo empeorará. Las principales acciones a llevar a cabo en robótica industrial han de contemplar, pues, tres áreas

de actuación. Por un lado, deben considerarse las actuaciones globales o actuaciones-marco, que tienen repercusiones en la potenciación del sector tanto por la vertiente de la oferta como de la demanda. Por otro, las actuaciones de fomento de la generación de una oferta interior de robots industriales. Por último, aquellas medidas y acciones que potencien el empleo de la nueva tecnología en las industrias, es decir, que fomenten la demanda.

Se plantea un importante problema de definición de prioridades por lo que respecta a estas dos últimas áreas de actuación. En el contexto de economía de mercado en el que la economía española se encuentra situada, parece más adecuado poner mayor énfasis en las medidas destinadas al fomento de la demanda por diversas razones. La primera de ellas es porque se considera que los efectos negativos potenciales de la no utilización de robots en la industria española superan con creces los aspectos indudablemente también negativos, de no desarrollar una tecnología propia en el sector. Una segunda razón apunta al hecho de que un fomento de la oferta más allá de las líneas directrices que se señalan en el presente apartado, puede suponer un excesivo intervencionismo estatal lejos del papel "indicativo" que aquí se le asigna. Una tercera y última razón subraya el hecho de que el propio fomento de la demanda puede suponer o incentivar la generación de un sector oferente.

Desde esta posición de principio es como se han delineado las acciones y medidas a llevar a cabo en cada área de actuación.

Actuaciones globales

Las actuaciones globales comprenden aquellas iniciativas tendentes a incidir de un modo global en el desarrollo de la robótica. Esencialmente se incluyen aquí las actuaciones en materia de investigación y de formación.

En el primer ámbito, la principal labor es la coordinación de la investigación que se efectúa en los centros de investigación de todo el país. La investigación básica, sin duda, debe ser potenciada pues al propio tiempo que permite un seguimiento del avance de las tecnologías implicadas en el sector, constituye fundamento esencial para el positivo desarrollo de las actuaciones en materia de formación y de investigación aplicada.

En cualquier caso, la investigación deberá contar con objetivos a corto plazo para conseguir desarrollar robots industriales como los actualmente disponibles en el mercado, y objetivos a largo plazo con vistas a la generación de las tecnologías que habrán de incorporar los robots del futuro.

En lo que respecta a la formación, las acciones a llevar a cabo se refieren principalmente al reciclaje de la mano de obra que permanece en las empresas pero que debe adecuarse a la nueva situación originada por la introducción de los robots. Naturalmente, se generan también problemas de formación a otros niveles. Por un lado, es preciso una formación e información a niveles empresariales, puesto que ello afecta indudablemente al ritmo de introducción de la nueva tecnología. Por otro, es necesario atender al reciclaje de la mano de obra desplazada de los sectores automatizados. El primero de estos problemas debe ser contemplado específicamente en un plan de desarrollo de la robótica y, como se verá, hay medidas concretas a él referidas en el campo de la demanda. El segundo de estos problemas es de carácter más global pues afecta al desempleo tecnológico en general. Requiere por ello soluciones a un nivel más globalizador.

Otras dos acciones, en este nivel, son la normalización de nomenclatura, especificaciones y equipos de conexión de los robots y la elaboración de una reglamentación de seguridad de instalaciones automáticas,

prestando atención especialmente a los sistemas de seguridad de funcionamiento.

Fomento de la oferta

Dentro de las limitaciones a las acciones en el campo de la oferta que antes se han expuesto, se indican a continuación lo que podría ser una línea de actuación válida y realista en esta vertiente.

Un elemento previo y primordial para el desarrollo de una industria de robótica en España es la realización de un estudio del mercado español que permita determinar los tipos de robots más adecuados a la industria española y cuáles de estos tipos son suministrados de un modo menos satisfactorio por los fabricantes extranjeros, y pueden ser desarrollados por la industria nacional.

Este estudio ha de ser la base de la acción a llevar a cabo en el área de investigación aplicada. En este nivel, se debe fomentar el diseño de robots del tipo determinado en el estudio de mercado, así como el desarrollo de las tecnologías aplicadas más necesarias para este tipo de robots.

Por último, para que todo este proceso pueda tener su efecto en la generación de iniciativas empresariales en el sector, es preciso instrumentar medidas que favorezcan el desarrollo y aplicación de las innovaciones tecnológicas, por un lado, a través del apoyo al desarrollo de prototipos (apoyo técnico y financiero) y, por otro, a través del estímulo a la formación de sociedades de participación capital-riesgo, para el desarrollo industrial de la robótica y, en general, de la automatización.

Fomento de la demanda

Como ya se ha avanzado, las actuaciones en la vertiente de la demanda, constituyen el grueso de las medidas para el desarrollo de la robótica industrial. La primera de estas medidas es el desarrollo de estudios de aplicaciones tecnológicas sectoriales

de la robótica. Este tipo de estudios constituyen una tarea fundamental para potenciar el empleo de robots en los diversos sectores industriales así como para difundir y dar a conocer la nueva tecnología y sus aplicaciones.

Además de esta actuación, a nivel de investigación aplicada hay un conjunto de medidas de fomento de la demanda que afectan a los dos problemas principales que supone la incorporación de un robot a las unidades productivas: el problema financiero y el problema tecnológico.

A este respecto, las principales medidas son: el apoyo técnico y financiero para la realización de los estudios particulares de implantación de robots en empresas; el estímulo a la creación de entidades financieras —del tipo "leasing"—, especializadas en el sector o que puedan ofrecer al sector condiciones ventajosas; la concesión de amplias facilidades crediticias a la adquisición de robots (bonificación de intereses, líneas especiales, etc.) y, por último, medidas de tipo fiscal que apoyen la inversión en los nuevos equipos productivos (amortización acelerada y otros incentivos fiscales).

El apoyo técnico hay que encuadrarlo en una doble perspectiva. Por una parte, la utilización de robots plantea problemas de financiación y asesoramiento, esto es, de adquisición del robot adecuado, y de diseño y adaptación de la instalación en la que el robot va a trabajar. No hay que olvidar que el coste total del robot instalado y funcionando es entre el doble y el triple del coste del robot por sí solo, y es en esta instalación donde las casas vendedoras obtienen mayor beneficio.

Por otra parte, donde mayor beneficio puede obtener la economía nacional mediante la automatización, es en las pequeñas y medianas industrias, que son las propiamente nacionales y las que cuentan con más necesidades y dificultades para automatizar su producción.

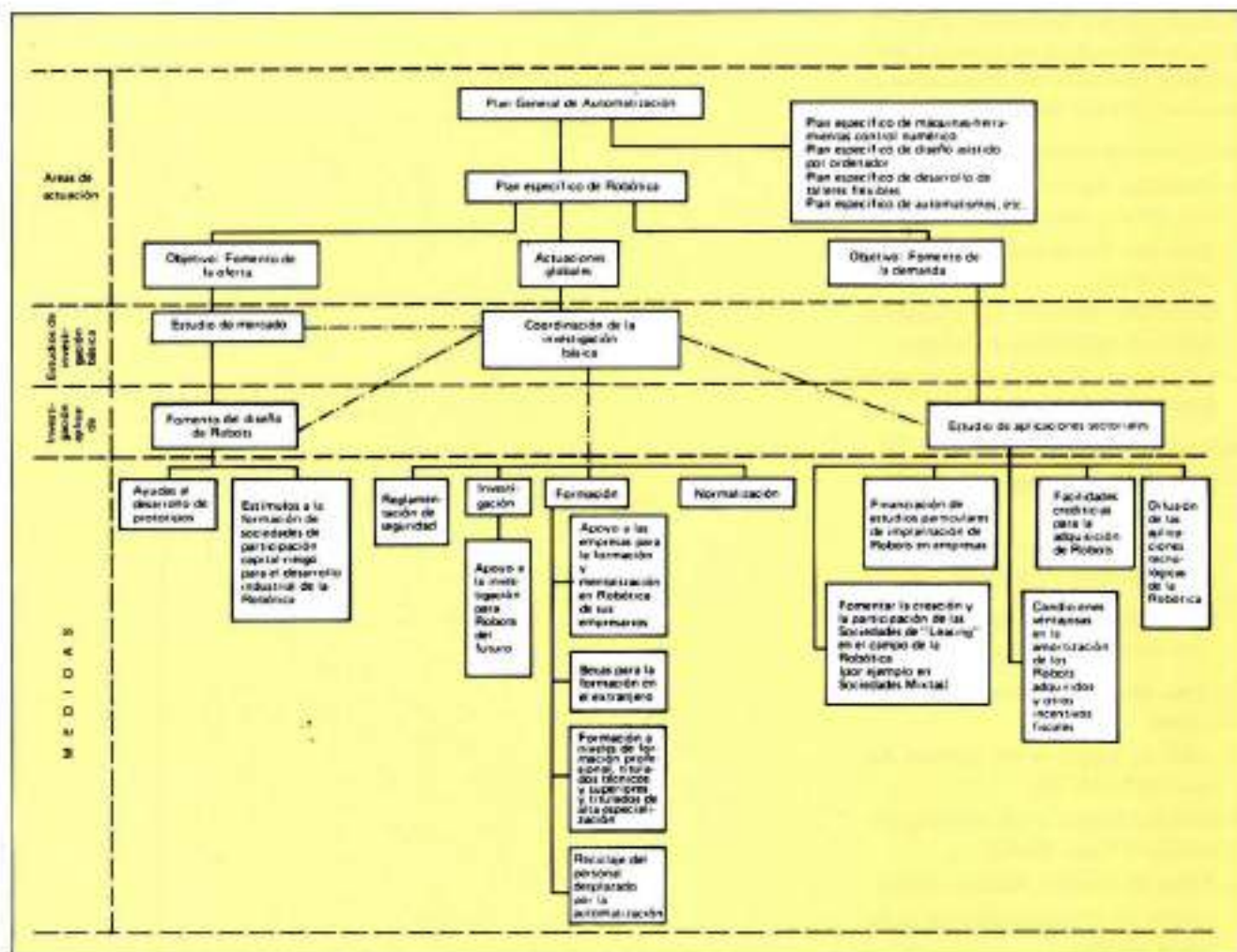


Figura 10. Estrategia para el desarrollo de la robótica en España.

Por todo esto, el apoyo técnico debe ir dirigido hacia este tipo de empresas mediante el asesoramiento de éstas en la adquisición del robot, en la adaptación de la planta e instalación de éste y en la preparación de su personal para el uso y funcionamiento del sistema completo.

De aquí que se proponga tanto la creación de un centro dedicado a la divulgación de la robótica y la prueba de robots, la enseñanza de su manejo y el estudio de aplicaciones, como la creación de una Asociación Española de Robótica Industrial, agrupando a fabricantes y usuarios y con la colaboración de los centros de enseñanza e investigación relacionados con el tema, que permita la representación del sector, su organiza-

ción y el intercambio de experiencias. Debe procurarse que no esté dominada por los intereses de los fabricantes, especialmente de los extranjeros.

INSTITUCIONES IMPLICADAS

La instrumentación de una estrategia de desarrollo de la robótica en España como la que se ha diseñado en el apartado anterior, exige la participación de los diferentes grupos sociales que confluyen en los procesos productivos (organizaciones empresariales y sindicales), de la Administración del Estado y de las Administraciones de las Comunidades Autónomas, así como de los centros uni-

versitarios y de investigación de todo el país.

Esta estrategia debe considerar la elaboración de un Plan específico de Robótica que considere las actuaciones apuntadas y cree los mecanismos adecuados para que la coordinación de acciones y la labor de fomento por parte de la Administración sea efectiva.

En la actualidad y tratando de cubrir una parcela del Plan citado, existe una propuesta de anteproyecto de Programa Especial de I + D en Robótica Industrial y Avanzada, promovido por el Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial (CDTI), del que se facilita una breve referencia en el Anexo correspondiente.

A continuación se incluye una relación no exhaustiva de aquellas instituciones que estarían implicadas en el desarrollo del mismo.

Ministerio de Industria y Energía

- Dirección General de Innovación Industrial y Tecnología.
- Dirección General de Electrónica e Informática.
- Dirección General de Industrias Siderometalúrgicas y Navales.
- Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial.

Ministerio de Educación y Ciencia.

- Dirección General de Política Científica.
- Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica (CAICYT).
- Departamentos de diferentes Universidades españolas.

Centros de investigación públicos y privados.

- Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA).
- Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).
- Junta de Energía Nuclear (JEN).
- Centro de Investigación de la Armada (CIDA).
- Centro de Estudios y Asesoramiento Metalúrgico (CEAM).
- Asociación para el Desarrollo de la Tecnología y Aplicaciones de Microprocesadores (ADAMICRO).
- Ikerlan, Ikaolan (Grupo Artech), Amper, Aurki, Ekain, Fagor, Experiencias Industriales, S. A. (EISA), Equipos Electrónicos, S. A. (EE-SA), Serra Soldadura, etc.

PROGRAMA ESPECIAL DE ROBOTICA

A la vista del interés general de la robótica y su enorme incidencia en los países industrializados, después de una serie de reuniones entre organismos de la Administración, representantes de las empresas, de la Universidad y de diferentes Centros de Investigación, se ha elaborado una propuesta de Programa Especial de Investigación y Desarrollo en robótica industrial y avanzada.

Como objetivos generales, este Programa trata de crear una tecnología de base que pueda ser aprovechada por la industria nacional, y que sirva tanto para mejorar su productividad y aumentar su competitividad, como para fortalecer nuestra independencia tecnológica en tecnologías de punta, al tiempo que se crean nuevos productos nacionales de alto valor añadido.

Estos objetivos generales dan lugar a unos objetivos específicos a corto, medio y largo plazo.

OBJETIVOS A CORTO PLAZO

- Aunar un conjunto de esfuerzos investigadores y coordinarlos para abordar un objetivo de envergadura nacional, de extraordinaria importancia y urgencia y de alto contenido en tecnología de punta.
- Potenciar la investigación española y reconducirla hacia temas de utilidad para la industria nacional.
- Fomentar la cooperación entre los equipos de investigación y la industria del país, impulsando a su vez la realización de investigación y desarrollo de tecnología por parte de esta última.
- Formar un número apreciable de especialistas en el campo de la robótica industrial y avanzada, expertos cuya carencia lamentan todos los países que están en vanguardia en el tema y sin los cuales es imposible el avance industrial.

OBJETIVOS A MEDIO PLAZO

- Crear una tecnología propia en robótica industrial y avanzada que

pueda ser utilizada por la industria nacional.

- Crear un camino de transferencia de resultados de investigación tecnológica básica hacia la industria de forma que ésta pueda beneficiarse.

OBJETIVOS A LARGO PLAZO

- Situar a España entre los países industriales avanzados por medio del desarrollo de una industria con tecnología de punta y altos niveles de productividad.

En esta línea se espera conseguir, en el caso de que este Programa se ponga en marcha, el desarrollo de una serie de dispositivos y técnicas avanzadas para la obtención de robots inteligentes de altas prestaciones, donde se incluiría la fabricación de una familia de robots (pequeño, mediano y mediano-grande) con tecnología española.

Para esto, se considera necesario acometer un conjunto de proyectos de investigación y desarrollo que es preciso coordinar durante su realización y proceder a su integración a la etapa final del Programa Especial.

El conjunto de los proyectos estimados suponen una inversión del orden de los 2.000 millones de pesetas, para un periodo de 4 años.

Estos proyectos se pueden agrupar en 9 subprogramas:

I. Tecnología

- Módulos mecánicos para la construcción de robots.
- Sistemas de orientación.
- Mecanismos de transmisión.
- ...

II. Control

- Sistemas de control jerarquizado en Robótica Industrial.
- Identificación y control adaptativo.
- Robots redundantes.
- Robots cooperativos.
- ...

III. Programación

- Métodos de programación.
- Lenguajes de alto nivel.
- ...

IV. Sensores

- Sensores de proximidad.
- Sensores táctiles.
- Sensores de deslizamiento.
- ...

V. Visión

- Dispositivos de acomodación.
- Identificación y localización de piezas por visión.
- Tratamiento de imágenes en color.
- ...

VI. Análisis y desarrollo de aplicaciones

- Diseño con computador.
- Integración de robots en células flexibles de fabricación.
- ...

VII. Accesorios

- Garras mecánicas de sujeción por presión magnética, de vacío y otros tipos.
- Herramientas y dispositivos de acoplo.
- Dispositivos de seguridad.
- ...

VIII. Investigación avanzada

- Seguridad de funcionamiento.
- Robots móviles.
- ...

IX. Formación de Especialistas

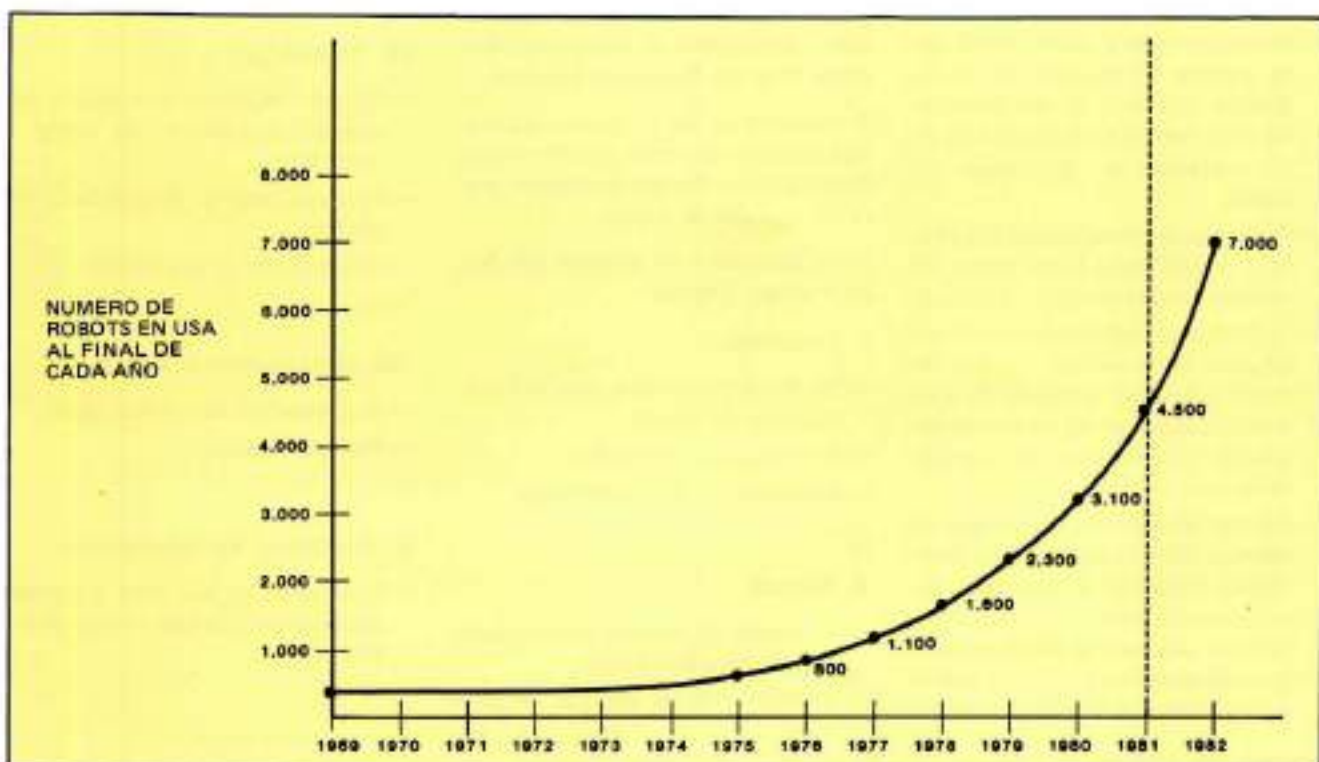
- Formación de expertos e investigadores en Centros Nacionales y Extranjeros.
- ...

OTROS DATOS DE INTERES

APLICACIONES	PORCENTAJE DE ROBOTS UTILIZADOS EN LA APLICACION	PORCENTAJE DE LA APLICACION LLEVADA A CABO POR ROBOTS
SOLDADURA	40 %	8 %
MANEJO DE MATERIALES	25	2
CARGA Y DESCARGA	20	3
PINTURA Y RECUBRIMIENTOS	5	9
MONTAJE ENSAMBLAJE	3	2
MECANIZADO	2	1
OTRAS	5	< 1
	<u>100 %</u>	<u>2 %</u>

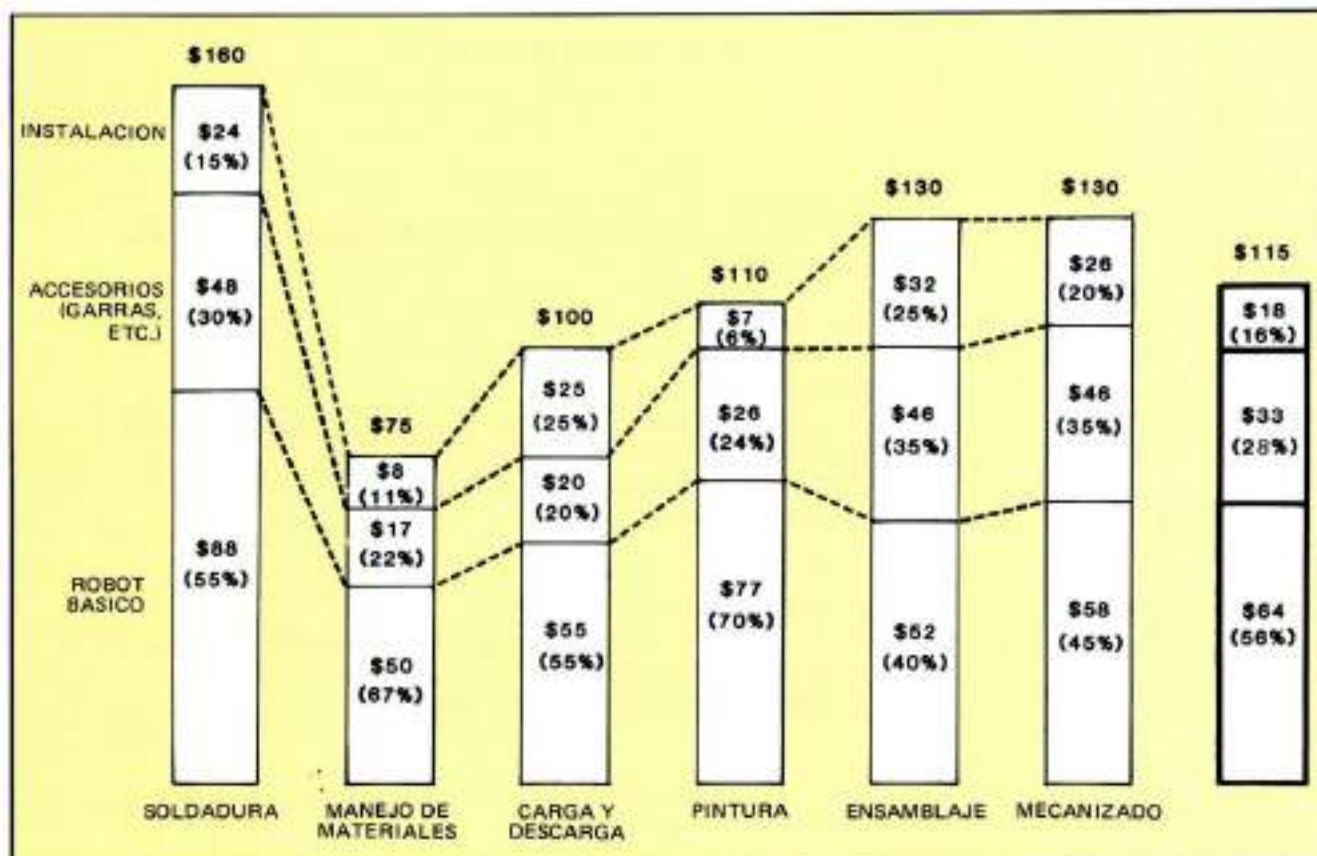
Las aplicaciones de los robots en las industrias americanas utilizadoras (300-400 plantas industriales).

Fuente: Sanderson, Ronald J.; Campbell, John A.; Meyer, John D. "Industrial Robots: A summary and forecast for manufacturing managers" Tech Tran Corporation, Illinois, 1982.



Número de robots utilizados en plantas industriales americanas.

Fuente: Sanderson, Ronald J.; Campbell, John A.; Meyer, John D. "Industrial Robots: A summary and forecast for manufacturing managers" Tech Tran Corporation, Illinois, 1982.



Estructura de costes de un sistema de robots según aplicaciones (miles de dólares).

Fuente: Sanderson, Ronald J.; Campbell, John A.; Meyer, John D. "Industrial Robots: A summary and forecast for manufacturing managers" Tech Tran Corporation, Illinois, 1982.

	REDUCCION EN LOS COSTOS DIRECTOS DE MANO DE OBRA	INCREMENTO EN LA PRODUCTIVIDAD	TRABAJO DURO Y PELIGROSO	MEJORA DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO
SOLDADURA	1	2	4	3
MANEJO DE MATERIALES	1	3	2	4
CARGA Y DESCARGA	2	1	3	4
PINTURA Y RECUBRIMIENTOS	3	4	1	2
ENSAMBLAJE	2	1	4	3
MECANIZADO	1	2	4	3
INSPECCION	3	2	4	1
TODAS LAS OPERACIONES	1	2	3	4

Razones que apoyan la utilización de robots, según aplicaciones (ordenadas por orden de importancia: 1 = más importante; 4 = menos importante).

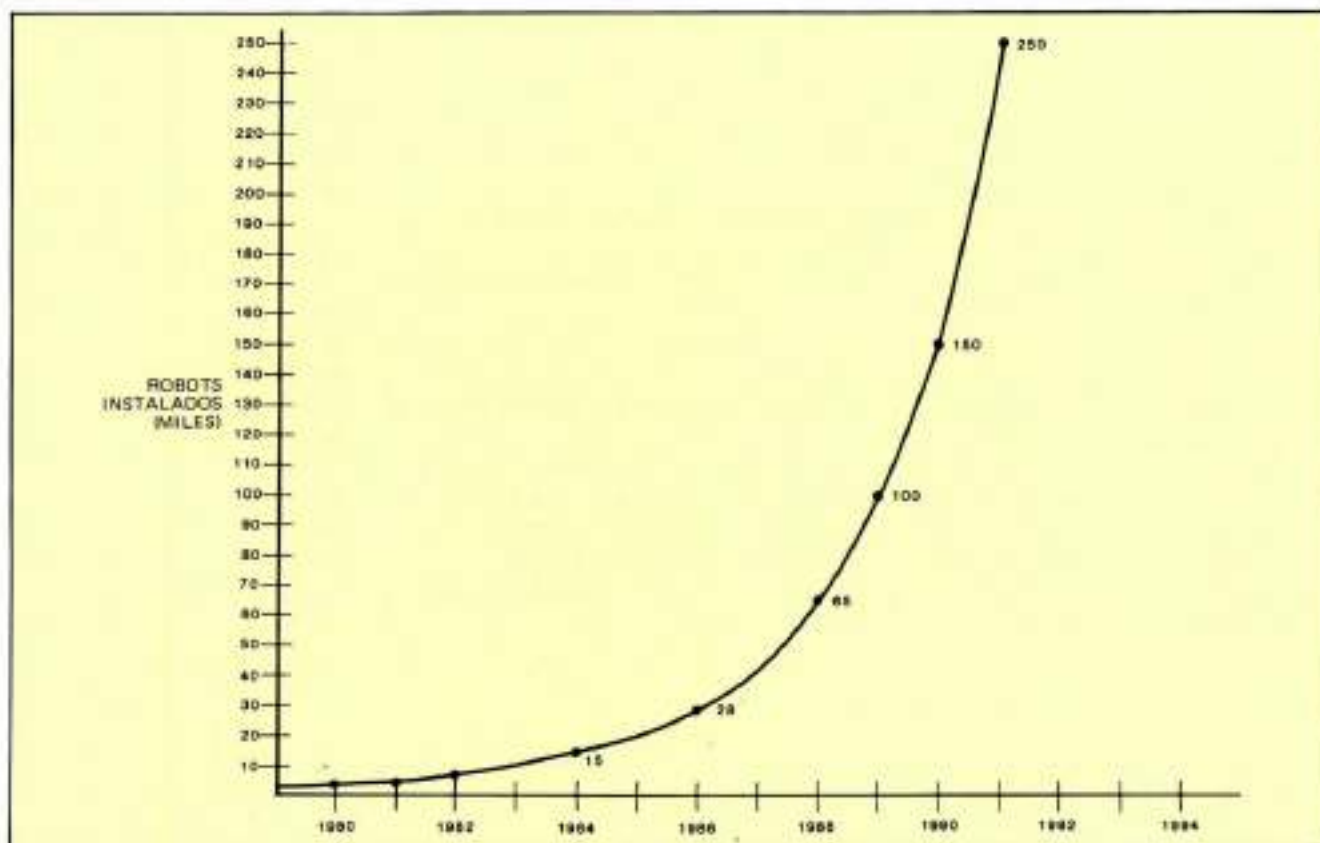
Fuente: Sanderson, Ronald J.; Campbell, John A.; Meyer, John D. "Industrial Robots: A summary and forecast for manufacturing managers" Tech Tran Corporation, Illinois, 1982.

PROGRAMAS DE INVESTIGACION

Sensores	<ul style="list-style-type: none">• Análisis de imágenes por ordenador• Visión 3-D, límites de volúmenes, visión de texturas superficiales• Sentido de tacto• Sentido de esfuerzos• Sistemas de cámaras• Reconocimiento de patrones• Desarrollo de interfaces• Fuentes de luz múltiples y movimiento para el análisis de escenas• Sensores de radar, sonar e infrarrojos• Interfase de digitalización de señal TV• Prevención de choques
Diseño de garras	<ul style="list-style-type: none">• Garras flexibles de dedos múltiples• Garras con planos de prensión paralelos y sensores de esfuerzos• Garras flexibles de tres dedos• Garras múltiples de dos dedos con sensores
Control de robots	<ul style="list-style-type: none">• Actuación de control de esfuerzos en coordenadas cartesianas• Manipuladores cooperativos• Control con autoaprendizaje• Integración con máquinas con control numérico por ordenador• Sistemas de control de seguridad• Control por ordenador con realimentación a nivel inferior• Dinámica, cinética, inercia
Programación	<ul style="list-style-type: none">• Desarrollo de lenguajes de alto nivel• Modelado geométrico• Interacción en tiempo real entre sensores y equipos de control• Programación fuera de la planta• Lenguajes de programación para personal no técnico• <i>Software</i> para sistemas de visión
Diseño de brazos de robot	<ul style="list-style-type: none">• Brazos de prestaciones elevadas• Comparación de motores de continua, y paso a paso• Aumento en la precisión
Otros temas	<ul style="list-style-type: none">• Acomodación• Inteligencia artificial (habla, visión)• Movilidad de robots• Impacto de la introducción de robots sobre el empleo y los trabajadores• Interfaces hombre-máquina

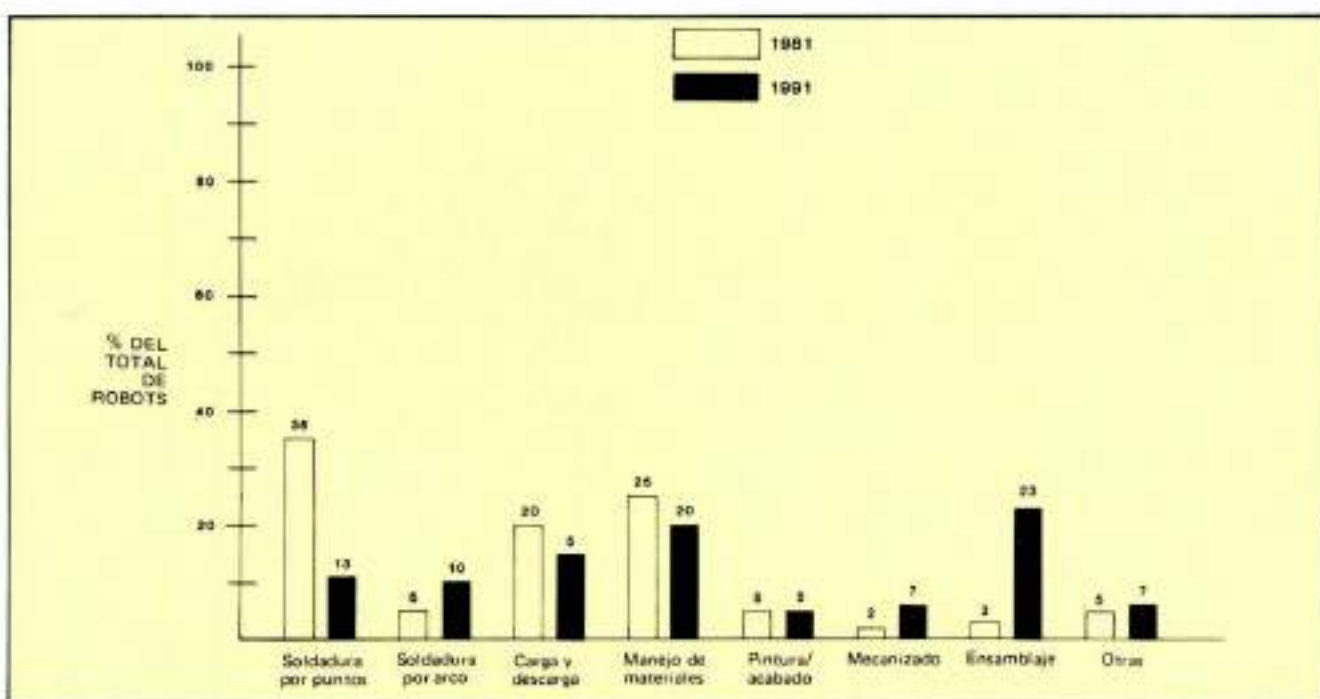
Ejemplos de líneas de investigación en curso.

Fuente: Sanderson, Ronald J.; Campbell, John A.; Meyer, John D. "Industrial Robots: A summary and forecast for manufacturing managers" Tech Tran Corporation, Illinois, 1982.



Total acumulado de robots en USA.

Fuente: Sanderson, Ronald J.; Campbell, John A.; Meyer, John D. "Industrial Robots: A summary and forecast for manufacturing managers" Tech Tran Corporation, Illinois, 1982.



Aplicaciones de los robots en USA

Fuente: Sanderson, Ronald J.; Campbell, John A.; Meyer, John D. "Industrial Robots: A summary and forecast for manufacturing managers" Tech Tran Corporation, Illinois, 1982.

INDICE DE TABLAS Y FIGURAS APARECIDAS EN EL DOCUMENTO BASE

TABLAS	Página
1. Paralelismo robot-ser humano	16
2. Aplicaciones de los robots industriales	19
3. Principales fabricantes de robots en Japón	24
4. Principales fabricantes de robots en USA	25
5. Principales fabricantes de robots en Europa	26
6. Estructura de costes de la producción de robots industriales según aplicaciones tecnológicas. 1979	32
7. Cambios previstos en la estructura de costes en la producción de robots industriales. 1980-1985	32
8. Parque mundial de robots. 1980	34
9. Parque de robots industriales en Europa Occidental por tipos de robots. 1979	36
10. Tasas de crecimiento de la demanda de robots industriales por tipos de robots en Europa Occidental. 1980-90	36
11. Distribución del parque nacional de robots por aplicaciones tecnológicas. 1979	37
12. Principales sectores utilizadores de robots industriales en Japón. 1976-1979	38
13. Principales sectores utilizadores de robots industriales en Europa. 1979	38
14. Principales sectores utilizadores de robots industriales en EE.UU. 1979	38
15. Aplicaciones tecnológicas y características de los robots industriales por sectores utilizadores	39

FIGURAS	Página
1. Parque mundial de robots industriales	22
2. Estimación de la distribución por países de la producción de robots industriales en 1980	23
3. Cuotas de mercado de los constructores de robots industriales en Estados Unidos, 1979-80	25
4. Cuotas de mercado de los constructores de robots industriales en Europa Occidental, 1979-80	27
5. Tasas de crecimiento de la demanda futura de robots industriales en Europa Occidental	35
6. Distribución por países de la demanda europea de robots industriales	35
7. Distribución de la demanda de robots industriales en Japón según niveles de sofisticación, 1979-1980	36
8. Tasas de crecimiento (1979-1985) del parque mundial de robots por aplicaciones tecnológicas	37
9. Demanda futura de robots industriales por sectores utilizadores en Europa	40
10. Estrategia para el desarrollo de la robótica en España.	

- ALIQUE PAGE, Manuel: *Automatización y robótica industrial*. Ponencia presentada en el Seminario sobre "Prospectiva de la Información", Buitrago, 3-7 febrero de 1981.
- "An invasion of Swedish robots", *Business Week*, 29-6-81.
- "Aplicación de robots industriales a la soldadura de carrocerías". *Nm. 2000*, Extra, 1980.
- Applications of industrial robots in Japan 1981*, IFS Publications Ltd., 1981.
- "Automation is Vital to Injector Moulding". *The Engineer*, 11 mayo, 1980.
- BYLINSKY, Gene: "Those Smart Young Robots on the Production Line" en *Fortune*, 17 diciembre de 1979.
- CARAVITA, G., ZILIOTTI, V., y otros: "Robótica" en *Mundo Económico*, 27-9-80.
- CATIER, Eric: "A quoi servent les manipulateurs et robots industriels?" en *Electronique Industrielle*, n.º 20, 15-9-81.
- "Catim. Robots et automatismes". *Les Industries Mécaniques*, n.º 1.301, 17-4-80.
- DEFAUX, Michel: "Comment choisir un robot industriel" en *L'Usine Nouvelle*, febrero, 1981.
- DEFAUX, Michel: "Robotique: jouer la carte des petits et moyennes robots", en *L'Usine Nouvelle*, n.º 27, 2-8-81.
- DEGRANGE, E.: "Manipulateurs et robots industriels" en *Industries et techniques*, 1.º abril, 1981.
- DODD, G. G. and ROSSOL, L.: (ed.). *Proceedings of the International Symposium. Computer Vision and Sensor-Based Robots*, Warren (USA), Septiembre 1978. ISF (Publications) Ltd.
- ENGELBERGER, Joseph F.: *Robotics in practice. Management and applications of industrial robots*. IFS Publications Ltd., 1980.
- ENGELBERGER, J. F.: "Robotics in 1984". *The Industrial Robot*, septiembre, 1979.
- FROST & SULLIVAN, INC.: *Industrial Robots in Europe*, New York, abril, 1980.
- GEZE, F. & GINSBOURGER, F.: "Le progrès de l'automatisation n'ont pas produit le miracle" en *Le Monde*, 18-11-80.
- GOMERSALL, Alan. (ed.). *Robotics Bibliography 1970-81*, IFS Publications Ltd., 1981.
- "Government Scheme Could Give Robots a Hand". *New Scientist*, n.º 320, 31 junio, 1980.
- HASEGAWA, Y.: "New Developments in the Field of Industrial Robots" en *International Journal of Production Research*, vol. 17, n.º 5, 1979.
- HERBLAY, Michel: "Les robots arrivent!" en *L'Expansion*, 1.º 21, mayo, 1981.
- "How Japan's robot industry is shaping up to the future". *The Industrial Robot*, diciembre, 1980.
- HULTMAN, Claes: Comunicación presentada al "Simposium sobre Paro y Tecnología", organizado por el Colegio de Economistas de Catalunya, enero, 1981.
- IKERLAN: *Robots industriales*, septiembre, 1979.
- IKERLAN: *La robótica en Ikerlan*, julio, 1981.
- Industrial Robots. Key to Higher Productivity, Lower Costs - a Report*. IFS Publications Ltd.
- INGERSOLL ENGINEERS: *An Industrial Appreciation. Industrial Robots*, Vol. 1, National Engineering Laboratory, 1980.
- "Japanese Industry". *Financial Times*, 6 de julio de 1981.
- "Japanese Industry". *The Economist*, 18 de julio de 1981.
- "Lack of flexibility - The Biggest Barrier to Robot Growth". *Production Engineer*, vol. 59, n.º 5, 1980.
- "La Robotique en Italia". *Le Progrès Scientifique*, n.º 211, marzo-abril, 1981.
- "Le printemps des robots". *CNPF Patronat*, n.º 414, junio 1980.
- "L'ère des robots ou les usines flexibles du futur". *Fabrimetal*, enero, 1982.
- LE GALL, Georges: "Robotique. La France garde ses chances", en *L'Usine Nouvelle*, n.º 11, 12-3-81.
- LE QUEMENT, Joel: "Les Robots. Enjeux économiques et sociaux". *La Documentation Française*. Paris, 1981.
- "Le Japon et l'automatisation des fabrications". *Les industries mécaniques*, n.º 1.280 de 22-11-79.
- "Many from various industrial fields advance into robot area". *Japan Economic Journal*, 28-4-81.
- "Paso a la robótica". *IMHE*, n.º 61, junio, 1981.
- PINTO, Michel: "Robotique: la filière suédoise" en *L'Usine Nouvelle*, n.º 20, 14-5-81.
- Proceedings of the 4th BRA Annual Conference*. Brighton, Reino Unido, mayo, 1981.
- Proceedings of the 1st International Conference on Robot Vision & Sensory Controls*. Stratford-upon-Avon, 1-3 abril 1981. ISF Publications Ltd.
- Proceedings of the 10th International Symposium on Industrial Robots Technology*, 5-7 marzo 1980. Milán, IFS Publications Ltd.
- Regulación y mando automático (Extra Robótica)*. Año XV, n.º 114, diciembre, 1981.
- "Robotics in the United Kingdom". *The Industrial Robot*, marzo, 1981.
- "Robotique". *01 Hebdo*, n.º 630, 30-3-1981.
- "Robotique. Le leadership japonais". *Oriental Economist*, junio, 1981.
- "Robotique, machines-outils et ateliers flexibles en Japon". *Le Progrès Scientifique*, n.º 211, marzo-abril, 1981.
- "Robots are coming to industry's service". *The Economist*, 29-8-1981.
- "Robots en la industria del automóvil". *Manutención y Almacenaje*, junio, 1981.
- "Russian robots to catch up". *Business Week*, 17-8-1981.
- SALZMAN, Roy M.: *Growth in U.S. Industrial Robotics*, Arthur D. Little Service, Cambridge, Mass, noviembre, 1981.
- Specifications of Industrial Robots in Japan 1981*, IFS Publications Ltd., 1981.
- "The next step in factory automation". *The Economist*, 19 diciembre, 1981.
- "The speed up in automation". *Business Week*, 3-8-1981.
- SANDERSON, Ronald J., CAMPBELL, John A., MEYER, John D.: *Industrial Robots: A summary and forecast for manufacturing managers*. Tech Tran Corporation, Illinois, 1982.
- VOLKHOZ, V.: "Trends as regards the applications of Industrial Robots in the eighties". *Second Special Session on Information Technologies, Productivity and Employment*, Working Party on Information, Computer and Communication Policy, OCDE, octubre, 1981.
- WARNECKE, H. J. & SCHRAFT, R. D.: *Industrial Robots. Application experience*. The Institute for Production and Automation (Stuttgart). IFS Publications Ltd., 1981.
- YONEMOTO, Konji: "Robotisation in Japanese Industry". *Second Special Session on Information Technologies, Productivity and Employment*, Working Party on Information, Computer and Communication Policy, OCDE, Paris, octubre, 1981.
- YONEMOTO, Konji: "The Growing Market Size of Industrial Robot Industry", en *DJIT*, n.º 152, 1980.

AGRADECIMIENTO

El presente documento ha sido elaborado por el Centro de Estudios y Asesoramiento Metalúrgico (CEAM).

Han Colaborado como expertos, con sus críticas y sugerencias:

MANUEL ALIQUÉ PAGE

Director del Instituto de Automática Industrial (C.S.I.C.)

MANUEL ARMADA RODRIGUEZ

Instituto de Automática Industrial (C.S.I.C.)

LUIS BASAÑEZ VILLALUENGA

Vicedirector del Instituto de Cibernética.

T. E. BROCK

Executive Secretary. British Robot Association.

CLAES HULTMAN

Gerente de ASEA-CES, S. A.

RAMON LOPEZ DE MANTARAS

Profesor del Departamento de Matemáticas de la Facultad de Informática. Universidad Politécnica de Barcelona.

JOSE NO SANCHEZ DE LEON

Jefe del Proyecto de Investigación en Robótica del Instituto de Automática Industrial (C.S.I.C.)

CHRISTER PALM

Director División Industrial de ASEA-CES, S. A.

MANUEL QUEVEDO CASIN

Director de Ikerlan (Centro de Investigaciones Tecnológicas).

JOSU ZABALA

Departamento de Mecánica. Ikerlan (Centro de Investigaciones Tecnológicas).

A todos ellos, el agradecimiento del CDTI.

CDTI

Centro para el
Desarrollo Tecnológico
Industrial

Ministerio
de Industria y Energía

Edificio Cuzco IV
P^o Castellana, 141 - 3^o
28046 - Madrid
España

Apto. de Correos: 29136
Telf. 450 40 64*
Télex: 23121 CDTI E