

# 1 Introducción a la Robótica

## 1.1 Qué es un robot

Hay muchas definiciones de robot y no todas ellas son válidas actualmente. Por ejemplo, la Asociación de Industrias de Robótica (RIA) define robot de la siguiente manera: "Un robot es un manipulador multifuncional reprogramable, diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especializados mediante movimientos programados variables para el desempeño de una variedad de tareas."

[<http://www.inc.com/encyclopedia/robotics.html>].

Esta definición se orienta a los brazos articulados industriales y deja fuera los robots móviles, tan extendidos hoy en día.

Existen definiciones que tratan de abarcar todo tipo de robots, mencionando características abstractas. Por ejemplo: "un robot es una máquina orientada a objetivos que puede detectar, planificar y actuar". Es decir, un robot detecta su entorno y utiliza esa información, junto con una meta, para planificar alguna acción.

Nuestra definición (provisional) podría ser: "un robot es una máquina programable con partes mecánicas móviles controladas en lazo cerrado, que obtiene información del contexto mediante sensores y que actúa sobre el contexto mediante actuadores.

En general, los robots que nos interesan pueden ejecutar aplicaciones "inteligentes" (programadas, en capas superiores del software) que les permiten, por ejemplo, tomar decisiones (en función del contexto) o aprender de su "experiencia".



## 1.2 Mini-historia de la robótica

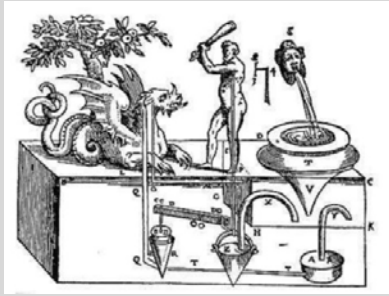
[<https://es.wikipedia.org/wiki/Robótica>]

La historia de la robótica va unida a la construcción de "artefactos" que trataban de materializar el deseo humano de crear seres a su semejanza y que lo descargasen del trabajo. El ingeniero español Leonardo Torres Quevedo (que construyó el primer mando a distancia para automóvil mediante telegrafía sin hilo, el ajedrecista automático, el primer transbordador aéreo y otros muchos ingenios) propuso el término "automática" en relación con la teoría de la automatización de tareas.

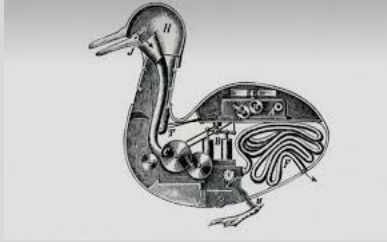
Karel Čapek, un escritor checo, usó por primera vez en 1921 el término "Robot" en su obra dramática Rossum's Universal Robots / R.U.R., a partir de la palabra checa robota, que significa servidumbre o trabajo forzado. Isaac Asimov propuso el término "robótica" para referirse a la ciencia que estudia a los robots.

| Fecha                 | Descripción  | Nombre del robot                 | Inventor  |
|-----------------------|--|----------------------------------|---|
| Siglo I a. C. y antes | Descripciones de más de 100 máquinas y autómatas, incluyendo un artefacto con fuego, un órgano de viento, una máquina operada mediante una moneda, una máquina de vapor, en <i>Pneumatica</i> y <i>Autómata</i> de Herón de Alejandría | <i>Autómata</i>                  | Ctesibio de Alejandria, Filón de Bizancio, Herón de Alexandria, y otros |
| c. 1495               | Diseño de un robot humanoide   | <i>Caballero mecánico</i>        | Leonardo da Vinci   |
| 1738                  | Pato mecánico capaz de comer, agitar sus alas y excretar.  | <i>Digesting Duck</i>            | Jacques de Vaucanson  |
| 1800s                 | Juguetes mecánicos japoneses que sirven té, disparan flechas y pintan.   | <i>Juguetes Karakuri</i>         | Hisashige Tanaka  |
| 1921                  | Aparece el primer autómata de ficción llamado "robot", aparece en <i>R.U.R.</i>  | <i>Rossum's Universal Robots</i> | Karel Čapek   |
| 1930s                 | Se exhibe un robot humanoide en la Exposición Universal entre los años 1939 y 1940   | <i>Elektro</i>                   | Westinghouse Electric Corporation                                       |
| 1948                  | Exhibición de un robot con comportamiento biológico simple   | <i>Elsie y Elmer</i>             | William Grey Walter   |
| 1956                  | Primer robot comercial, de la compañía Unimation fundada por G. Devol y J. Engelberger, basada en una patente de Devol.  | <i>Unimate</i>                   | George Devol  |
| 1961                  | Se instala el primer robot industrial  | <i>Unimate</i>                   | George Devol  |
| 1973                  | Primer robot con seis ejes electromecánicos  | <i>Famulus</i>                   | KUKA Robot Group  |
| 1975                  | Brazo manipulador programable universal, un producto de Unimation  | <i>PUMA</i>                      | Victor Scheinman  |
| 2000                  | Robot Humanoide bípedo   | <i>ASIMO</i>                     | Honda Motor Co. Ltd   |
| 20..                  |  |                                  |   |

<- Robot Robot ->



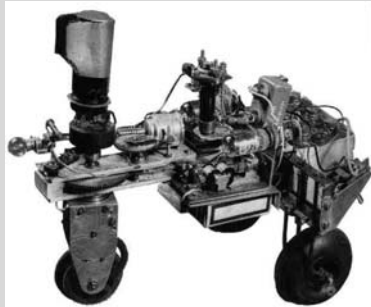
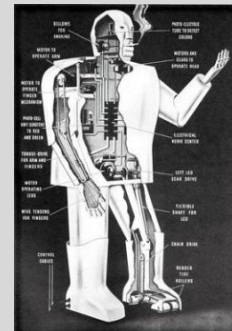
*Autómata  
Caballero mecánico.  
Leonardo da Vinci*



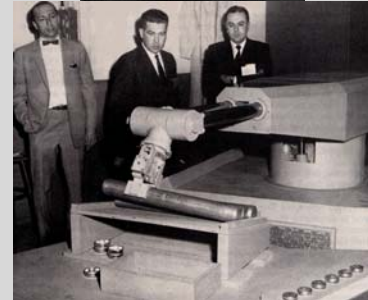
*Digesting Duck.  
Jacques de Vaucanson  
Juguetes Karakuri.  
Hisashige Tanaka*



*Rossum's Universal Robots.  
Karel Čapek  
Elektro.  
Westinghouse Electric Corporation*



*Elsie y Elmer.  
William Grey Walter  
Unimate.  
George Devol*



*Famulus.  
KUKA Robot Group  
PUMA.  
Victor Scheinman*



## 1.3 Clasificación de los robots

### 1.3.1 Clasificación según su cronología

- **1ª Generación.**

Manipuladores. Son sistemas mecánicos multifuncionales con un sencillo sistema de control, bien manual, de secuencia fija o de secuencia variable.

- **2ª Generación.**



Robots de aprendizaje. Repiten una secuencia de movimientos que ha sido ejecutada previamente por un operador humano. El modo de hacerlo es a través de un dispositivo mecánico. El operador realiza los movimientos requeridos mientras el robot le sigue y los memoriza.



- **3ª Generación.**

Robots con control sensorizado. El controlador es un computador que ejecuta las órdenes de un programa y las envía al manipulador para que realice los movimientos necesarios.

- **4ª Generación.**

Robots inteligentes. Son similares a los anteriores, pero además poseen sensores que envían información al computador de control sobre el estado del proceso. Esto permite una toma inteligente de decisiones y el control del proceso en tiempo real.



- **5ª Generación.**

Es la generación actualmente en desarrollo. Se basa completamente en la inteligencia artificial. Utiliza modelos de conducta y la novedosa arquitectura de subsunción<sup>1</sup>. Se espera que tenga impacto en la “Industria 4.0” cuyas características son el elevado grado de integración incluyendo a los operarios, la fluidez en las comunicaciones, la adaptabilidad a la demanda, el trabajo en red de los medios de producción, etc.



### 1.3.2 Clasificación según su arquitectura

La arquitectura se define por el tipo de configuración general del robot. Los dispositivos y mecanismos que pueden agruparse bajo la denominación genérica del robot son muy diversos y es, por tanto, difícil establecer una clasificación coherente de los mismos que resista un análisis crítico y riguroso. La subdivisión de los robots, con base en su arquitectura, se suele hacer en los siguientes grupos: poliarticulados, móviles, androides, zoomórficos e híbridos.

<sup>1</sup> Arquitecturas de Subsunción (transparencias). ROBOLABO. ETSIT UPM. [<http://www.robolabo.etsit.upm.es/asignaturas/irin/transparencias/Subsumption.pdf>]



- **Poliarticulados**

En este grupo se encuentran robots de muy diversa forma y configuración, cuya característica común es la de ser básicamente sedentarios (aunque excepcionalmente pueden moverse sobre guías para efectuar desplazamientos limitados) y estar estructurados para mover sus elementos terminales en un determinado espacio de trabajo, según uno o más sistemas de coordenadas, y con un número limitado de grados de libertad. En este grupo, se encuentran los manipuladores, los robots industriales, etc.



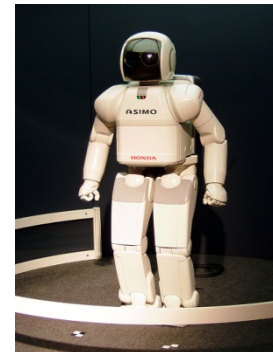
- **Móviles**



Son robots muy diversos, pero todos ellos con gran capacidad de desplazamiento. Van desde los robocarros para el transporte de piezas y herramientas dentro de un taller, a los robots autónomos, coches inteligentes, etc. Se basan en diferentes tipos de guiado (que van desde el seguimiento de carriles, pistas o marcas a la navegación autónoma). Para ello usan diferentes tipos de tracción (motores eléctricos, de explosión, etc.) y locomoción (rodantes, caminantes, voladores, submarinos, etc.).

- **Androides**

Son robots que intentan reproducir total o parcialmente la forma y el comportamiento cinemático del ser humano. Actualmente, los androides son todavía dispositivos sin mucha utilidad práctica, y destinados, fundamentalmente, al estudio y experimentación. Uno de los aspectos más complejos de estos robots, y sobre el que se centra la mayoría de los trabajos, es el de la locomoción bípeda. En este caso, el principal problema es controlar dinámicamente y coordinadamente en el tiempo real el proceso y mantener simultáneamente el equilibrio del robot.



- **Zoomórficos**



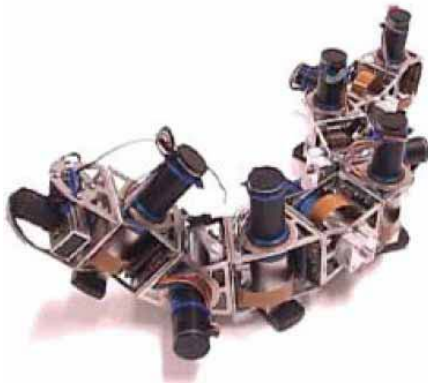
Los robots zoomórficos, se caracterizan por sus sistemas de locomoción que imitan a diversos seres vivos. Se suelen agrupar en dos categorías: caminadores y no caminadores. Los robots zoomórficos no caminadores imitan a peces, serpientes o gusanos para moverse en entornos específicos. Los robots zoomórficos caminadores múltipeds permiten el desarrollo de vehículos todo-terrenos, capaces de evolucionar en superficies muy accidentadas. Las aplicaciones de estos robots serán interesantes en el campo de la exploración (espacial, mineralogía, vulcanología, etc.).

- **Híbridos**

Corresponden a aquellos de difícil clasificación, cuya estructura se sitúa en combinación con alguna de las anteriores ya expuestas, bien sea por conjunción o por yuxtaposición. Por ejemplo, un dispositivo segmentado articulado y con ruedas, es al mismo tiempo, uno de los atributos de los robots móviles y de los robots zoomórficos.



- **Metamórficos**



Robots que puede cambiar su arquitectura. El concepto de metamorfismo, de reciente aparición, se ha introducido para incrementar la flexibilidad funcional de un robot a través del cambio de su configuración por el propio robot. El metamorfismo admite diversos niveles, desde los más elementales (cambio de herramienta o de efecto terminal), hasta los más complejos como el cambio o alteración de algunos de sus elementos o subsistemas estructurales.

### **1.3.3 Taxonomía de robots (atributos, morfología y campos de utilización)**

Vamos a ver como se clasifican los robots a partir de tres conceptos no excluyentes: Atributos, Morfología y Campos de utilización

**A. Atributos:**

| A.1 Movilidad     |   |  |  |
|-------------------|---|--|--|
| 1. Ámbito         | 1.1 Conjunto  |  |  |
|                   | 1.2 Brazo   |  |  |
|                   | 1.3 Elementos terminales  |  |  |
| 2 Tipo            | 2.1 Articular (nº de articulaciones, naturaleza, configuración)                                   |  |  |
|                   | 2.2 Translacional   | 2.2.1 Configuración (deslizante, rodante, caminadora, ...) |  |
|                   |   | 2.2.2 Condicionantes (nº y naturaleza de las ligaduras)    |  |
| 3 Características | 3.1 Geométricas (grados de libertad, alcance accesibilidad...)                                    |  |  |
|                   | 3.2 Estáticas (repetitividad, precisión, deformaciones...)  |  |  |
|                   | 3.3 Cinemáticas (velocidad, aceleración...)   |  |  |
|                   | 3.4 Dinámicas (rebasamiento, precisión, esfuerzo, acomodación activa, capacidad de equilibrio...) |  |  |

| A.2 Gobernabilidad |   |  |
|--------------------|---|--|
| 1 Tipo             | 1.1 Por programa (programabilidad)              |  |
|                    | 1.2 Por mando (manejabilidad)                   |  |
| 2 Modo             | 2.1 Gestual (acción homomórfica, teleoperación) |  |
|                    | 2.2 Textual (escrita, oral)                     |  |
| 3 Nivel            | 3.1 Especificación de las operaciones           |  |
|                    | 3.2 Descripción de objetivos                    |  |
| 4 Funcionamiento   | 4.1 Individual                                  |  |
|                    | 4.2 Coordinado                                  |  |

| A.3 Autonomía              |   |  |  |
|----------------------------|---|--|--|
| 1 Capacidad sensorial      | 1.1 Exteroceptiva   | 1.1.1 Medición de parámetros (distancia, posición)         |  |
|                            |   | 1.1.2 Percepción de formas (visuales, acústicas, táctiles) |  |
|                            | 1.2 Propioceptiva (posición, velocidad, esfuerzo, temperatura...) |  |  |
| 2 Capacidad de decisión    | 2.1 Planificación   |  |  |
|                            | 2.2 Reacción frente a eventos                                     |  |  |
| 3 Capacidad de aprendizaje |   |  |  |
| 4 Capacidad de adaptación  |   |  |  |
| 5 Capacidad de cooperación |   |  |  |

| A.4 Polivalencia                                 |                                     |  |
|--|-------------------------------------|--|
| 1 Versatilidad                                   | 1.1 Dentro de una gama de tareas    |  |
|  | 1.2 Para diferentes gamas de tareas |  |
| 2 Adecuación (eficacia en las diferentes tareas) | 2.1 Del conjunto                    |  |
|  | 2.2 De los brazos                   |  |
|  | 2.3 De los elementos terminales     |  |
| 3 Ámbito   |                                     |  |



## B. Morfología

| B.1 Arquitectura              |                       |                                     |  |  |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|--|--|
| 1.Tipo                        | 1.1                   |                                     |  |  |
|                               | Poliarticulados       |                                     |  |  |
|                               | 1.2 Móviles           |                                     |  |  |
|                               | 1.3 Androides         |                                     |  |  |
|                               | 1.4 Zoomórficos       |                                     |  |  |
|                               | 1.5 Híbridos          |                                     |  |  |
| 2. Naturalidad                | 2.1 Fija              |                                     |  |  |
|                               | 2.2 Metamórfica       |                                     |  |  |
| B.2 Subsistemas estructurales |                       |                                     |  |  |
| 1 Cuerpo                      | 1.1 Estructura        |                                     |  |  |
|                               | 1.2 Elementos rígidos |                                     |  |  |
| 2 Brazos                      | 2.1 Configuración     | 2.1.1 Cartesiana                    |  |  |
|                               |                       | 2.1.2 Polar                         |  |  |
|                               |                       | 2.1.3 Cilíndrica                    |  |  |
|                               |                       | 2.1.4 Angular                       |  |  |
|                               |                       | 2.1.5 Mixta                         |  |  |
|                               | 2.2 Constituyentes    | 2.2.1 Eslabones                     |  |  |
|                               |                       | 2.2.2 Articulaciones                | Simple   |  |
|                               |                       |                                     | Compuestas   |  |
|                               |                       |                                     | distribuidas   |  |
|                               |                       | 2.2.3 Base                          |  |  |
| 3 Sistema locomotor           | 3.1 Configuración     | 3.1.1 Deslizante                    |  |  |
|                               |                       | 3.1.2 Rodante                       |  |  |
|                               |                       | 3.1.3 Caminadora                    | bípeda   |  |
|                               |                       |                                     | múltipeda  |  |
|                               |                       | 3.1.4 Rulante                       | orugas   |  |
|                               |                       |                                     | cadena   |  |
|                               |                       | 3.1.5 Otras                         |  |  |
|                               | 3.2 Constituyentes    | 3.2.1 Eslabones                     |  |  |
|                               |                       | 3.2.2 Articulaciones                |  |  |
|                               |                       | 3.2.3 Elementos rulantes y rodantes |  |  |
| 4 Elementos terminales        | 4.1 Clase             | 4.1.1 Presión                       | 4.1.1.1 Principio de actuación: (succión, mecánico, magnético) |  |
|                               |                       |                                     | 4.1.1.2 Categoría (todo-nada, progresivo )                     |  |
|                               |                       |                                     | 4.1.1.3 Con/sin retorno sensorial                              |  |
|                               |                       | 4.1.2 Herramienta/utillaje          |  |  |
|                               |                       | 4.1.3 Medición/detección            |  |  |

|                            |                             |                                |                                 |  |
|----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------------|--|
|                            | 4.2 Acoplamiento            | 4.2.1 Integrado                |                                 |  |
|                            |                             | 4.2.2 Intercambiable           | acción exterior automáticamente |  |
|                            | 4.3 Constituyentes          |                                |                                 |  |
| 5 Sistema de accionamiento | 5.1 Elementos motores       | 5.1.1 Tipo                     | 5.1.1.1 Rotativo                |  |
|                            |                             |                                | 5.1.1.2 Lineal                  |  |
|                            |                             | 5.1.2 Modo                     | 5.1.2.1 Todo-nada               |  |
|                            |                             |                                | 5.1.2.2 Paso a paso             |  |
|                            |                             |                                | 5.1.2.3 Continuo                |  |
|                            |                             | 5.1.3 Naturaleza               | 5.1.3.1 Electromecánica         |  |
|                            |                             |                                | 5.1.3.2 Hidráulica              |  |
|                            |                             |                                | 5.1.3.3 Pneumática              |  |
|                            |                             |                                | 5.1.3.4 Otra                    |  |
|                            | 5.2 Transmisión             |                                |                                 |  |
| 6 Sistema sensorial        | 6.1 Función                 | 6.1.1 Exteroceptiva            |                                 |  |
|                            |                             | 6.1.2 Propioceptiva            |                                 |  |
|                            | 6.2 Clase                   | visión                         |                                 |  |
|                            |                             | tacto                          |                                 |  |
|                            |                             | posición...                    |                                 |  |
|                            | 6.3 Constituyentes          | 6.3.1 Elementos de adquisición |                                 |  |
|                            |                             | 6.3.2 Elementos de tratamiento | 6.3.2.1 Hardware                |  |
|                            |                             |                                | 6.3.2.2 Software                |  |
| 7 Sistema de control       | 7.1 Organización/ Jerarquía |                                |                                 |  |
|                            | 7.2 Niveles                 |                                |                                 |  |
|                            | 7.3 Constituyentes          | 7.3.1 Hardware                 |                                 |  |
|                            |                             | 7.3.2 Software                 |                                 |  |

## C. Campos de utilización

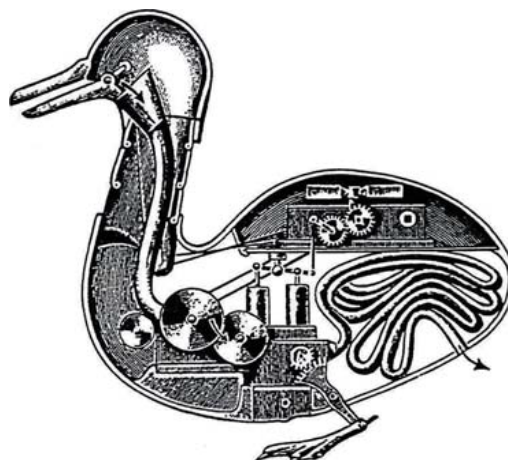
|                                |  |                |  |
|--------------------------------|--|----------------|--|
| C.1 Producción                 |  |                |  |
| 1. Tipo                        | 1.1 Manipulación (carga, descarga, manutención...)                                     |                |  |
|                                | 1.2 Fabricación (corte, deformación, recubrimiento...)                                 |                |  |
|                                | 1.3 Ensamblado (inserción, encolado, soldadura...)                                     |                |  |
|                                | 1.4 Test (medición, verificación, inspección...)                                       |                |  |
| 2. Modalidad                   | 2.1 Maneja herramienta/ utensilio  |                |  |
|                                | 2.2 Maneja pieza/producto  |                |  |
| C.2 Exploración                |  |                |  |
| 1. Tipo                        | 1.1 Terrestre  |                |  |
|                                | 1.2 Minería  |                |  |
|                                | 1.3 Oceanía  |                |  |
|                                | 1.4 Espacio  |                |  |
|                                | 1.5 Militar Servicios...   |                |  |
| 2. Modalidad                   | 1.1 Informativa (búsqueda/localización, supervisión, inspección., análisis...)         |                |  |
|                                | 1.2 Física (extracción, toma de muestras, instalación, recuperación, mantenimiento...) |                |  |
| C.3 Asistencia                 |  |                |  |
| 1. Rehabilitación              | 1.1 Prolongación de la anatomía  | 1.1.1 Prótesis |  |
|                                |  | 1.1.2 Ortesis  |  |
|                                | 1.2 Sustitución de la función  | 1.1.1 Prótesis |  |
|                                |  | 1.1.2 Ortesis  |  |
| 2. Servicio personal/doméstico |  |                |  |
| 3. Servicio colectivo          | 3.1 Hospitalaria   |                |  |
|                                | 3.2 Hotelera   |                |  |
|                                | 3.3 Recreativa...  |                |  |

## 1.4 Lectura

**Capítulo 1 de Corque P. Robotics, Vision and Control. Fundamental Algorithms in Matlab. Springer, 2013. Introduction, pp: 1-6.**

El término robot significa diferentes cosas para diferentes personas. Los libros y películas de ciencia ficción han influido fuertemente en lo que muchas personas esperan que un robot sea o pueda hacer. Lamentablemente la práctica de la robótica está muy por detrás de esta concepción popular. Una cosa es cierta: la robótica será una tecnología importante en este siglo. Productos tales como los robots de limpieza de tipo aspiradora son la vanguardia de una ola de máquinas inteligentes que aparecerán en nuestros hogares y lugares de trabajo. En el siglo XVIII la población de Europa estaba fascinada por los autómatas como el pato de Vaucanson se muestra en la Fig. 1.1a.

Estas máquinas complejas, para los estándares de la época, demostraron lo que entonces parecía un comportamiento realista. El pato utiliza un mecanismo de levas para secuenciar sus movimientos y Vaucanson continuó explorando la mecanización del tejido de la seda. Jacquard extendió estas ideas y desarrolló un telar, que se muestra en la Fig. 1.1b, que era esencialmente una máquina de tejer programable. El patrón para ser tejida fue codificado como una serie de agujeros en tarjetas perforadas. Esta máquina tiene muchas características de un moderno robot: realizaba tareas físicas y era reprogramable.



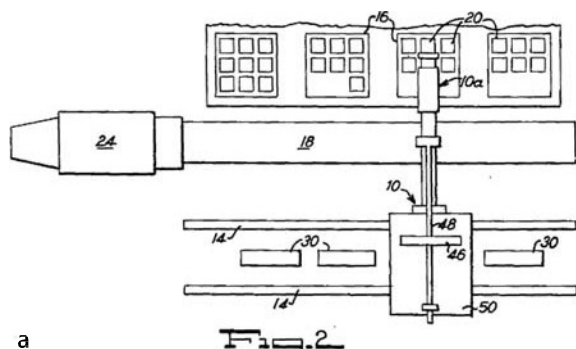
**Fig. 1.1. El pato de Vaucanson (1739) era un autómata que podía batir sus alas, comer el grano y defecar. Era accionado por un mecanismo de relojería que ejecutaba un único programa.**



**Fig. 2. El telar de Jacquard (1801) era una máquina programable. El programa se codificaba en tarjetas perforadas**

El término robot fue acuñado en una obra de ciencia ficción checa de 1921: "Robots Universales de Rossum" de Karel Čapek. Los robots eran personas artificiales o andróides y la palabra, en checo, se deriva del término usado para trabajador. En la obra, como en tantas historias de robots que la siguieron, los robots se rebelan y la situación termina mal para la humanidad. La serie de libros sobre robots de Isaac Asimov, escritos entre 1950 y 1985, explora los temas de la moralidad y la interacción entre los humanos y los robots. Los robots en estas historias están equipados con "cerebros positrónicos" en la que los que se codifican las "tres leyes de la robótica". Estas historias han influido en los libros y películas posteriores que a su vez han dado forma a la percepción pública de lo que son los robots. A mediados del siglo XX apareció el campo de la cibernética - un término poco común hoy en día, pero entonces una ciencia apasionante en las fronteras de la comprensión de la vida y la creación de máquinas inteligentes.

La primera patente de lo que podríamos considerar ahora un robot fue presentada en 1954 por George C. Devol y publicada en 1961. El dispositivo compuesto por un brazo mecánico con una pinza iba montado sobre raíles y la secuencia de movimientos se codificaba como patrones magnéticos almacenados en un tambor giratorio. La primera empresa de robótica, Unimation, fue fundada por Devol y Joseph Engelberger en 1956 y su primer robot industrial se muestra en la Fig. 1.2 se instaló en 1961.



**Fig. 1.2. a) Universal Automation. Una vista en planta de la máquina según la patente de Devol. b) el primer robot Unimation trabajando en una fábrica de General Motors.**

La visión original de Devol y Engelberger para la automatización robótica se ha convertido en una realidad y muchos millones de robots de tipo brazo, como se muestra en la Fig. 1.3

Se han construido y puesto a trabajar en tareas tales como soldadura, pintura, carga y descarga de máquinas, montaje electrónico, embalaje y paletización. El uso de robots ha dado lugar a una mayor productividad y una mejor calidad del producto. En lugar de quitar empleos han ayudado a mantener industrias viables en países con altos costos de mano de obra. Muchos de los productos que compramos hoy en día han sido montados o manipulados por un robot.

Esta primera generación de robots es ahora una subclase de la robótica conocida como robots de fabricación. Otras subclases incluyen robots de servicio que suministran servicios tales como limpieza, asistencia personal o rehabilitación médica; robots de campo que trabajan al aire libre; y robots humanoides que tienen la forma física de un ser humano.

Un robot de fabricación es típicamente un brazo manipulador de montaje en una base fija que realiza tareas repetitivas dentro de una célula de trabajo local. Las piezas se presentan al robot de una manera ordenada lo que maximiza la ventaja de la alta velocidad y la precisión del robot. Los robots de alta velocidad son peligrosos lo que obliga a excluir a las personas de los lugares de trabajo robotizados para garantizar la seguridad.

Los robots de exterior y de servicio se enfrentan a desafíos específicos y significativos. El primer reto es que el robot debe operar y moverse en un entorno complejo, desestructurado y cambiante. Un robot de reparto en un hospital debe funcionar a pesar de la multitud de personas que circulan y de la configuración, variable en el tiempo, de carros moviéndose y estacionados. Un vehículo en Marte debe navegar a través de rocas y cráteres pequeños a pesar de no tener con antelación un mapa local preciso de su recorrido. Los coches robóticos, tal como se demuestra en los DARPA Grand Challenges (Buehler et al. 2007), deben seguir carreteras, obedecer las señales de tráfico y las normas de circulación.

El segundo desafío para estos tipos de robots es que deben operar con seguridad en la presencia de personas. El robot de reparto del hospital opera entre las gente, el coche robótico contiene personas y un dispositivo quirúrgico robótico funciona *dentro* de las personas.

Entonces, ¿qué es un robot? Hay muchas definiciones y no todos ellos son particularmente útiles. Una definición que nos servirá bien en este libro es

*“una máquina orientada a objetivos que puede detectar, planificar y actuar”*

Un robot detecta su entorno y utiliza esa información, junto con un objetivo, para *planificar* alguna *acción*. La acción podría ser mover la herramienta de un brazo-robot para agarrar un objeto o conducir un robot móvil a un determinado lugar

La sensorización es crítica para robots. Los sensores *propioceptivos* miden el estado del propio robot: el ángulo de las articulaciones en un brazo de robot, el número de revoluciones de la rueda en un robot móvil o la corriente consumida por un motor eléctrico. Los sensores *exteroceptivos* miden el estado del mundo con respecto al robot. El sensor puede ser un simple interruptor de contacto en un robot aspirador para detectar la colisión. Podría ser un receptor GPS que mide distancias a una constelación de satélites en órbita, o una brújula que mide la dirección del campo magnético de la Tierra en reacción al rumbo del robot. También podría ser un sensor activo que emite pulsos acústicos, ópticos o de radio con el fin de medir la distancia a puntos en el mundo basándose en el tiempo necesario que requiere la onda reflejada para volver al sensor.

Una cámara realiza la captura pasiva de patrones de energía reflejada por la escena. Nuestra propia experiencia nos dice que los ojos son un sensor muy eficaz para el reconocimiento, la navegación, la evasión de obstáculos y manipulación así que la visión ha sido durante mucho tiempo de interés para los investigadores de robótica. Una limitación importante de una sola cámara es que la estructura 3-dimensional se infiere de la imagen 2-dimensional. Un enfoque alternativo es la visión estéreo, utilizando dos o más cámaras, para calcular la estructura de 3 dimensiones del mundo. El explorador de Marte se muestra en la Fig. 1.6a tiene una cámara estéreo en su mástil.

En este libro nos centramos en el uso de cámaras como sensores para robots. La visión artificial, discutida en la Parte IV, es el uso de ordenadores



**Fig. 1.3. Un moderno robot de seis ejes de ABB que sería utilizado para la automatización de fábricas. Este tipo de robot es un descendiente tecnológico del Unimate.**



**Fig. 1.6. Mars Rover. Las dos cámaras en el mástil proporcionan la visión estéreo a partir del cual el robot puede calcular la estructura de 3 dimensiones de su entorno.**



para procesar imágenes a partir de una o más cámaras y para extraer características numéricas. Por ejemplo, la determinación de la coordenada de un objeto rojo redondo en la escena, o hasta qué punto un robot se ha movido sobre la base de cómo el mundo parece moverse en relación con el robot.

Si el entorno del robot no cambia, puede valer con un mapa preciso. Siempre que el robot tenga poca necesidad de detectar el estado del mundo, aparte de determinar dónde está. Imagínese que conduce un coche con el parabrisas cubierto sólo mirando el sistema de navegación GPS. Si tuviera las carreteras sólo para usted probablemente podría conducir de A a B con bastante éxito, aunque lentamente. Sin embargo, si hay otros automóviles, peatones, señales de tráfico o de obras, entonces sería bastante difícil. Para hacerlo, tiene que mirar hacia fuera -para percibir el mundo y planificar sus acciones en consecuencia. Esto es fácil para los seres humanos, incluso de manera inconsciente, pero no es fácil programar una máquina que haga lo mismo.

Los tele-robots son máquinas de tipo robot controlados remotamente por un operador humano. Tal vez el primero fue un barco de radio-control presentado por Nikola Tesla en 1898 y al que llamó un teleautomaton. De acuerdo con la definición anterior, estos no son robots, aunque eran importantes precursores de los robots y siguen siendo importantes hoy (Goldberg y Siegwart 2001; Goldberg 2001) para muchas tareas que las personas no pueden realizar, pero que son demasiado complejas para que las realice una máquina por sí misma. Por ejemplo los robots submarinos que inspeccionaron el naufragio del Titanic eran técnicamente vehículos operados a control remoto (ROV). Los Mars Rovers Spirit y Opportunity navegaban autónomamente por la superficie de Marte, pero los operadores humanos les proporcionaban los objetivos de alto nivel. Es decir, los operadores decían al robot dónde ir y el propio robot determinaba los detalles de la ruta. La toma de decisiones locales en Marte es esencial dado que el retraso de las comunicaciones es de varios minutos. Algunos robots son híbridos y la tarea de control se comparte o se negocia con un operador humano. En el control negociado, la función de control se intercambia entre el operador humano y el ordenador. Por ejemplo, un piloto de aeronave puede pasar el control al piloto automático y recuperar el control de nuevo. En control compartido, la función de control se lleva a cabo por el operador humano y el ordenador trabajando juntos. Por ejemplo, el ordenador de un coche autónomo de pasajeros podría mantener el coche en el carril y evitar colisiones, mientras que el operador humano solo tendría que controlar la velocidad.

[...]

## 1.5 Bibliografía

- Barrientos L. F., Peñín C., Balaguer, R. Aracil. Fundamentos de Robótica. McGraw-Hill, 1997.
- Corque P. Robotics, Vision and Control. Fundamental Algorithms in Matlab. Springer, 2013
- Fu, K.S. et al. Robótica: Control, Detección, Visión e Inteligencia. McGraw Hill, 1988.