

Las tecnologías de automatización flexible en España

ANGEL MARTÍNEZ SÁNCHEZ*

MANUELA PÉREZ PÉREZ*

ISABEL ALONSO NUEZ*

Este trabajo presenta las estadísticas más importantes de la evolución del mercado de la robótica y de los sistemas flexibles en España y otros países durante la década de los años noventa. Dos análisis de regresión han mostrado que el índice de robotización de los distintos países está directamente relacionado con el porcentaje de exportaciones que se realizan en forma de manufacturas y que el grado de autonomía en el consumo de robots nacionales está relacionado con la existencia de un mercado importante de robots en el país a través de su índice de robotización.

Palabras clave: robótica, automatización, sistemas flexibles de fabricación, España.

Clasificación JEL: L86.

1. Introducción

Las tecnologías de automatización flexible como, por ejemplo, los robots o los sistemas de fabricación flexible son uno de los elementos en los que se apoya la llamada «producción ligera». Este tipo de producción se caracteriza por el aumento en la flexibilidad organizativa que permite fabricar una mayor variedad de productos en series más cortas. El cambio hacia la producción ligera requiere una serie de cambios organizativos —polivalencia de los trabajadores, nuevas relaciones con los proveedores, etcétera—, pero también precisa de la adopción de tecnologías informáticas que integren los flujos de información, y de tecnologías de fabricación flexible que aumenten el grado de variabilidad de la producción.

Este trabajo estudia la evolución de dos tecnologías de automatización flexible en España y su comparación con otros países durante la década de los años noventa: los robots y los sistemas de

fabricación flexible. Un robot industrial es una máquina manipuladora controlada automáticamente, reprogramable y de propósito general, con tres o más ejes programables. Por su parte, un sistema de fabricación flexible es un sistema automatizado para la fabricación de familias de piezas en lotes de tamaño intermedio, y que está formado por un conjunto de máquinas programables integradas dentro de un sistema de control y manutención por ordenador (1).

2. El mercado español de robots en el contexto internacional

2.1. Evolución de la demanda internacional de robots

El primer robot industrial se instaló en el año 1961 en una planta de *General Motors* en Esta-

(1) Un sistema flexible tiene tres partes esenciales: varias máquinas con control numérico (de 2 a 25); un sistema de manutención y transporte para mover piezas y herramientas en el que suelen incluirse también robots; y el sistema informático de programación y control de las piezas, herramientas y máquinas.

* Departamento de Economía y Dirección de Empresas. Universidad de Zaragoza.



COLABORACIONES

CUADRO 1 NUMERO DE INSTALACIONES ANUALES Y STOCK DE ROBOTS EN OPERACION EN EL MUNDO EN LOS AÑOS NOVENTA								
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Número de robots instalados	76.258	56.891	54.376	55.524	71.516	79.615	85.081	71.173
Número total de robots en operación	512.000	543.900	565.700	586.101	615.089	657.175	699.371	720.392
Porcentaje de instalación de reposición	—	43,9	59,9	63,2	59,4	47,1	50,4	70,4

Fuente: International Federation of Robotics y elaboración propia.

dos Unidos (2). Después de Estados Unidos, los primeros países que robotizaron su industria fueron Japón y Suecia, mientras que el resto de países de la OCDE fue introduciendo los primeros robots durante la década de los años setenta (3). No obstante, el crecimiento del mercado de la robótica no se produjo hasta la década de los años ochenta cuando las tasas anuales de crecimiento acumulativas en el número de robots adoptados superaron el 20 por 100 (Martínez, 1992). El fuerte crecimiento en la demanda se debió fundamentalmente a la mejora de la relación nivel tecnológico-precio de los robots dentro de los procesos industriales y a una serie de factores añadidos:

- Las disminuciones en el precio de los microprocesadores utilizados en los controladores, y los aumentos en los costes del factor trabajo que hicieron más eficiente el uso del robot.
- El aumento en la fiabilidad de los robots que facilitó su utilización en las pymes.
- Los avances tecnológicos, incluyendo softwares más específicos y potentes para los procesos controlados por ordenador.
- El desarrollo de nuevos tipos de robots para aplicaciones específicas, no solamente en la ingeniería tradicional sino en otros sectores de la fabricación, así como en los no industriales.
- El proceso de racionalización en la industria del automóvil durante los años ochenta.
- El aumento de la competencia internacional.

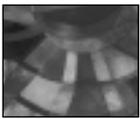
(2) Este primer robot estaba basado en un prototipo desarrollado en 1958 por la empresa norteamericana *Consolidated Control Corporation*, la cuál fue absorbida por la compañía *Unimation* del grupo *General Motors*, desaparecida ya desde principios de los años ochenta.

(3) En 1970, Estados Unidos tenía un parque de 200 robots instalados, Japón de 161 y Suecia de 55 robots. El despegue de los procesos de robotización en los distintos países de la OCDE se produce de forma casi secuencial: Alemania en 1970, Reino Unido e Italia en 1972, Francia en 1973, España en 1974, Holanda y Bélgica en 1977, y así sucesivamente hasta 1981 en que con la incorporación de Nueva Zelanda se consolida la robotización en el área de la OCDE.

En la década de los años noventa, el crecimiento ha sido menor que en las dos décadas anteriores. El Cuadro 1 muestra la evolución del número de robots instalados y del número total de robots en funcionamiento existentes en todo el mundo en los años noventa. Según los datos de dicho Cuadro, en 1998 existían un total de 720.392 robots en funcionamiento en todo el mundo, con un crecimiento acumulativo del 5 por 100 anual durante la década, inferior al de las dos décadas anteriores aunque todavía por encima del de otras tecnologías de fabricación como, por ejemplo, las máquinas con control numérico (4). Se observa en el Cuadro 1 que el número de instalaciones anuales —con un promedio de 68.804 robots— es superior al del incremento anual que experimenta el *stock* total de robots en funcionamiento, debido a las amortizaciones y sustituciones de robots. La última fila del Cuadro 1 indica que el porcentaje de sustitución sobre las instalaciones de cada año oscila en torno a un promedio del 50 por 100, es decir que aproximadamente un número equivalente a la mitad de los robots nuevos que se instala cada año es amortizado o sustituido (5). Estos dos datos —menor crecimiento anual del mercado y elevada tasa de renovación— constituyen signos potenciales de que la demanda de robots puede estar entrando en una etapa de transición a la madurez.

(4) En Estados Unidos, por ejemplo, la inversión en robots creció a una tasa anual del 12,1 por 100 en el período 1990-1996, mientras que la inversión en Máquinas Herramientas con Control Numérico (MHCN) lo hizo al 6,4 por 100. Considerando el período 1982-1996 la inversión en MHCN creció un promedio anual del 3,7 por 100, mientras que la inversión en robots creció el 18,1 por 100. (*American Machinist*, 1997). Durante las etapas de recesión de estos períodos, la inversión en robots disminuyó menos que la de MHCN, indicando con ello que las empresas han priorizado la inversión en robots sobre la de otros equipos en épocas de crisis.

(5) La mayor sustitución de robots se produjo en Japón en 1997, año en el que se instalaron 42.696 nuevos robots pero el aumento del parque de robots en funcionamiento sólo aumentó en 13.332 unidades, lo que significa que ese año fueron retirados de operación 29.364 robots.



COLABORACIONES

CUADRO 2
NUMERO DE ROBOTS EN OPERACION EN 1998 EN DISTINTOS PAISES

Pais	N° de robots	% sobre total	Pais	N° de robots	% sobre total
1. Japón.....	411.812	57,16	7. Reino Unido.....	10.765	1,49
2. Estados Unidos.....	81.746	11,34	8. Rusia.....	10.000	1,39
3. Alemania.....	73.155	10,15	9. España.....	8.633	1,20
4. Italia.....	31.517	4,38	10. Benelux.....	7.245	1,00
5. Rep. de Corea.....	31.430	4,36	11. Taiwan.....	5.835	0,81
6. Francia.....	16.211	2,25	Resto de países.....	32.043	0,47

Fuente: International Federation of Robotics y elaboración propia

Las ventas mundiales de robots alcanzaron un máximo de 81.175 unidades en 1990 (equivalentes a 7.300 millones de dólares), para descender a 54.376 unidades (o 3.400 millones de dólares) en 1993 como consecuencia de la recesión económica del período 1991-1993. El importante descenso en las ventas mundiales de este período puede atribuirse principalmente a la caída en el mercado japonés que pasó de instalar 60.118 robots en 1990 a 29.756 en 1994. La mayoría del resto de países —excepto Estados Unidos, Italia y Corea— también disminuyeron su número de instalaciones de nuevos robots en este período pero en una proporción muy inferior, de sólo aproximadamente el 25 por 100 de caída. En 1995 el mercado japonés comenzó a recuperarse de nuevo contribuyendo así a la recuperación de las ventas mundiales de robots.

El Cuadro 2 relaciona los once países con un mayor número de robots en funcionamiento. Destaca en primer lugar Japón que cuenta con el 57 por 100 de todos los robots existentes en el mundo. Otros países con una población importante de robots son Estados Unidos (11,34 por 100 del total) y Alemania (10,15 por 100). España ocupa en este *ranking* la novena posición con el 1,2 por 100 del total de robots en operación. La clasificación por países no ha cambiado sustan-

cialmente durante los años noventa respecto a la década anterior, con la excepción del fuerte crecimiento experimentado por la instalación de robots en la República de Corea y en Taiwan, que han colocado a estos dos países entre los once del mundo con mayor número de robots.

2.2. Robotización y competitividad

La importancia de estos países en la demanda de robots se confirma también calculando el índice de robotización o ratio del número de robots en funcionamiento por cada 10.000 trabajadores empleados en la industria manufacturera de cada país. El Cuadro 3 indica cuáles son los países con mayor índice de robotización en el año 1998, indicando como referencia cuál era el valor de este índice para los países del Cuadro en algunos años anteriores. La primera posición en este *ranking* vuelve a corresponder a Japón, pero ahora es Corea quien ocupa el segundo lugar con un índice de 104 robots. Corea ha realizado un intenso proceso de robotización durante los años noventa porque se observa que su índice en 1989 era inferior al de todos los países del Cuadro con la excepción de España. El caso de Singapur es similar al de Corea. Estos dos países del sureste asiático han recibido elevadas inversiones manu-



COLABORACIONES

CUADRO 3
EVOLUCION DEL ÍNDICE DE ROBOTIZACION EN PAISES ADOPTANTES

Pais	1998	1989	1984	% variación robots 1990-1998	Pais	1998	1989	1984	% variación robots 1990-1998
1. Japón.....	279	146,9	46,5	50,1	9. Estados Unidos ..	44	19,0	6,1	109,7
2. Singapur.....	140	33,1	7,4	257,8	10. Suiza.....	42	8,9	0,4	11,7
3. Corea.....	109	7,2	0,5	940,7	11. Francia.....	41	20,4	5,5	94,1
4. Alemania.....	100	31,8	8,3	167,7	12. Austria.....	40	15,6	1,2	241,4
5. Italia.....	70	24,6	5,7	158,3	13. España.....	34	6,4	2,1	311,1
6. Suecia.....	66	62,0	18,3	59,8	14. Australia.....	23	10,9	4,6	82,7
7. Finlandia.....	48	12,5	3,2	137,4	15. Reino Unido.....	21	11,2	4,6	81,2
8. Benelux.....	45	15,6	8,3	209,6	16. Dinamarca.....	20	10,6	3,1	111,2

Nota: El índice de robotización es el número de robots existentes en operación en un año por cada 10.000 trabajadores empleados en la industria manufacturera del país en ese año.

Fuente: International Federation of Robotics, OCDE y elaboración propia.

factureras extranjeras, principalmente de Japón, que ha compensado así su pérdida de competitividad de las exportaciones por el coste salarial y la apreciación del yen en Japón.

Otro valor de índice de robotización que destaca en el Cuadro 3 es el de Estados Unidos, debido a que es el segundo país con mayor número de robots en operación, pero su índice de robotización es bastante inferior al de los tres países asiáticos mencionados y al de algunos países de la Unión Europea. Aunque el índice de robotización en Estados Unidos ha mejorado durante la década de los años noventa, los problemas que durante los años ochenta tuvo la industria norteamericana del automóvil y la deslocalización internacional de sus empresas multinacionales sirven para explicar el bajo índice de robotización alcanzado a final de los años ochenta (Mansfield, 1988). Por último, hay que señalar que España ocupa el puesto trece en este *ranking*, habiendo superado en el transcurso de los años noventa a otros países europeos respecto a los que se encontraba muy por detrás a finales de los años ochenta, tales como Reino Unido, Noruega o Dinamarca. La razón para esta mejora radica en el mayor esfuerzo adoptante de robots que se ha hecho en España comparado con el de esos otros países. En el Cuadro 3 puede apreciarse este esfuerzo con la variación porcentual en el período 1990-1998 del número de robots en operación existentes. Destaca que el segundo mayor crecimiento en el número de robots de los países del cuadro ha tenido lugar en España, sólo superado por el de Corea. Este resultado permite afirmar que la mejora en el índice de robotización en España y en el resto de países se ha debido a la inversión en robots y no a procesos de ajuste laboral en la industria manufacturera.

Para explicar las diferencias entre los índices de robotización de los distintos países, se ha planteado un modelo de regresión en el que el índice de robotización depende del grado de desarrollo económico del país y de la proporción de exportaciones manufactureras. Este modelo contrasta la hipótesis de que un país con mayor PIB per cápita y que exporte una mayor proporción de bienes manufacturados, necesitará de más robots para mantener la competitividad de sus exportaciones a la vez que también dispondrá de mejores

medios para instalar y mantener sus instalaciones robotizadas. El modelo propuesto para explicar el índice de robotización es:

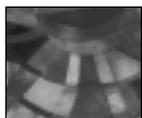
$$IR = C + a \cdot PIB + b \cdot XMAN$$

donde *IR* es el índice de robotización del país (número de robots en operación por cada 10.000 trabajadores empleados en la industria manufacturera); *PIB* es el Producto Interior Bruto per cápita del país; *XMAN* es el porcentaje que representan las exportaciones de la industria manufacturera en las exportaciones totales del país; y *C* es una constante. El Cuadro 4 muestra los resultados de la regresión múltiple en los que se observa que la variable significativa es la de las exportaciones pero no así la de del PIB. Este resultado indica que cuanto mayor es el porcentaje de exportaciones de bienes manufacturados que se exportan, mayor es el porcentaje de robots —y previsiblemente de otras tecnologías intensivas en capital— que han de ser necesarias para producirlas.

CUADRO 4 ANÁLISIS DE REGRESIÓN DEL ÍNDICE DE ROBOTIZACIÓN			
	Coefficiente del modelo	t-student	Nivel de significación p
Constante.....	-108,0	-1,830	0,09
PIB.....	0,0005	0,371	0,717
XMAN.....	3,12	3,233	0,007
R ² = 0,459 F = 5,504 p = 0,009 n = 16			
Fuente: Elaboración propia			

2.3. Tecnología y aplicaciones

El Cuadro 5 muestra la distribución del parque de robots existentes en funcionamiento en el mundo y en algunos países, clasificados por los sectores de aplicación donde se están utilizando. Destaca la importancia del sector de automoción que concentra en algunos países la mitad de los robots instalados. La industria del automóvil fue la primera que se robotizó y ha seguido siendo un adoptante importante de robots durante la década de los años noventa en aquellos países que disponen de esta industria. Aunque a nivel mundial el número de robots instalados en las industrias de maquinaria mecánica y eléctrica ha superado a los instalados en la industria de automoción, lo



COLABORACIONES

CUADRO 5
DISTRIBUCIÓN DEL PARQUE DE ROBOTS POR SECTORES POR PAISES EN 1998

	Total	Alemania	España	Francia	Japón	Noruega	Reino Unido
Agricultura.....	0,1	—	—	—	0,1	—	0,1
Agroalimentaria.....	1,1	2,3	0,9	4,1	0,7	4,6	2,0
Textil.....	0,3	1,0	0,3	0,6	0,1	—	0,2
Madera y papel.....	0,9	1,0	0,2	0,4	0,8	4,0	0,5
Químico y plásticos.....	12,2	9,0	8,8	17,9	12,5	6,2	19,7
Metales y minerales.....	1,7	6,5	1,6	4,4	0,7	6,2	0,8
Transformados metálicos.....	6,3	7,1	7,0	1,7	4,9	46,8	5,4
Maquinaria.....	26,2	13,0	8,6	15,3	30,9	8,4	6,7
Telecomunicación.....	8,5	—	0,5	—	11,7	0,2	0,7
Instrumentación.....	1,1	1,1	—	—	1,2	0,6	0,2
Automoción.....	29,7	48,3	61,4	50,0	24,0	4,1	51,9
Muebles.....	0,6	3,4	0,9	—	—	7,4	4,5
Otros sectores.....	11,3	7,3	9,8	6,0	12,4	11,5	7,3

Fuente: International Federation of Robotics.

cierto es que si se tiene en cuenta que muchos de los proveedores de las empresas de automoción están estadísticamente clasificados en otras industrias, la importancia del sector de automoción sigue siendo muy grande como origen de la compra de robots. El país en el que más importancia tiene el sector de automoción es España ya que el 61,4 por 100 de los robots en operación existentes se encuentran en esta industria. Otros países en los que el sector de automoción concentra también la mayor parte de los robots en funcionamiento son Reino Unido (51,9 por 100) y Francia (50 por 100). En el período 1991-1998 la industria de automoción concentró el 72 por 100 de todos los nuevos robots instalados en Polonia, el 64 por 100 en España, y entre el 50 por 100 y el 56 por 100 en Francia, Alemania y Reino Unido.

El desarrollo tecnológico ha posibilitado la aparición de aplicaciones muy diversas que han facilitado la introducción de los robots en áreas de actividad distintas a las manufactureras. así por ejemplo, en Noruega un 7,4 por 100 de todos los robots en funcionamiento están trabajando en la industria del mueble, y en Alemania el 9 por

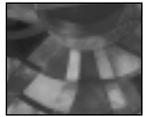
100 de todos los robots están en la industria química. Una de las áreas de mayor crecimiento potencial es la de los servicios, en las que a final de 1998 el *stock* de robots era de unas 10.000 unidades pero con una estimación de la Asociación Internacional de Robótica de 24.000 unidades para el año 2000. Las aplicaciones de los robots de servicios son las de todas aquellas operaciones que realiza un ser humano, excluyendo las manufactureras: robots cortadores de césped, robots de cirugía, robots de limpieza, etcétera, son ejemplos de estas nuevas aplicaciones. Las principales aplicaciones son la de robots cortadores de césped que constituyen el 53 por 100 de los robots de servicios existentes, seguido de los robots médicos con el 30 por 100. El Cuadro 6 recoge la distribución por países de las empresas que se dedican en el mundo al desarrollo y fabricación de robots de servicio. Estados Unidos, Alemania y Japón concentran el 64 por 100 de estas empresas.

El Cuadro 7 indica las principales aplicaciones de los robots en funcionamiento. Las tres más importantes son: montaje, soldadura y mecanizado. Entre estas tres aplicaciones se contabilizan el 66,2 por 100 de todos los robots en funcionamiento. La diferencia entre los porcentajes de los países incluidos en el Cuadro 7 se debe principalmente a la distinta estructura industrial en la que están implementados los robots. Por ejemplo, el 51,6 por 100 de robots utilizados en operaciones de soldadura en España se debe a que el 61,4 por 100 de los robots se encuentran en la industria de automoción, en la que una de las aplicaciones más importantes de los robots es precisamente la soldadura.

CUADRO 6
DISTRIBUCIÓN POR PAISES DE LAS EMPRESAS FABRICANTES Y DESARROLLADORAS DE ROBOTS DE SERVICIO EN EL MUNDO EN 1998

	N.º	%
Estados Unidos.....	29	28,5
Alemania.....	22	21,6
Japón.....	14	13,7
Reino Unido.....	9	8,8
Suecia.....	6	5,9
Francia.....	5	4,9
Italia.....	4	3,9
Países Bajos.....	4	3,9
Otros países.....	9	8,8
TOTAL.....	102	100,0

Fuente: International Federation of Robotics.



COLABORACIONES

**CUADRO 7
DISTRIBUCIÓN DEL PARQUE DE ROBOTS POR APLICACIONES POR PAISES EN 1998**

	Total	Alemania	España	Francia	Japón	Noruega	Reino Unido
Montaje.....	29,6	13,5	4,0	8,8	41,9	5,2	3,6
Soldadura.....	26,7	31,1	51,6	32,8	18,8	26,5	46,2
Mecanizado.....	9,9	11,3	8,1	12,0	8,3	26,9	7,2
Moldeado de plasticos.....	8,9	9,3	7,5	15,3	11,7	1,4	18,0
Manejo de materiales.....	8,5	13,2	6,6	16,2	6,9	3,7	6,9
Paletización/Empaquetado.....	2,6	5,6	3,3	5,4	2,7	12,6	1,4
Resto aplicaciones.....	13,8	16,0	18,9	9,5	9,7	23,7	16,7

Fuente: International Federation of Robotics.

2.4. Robotización y competitividad exterior

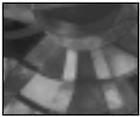
El Cuadro 8 muestra la distribución de los robots instalados, producidos, importados y exportados por países en los años 1996 a 1998. Se indica también el porcentaje de robots instalados de producción nacional. Se observa que la producción nacional es suficiente para cubrir las necesidades de robotización del país en países como Alemania o Italia, mientras que en el caso de España o Reino Unido la producción nacional de robots sólo representa una parte muy pequeña de los robots instalados en el país, siendo por tanto las importaciones y la tecnología extranjera el origen de la robotización de estos países. Otros países con autonomía en el suministro de robots son Francia (87 por 100), Suecia (86 por 100) y Corea (72 por 100), mientras que otros países muy dependientes de las importaciones son Australia (6 por 100) o Dinamarca (2 por 100).

Para explicar la variable del porcentaje de robots instalados que se han producido en el país

(AUTON), se ha realizado un análisis de regresión con el modelo:

$$AUTON = C + a \cdot IR + b \cdot I+D$$

donde *I+D* es el esfuerzo en I+D del país; *IR* es el número de robots instalados por 10.000 trabajadores de la industria manufacturera. Este modelo contrasta la hipótesis de que el desarrollo endógeno de un sector de producción nacional de robots depende de la existencia de un mercado importante de robots (alto valor de *IR*) y de la capacidad tecnológica del país (alto valor de *100I+D/PIB*) que posibilita la disponibilidad de mano de obra cualificada y la realización de proyectos de investigación en nuevas tecnologías. El Cuadro 9 muestra los resultados del análisis de regresión. La variable significativa es el índice de robotización, lo que indica que aquellos países que tienen un mayor mercado de robots son aquellos en los que se habrían desarrollado fabricantes



COLABORACIONES

**CUADRO 8
RESULTADOS DEL ANALISIS DE REGRESION**

	Producción interna	Importaciones	Exportaciones	Consumo interno	% producción /consumo interno
Francia					
1998.....	1.449	1.154	950	1.653	87,6
Alemania					
1996.....	8.275	4.170	2.020	10.425	79,4
1997.....	7.020	4.512	2.507	9.025	77,8
1998.....	9.575	4.544	4.181	9.938	96,3
Italia					
1996.....	3.245	860	774	3.331	97,4
1997.....	3.477	1.090	875	3.692	94,1
1998.....	4.083	1.312	1.014	4.381	93,2
Japón					
1996.....	61.866	318	23.370	38.914	158,9
1997.....	70.465	372	28.141	42.696	165,0
1998.....	56.750	207	23.161	33.796	167,9
España					
1996.....	18	1.115	—	1.133	1,6
1997.....	14	1.189	—	1.203	1,2
1998.....	27	1.783	—	1.810	1,5
Reino Unido					
1997.....	156	2.274	638	1.792	8,7
1998.....	167	1.797	682	1.282	13,0

Fuente: United Nations (1999).

CUADRO 9 ANÁLISIS DE REGRESIÓN DE LA AUTONOMÍA EN LA PRODUCCIÓN DE ROBOTS			
	Coefficiente del modelo	t-student	Nivel de significación p
Constante.....	7,372	0,199	0,849
IR.....	0,585	3,201	0,019
I+D.....	3,721	0,175	0,867
R ² = 0,748 F = 8,882 p = 0,016 n = 9			
Fuente: Elaboración propia			

propios. Los signos de las variables se comportan como era esperado.

3. El mercado de los robots y los sistemas flexibles en España

3.1. Demanda de robots

El Cuadro 10 muestra la evolución de la demanda de robots en España en los años noventa (6). Ya se ha destacado en el apartado anterior que España es el segundo país en el que más ha aumentado el parque de robots durante esta década. Destaca también el bajo porcentaje que representa la instalación de reposición que apenas llega como mucho al 15 por 100, mientras que el porcentaje promedio a nivel mundial era del 50 por 100. El Cuadro 10 indica asimismo la importancia de la demanda del sector de automoción en el mercado de la robótica en España, dado que el porcentaje de robots en funcionamiento en el sector ha aumentado durante estos años, hasta convertirse en el más alto del mundo.

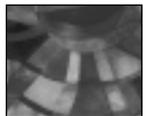
El Cuadro 11 muestra la distribución sectorial de los robots utilizados en la industria española en 1998. Aparte de la industria de automoción, que ya ha quedado dicho que concentra el 61,4

por 100 de los robots, las principales industrias adoptantes de robots son la de cauchos y productos plásticos (8,69 por 100), fabricación de maquinaria y equipos (7,85 por 100 del total), y fabricación de productos metálicos (7,02 por 100). El resto de robots está muy repartido entre distintas industrias, con un número inferior a 10 unidades en algunas de ellas. El Cuadro 11 también presenta la evolución del índice de robotización de las principales industrias adoptantes.

La concentración de los robots en funcionamiento en la industria de automoción ayuda a explicar el grado de concentración que existe a nivel de empresa adoptante. En 1990, seis empresas —todas ellas fabricantes de vehículos— concentraban casi la mitad del parque de robots en funcionamiento. El Cuadro 12 muestra la evolución del índice de concentración en las empresas españolas adoptantes de robots. La disminución del grado de concentración se ha debido a la adopción de robots en otros sectores distintos al de automoción y a la adopción de robots en empresas pequeñas y medianas (7).

3.2. Tecnología y oferta de robots

El Cuadro 13 muestra la distribución de los robots en funcionamiento en las empresas españolas según el origen de la tecnología del robot, independientemente de donde se hayan fabricado. Se observa que los robots con tecnología de origen español han disminuido su participación en el parque de robots del 4,19 por 100 en 1990 al 1,8 por 100 en 1998. La mayoría de los robots que se instalan siguen siendo de origen extranjero, ya



COLABORACIONES

CUADRO 10 NÚMERO DE INSTALACIONES ANUALES Y STOCK DE ROBOTS EN OPERACIÓN EN ESPAÑA EN LOS AÑOS NOVENTA								
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Número de robots instalados.....	536	780	461	542	830	1.133	1.203	1.810
Número total de robots en operación.....	2.580	3.310	3.712	4.173	4.913	5.954	6.994	8.633
Porcentaje de instalación de reposición.....		6,4	12,8	14,9	10,8	8,1	13,5	9,4
Porcentaje de robots en el sector de automoción sobre el total en operación.....	55,9	60,1	60,4	63,3	62,5	63,9	64,5	63,7
Fuente: International Federation of Robotics, Asociación Española de Robótica y elaboración propia.								

(6) Los tres primeros robots se instalaron en España en 1974 en la factoría de Seat en Barcelona, aunque el crecimiento en la implementación de robots no se produce hasta el período 1981-1984 en el que todos los fabricantes de automóvil se robotizaron intensivamente, especialmente Opel España en su nueva planta de Figueruelas en Zaragoza.

(7) Las pequeñas y medianas empresas compraron el 29,73 por 100 de los robots en el año 1984 y el 71,35 por 100 en 1990 (MARTINEZ, 1992). Las estimaciones de la Asociación Española de Robótica cifran actualmente en un 60 por 100 aproximadamente la compra de robots por las pequeñas y medianas empresas.

CUADRO 11
NUMERO DE ROBOTS EN FUNCIONAMIENTO E ÍNDICE DE ROBOTIZACION EN LA INDUSTRIA ESPAÑOLA

	N.º de robots en funcionamiento en 1998	Índice de robotización		
		1986	1990	1998
Fabricación de vehículos, carrocerías y partes y accesorios	5.265	36,93	64,01	353,0
Fabricación de maquinaria y transformados metálicos	1.284	7,05	13,72	63,9
Transformación de caucho y productos plásticos	750	—	3,12	74,4
Fabricación de aparatos eléctricos y equipos de informática y comunicación	215	0,84	1,58	18,3
Fabricación de madera y mobiliario	115	—	0,04	5,5
Fabricación de alimentación, bebidas y productos de tabaco	83	0,03	0,12	4,1
Fabricación de minerales y metales básicos	72	—	—	24,4
Fabricación de otros equipos de transporte	69	2,73	7,64	12,8
Fabricación de textil y calzado	24	—	—	0,9
Química y productos químicos	9	—	—	1,0
Fabricación de papel y artes gráficas	7	—	0,06	0,4

Nota: Se han excluido los robots instalados en actividades clasificadas como Construcción, Educación, Investigación y otros servicios. El índice de robotización es el ratio del número de robots en funcionamiento por 10.000 trabajadores de la industria.
Fuente: Asociación Española de Robótica, Encuesta Industrial del INE y elaboración propia

CUADRO 12
ÍNDICE DE CONCENTRACION DE LOS ROBOTS EN LAS EMPRESAS ESPAÑOLAS ADOPTANTES

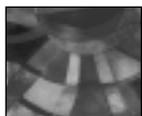
	1982	1985	1990
Número de empresas con robots implementados	30	101	421
% de robots en las 4 empresas más robotizadas	0,81	0,64	0,40
% de robots en las 8 empresas más robotizadas	0,88	0,74	0,50
% de robots en las 16 empresas más robotizadas	0,92	0,80	0,56

Fuente: Martínez (1992).

CUADRO 13
DISTRIBUCION DE LOS ROBOTS EN FUNCIONAMIENTO EN LA INDUSTRIA ESPAÑOLA POR ORIGEN DE LA TECNOLOGIA

	Suecia	EE.UU.	Japón	Francia	Alemania	Italia	España	Otros
1990	40,3	16,8	14,0	9,9	7,0	5,3	4,2	2,5
1998	41,8	21,3	8,5	7,3	7,7	2,3	1,8	9,3

Fuente: Elaboración propia con datos de la Asociación Española de Robótica.



COLABORACIONES

sea importados directamente o fabricados bajo licencia extranjera (8). En aquellos países, como por ejemplo Japón, Suecia o Francia, que desarrollaron robots propios desde el comienzo de esta tecnología siempre ha sido mayor el porcentaje de robots instalados de tecnología nacional, como ya hemos visto en el apartado 2.4.

Las primeras empresas fabricantes de robots en el mundo procedían de la industria de la máquina-herramienta, de empresas con experiencia en electrónica, y de filiales creadas por los grandes fabricantes de automóviles (9). En España,

las primeras empresas que hicieron proyectos de robotización fueron empresas de ingeniería que adquirían —y adquieren— los robots a los fabricantes haciendo ellas el proyecto y la implementación de los robots. Después entraron en este mercado los fabricantes de máquinas-herramienta, incorporando a los robots en su cartera de productos. Por último, se fueron instalando en España filiales de los fabricantes de extranjeros para comercializar y/o fabricar aquí directamente sus robots. Desde el punto de vista geográfico, los suministradores de robots en España se crearon en aquellas provincias donde había más robots instalados, principalmente en Barcelona, Madrid y Vizcaya.

El Cuadro 14 señala la evolución de la oferta

(8) Desde el inicio del proceso de robotización en 1974 hasta el año 1984 inclusive, todos los robots que se instalaron en España fueron importados. Los doce primeros robots fueron todos importados de Estados Unidos. A partir de 1985 se empiezan a introducir los primeros robots desarrollados en España y se comienza la fabricación de robots extranjeros por filiales o empresas españolas con licencias de fabricación. Desde 1987, los robots suecos han sido los más instalados en el mercado español.

(9) Los grandes fabricantes de automóviles son también los grandes usuarios de robots, lo cual explica su introducción en este

mercado ya sea a través de empresas propias o de joint-ventures con otras empresas. Casi todos los fabricantes de automóviles disponen de estas filiales: General Motors de Fanuc, Fiat de Comau, Renault de Renault-ACMA, etcétera.

CUADRO 14
EVOLUCION DE LA OFERTA DE ROBOTS EN ESPAÑA

	1985	1990	1998
Número de modelos de robots en el mercado español	92	209	217
Porcentaje de modelos españoles.....	4,3	7,2	9,0
Número de empresas suministradoras de robots en España.....	22	32	42
Promedio de modelos por empresa.....	4,18	6,53	5,2
Porcentaje de empresas que ofertan 1 o 2 robots.....	54,54	25,00	10,0
Porcentaje de empresas que ofertan de 3 a 6 robots.....	27,27	31,25	15,0
Porcentaje de empresas que ofertan 7 robots o más.....	18,19	43,75	75,0

Fuente: Elaboración propia.

de robots en España en términos de número de modelos y de número de empresas suministradoras. De las 32 empresas existentes en 1990, 11 eran empresas de ingeniería, 14 eran fabricantes de máquinas-herramientas, y 7 eran filiales de fabricantes extranjeros de robots. En 1998, el número de suministradores de robots había crecido a 42, de las cuales 22 eran empresas nacionales de ingeniería y el resto fabricantes nacionales y extranjeros de equipos de automatización.

El Cuadro 15 muestra la distribución provincial de los suministradores de robots en España. El número de suministradores ha crecido en esta década de los 32 existentes en 1990 a los 42 de 1998. La distribución por tamaño de estas empresas indica que en 1990, 25 de los 32 suministradores existentes tenían menos de 50 empleados, y en 1998 el número de empresas que tenían menos de 50 trabajadores eran 17 sobre las 42 totales, lo que se debe tanto al crecimiento experimentado por algunas de las pequeñas empresas que había al principio de la década de los noventa en este sector como a la llegada de nuevas empresas grandes de ingeniería al sector de proyectos de robotización.

3.3. El mercado de los sistemas de fabricación flexible

La utilización de sistemas de fabricación flexible en España se produce con un importante retraso respecto a Estados Unidos, Japón y Alemania (10). El primer sistema de fabricación flexible

(10) El primer sistema flexible se implementó en 1965 en la empresa estadounidense *Sundstrand Aviation*. A principios de los años noventa había 402 sistemas flexibles en el mundo, siendo los principales países adoptantes Japón y Estados Unidos con 112 y 81 Sistemas respectivamente (MARTINEZ, 1991).

CUADRO 15
EVOLUCION DE LA DISTRIBUCION REGIONAL DE LOS SUMINISTRADORES DE ROBOTS

	1990	1998
Aragón.....	1	1
Castilla-León.....	1	2
Cataluña.....	19	17
Galicia.....	1	—
Madrid.....	5	2
Navarra.....	—	2
Pais Vasco.....	5	18
TOTAL EMPRESAS.....	32	42

Fuente: Elaboración propia

CUADRO 16
DISTRIBUCION SECTORIAL DE LOS SISTEMAS FLEXIBLES EN ESPAÑA

Automoción.....	14
Fabricación maquinaria mecánica.....	12
Aeronáutica.....	5
Fabricación maquinaria eléctrica.....	5
Transformados metálicos.....	3
TOTAL EMPRESAS.....	39

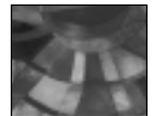
Fuente: Elaboración propia

CUADRO 17
DISTRIBUCION REGIONAL DE LAS EMPRESAS ADOPTANTES E INSTALADORAS DE SISTEMAS DE FABRICACION FLEXIBLE EN 1998

	Empresas adoptantes	Empresas instaladoras
Andalucía.....	2	—
Aragón.....	3	—
Cantabria.....	1	—
Castilla-La Mancha.....	1	—
Castilla-León.....	1	—
Cataluña.....	11	3
Com. Valenciana.....	3	—
La Rioja.....	1	—
Madrid.....	9	2
Navarra.....	4	—
Pais Vasco.....	3	7
TOTAL EMPRESAS.....	39	12

Fuente: Elaboración propia

se instaló en España en el año 1985 en la empresa Construcciones Aeronáuticas S.A. (CASA), aunque el proyecto ya había comenzado en 1983. La difusión de estos sistemas en la industria española ha sido muy lenta. Hasta 1999 se habían utilizado sistemas en 39 empresas. Aunque durante los años ochenta parecía que estos sistemas iban a tener una difusión rápida, lo

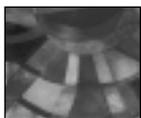


COLABORACIONES

cierto es que requieren una inversión muy elevada (11) que sólo es posible en unas pocas industrias y empresas, como las de automatización, aeronáutica y maquinaria. Otro inconveniente de estos sistemas es que precisan también de un volumen elevado de producción para poder amortizarse en 3 o 4 años máximo, lo que únicamente pueden conseguir unas pocas empresas de los sectores mencionados. El Cuadro 16 recoge la distribución sectorial de los sistemas flexibles en España.

Por último, el Cuadro 17 muestra la distribución regional de las empresas adoptantes de sistemas de fabricación flexible en España hasta 1999. Casi la mitad de las empresas están concentradas entre las provincias de Madrid y Barcelona.

(11) Un estudio realizado por TCHIJOV Y SHEININ (1989), indicaba a finales de los años ochenta que un 55 por 100 de los sistemas flexibles en el mundo había costado menos de tres millones de dólares, y el 10 por 100 más caro habían necesitado una inversión promedio de 20 millones de dólares cada uno.



COLABORACIONES

Bibliografía

1. AER (1999): «La oferta de automatización de tecnologías de la producción y robótica», Asociación Española de Robótica.
2. INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS (1997): «World Industrial Robots 1997», International Federation of Robotics, Stockholm, Suecia.
3. INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS (1998): «World Robotics 1998», International Federation of Robotics, Stockholm, Suecia.
4. MANSFIELD, E. (1988): «The diffusion of industrial robots in Japan and the United States», Technology and Productivity Workshop, Universidad de Stanford (Estados Unidos), Septiembre.
5. MARTINEZ, A. (1991): «Adopción de Sistemas de Fabricación Flexible», Novamáquina, número 178, páginas 74-82.
6. MARTINEZ, A. (1992): «Los robots industriales y la economía española», Automatización Integrada, número 66, páginas 69-74.
7. SALAS, V. (1997): «La lógica de la producción ligera: valoración e implicaciones», Situación, páginas 195-208.
8. TCHIJOV, I. y SHEININ, R. (1989): «Flexible Manufacturing Systems: current diffusion and main advantages», Technological Forecasting and Social Change, volumen 35 números 2-3, páginas 277-293.
9. UNITED NATIONS (1999): «World Robotics 1999», United Nations Economic Commission for Europe.