

Robótica: Estado del arte

Jonathan Ruiz de Garibay Pascual

Doctorando en Sistemas de Información

Universidad de Deusto – Deustuko unibertsitatea

jonathan.ruizdegaribay@gmail.com

Resumen

La robótica es un área de investigación y desarrollo de aplicaciones muy diversas. Su utilización masiva en la industria, y actualmente su creciente uso en aplicaciones de asistencia y servicio, hacen de ella un área de mucho interés tanto en el presente como en el futuro. Sus campos de aplicación se extienden desde la asistencia a personas minusválidas hasta sofisticadas exploraciones espaciales, pasando por un amplio rango de tareas a realizar.

Un estudio completo del área de la robótica es prácticamente imposible, por lo que es necesario centrarse en un tema muy concreto donde poder profundizar de forma eficiente. Pero antes de ello, es importante tener una visión general y conocer las diferentes ramas de la robótica.

Tabla de contenidos

1	Introducción	1
2	Historia de la robótica	3
2.1	Origen de la palabra <i>robot</i>	3
2.2	Antecedentes históricos	4
2.3	Origen y evolución de la robótica	8
2.4	Generaciones	11
2.4.1	Primera y segunda generación	11
2.4.2	Tercera generación	11
2.4.3	Tendencias futuras	12
3	Definición y clasificación de los robots	13
3.1	Definición	13
3.2	Clasificación	15
4	Robots manipuladores	18
4.1	Estructura mecánica	19
4.2	Aplicaciones	22
4.3	Nuevas estructuras de robots manipuladores	24
5	Robots móviles	25
5.1	Aplicaciones	25
5.2	Tecnologías utilizadas en los sistemas motrices	28
5.3	Áreas de investigaciones	30
5.3.1	Mecanismos de movilidad	30
5.3.2	Aprovechamiento de la energía	30
5.3.3	Computación y control	31
5.3.4	Sensores y navegación	31
5.4	Ejemplos de robots móviles	32
5.4.1	Robots agrícolas	32
5.4.2	Coordinación de robots	34
5.4.3	Otros	35
6	Robots espaciales	36
6.1	Ejemplos de robots espaciales	37
6.1.1	Brazo robótico	37
6.1.2	Robot explorador	38

7	Robots aéreos	40
7.1	Sistemas de desplazamiento	41
7.2	Ejemplos de robots aéreos	42
7.2.1	Prototipos de robots voladores	42
7.2.2	Colonias de robots voladores.....	43
8	Robots acuáticos	45
8.1	Sistemas de desplazamiento	46
8.2	Ejemplos de robots acuáticos	48
8.2.1	Exploración submarina	48
8.2.2	Estudios sobre animales marinos	50
8.2.3	Otros	52
9	Conclusiones	53
10	Referencias	54

Índice de figuras

Figura 1. Pájaros de Herón	5
Figura 2. Gallo de Estrasburgo.....	5
Figura 3. Pato de Vaucanson	6
Figura 4. Telar de Jacquard	7
Figura 5. Telemanipuladores de Goertz. Argonne National Laboratory (1948) ..	8
Figura 6. Handy-man de Mosher (General Electric, 1958)	8
Figura 7. Primer robot industrial (1960)	9
Figura 8. Primer robot de accionamiento eléctrico: ASEA IRb6	10
Figura 9. Manipulador o robot industrial	15
Figura 10. Robot Spirit, de exploración por Marte	16
Figura 11. Robot ASIMO, uno de los robots humanoides más avanzados	16
Figura 12. Robot AIBO, la mascota inteligente.....	17
Figura 13. Robot manipulador o industrial.....	18
Figura 14. Estructura de un brazo robótico	19
Figura 15. Tipos de configuraciones más frecuentes	21
Figura 16. Robots para soldadura	22
Figura 17. Robot de ensamblaje	22
Figura 18. Robot para empaque.....	23
Figura 19. Otro tipo de robot industrial	23
Figura 20. Robot manipulador de tipo serpiente.....	24
Figura 21. Mano robotizada.....	24
Figura 22. Robot Spirit (NASA)	26
Figura 23. Submarino RAS, de la compañía Ifremer.....	27
Figura 24. Robot móvil para escardar	27
Figura 25. Silla de ruedas avanzada: IBOT.....	28
Figura 26. Autonomous Underwater Vehicles (AUVs).....	31
Figura 27. Tractor autónomo para agricultura	33
Figura 28. Robot SAAPIN, guiado por un sistema de visión	33
Figura 29. Robots autónomos del proyecto CROMAT	34
Figura 30. Silla de ruedas autónoma desarrollada por Simuzhu Cooperation	35
Figura 31. Simulación del brazo robótico ERA.....	38
Figura 32. Robots <i>Spirit</i> y <i>Opportunity</i> , de la NASA.....	38

Figura 33. Robot <i>Opportunity</i> saliendo de la duna	39
Figura 34. Robot de tipo helicóptero	41
Figura 35. Insecto robótico capaz de volar.....	41
Figura 36. Robot del proyecto MFI.....	42
Figura 37. DragonFly de Wow Wee	43
Figura 38. Robots voladores	44
Figura 39. Robot submarino con turbinas	46
Figura 40. Robot acuático con aletas	46
Figura 41. Robot marino con movimiento ondulante	47
Figura 42. Robot capaz de caminar sobre el agua.....	47
Figura 43. Submarino RAS.....	48
Figura 44. Robot Nautilo	49
Figura 45. Robot Xanthos, AUV	49
Figura 46. Robot AQUA	50
Figura 47. Robot Madeleine	51
Figura 48. Robot Salamandra	51
Figura 49. Robot andador sobre el agua.....	52

Índice de tablas

Tabla 1. Tipos de articulaciones.....	20
Tabla 2. Comparativa de modelos de locomoción.....	29

1 Introducción

El estudio de la robótica requiere de un amplio conocimiento de la misma, y aunque es un área relativamente nueva, los avances realizados en sus pocos años de historia han sido muy importantes. Por ello, en el apartado 2 de este trabajo de investigación se trata esta evolución destacando los principales hitos y se finaliza en el apartado 3 tratando de dar una definición de lo que es la robótica y su clasificación.

Existen dos grandes grupos en los que se divide la robótica: robots manipuladores y robots móviles. Los primeros están implantados de forma muy importante en la industria, y aunque aún se investiga sobre ellos dentro de áreas muy concretas como por ejemplo la cirugía teleoperada, su interés científico está siempre ligado a la tarea concreta a realizar. En cambio, los robots móviles son mucho más recientes y la investigación es mucho más activa en este segundo grupo. El apartado 4 se centra en presentar de forma genérica los robots manipuladores, mientras que el 5 trata los robots móviles con mayor detalle.

Debido a la importante investigación que se está realizando en el área de la robótica, es complicado abarcar un rango representativo de ella hablando sólo de robots manipuladores y robots móviles. Por ello, en los siguientes apartados, se describen diferentes subgrupos de robots diferenciados en base a su área de aplicación o entorno de trabajo. En la distinción realizada, se

habla de robots espaciales, aéreos y acuáticos. Primero, se tratan sus características concretas y diferenciadoras del resto, para después presentar algunas de las líneas de investigación existentes.

Para acabar, se presentan las conclusiones obtenidas del trabajo realizado, teniendo siempre presente el objetivo de realizar, en un futuro, una tesis doctoral de una de las múltiples áreas de la robótica.

2 Historia de la robótica

Basándome en la introducción del libro de Antonio Barrientos [1], se comentan a continuación diferentes aspectos de la robótica como son la etimología de la palabra *robot*, los antecedentes de la robótica o los primeros pasos de ésta.

2.1 Origen de la palabra *robot*

La palabra *robot* fue usada por primera vez en el año 1921, cuando el escritor checo Karen Capek (1890-1938) estrena en el teatro nacional de Praga su obra *Rossum's Universal Robot (R.U.R.)* [2]. Su origen proviene de la palabra eslava *robota*, que se refiere al trabajo de forma forzada. En R.U.R., los robots eran máquinas androides fabricadas por un brillante científico llamado Rossum, que servían a sus jefes humanos desarrollando trabajos físicos. Llega el día en el que se rebelan contra sus propios dueños, destruyendo toda vida humana menos a uno de sus creadores, con la frustrada esperanza de que les enseñe a reproducirse.

El término hubiera quedado en desuso si no hubiera sido por los escritores del género literario de la ciencia ficción. Muchos de ellos reutilizaron la palabra *robot*, e incluso algunos mantuvieron el mensaje de la obra de Capek: la dominación de la especie humana por seres hechos a su propia imagen.

Si hay que destacar a alguien de entre los muchos escritores que han tratado este tema, es inevitable nombrar a Isaac Asimov (1920-1992) como el mayor impulsor de la palabra *robot*. Escribió diferentes novelas sobre el tema como por ejemplo *Los robots del amanecer*, *El sol desnudo* o *Robots e imperio*.

Yo, *Robot* es una colección de relatos escritos en 1950, en los que se enuncian por primera vez las tres famosas leyes de la robótica:

- Un robot no puede hacer daño a un ser humano o, por inanición, permitir que un ser humano sufra daño.
- Un robot debe obedecer las órdenes dadas por los seres humanos, excepto si estas órdenes entrasen en conflicto con la Primera Ley.
- Un robot debe proteger su propia existencia en la medida en que esta protección no entre en conflicto con la Primera Ley o la Segunda Ley.

Por último, en su novela *Robots e Imperio*, publicada en 1985, Asimov incorporó una cuarta ley, conocida como Ley Cero: *un robot no puede lastimar a la humanidad o, por falta de acción, permitir que la humanidad sufra daño*. Esta ley, de mayor prioridad que la primera, antepone el bien comunitario al individual.

2.2 Antecedentes históricos

Mucho antes de que la palabra *robot* fuera utilizada por primera vez, el hombre creaba máquinas y dispositivos capaces de imitar las funciones y los movimientos de los seres vivos. Los griegos ya utilizaban la palabra *automato*, de la que deriva la actual *autómata*.

Herón de Alejandría (año 400 a.c.) desarrolló uno de los primeros autómatas con carácter lúdico en su famoso teatro de autómatas, el cual se movía por medio de dispositivos hidráulicos, poleas y palancas. Otro autómata famoso de Herón son los *Pájaros de Herón*, un conjunto de aves que vuelan, gorjean y beben.

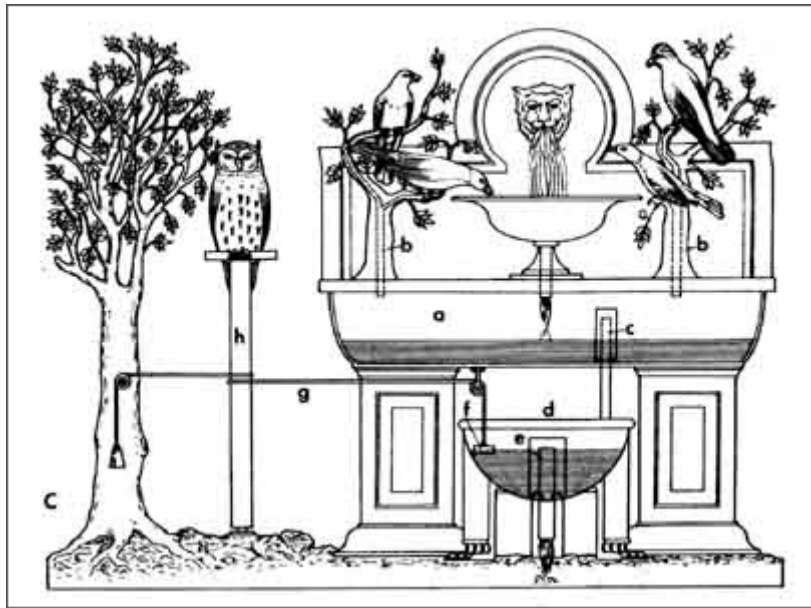


Figura 1. Pájaros de Herón

La cultura árabe (siglos VIII a XV) heredó y difundió los conocimientos griegos, dándole una aplicación práctica, introduciéndolo en la vida cotidiana, como por ejemplo diversos sistemas dispensadores de agua. En esa época, también se desarrollaron diversos ejemplos de autómatas como el *Hombre de Hierro* de Alberto Magno (1204-1282), o la *Cabeza parlante* de Roger Bacon (1214-1294).

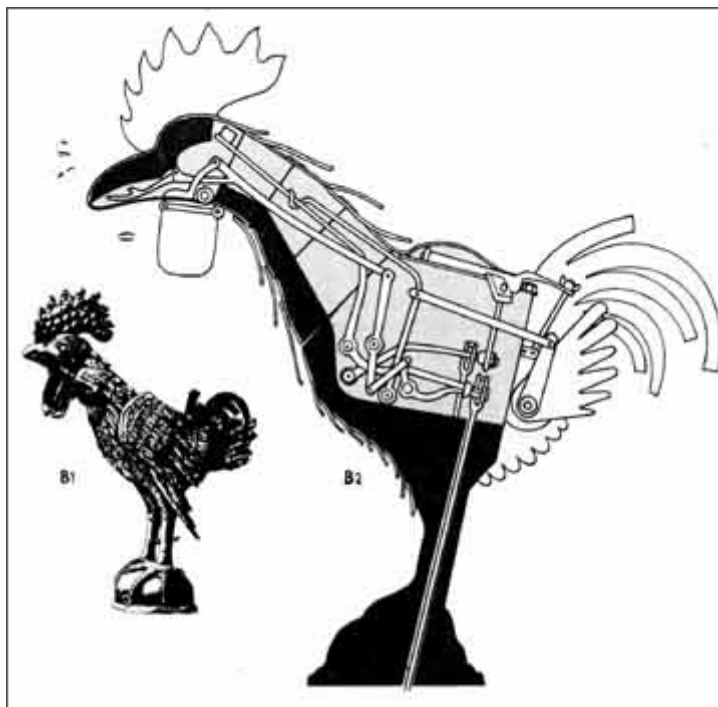


Figura 2. Gallo de Estrasburgo

Otro ejemplo relevante de aquella época fue *el Gallo de Estrasburgo* (1352) de autor desconocido. Es el autómatas más antiguo que se conserva en la actualidad, y que formaba parte del reloj de la torre de la catedral de Estrasburgo. Al dar las horas, movía las alas y el pico.

Durante los siglos XV y XVI, los autores del renacimiento se siguieron interesando por los ingenios descritos y desarrollados en la antigüedad. De esta época es conocido el *León mecánico* construido por Leonardo Da Vinci (1452-1519), que abría su pecho con su garra y mostraba el escudo de armas del Rey.

Durante los siglos XVII y XVIII se desarrollaron los primeros autómatas con algunas de las características de los modernos robots. Fueron desarrollados en su gran mayoría por artesanos del gremio de la relojería, y su función principal era la de entretener a la gente de la corte. Se puede destacar el *Pato de Vaucanson*, y los *Muñecos de la Familia Droz*, del relojero suizo Pierre Jaquet Droz (1721-1790) y sus hijos Henri-Louis y Jaquet.

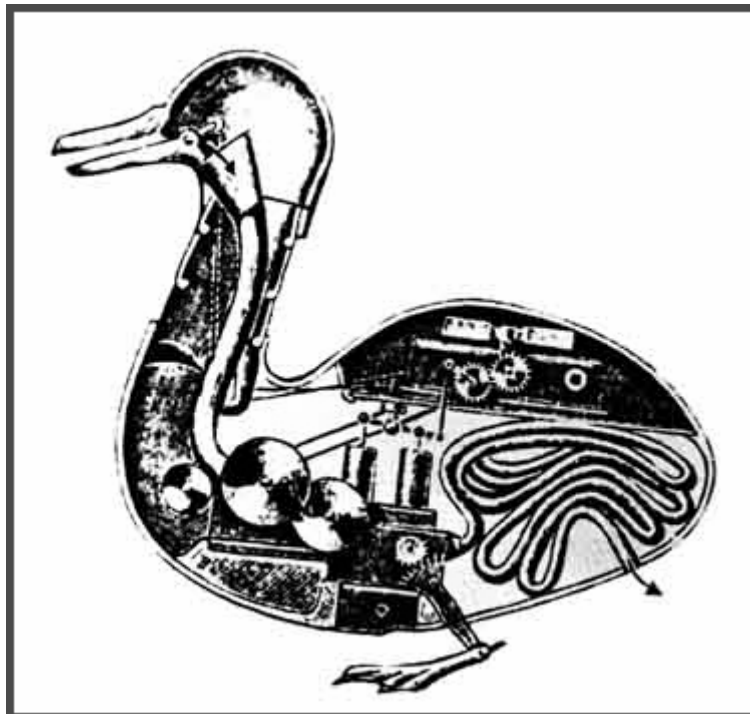


Figura 3. Pato de Vaucanson

A finales del siglo XVIII y XIX se desarrollaron invenciones mecánicas, utilizadas principalmente en la industria textil, entre las que se pueden destacar la hiladora giratoria de Hargreaves (1770), la hiladora mecánica de Crompton (1779), el telar mecánico de Cartwright (1785) y el famoso telar de Jacquard (1801).

Jacquard fue el primero en utilizar las tarjetas perforadas como soporte de un programa de trabajo donde se definía el tipo de trabajo que se deseaba realizar. Se puede decir que estas máquinas constituyeron los primeros referentes de las máquinas de control numérico.

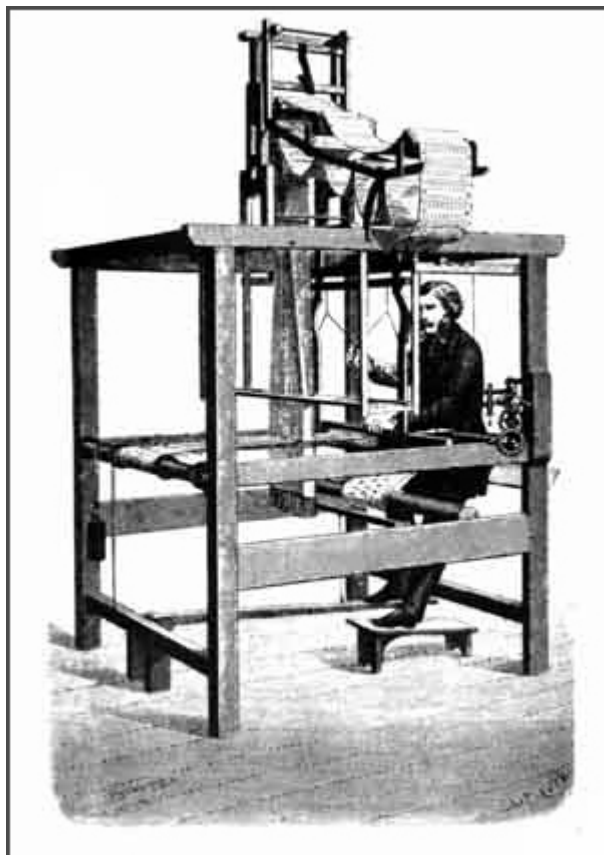


Figura 4. Telar de Jacquard

2.3 Origen y evolución de la robótica

Los progenitores más directos de los robots, son los telemanipuladores. En 1948, R. C. Goertz desarrolló en el *Argonne Nacional Laboratory* el primer manipulador, con el objetivo de manipular elementos radiactivos sin riesgo para el operador. Éste consistía en un dispositivo mecánico maestro-esclavo, donde el manipulador maestro, colocado en zona segura, era movido por el operador; mientras que el esclavo, reproducía los movimientos del primero. El operador, además de poder observar a través de un grueso cristal, sentía por medio del dispositivo maestro, las fuerzas que el esclavo ejercía sobre el entorno.



Figura 5. Telemanipuladores de Goertz. Argonne National Laboratory (1948)

Más adelante, en 1958, Ralph Mosher, ingeniero de la *General Electric*, desarrolló un dispositivo *Handy-Man* consistente en dos brazos robóticos teleoperados mediante un maestro del tipo denominado exoesqueleto.

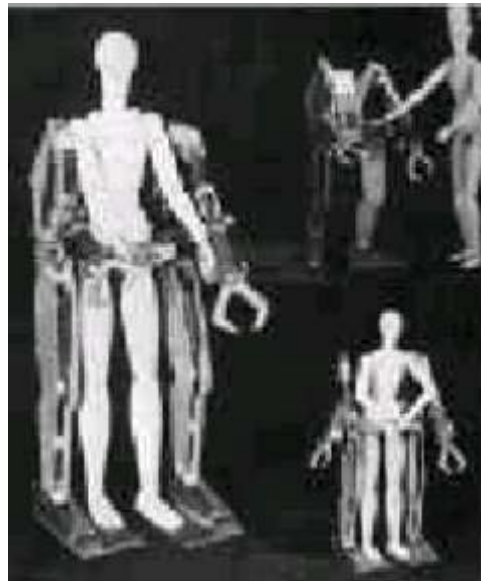


Figura 6. Handy-man de Mosher (General Electric, 1958)

Junto a la industria nuclear, en los años sesenta, la industria submarina comenzó a interesarse por los telemanipuladores; y más tarde, en los años setenta, la industria espacial se sumó a este interés.

La sustitución del operador por un programa de ordenador que controlase los movimientos del manipulador, dio paso al concepto de robot. La primera patente de un dispositivo robótico fue solicitada en 1954 por el británico C.E. Kenward. Sin embargo, fue George C. Devol, un ingeniero norteamericano, el que estableció las bases del robot industrial moderno.

En 1956, Joseph F. Engelberger y Devol comenzaron a trabajar en la utilización industrial de sus máquinas, fundando la *Consolidated Controls Corporation*. Más tarde se convertiría en *Unimation (Universal Automation)*, instalando su primera máquina Unimate en la General Motors de Trenton, Nueva Jersey, en 1960. Se produjo un *boom* de la fábrica del futuro, aunque en su primer intento el resultado y la viabilidad económica fueron desastrosos.

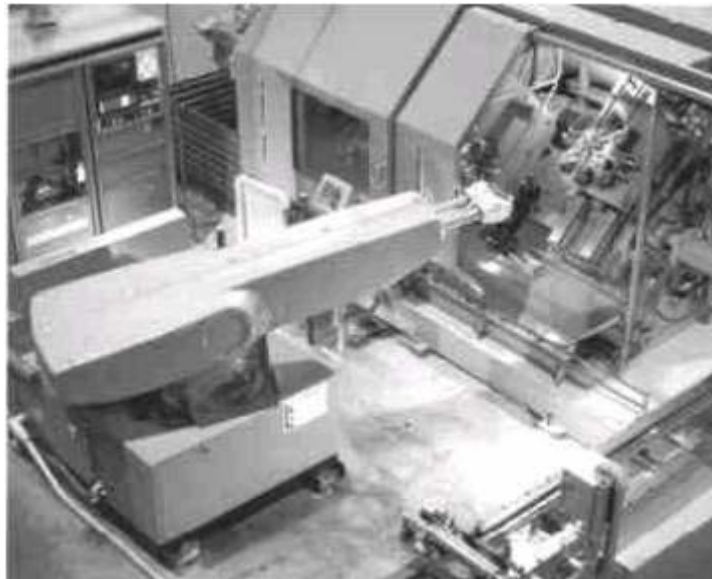


Figura 7. Primer robot industrial (1960)

Otras grandes empresas, como la AMF (*American Machine y Foundry Company*), emprendieron la construcción de máquinas similares (Versatran, 1963), que más tarde se comenzaron a denominar robots por motivos comerciales, a pesar de no contar con la apariencia humana de aquellos.

En 1968, J.F. Engelberger visitó Japón y poco más tarde se firmaron acuerdos con Kawasaki para la construcción de robots tipo Unimate. El crecimiento de la robótica en Japón aventajó en breve a los Estados Unidos gracias a Nissan, que formó la primera asociación robótica del mundo, la *Asociación de Robótica industrial de Japón (JIRA)* en 1972. Dos años más tarde se formó el *Instituto de Robótica de América (RIA)*, que en 1984 cambió su nombre por el de *Asociación de Industrias Robóticas*, manteniendo las mismas siglas. Por su parte, Europa tuvo un despertar más tardío y hasta 1973, no se construyó el primer robot con accionamiento totalmente eléctrico, a cargo de la firma sueca ASEA. En 1980 se fundó la *Federación Internacional de Robótica*.



Figura 8. Primer robot de accionamiento eléctrico: ASEA IRb6

La evolución de los robots industriales ha sido vertiginosa. En poco más de 30 años, las investigaciones y desarrollos sobre robótica industrial han permitido que los robots tomen fuerza en casi todas las áreas productivas.

Hay 5 momentos relevantes en el desarrollo de la robótica industrial:

1. 1950, desarrollo del primer manipulador.
2. 1958, con la fundación de *Unimation*, se realizan los primeros proyectos de robots.
3. 1970, los laboratorios de la universidad de Stanford y del MIT se proponen controlar un robot mediante un computador.
4. 1975, la aplicación del microprocesador transforma la imagen y las características del robot, hasta entonces grande y tosco.
5. 1980, el fuerte impulso de la investigación potencia la configuración del robot inteligente.

Aunque siguen siendo los robots industriales los más utilizados en la industria para el montaje, soldadura, etc., existen otro tipo de aplicaciones que han hecho evolucionar en gran medida tanto la concepción de los robots como su morfología, acercándolos cada vez más a la idea que en su momento presentó K. Kapek.

2.4 Generaciones

La introducción de los microprocesadores en los años 70 ha hecho posible que la tecnología de los robots haya sufrido grandes avances. La fusión de la electrónica y la mecánica ha hecho posible el robot actual, hasta tal punto que los japoneses han acuñado el término *mecatrónica* para describirla.

El año 1980 fue llamado *primer año de la era robótica* porque la producción de robots industriales aumentó ese año un 80 % respecto al año anterior.

2.4.1 Primera y segunda generación

La primera generación de robots era reprogramable, de tipo brazo y sólo podían memorizar movimientos repetitivos, asistidos por sensores internos que les ayudaban a realizar sus movimientos con precisión.

La segunda generación coincide con finales de los 70 y ya poseen sensores externos que proporcionan al robot información del exterior. Pueden tomar limitadas decisiones, reaccionar ante el entorno de trabajo y se les conoce como robots adaptativos.

2.4.2 Tercera generación

La tercera generación emplea la inteligencia artificial, hace uso de microprocesadores avanzados y es capaz de realizar razonamientos lógicos e incluso aprender.

2.4.3 Tendencias futuras

Durante muchos años, los robots han sido considerados útiles sólo si se empleaban como manipuladores industriales, mientras que en la actualidad los roles de éstos han dado un giro tremendo. Estos nuevos robots móviles pueden realizar tareas en entornos diferentes y se les conoce como *robots de servicio*.

Proporcionan muchas funciones de utilidad y se emplean para el ocio, educación, medicina, etc. La creciente utilización de los robots muestra el papel tan importante que pueden desempeñar en el futuro.

3 Definición y clasificación de los robots

3.1 Definición

Existen diferentes definiciones de lo que es un robot. Se incluyen a continuación las más representativas.

La definición que proporciona el *Robot Institute of America (RIA)* es: *A robot is a reprogrammable, multifunctional manipulator designed to move materials, parts, tools, or specialized devices through various programmed motions for the performance of a variety of tasks.*

La *European Commission* lo define como: *A robot is an independently acting and self controlling machine, equipped with specific tools to handle or machine and whose movements are programmable with respect to orientation, position and sequence.*

Por su parte, la *Japanese Industrial Robot Association (JIRA)* define el robot dividiéndolo en 6 clases, desde el robot más básico hasta el robot inteligente.

- **Class 1 Manual handling device:** A device with several degrees of freedom actuated by an operator;
- **Class 2 Fixed sequence robot:** A handling device which performs the successive stages of a task according to a predetermined, unchanging method, which is usually difficult to modify;

- **Class 3** *Variable sequence robot*: The same type of handling device as in class 2, but the stages can be modified easily;
- **Class 4** *Playback robot*: The human operator performs the task manually by leading controlling the robot, which records the trajectories. This information is recalled when necessary, and the robot can perform the task in the automatic mode;
- **Class 5** *Numerical control robot*: The human operator supplies the robot with a movement program rather than teaching it the task manually;
- **Class 6** *Intelligent robot*: A robot with the means to understand its environment, and the ability to complete successfully a task despite changes in the surrounding conditions under which it is to be performed.

Por último, la *International Federation of Robotics (IFR)*, lo define como: *A robot which operates semi or fully autonomously to perform services useful to the well being of humans and equipment, excluding manufacturing operations.*

A excepción de la última definición, todas las anteriores se refieren principalmente a robots industriales o manipuladores, pero en ningún caso hacen referencia a robots de servicio como son los humanoides o robots espaciales.

3.2 Clasificación

Resulta tremendamente difícil realizar una clasificación de los tipos de robots existentes debido a la multitud de parámetros sobre los que se puede realizar. De manera general, y basándose en su morfología, los robots se suelen dividir en los siguientes tipos:

Robot industrial o manipulador

Son artillugios mecánicos y electrónicos destinados a realizar de forma automática determinados procesos de fabricación o manipulación. Se utilizan principalmente en la fabricación industrial.

Los robots industriales son, con diferencia, el tipo de robot más utilizado, siendo Estados Unidos y Japón los líderes tanto en su fabricación como en su consumo.



Figura 9. Manipulador o robot industrial

Robots móviles

Los robots móviles están provistos de algún tipo de mecanismo que les permite desplazarse de lugar autónomamente, como pueden ser patas, ruedas u orugas y reciben la información del entorno con sus propios sistemas sensores.

Son empleados en plantas industriales para el transporte de mercancías y para la exploración de lugares de difícil acceso o muy distantes, como es el caso de la exploración espacial y de las investigaciones o rescates submarinos.

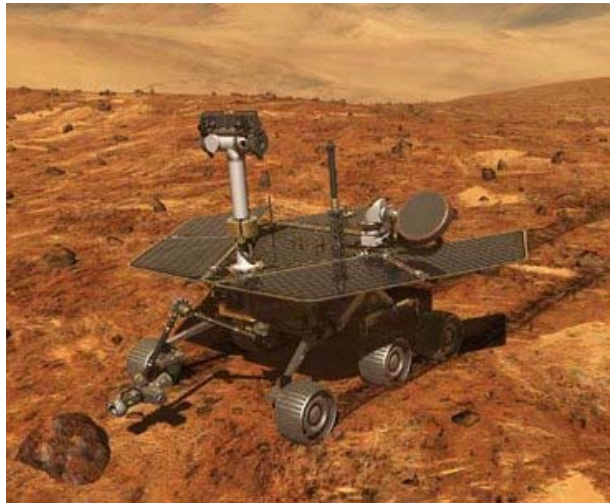


Figura 10. Robot Spirit, de exploración por Marte

Androides o humanoides

Intentan reproducir total o parcialmente la forma y el comportamiento del ser humano. Actualmente, los androides están bastante evolucionados, sobre todo en Japón, pero aún no tienen una utilidad práctica por sus propias limitaciones y por su precio de fabricación. Básicamente están destinados a la investigación y a tareas de marketing de las propias empresas desarrolladoras.



Figura 11. Robot ASIMO, uno de los robots humanoides más avanzados

Zoomórficos

Los robots zoomórficos reproducen con mayor o menor grado de realismo, los sistemas de locomoción de diversos seres vivos.

A pesar de la disparidad morfológica de sus posibles sistemas de locomoción, se pueden diferenciar dos grandes grupos: caminadores y no caminadores. En el primero de los grupos, los robots son muy numerosos y variados y su futuro incluye el desarrollo de auténticos vehículos de transporte capaces de desplazarse por superficies muy accidentadas. En relación a los no caminadores, la investigación no está tan avanzada e incluye morfologías de tipo serpiente.



Figura 12. Robot AIBO, la mascota inteligente

Teniendo en cuenta otros criterios de clasificación, como por ejemplo la aplicación de éstos, se podría hablar de robots quirúrgicos, capaces de operar con mayor precisión que un cirujano; o robots de servicio como, por ejemplo, robots limpiadores.

4 Robots manipuladores

Los robots manipuladores o robots industriales (conocidos así porque inicialmente fueron usados masivamente en la industria) fueron los encargados de inaugurar la era de los robots en los años 60, con la herencia adquirida de los primeros teleoperadores. Por ello, es el área de la robótica donde la investigación está más avanzada.

Es difícil encontrar investigaciones que trabajen en los aspectos básicos de los robots manipuladores tradicionales y, las pocas que hay, están centradas en la inclusión de modernos sensores o actuadores. Un ejemplo de esto es la adición de cámaras para reconocimiento avanzado de imágenes que mejoren la efectividad de dichos robots.



Figura 13. Robot manipulador o industrial

El área más interesante, y donde sí que se investiga de manera importante es en la búsqueda de novedosas aplicaciones para los robots manipuladores, como es el caso de los robots quirúrgicos, los cuales están teniendo un gran auge en estos momentos. En este caso, la investigación no está centrada en el robot sino en adaptar éste a las necesidades propias de la aplicación.

4.1 Estructura mecánica

Se conoce también al robot industrial como *brazo robótico* y esto se debe a que guarda cierta similitud con la anatomía del brazo humano. También por ello, para hacer referencia a los distintos elementos que componen el robot, se utilizan términos como cuerpo, brazo, codo o muñeca.

Formalmente, se denomina *base* al punto de apoyo del robot, generalmente sujeto de forma fija al suelo. Los elementos o *eslabones* van unidos por medio de diferentes *articulaciones*, que permiten un movimiento relativo entre cada dos eslabones consecutivos. En la parte final, se sitúa el *elemento terminal* o *efector final*, que son los encargados de interaccionar directamente con el entorno del robot.

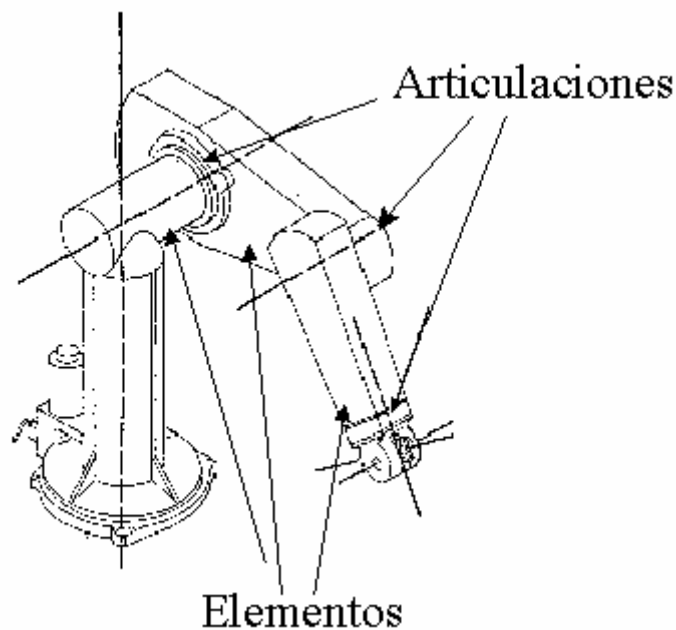


Figura 14. Estructura de un brazo robótico

El movimiento de cada articulación puede ser de desplazamiento, de giro o de una combinación de ambos. De este modo son posibles los 5 tipos diferentes de articulaciones, con sus diferentes grados de libertad, que se muestran a continuación:

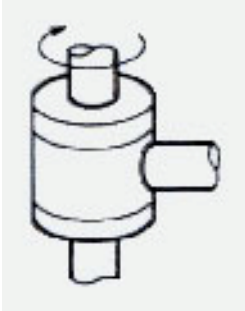
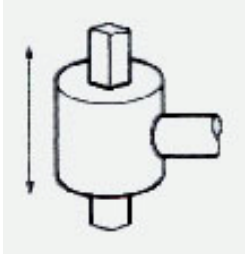
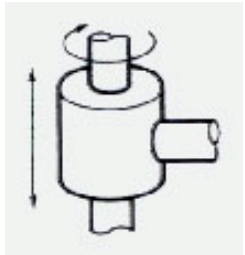
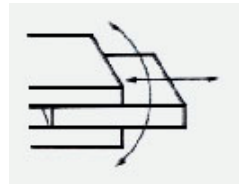
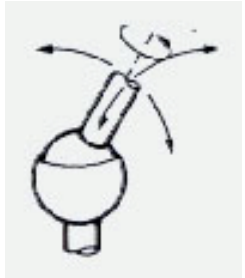
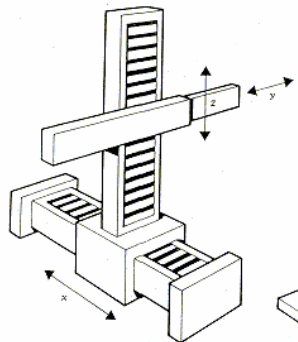
Esquema	Articulación	Grados de Libertad
	Rotación	1
	Prismática	1
	Cilíndrica	2
	Planar	2
	Esférica	3

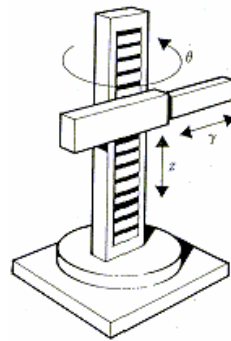
Tabla 1. Tipos de articulaciones

Los grados de libertad son el número de movimientos independientes que puede realizar cada articulación con respecto a la anterior. El número de grados de libertad de un robot viene dado por la suma de los grados de libertad de cada una de sus articulaciones.

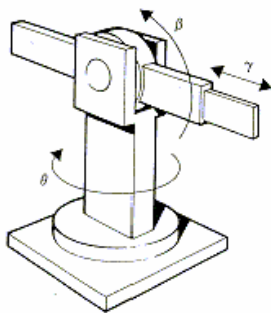
El empleo de diferentes combinaciones de articulaciones en un robot, da lugar a diferentes configuraciones con características a tener en cuenta tanto en el diseño y construcción del robot como en su aplicación.



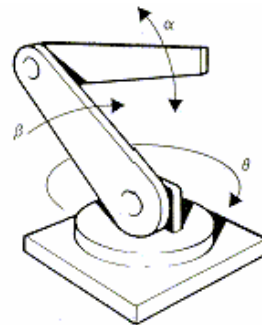
Robot cartesiano



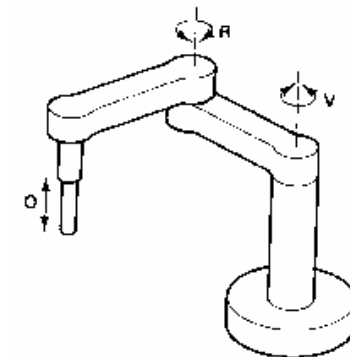
Robot cilíndrico



Robot esférico o polar



Robot angular o antropomórfico



Robot de tipo SCARA

Figura 15. Tipos de configuraciones más frecuentes

4.2 Aplicaciones

Los robots manipuladores tienen su principal foco de trabajo en la industria, automatizando los procesos de producción o almacenaje. Generalmente no trabajan de forma independiente sino en conjunto con otras máquinas-herramientas formando células de trabajo. Se enumeran a continuación algunos ejemplos:

- Operaciones de procesamiento, como soldadura, pintura, etc. Este tipo de robots son muy comunes en la industria de la automoción.

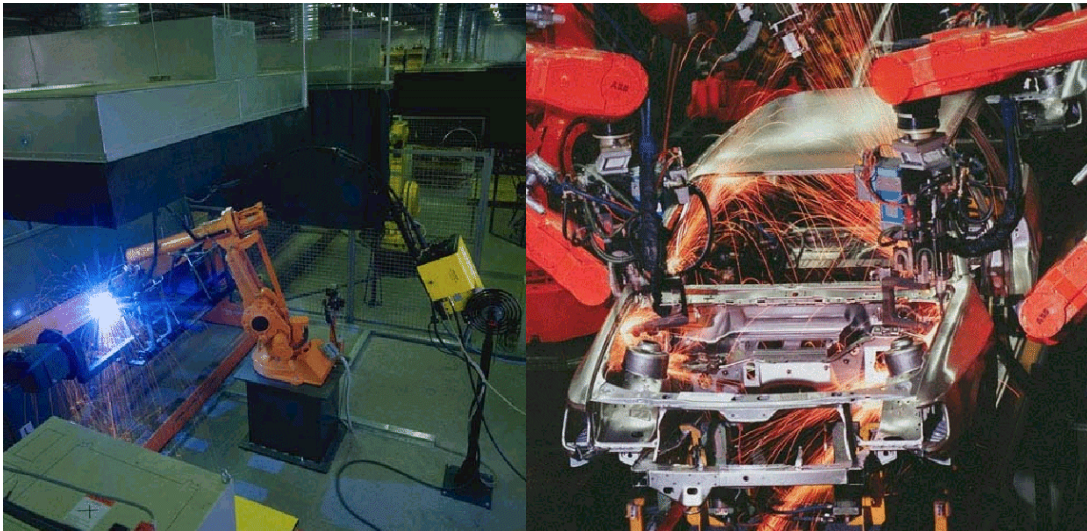


Figura 16. Robots para soldadura

- Operaciones de ensamblaje, donde el trabajo repetitivo facilita el uso de este tipo de robots.

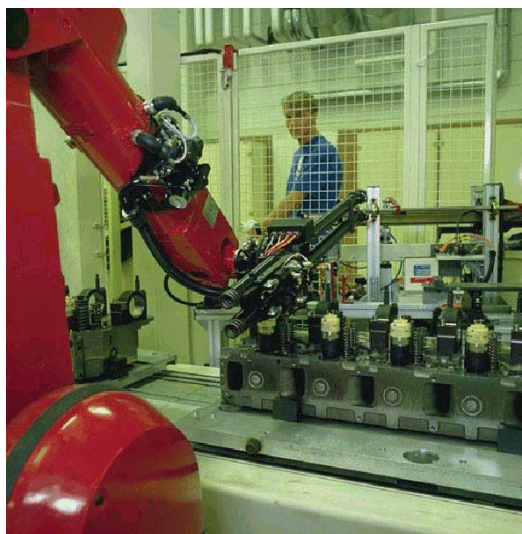


Figura 17. Robot de ensamblaje

- Operaciones de empaque (en tarimas o pallets), agilizando el proceso y manejando grandes pesos.

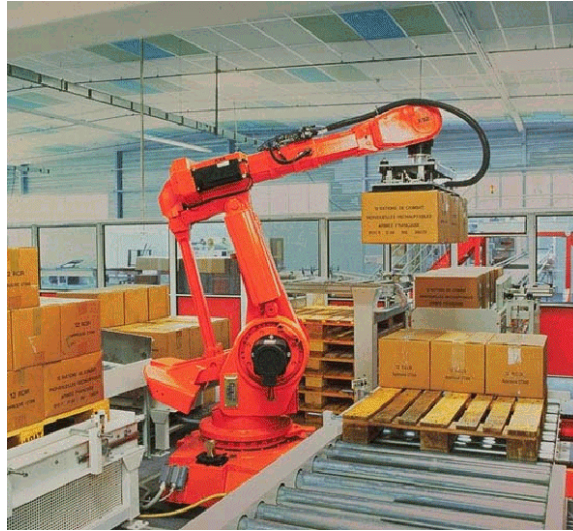


Figura 18. Robot para empaque

- Otro tipo de operaciones como pueden ser remachados, estampados, corte por chorro de agua, sistemas de medición, etc.



Figura 19. Otro tipo de robot industrial

4.3 Nuevas estructuras de robots manipuladores

El robot manipulador tradicional que se ha presentado anteriormente es el más usado, pero desde hace tiempo se investiga mucho en novedosas estructuras para este tipo de robots:

- Robots manipuladores redundantes: Básicamente se componen de un gran número de eslabones, los cuales además tienen la cualidad de ser iguales y repetitivos. Se denominan también robots de tipo serpiente. Estos robots tienen la capacidad de introducirse por espacios poco estructurados debido a su flexibilidad.



Figura 20. Robot manipulador de tipo serpiente

- Robots manipuladores antropomorfos (generalmente imitando la forma de la mano humana): Su aplicación se aleja de la industria tradicional y se acerca más a la creación de prótesis para la investigación médica.



Figura 21. Mano robotizada

5 Robots móviles

Estos robots se pueden mover por tierra, aire, bajo el agua o incluso en el espacio exterior, y se mueven por si mismos, utilizando su propia energía. Gracias a sus sensores y su programación, son capaces de guiarse por el entorno autónomamente, pero sin embargo, no es de extrañar que su funcionamiento esté monitorizado por seres humanos o incluso teledirigido. En este último caso, el robot mantiene una comunicación constante con el operador, ya sea por cable o inalámbricamente. Su morfología es variable dependiendo del entorno y de la tarea a realizar.

5.1 Aplicaciones

La capacidad de que una máquina se pueda mover de forma autónoma, es una capacidad que abre enormemente el rango de aplicaciones de la robótica.

Los robots móviles son importantes por su capacidad de desplazarse donde las personas no pueden, o donde las condiciones son inadecuadas. Por ejemplo, para realizar investigaciones en la superficie de Marte, un robot espacial puede viajar durante más de un año y sobrevivir en unas condiciones donde no existe aire ni agua, algo imprescindible para la supervivencia de los seres humanos.

La *Nacional Aeronautics and Space Administration (NASA)* utiliza de forma asidua estos robots, como por ejemplo los robots *Spirit* y *Opportunity*. Fueron lanzados a mediados de 2003 y llegaron a Marte en enero de 2004 en diferentes posiciones del planeta. Están provistos de avanzados sistemas para análisis geológicos y atmosféricos, entre otros.



Figura 22. Robot Spirit (NASA)

Este tipo de robots son un claro ejemplo de robots supervisados desde la tierra y capaces de operar autónomamente para realizar las tareas diseñadas por los científicos.

Otro ejemplo de un entorno hostil donde los vehículos robóticos son fundamentales para la investigación son los océanos. Los seres humanos pueden descender unos 100 metros más o menos, pero la presión o la falta de luz hace que no se pueda acceder a las grandes profundidades. Por ello, los oceanógrafos están desarrollando avanzadas tecnologías para monitorizar los océanos, desde pequeños organismos biológicos hasta el estudio de las corrientes submarinas.

El instituto francés Ifremer [3] ha desarrollado diferentes dispositivos para la realización de tareas submarinas, como por ejemplo el robot *SAR (Système Acoustique Remorqué - Towed Acoustic System)*. Contiene un conjunto de sensores geofísicos de alta resolución para el estudio de la estructura de los fondos marinos, y es capaz de sumergirse a 6.000 metros de profundidad.



Figura 23. Submarino RAS, de la compañía Ifremer

Entre estos dos ejemplos de aplicaciones de los robots móviles, existen multitud de aplicaciones donde la presencia humana es arriesgada. Por ejemplo, zonas con contaminación nuclear o biológica se pueden explorar por medio de robots y recoger información que determine el tipo y la extensión de la contaminación. Las aplicaciones militares están introduciendo sistemas autónomos u operados remotamente para la exploración por aire, tierra o agua, minimizando el riesgo de las tropas.

Una segunda clase de aplicaciones de los vehículos robóticos, son la realización de tareas rutinarias en entornos, donde la eficiencia y la movilidad de estas máquinas reemplazan directamente la presencia humana. Por ejemplo, la agricultura a gran escala requiere de máquinas que puedan trabajar de forma autónoma.



Figura 24. Robot móvil para escardar

En un gran número de fábricas, la movilidad es esencial para el transporte de materiales durante el proceso de fabricación y los robots móviles son utilizados con gran eficiencia en estos dominios.

Una tercera clase de aplicaciones de los vehículos robóticos se centra en la asistencia personal, rehabilitación y entretenimiento. Una silla de ruedas robótica provee movilidad a las personas, y gracias a sus sensores, su inteligencia computacional y su fuente de alimentación, proporciona unas capacidades adicionales a estos dispositivos.



Figura 25. Silla de ruedas avanzada: IBOT

5.2 Tecnologías utilizadas en los sistemas motrices

Los vehículos robóticos se mueven por tierra, aire o agua. Dependiendo del medio, se pueden proponer diferentes soluciones tecnológicas:

- Estrategias *wheels and props*: Se basan en la evolución de las tecnologías que el ser humano ha ido desarrollando a través de siglos para el transporte. Los robots terrestres utilizan ruedas o cadenas, como los automóviles, los robots aéreos hélices y propulsores, al igual que los robots acuáticos.

- Estrategias *running and flapping* [4]: Inicialmente los robots nacieron como una imitación del ser humano, por lo que hay una creciente tendencia a desarrollar robots que se inspiren en sistemas biológicos para el desarrollo de nuevas soluciones tecnológicas. A este nuevo conjunto de tecnologías se las conoce como *biomimetics*, y se trabaja en la investigación y el desarrollo de sistemas de locomoción basados en *patas* o *piernas*, desde bípedos a ciempiés. De igual forma, se están desarrollando robots que imitan el movimiento ondulado de las serpientes para desplazarse, pájaros e insectos que mueven sus alas o peces que nadan con movimientos ondulados.




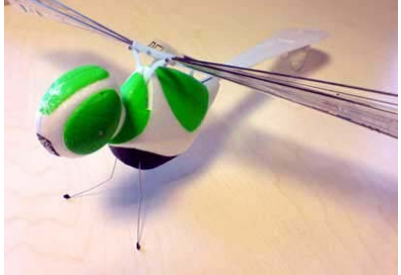

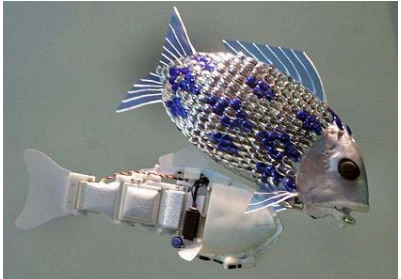
	Diseño de ingeniería	Diseño <i>biomimético</i>
Tierra		
Aire		
Agua		

Tabla 2. Comparativa de modelos de locomoción

5.3 Áreas de investigaciones

El desarrollo de la microelectrónica y los sistemas embebidos ha hecho posible el diseño de sistemas que combinan la movilidad y la autonomía, dos de los puntos de interés más relevantes de la investigación robótica.

Se podría hablar de 4 áreas dominantes en la investigación de los robots móviles:

5.3.1 Mecanismos de movilidad

Como ya se ha descrito, existen dos tendencias para el diseño de robots móviles, los diseños de ingeniería y los diseños *biomiméticos*. Actualmente, ambas estrategias son la base de una importante área de investigación.

Los estudios sobre la cinemática y dinámica del movimiento en cualquier contexto (tierra, aire o agua), continúan siendo fundamentales en el desarrollo de los modernos sistemas. Éstos pueden aprovechar al máximo las fuerzas con las que interactúan para reducir el gasto energético.

Las propiedades de los materiales y el diseño, son también un punto de interés principal en los nuevos mecanismos. El uso de materiales ligeros y a su vez de una gran resistencia e incluso deformables dinámicamente, es un área muy importante de investigación.

5.3.2 Aprovechamiento de la energía

Un mayor tiempo de autonomía de los vehículos implica una eficiencia energética del movimiento mayor. Este aspecto adquiere una gran importancia cuando el lugar de trabajo del robot es de difícil acceso, como por ejemplo, en el espacio o bajo el agua.

Por un lado se encuentran las investigaciones centradas en el desarrollo de novedosas tecnología para baterías. Un segundo punto de interés es, como se ha comentado anteriormente, la eficiencia del movimiento, de forma que se limite el uso de energía lo máximo posible. Por último, diseñar robots capaces de autoabastecerse de energía, ya sea energía solar o aprovechando las corrientes submarinas de los grandes océanos.

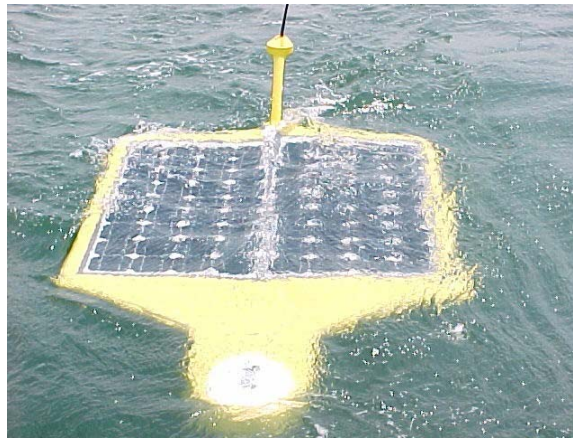


Figura 26. Autonomous Underwater Vehicles (AUVs)

5.3.3 Computación y control

La introducción de la microinformática ha posibilitado el uso de los sistemas embebidos más pequeños, ligeros y eficientes que los anteriores sistemas de control. Estos nuevos sistemas embebidos, han permitido a los robots ser capaces de contener una arquitectura avanzada de programación, basada en la captación de información por medio de sensores y en una toma de decisiones inteligente “a bordo”.

5.3.4 Sensores y navegación

Los sensores tienen 2 propósitos principales en los vehículos robóticos:

1. Los sensores monitorizan el entorno y son usados para el control de tareas interactivas. Por ejemplo, un robot submarino puede detectar contaminación biológica en el agua, localizar el lugar y proporcionar análisis que identifiquen la fuente de la contaminación.

2. Los sensores son fundamentales para permitir la navegación autónoma de un robot móvil. Cada vehículo debe ser capaz de saber dónde está localizado y qué estructura tiene el área que lo rodea, para ser capaz de moverse sin peligro.

La navegación y la localización es un aspecto muy importante y en el que se ha investigado mucho en los últimos 10 años. El problema de los sistemas de localización y mapeo simultáneo (*Simultaneous Localization and Mapping*, *SLAM*), es su dificultad para la implantación en aplicaciones reales. Estos sistemas intentan resolver de manera concurrente dos problemas:

- Construir un mapa del entorno, identificando las zonas libres y las ocupadas.
- Localizarse en el mapa que se está construyendo.

5.4 Ejemplos de robots móviles

5.4.1 Robots agrícolas

Un área muy interesante donde los robots están teniendo una gran aceptación es en el mundo rural. Automatizar muchas de las tareas a realizar en la agricultura es un ahorro enorme en los costes de producción de este tipo de alimentos.

Agricultural and Biogical Engineering

Localizado en la Universidad de Illinois [5], trabaja en el desarrollo de novedosas máquinas para el entorno agrícola.

Por ejemplo, en el siguiente tractor se han incluido todos los dispositivos necesarios para que éste sea capaz de seguir las filas de una plantación de forma automática. De momento, requiere de la ayuda de un operador ya que no incluye la inteligencia necesaria para, por ejemplo, girar el tractor.

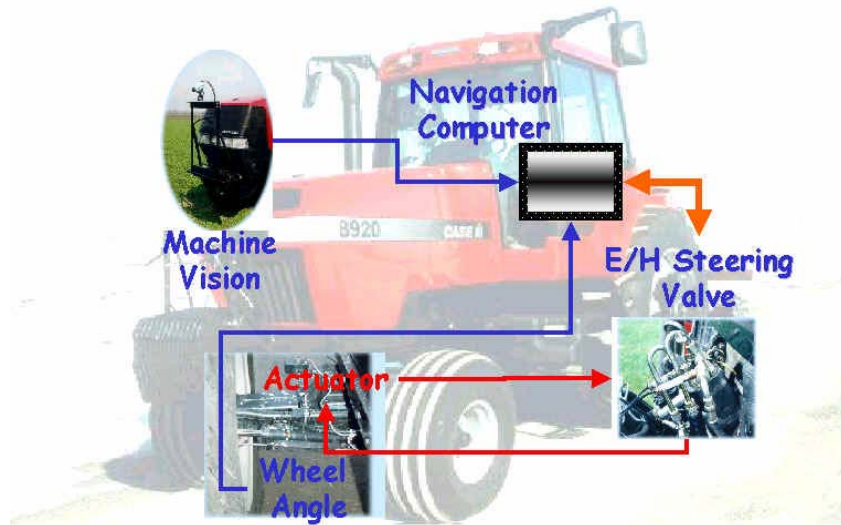


Figura 27. Tractor autónomo para agricultura

Robot SAAPIN

El robot SAAPIN (Sistema Autónomo para Agricultura de Precisión e Integrada) ha sido desarrollado en el Centro de investigación y tecnología agroalimentaria de Aragón [6]. Su objetivo es crear un vehículo agrícola capaz de desplazarse de forma autónoma por un campo, arrastrando un apero que pueda tomar los datos necesarios para realizar un mapa de salinidad. Así mismo, con otros aperos es capaz de distinguir las plantas de maíz de las malas hierbas cercanas y proceder a su escarda mecánica de forma selectiva.

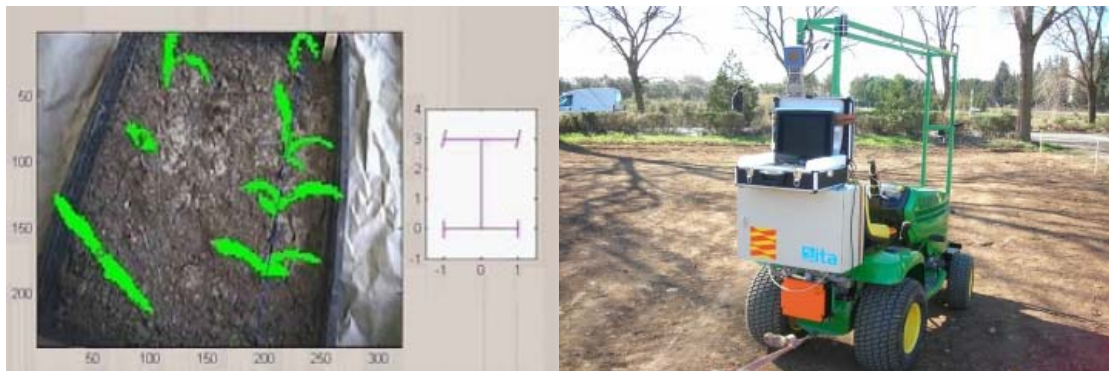


Figura 28. Robot SAAPIN, guiado por un sistema de visión

5.4.2 Coordinación de robots

Existen numerosos trabajos de investigación que trabajan en la coordinación de robots, con resultados bastante interesantes. Basta con ver el gran número de artículos que se pueden encontrar: [7], [8] ó [9].

También se pueden encontrar proyectos que trabajen en esta área.

CROMAT

El objetivo del Proyecto CROMAT [10] es generar nuevos métodos y técnicas que permitan la actuación coordinada de robots móviles aéreos y terrestres. Se pretende con ello desarrollar tecnologías de relevancia para aplicaciones tales como inspección de instalaciones, infraestructuras (puentes, presas) y grandes edificaciones; la detección y monitorización de catástrofes (incendios, inundaciones, erupciones de volcanes, terremotos), exploración; vigilancia, seguridad ciudadana; detección y desactivación de minas antipersona y otras.



Figura 29. Robots autónomos del proyecto CROMAT

5.4.3 Otros

Una línea de investigación en robots móviles es la navegación basada en percepción. La creación de sillas de ruedas que eviten los obstáculos de forma autónoma puede ser una aplicación muy importante y útil. Personas con dificultades para dirigir la silla por medio de un joystick, por temblores u otras limitaciones, se pueden beneficiar de esta aplicación.



Figura 30. Silla de ruedas autónoma desarrollada por Simuzhu Cooperation

6 Robots espaciales

Los robots espaciales son un tipo concreto de robot diseñado para sobrevivir en las difíciles condiciones del espacio exterior y realizar tareas de exploración, ensamblaje, mantenimiento u otro tipo de tareas.

Este tipo de robots no difieren mucho de los robots terrestres en cuanto a su apariencia, pero sí en lo que respecta a sus características. Las condiciones extremas y los requerimientos que impone el espacio exterior hacen que el diseño de este tipo de robots deba cumplir ciertas restricciones:

- El robot debe ser capaz de soportar las aceleraciones producidas en su lanzamiento desde la Tierra.
- Los aterrizajes en otros planetas no suelen ser realizados con mucha delicadeza, y puede provocar la rotura del robot si éste no es suficientemente robusto.
- Las características de la atmósfera (presión, temperatura, etc.) deben ser tenidas en cuenta.
- La ingravidez es un aspecto muy importante, debido a que las pruebas realizadas en la Tierra pueden ser inválidas.

Además de estos aspectos, también se deben tener otras consideraciones relativas a las características de las tareas que deberá realizar:

- El robot debe tener un alto grado de autonomía, ya no sólo en cuanto a su fuente de energía, sino también a ser automantenible; debido a que ningún ser humano interactuará directamente con él.
- La redundancia es un aspecto muy importante en caso de fallos o roturas.
- Suelen ser robots de altísima complejidad debido a que suelen integrar varios subsistemas de diferentes fabricantes.
- Las comunicaciones están limitadas a determinadas ventanas temporales, y además existen grandes retardos en la comunicación con la Tierra.

6.1 Ejemplos de robots espaciales

Las investigaciones realizadas con este tipo de robots suelen ser de alto secreto, por lo que es muy difícil acceder a las más novedosas tecnologías utilizadas por las diferentes agencias espaciales.

Por ello, a continuación solo se muestran un par de ejemplos de lo que podemos encontrar.

6.1.1 Brazo robótico

La agencia espacial europea *ESA* [11], está desarrollando un brazo robótico denominado *ERA (European Robotic Arm)*, el cual está previsto enviar a la estación espacial internacional en 2009. Mide 11,3m. de largo, pesa 630Kg. y es capaz de mover hasta 8000Kg. Se utilizará para instalar y sustituir placas solares; revisar y ensamblar módulos y para trasladar a los astronautas que realizan paseos espaciales.

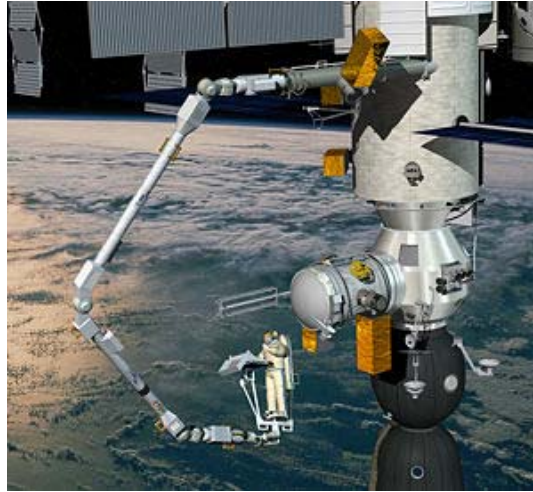


Figura 31. Simulación del brazo robótico ERA

6.1.2 Robot explorador

Los robots *Spirit* y *Opportunity* fueron enviados a Marte a finales de 2003 y primeros de 2004, respectivamente. Fueron construidos en el *Jet Propulsion Laboratory* de la NASA entre 2002 y 2003. Tras su aterrizaje, cada uno de ellos en lados opuestos del planeta, han desempeñado diferentes tareas de investigación, entre las que destacan el hallazgo de evidencias de que hubo agua en estado líquido sobre la superficie de Marte hace millones de años.

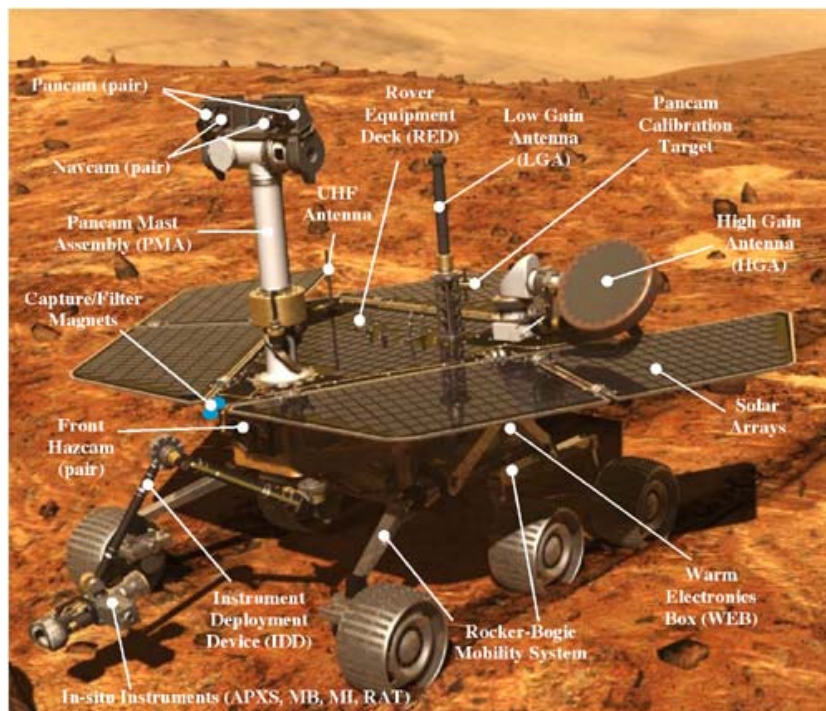


Figura 32. Robots *Spirit* y *Opportunity*, de la NASA

La misión inicial de estos robots se limitaba a los 90 días después del aterrizaje. Con el éxito obtenido en las investigaciones realizadas y el buen estado en el que se encontraban los robots, la misión fue ampliada. Después de 3 años, los robots siguen trabajando en el planeta rojo, no sin dificultades y diferentes problemas, solventados todos ellos de forma satisfactoria.

Por ejemplo, en junio de 2005, el robot *Opportunity* quedó atrapado en una duna de arena de la que salió de forma airosa. Para conseguirlo, el equipo de la Tierra recreó el escenario en el que se encontraba el robot y simuló con un robot gemelo del *Opportunity*, la forma de salir para después enviar los comandos precisos al robot atrapado en Marte.

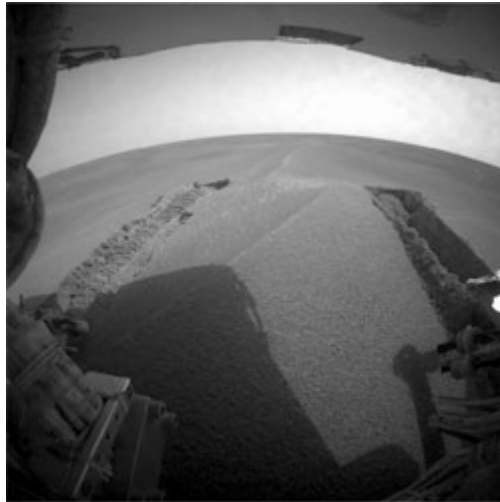


Figura 33. Robot *Opportunity* saliendo de la duna

Uno de los principales proyectos de la NASA en relación a los robots exploradores, es que éstos sean capaces de tomar decisiones inteligentes gracias a la inteligencia artificial. Hasta ahora, los robots pueden tomar pequeñas decisiones, pero cuando el problema es mayor, deben enviar toda la información a la Tierra. Allí, se pondera toda la información y se toma una decisión que es transmitida al robot espacial. Este proceso requiere de un tiempo muy largo (puede que días), mientras que si el robot está equipado con inteligencia artificial, podría hacer una evaluación directa y cumplir su misión más rápidamente.

7 Robots aéreos

La robótica aérea es un campo relativamente nuevo con grandes posibilidades para la investigación y el desarrollo de este tipo de robots. Se han conseguido grandes avances en sus sistemas motrices, pero sus capacidades de procesamiento de información y su aplicabilidad a tareas reales sigue siendo limitada en la mayoría de los casos. El problema principal radica en la realización autónoma de las maniobras adecuadas y la reactividad necesaria para adaptarse a los cambios del entorno.

En este tipo de robots, hay un factor fundamental a tener en cuenta que es la gravedad. En los robots terrestres, este factor no es importante al ir apoyados sobre el suelo, pero en este caso, combatir la gravedad es el principal de los objetivos.

Por ello, aspectos como la fiabilidad adquieren un grado de importancia mayor, debido a que un fallo puede provocar que el robot caiga y se destruya al golpearse con el suelo.

7.1 Sistemas de desplazamiento

Al igual que en el resto de las áreas de la robótica, se pueden encontrar sistemas de desplazamiento desarrollados desde la ingeniería o por métodos biomiméticos:

- Hélices o turbinas: A modo de los tradicionales aviones o helicópteros, las configuraciones pueden ser varias, pero el principio en el que se basan todas es el desplazamiento del aire.



Figura 34. Robot de tipo helicóptero

- Alas: Imitando a los animales con capacidad de volar, especialmente a los insectos, se desarrollan novedosos robots capaces de volar.

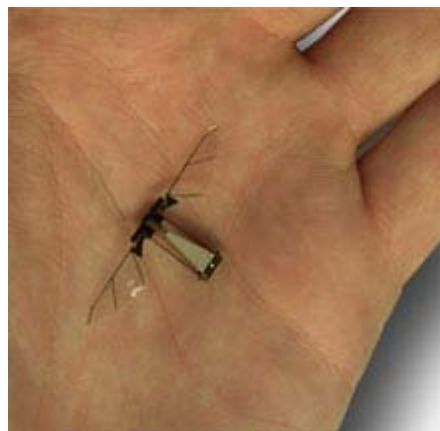


Figura 35. Insecto robótico capaz de volar

7.2 Ejemplos de robots aéreos

Al ser un tema relativamente nuevo en el área de la robótica, los mayores esfuerzos de investigación se están realizando aún en el diseño y mejora de los sistemas de propulsión.

En la mayoría de los casos, estos robots son teledirigidos por un operador situado en tierra, aunque en los últimos años ya se trabaja en hacer que estos robots sean autónomos.

7.2.1 Prototipos de robots voladores

Proyecto MFI (Micromechanical Flying Insect)

En la universidad de Berkeley, en colaboración con el *Center for Information Technology Research in the Interest of Society (CITRIS)*, se ha llevado a cabo un proyecto [12] cuyo objetivo es crear un pequeño robot de 25 mm. de longitud, capaz de mantenerse en el aire de forma autónoma, basándose en principios biomiméticos.

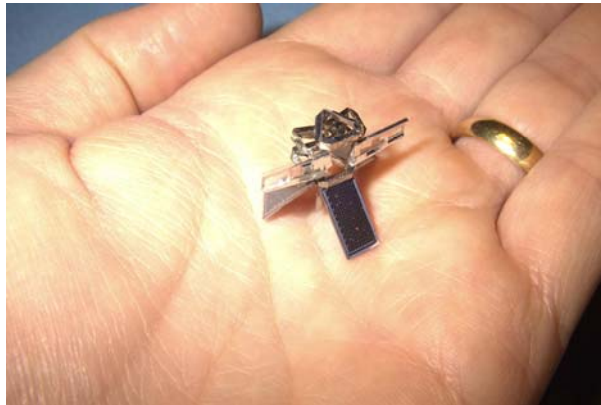


Figura 36. Robot del proyecto MFI

Durante los primeros 3 años del proyecto, los esfuerzos se centraron en comprender la aerodinámica de los sistemas de vuelo hasta conseguir el primer prototipo, y a partir de ahí, se trabaja en la miniaturización y en añadir nuevos sensores o dispositivos.

DragonFly

La compañía Wow Wee [13] ha puesto a la venta recientemente el primer robot teledirigido que vuela al estilo de los insectos. Al ser un producto comercial, no existe mucha información técnica del mismo y únicamente se pueden ver datos como la autonomía del robot (unos 15 minutos) o el alcance de la comunicación con el operador (45 metros).



Figura 37. DragonFly de Wow Wee

En *YouTube* se puede ver algún vídeo de su funcionamiento:

<http://www.youtube.com/watch?v=pz0XNGJ-ep8>

7.2.2 Colonias de robots voladores

Defense Science and Technologie Organization, DSTO

Como parte del Departamento de Defensa del gobierno de Australia [14], este grupo ha trabajado en el desarrollo de pequeños robots voladores capaces de realizar una misión de reconocimiento de forma autónoma y coordinada entre ellos mismos.

Algunos de los resultados obtenidos en el proyecto se pueden ver en los artículos [15, 16].

Aerospacial Controls Laboratory

En el laboratorio de control aeroespacial [17] del MIT hay otro proyecto con un objetivo parecido al anterior. Los robots son autónomos, cooperan e intercambian información entre ellos y son capaces de reorganizarse cuando uno de ellos falla.



Figura 38. Robots voladores

La vigilancia y seguimiento de objetivos puede ser una de las aplicaciones finales de estos robots. En concreto, en *YouTube* se pueden encontrar algunos videos en los que se puede ver su funcionamiento:

<http://www.youtube.com/watch?v=MQZltibpy4Y>

<http://www.youtube.com/watch?v=LYIKVhH0cjE>

8 Robots acuáticos

Los robots acuáticos son un tipo concreto de robots móviles que, en este caso, usan el agua como medio de transporte. Esto requiere algunas consideraciones importantes a tener en cuenta en este tipo de robots.

- Un robot acuático tiene 6 grados de libertad porque se puede mover en 3 dimensiones diferentes, al igual que los robots aéreos.
- La atracción gravitacional es un factor que pierde relevancia debido a la densidad del agua y al flujo de agua desplazado por el cuerpo del robot.
- El ensamblaje del robot debe ser estanco y resistente a la corrosión. Además, dependiendo de la profundidad a la que trabaje el robot, se deberá tener en cuenta la presión que debe ser capaz de soportar.

Estos robots pueden ser totalmente autónomos y no requerir de una comunicación continua con la estación, pero en caso contrario, puede haber problemas derivados de la comunicación. En algunos casos, el robot se comunica de forma alámbrica (lo que proporciona una forma rápida de recuperar el robot en caso de fallo), mientras que en otros, se puede utilizar el sonido por medio de boyas introducidas en el agua, debido a que el sonido se propaga mejor en este medio.

8.1 Sistemas de desplazamiento

En cuanto a los sistemas mecánicos utilizados, existe una gran variedad y como en casos anteriores, se pueden usar tanto sistemas de ingeniería como sistemas biomiméticos.

- Turbinas/paletas de dirección: En este caso, se utiliza una turbina que proporciona la propulsión correspondiente y una paleta de dirección con posibilidad de giro, para permitir la maniobrabilidad del robot. En algunos casos, la paleta no es necesaria si se utiliza una turbina direccional o varias turbinas, en la que se modifican las velocidades del motor.



Figura 39. Robot submarino con turbinas

- Aletas: Imitando el movimiento de algunos animales, se puede utilizar un conjunto de aletas para desplazarse por medios líquidos.

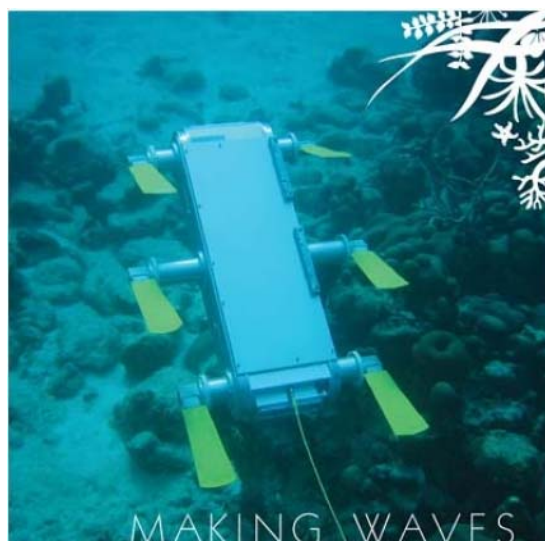


Figura 40. Robot acuático con aletas

- Movimiento ondulante: Similar a serpientes o caracoles pero usados generalmente para el desplazamiento sobre la superficie.



Figura 41. Robot marino con movimiento ondulante

- Caminantes: Tanto con patas como con ruedas pueden desplazarse por el fondo y algunos incluso, caminar sobre la superficie del agua.

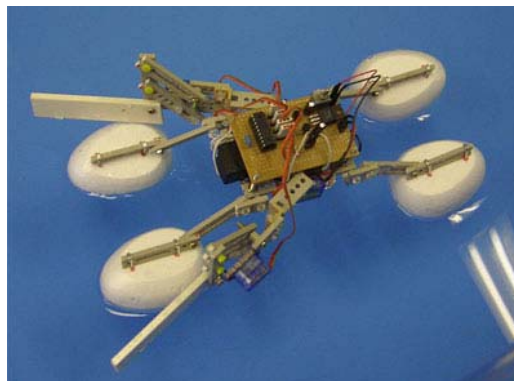


Figura 42. Robot capaz de caminar sobre el agua

8.2 Ejemplos de robots acuáticos

Existen un gran número de líneas de investigación específicas de los robots acuáticos. La mayoría de ellas, se centran en la exploración submarina, pero las hay también dedicadas al estudio de animales marinos, rescates submarinos, etc.

8.2.1 Exploración submarina

Institut Français de Recherche pour L'exploitation de la Mer (Ifremer)

La compañía Ifremer [3] lleva trabajando varios años en robots submarinos para el estudio geográfico de los fondos marinos, así como para el estudio del hábitat marino, y ha desarrollado varios modelos de robots.

Como ejemplo, el robot *SAR (Système Acoustique Remorqué - towed acoustic system)* contiene un conjunto de sensores geofísicos de alta resolución para el estudio de la estructura de los fondos marinos, y es capaz de sumergirse a 6.000 metros de profundidad.



Figura 43. Submarino RAS

Esta compañía también estuvo presente en el desastre del Prestige (19 de noviembre de 2002) realizando tareas de reconocimiento con el vehículo submarino *Nautille*.



Figura 44. Robot Nautille

AUV Lab at MIT Sea Grant

Los laboratorios AUV [18], formando parte del MIT, trabajan en el desarrollo de vehículos submarinos y su aplicación para tareas de oceanografía. Desarrollaron su primer vehículo a primeros de los años 90, llamado *Odyssey I*, y actualmente disponen de más de una decena de vehículos, algunos de ellos en diferentes versiones.

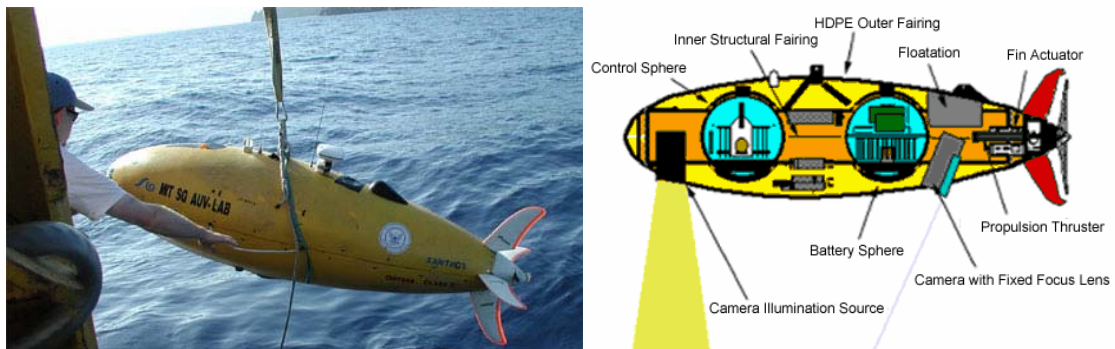


Figura 45. Robot Xanthos, AUV

Proyecto AQUA

El proyecto AQUA [19] es una colaboración entre varias universidades. Su objetivo es el diseño de un robot anfibia totalmente autónomo, que sea capaz de explorar los fondos marinos y recoger información, minimizando el impacto en la vida marina.



Figura 46. Robot AQUA

Contiene un sistema avanzado de visión y sus 6 aletas, controladas independientemente, le proporcionan una gran maniobrabilidad en el agua para poder desplazarse a través de los corales.

8.2.2 Estudios sobre animales marinos

Robot Madeleine

En el laboratorio *Bioengineering and Biorobotics at Vassar College* [20], con la colaboración de Nekton Research, LLC, han desarrollado un robot tetrápodo marino para el estudio de diferentes teorías de locomoción en animales marinos con 4 aletas (pingüinos, tortugas marinas, etc.).

En concreto, los investigadores han descubierto que la velocidad máxima no se consigue con el uso de las 4 aletas, sino utilizando únicamente las 2 aletas traseras, lo que hace que el ahorro de energía también sea mayor. Por el

contrario, para realizar arrancadas y paradas bruscas, el uso de las 4 aletas es más eficiente.



Figura 47. Robot Madeleine

Robot Salamandra

Dentro del *Biologically Inspired Robotics Group (BIRG)* [21] del *School of Computer and Communication Sciences* en el *EPFL* [22], tienen varios ejemplos de robots acuáticos y entre ellos, destaca el proyecto Salamandra.



Figura 48. Robot Salamandra

Además de estudiar aspectos de ingeniería como los mecanismos de coordinación para generar el movimiento de la salamandra, por medio de este proyecto se pretende estudiar los cambios producidos en el sistema nervioso de los animales acuáticos, para que pudieran salir hacia una existencia en tierra firme.

8.2.3 Otros

Otros ejemplos de robots acuáticos, son aquellos que son capaces de andar sobre el agua. Por ejemplo, en el artículo [23] se muestran los principios biológicos de los animales capaces de andar sobre el agua y su aplicación en robótica.

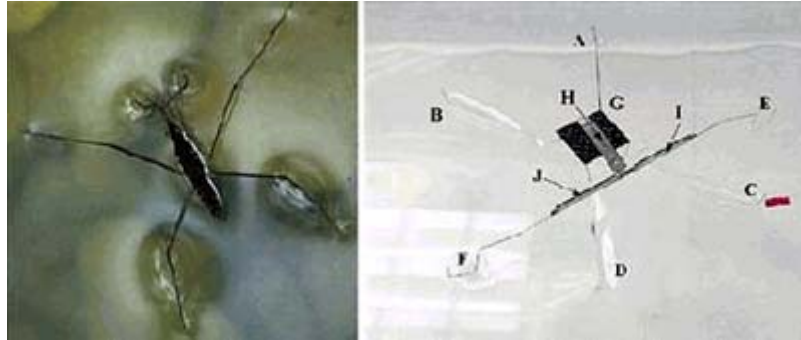


Figura 49. Robot andador sobre el agua

Este tipo de robots, conocidos como robots STRIDE (*Surface Tension Robotic Insect Dynamic Explorer*), son capaces de andar sumergiendo sus patas entre 3 y 4 milímetros y poseen una gran maniobrabilidad. Sus fines son meramente educativos en estos momentos, aunque se podría utilizar para el control medioambiental. Sus principales limitaciones se centran en la imposibilidad de escalar el prototipo, ya que factores externos como la flotación, requieren aguas tranquilas, debido a que el movimiento superficial del agua causado por la lluvia supone una amenaza para el robot.

9 Conclusiones

El trabajo desarrollado pretendía proporcionar una visión general de lo que es la robótica y sus posibles aplicaciones. No se ha profundizado en aspectos como la sensórica o los actuadores, muy importantes en robótica, porque estos van a depender de la naturaleza de la aplicación sobre la que se trabaja.

Tampoco se han vistos todas las posibles aplicaciones de la robótica sino sólo un pequeño conjunto representativo de ellas. Se pueden ver desde sencillos robots capaces de seguir una línea hasta complejos robots utilizados para la exploración de planetas con Marte.

Por ello, el objetivo del trabajo se ha cumplido y ahora es el momento de centrar los esfuerzos en uno o dos de los temas que han surgido durante el desarrollo de esta investigación. Una vez se profundice de forma más efectiva en cada uno de esos temas se podrán ver las posibilidades existentes para la realización de una tesis doctoral en un determinado tema.

10 Referencias

- [1] A. Barrientos, L. F. Peñín, C. Balaguer, and R. Aracil, *Fundamentos de robótica*. Madrid: McGRAW-HILL, 1997.
- [2] K. Kapek, *R.U.R. Rossum's Universal Robot*. Praga: F.R. Borový, 1935.
- [3] <http://www.ifremer.fr>, Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer.
- [4] J. Santos and R. J. Duro, *Evolución artificial y robótica autónoma*: Editorial RAMA, 2004.
- [5] <http://www.age.uiuc.edu/welcome.asp>, Agricultural and Biological Engineering.
- [6] <http://www.cita-aragon.es/>, Centro de investigación y tecnología agroalimentaria de Aragón.
- [7] D. Vail and M. Veloso, "Dynamic Multi-Robot Coordination," 2003.
- [8] G. Raush and R. Suárez, "Coordinación de múltiples robots que ejecutan tareas con incertidumbre temporal," in *6º Congreso de la Asociación Española de Robótica y Automatización Tecnologías de la Producción* Barcelona, 1999.
- [9] G. Franchino, G. Buttazzo, and T. Facchinetti, "A Distributed Architecture for Mobile Robots Coordination," in *10th IEEE Int. Conference on Emerging Technologies and Factory Automation*, 2005.
- [10] <http://grvc.us.es/cromat/>, Proyecto CROMAT.
- [11] http://www.esa.int/esaHS/ESAQEIOVMOC_iss_0.html, European Space Agency.
- [12] <http://robotics.eecs.berkeley.edu/%7Eronf/MFI/index.html>, Micromechanical Flying Insect.
- [13] <http://www.flytechonline.com/>, Wow Wee.
- [14] <http://www.dsto.defence.gov.au/>, Defense Science and Technology Organization.
- [15] P. P. Tim Smith, Mark Burnett, "Deaf, Dumb and Stupid: Harnessing evolution to create successful and adaptive strategies for automated UAVs," *Complex Adaptive Systems for Defence*, July 2004.
- [16] K. B. S. Drake, J. Fazackerley, A. Finn, "Autonomous Control of Multiple UAVs for the Passive Location of Radars," *International Conference on*

- Intelligent Sensors, Sensor networks and Information Processing - (ISSNIP 05)*, December 2005.
- [17] <http://vertol.mit.edu>, Aerospace Controls Laboratory at MIT.
 - [18] <http://auvlab.mit.edu/>, AUV Lab at MIT Sea Grant.
 - [19] <http://www.aquarobot.net>, The AQUA Robot.
 - [20] <http://faculty.vassar.edu/jolong/jolong.html>, Bioengineering and Biorobotics at Vassar College.
 - [21] <http://birg.epfl.ch/>, Biologically Inspired Robotics Group (BIRG).
 - [22] <http://www.epfl.ch/>, Ecole Polytechnique Fédérale de Laussane.
 - [23] S. H. S. a. M. S. Y. S. Song, "Modeling of the Supporting Legs for Designing Biomimetic Water Strider Robot," 2006.