

Conceptos fundamentales

¿Qué es un robot? ¿Cuándo conviviremos con ellos? ¿Tendremos diversos tipos de robots entre nosotros? ¿Lavarán los platos? En este primer capítulo intentaremos responder estas y otras preguntas, con el objetivo de entender cuáles son los alcances posibles de nuestro primer proyecto robótico.

Colaborador:
Ing. Gonzalo Mon

SERVICIO DE ATENCIÓN AL LECTOR: lectores@redusers.com

Introducción a la robótica	16
¿Qué es un robot?	16
Tipos de robots	19
Unidades de un robot	23
Procesamiento	24
Sensores	33
Actuadores	39
Resumen	43
Actividades	44

INTRODUCCIÓN A LA ROBÓTICA

Día a día, nos sorprendemos con las noticias que aparecen en los medios de comunicación vinculadas a la presencia de robots en diversos campos de la vida cotidiana. Robots enfermeros, mascotas, reposidores de supermercados, detectores de explosivos, aspiradoras hogareñas, o simples jugadores de fútbol, son algunos de los ejemplos que podemos encontrar en el mercado de la tecnología de última generación.

En síntesis, **la robótica ya no es parte de nuestro futuro sino de nuestro presente tangible**. Sin em-

bargo, probablemente gracias a la literatura y al cine de ciencia ficción, el concepto de lo que es un robot, sus posibilidades y sus limitaciones reales están desdibujados en el imaginario colectivo. Es por eso que en este primer capítulo haremos una introducción a los conceptos fundamentales de la robótica.

¿Qué es un robot?

Sueño de muchas generaciones, la explosión tecnológica nos ha puesto al alcance de poder concretarlo.

Para comenzar nuestro recorrido, hagamos un repaso de la historia de la robótica para comprender hacia dónde nos dirigimos.



Figura 1. *Roomba*, la aspiradora robótica más popular y económica del mercado.

A imagen y semejanza

Desde los orígenes del hombre, podemos encontrar varios relatos sobre la creación de vida artificial. Por ejemplo, en la leyenda del Golem, un rabino de Praga le infunde vida a una estatua de barro. Asimismo, en la obra literaria Frankenstein, el doctor de dicho nombre crea un ser a partir de órganos de otras personas, que luego se vuelve contra él.

Si nos apartamos de la literatura, en el antiguo Egipto encontramos estatuas de dioses que incorporaban brazos mecánicos operados por los sacerdotes. En el siglo XIX, también se hicieron conocidas las creaciones de robots que jugaban ajedrez, aunque en realidad éstos ocultaban a un ser humano de baja estatura que operaba la máquina desde su interior (Figura 2). Es decir, el deseo de creación de un ser a nuestra imagen y semejanza está presente desde los primeros tiempos de la humanidad.

El origen de la palabra **robot** se remonta a comienzos del siglo XIX. El dramaturgo **Karel Capek** utilizó por primera vez este término en su obra **Opilek** para referirse a un conjunto de máquinas inventadas por un científico para realizar tareas pesadas y aburridas. En checo, idioma original de la obra, el término **robota** significa **trabajo tedioso**. Pero fue el escritor **Isaac Asimov** quien popularizó el término e introdujo el concep-

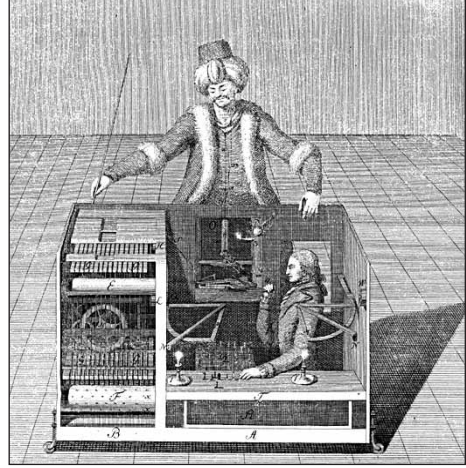


Figura 2. El Turco, un robot que simulaba jugar al ajedrez y que, en realidad, tenía un jugador humano adentro.

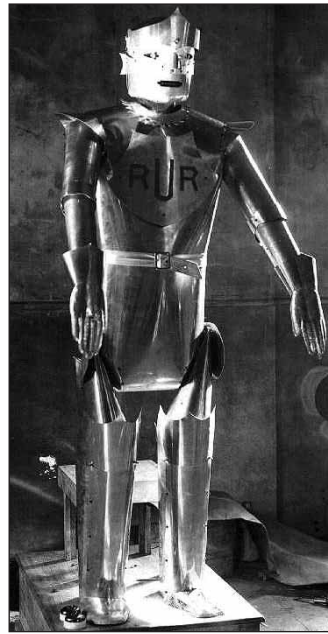


Figura 3. Éste es un robot que aparecía en la adaptación de la obra de Karel Capek: *Rossum's Universal Robot*.

to de **robótica** en diversos relatos de ciencia ficción de su autoría. En sus obras, Asimov muestra facetas humanas de los robots y define un conjunto de leyes para que estos seres nuevos nunca se rebelen contra los humanos. Luego, el cine y la televisión generaron cientos de robots de diversa índole, algunos simpáticos (como R2D2 y Cortocircuito), y otros definitivamente en contra de sus creadores (Terminator, HAL).

A partir de la creación de las primeras computadoras comenzó el verdadero desarrollo de los robots primitivos. En 1974, la empresa **Cincinnati Milacron** realizó el primer robot industrial, conocido como **The Tomorrow Tool**. A partir de ese momento, junto con la evolución de los sistemas de procesamiento, el crecimiento de la robótica ha sido exponencial. La reducción de tamaño y de costos, y el aumento de la capacidad de cálculo de los procesadores, han permitido la creación de robots cada vez más sofisticados, rápidos y autónomos. Sin embargo, aún estamos lejos de crear un robot a nuestra imagen y semejanza.

Definición de la palabra robot

Existen muchas definiciones de la palabra robot. En cada una de ellas, encontramos destacado algún aspecto en particular, que es el que cada autor quiere resaltar en su obra. Se-



Figura 4. Isaac Asimov, creador de cientos de cuentos sobre robots y de la palabra robótica.

gún la Asociación Japonesa de Robótica Industrial (**JIRA**), los robots son *dispositivos capaces de moverse de modo flexible, análogo al que poseen los organismos vivos, con o sin funciones intelectuales, lo que permite la realización de operaciones en respuesta a órdenes recibidas por humanos*. Vemos que en esta definición se encuentra resaltada la capacidad de movimiento de los robots y su analogía con los seres de la naturaleza. Sin embargo, a la JIRA no le interesa la inteligencia artificial aplicada al robot, dado que su función fundamental es ser operado por un humano. Por su parte, el Instituto de Robótica de Nor-

teamérica (**RIA**) define a un robot industrial como un *manipulador multifuncional y reprogramable diseñado para desplazar materiales, componentes, herramientas o dispositivos especializados por medio de movimientos programados variables, con el fin de realizar diversas tareas*. En este caso, el acento está puesto en la capacidad de programación del robot y, por lo tanto, en cierta independencia de funcionamiento con respecto a la operación humana. Como dijo Joseph Engelberg, padre de la robótica industrial: *es posible que no sea capaz de definir qué es un robot, pero sé cuándo veo uno*.

Particularmente, y ya que nos hemos ganado el derecho dado que estamos escribiendo un libro sobre robótica, agregaremos una definición más de robot a la larga lista preexistente: **un robot es un dispositivo con un determinado grado de movilidad, que puede realizar un conjunto de tareas en forma independiente y que se adapta al mundo en el que opera**. El objetivo de esta definición es

comenzar a introducirnos en el tipo de robot sobre el que vamos a centrarnos en el desarrollo del libro.

Tipos de robots

De la misma manera que con las definiciones, podemos encontrar muchas clasificaciones distintas de robots. En esta obra, al presentarlos, intentaremos acercarnos a los diversos problemas mecánicos, electrónicos y de software que encontramos en el desarrollo de un robot. Las clasificaciones elegidas son:

Según el uso del robot

A continuación presentaremos una clasificación posible de los robots según su utilidad específica.

- **Industriales:** se utilizan dentro de un proceso de trabajo industrial. Es el tipo de robot que más ha sido desarrollado en la historia (Figura 5).
- **Espaciales:** deben desenvolverse en zonas inexploradas y a larga distancia de su centro de control.
- **Médicos:** son utilizados como apoyo en la intervención médica



UN ROBOT QUE JUGABA AL AJEDREZ

Uno de los primeros **robots reales** fue el jugador de ajedrez autómatas de **Wolfgang von Kempelen**, en 1769. Éste consistía en una cabina de madera de 1,20 metros de largo, 60 centímetros de profundidad y 90 centímetros de altura. Cuando se abrían las puertas de la máquina, se podía ver un complejo mecanismo de engranajes que, supuestamente, permitían jugar un partido de ajedrez de buen nivel. En realidad, dentro de la estructura se escondía un pequeño jugador humano.

sobre los humanos y como complemento para las personas con capacidades disminuidas.

- **Domésticos:** el sueño de todo amo o ama de casa, un robot que realice alguna o todas las tareas del hogar. Ya hay entre nosotros aspira-



Figura 5. Kit de brazo robótico RA-01 con 5 servos.

doras, lavarropas, heladeras, etcétera, que modifican su comportamiento en forma autónoma según el ambiente en el que trabajan.

- **Sociales:** robots utilizados en ámbitos sociales (como películas, eventos y supermercados) con funciones de comunicación intensiva con los humanos. En estos casos, uno de los elementos de investigación fundamental es el aspecto estético del robot, el estudio de la interfaz con el humano para realizar una comunicación completa, con gestos, tonos, silencios, etcétera.
- **Agrícolas:** así como en sus comienzos la robótica tuvo amplia aplicación en la industria, en los últimos años ha comenzado a crecer en forma exponencial el uso de robots y de la inteligencia artificial en el sector agrícola-ganadero. Las cosechadoras autónomas, las sembradoras controladas por mapas satelitales, los fumigadores robotizados y otros dispositivos hicieron su aparición dentro de lo que actualmente se conoce como **agricultura de precisión** (Figura 6).

ROBOTS INSECTOS

Como si no fueran suficientes los insectos que nos perturban durante todo el año, los ingenieros han decidido que, antes de imitar a un humano, es necesario lograr un insecto robótico. Los sistemas de visión y de vuelo de los insectos son dos fuentes de inspiración muy importantes, dado que con mecanismos sumamente sencillos, logran captar el mundo que los rodea y volar sobre él de una manera altamente adaptativa.

Según el medio en el que desarrolla la actividad

- **Acuáticos:** se caracterizan por movimientos tridimensionales en un ambiente hostil desde el punto de vista mecánico y electrónico (Figura 8).
- **Terrestres:** son los más populares y económicos. Podemos, a su vez, subclasificarlos por sistema de locomoción: fijos, ruedas, orugas, patas, arrastre, etcétera.
- **Aéreos:** con movimientos tridimensionales, como el acuático, pero con una exigencia mucho mayor en el control en tiempo real del sistema de levitación (Figura 7).
- **Híbridos:** combinación de algunos de los anteriores.



Figura 6. *Demeter*, un robot de aplicación agrícola desarrollado en la Universidad de Carnegie Mellon.

En esta clasificación, las características mecánicas del robot se modifican en forma sustancial entre uno u otro medio. Prácticamente, es impo-



Figura 7. Robot *insecto volador* desarrollado en la Universidad de Berkeley.

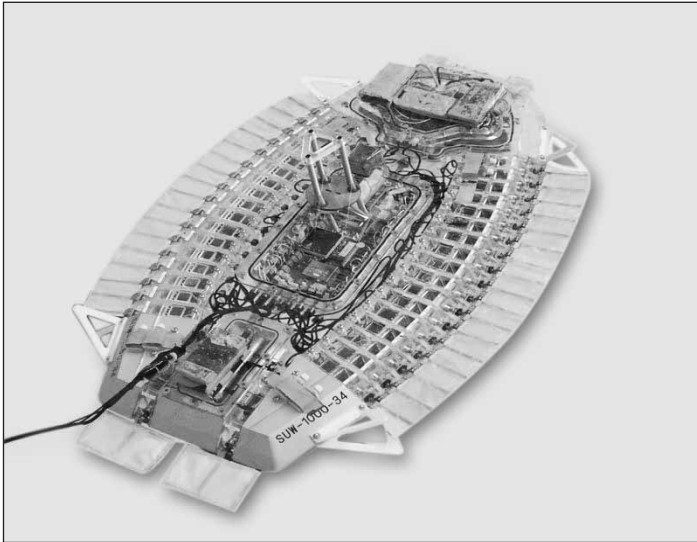


Figura 8. **Robot acuático japonés**, que imita la estructura de algunos seres acuáticos.

sible utilizar la mecánica de un robot construido en un medio para que funcione en otro, salvo en el caso de algunos híbridos.

Según la ubicación de la inteligencia del robot

- **Autónomos:** la inteligencia está ubicada en el mismo robot. Puede comunicarse con otros o con un sistema central, pero los aspectos esenciales de funcionamiento se resuelven en forma independiente en el propio robot.
- **Control automatizado (semiautónomos):** la mayor parte de la inteligencia del robot está ubicada en un sistema central. Los sensores pueden ser locales, es decir que le envían la información obtenida a ese sistema central, o globales. El sistema central les comunica a los

robots las acciones que deben realizar. Un ejemplo de este modelo es la categoría **Mirosot** de fútbol de robots de la FIRA.

- **Híbridos:** son robots autónomos que, en ciertos momentos del proceso, pueden ser controlados por humanos o por un sistema central. Un ejemplo son los robots que se utilizan en misiones espaciales, que operan en forma autónoma pero que, ante un percance, pueden ser dirigidos desde nuestro planeta.

También podríamos clasificar a los robots por sus características estructurales, por el tipo de sensado del mundo, etcétera. De todas maneras, todos los robots comparten la misma arquitectura básica, desde el más pequeño hasta Terminator. A continuación veremos la fuerte analogía

que encontramos entre un robot y una computadora convencional.

Unidades de un robot

En la arquitectura de cualquier computadora, podemos encontrar las siguientes unidades que la componen:

- **Unidades de procesamiento:** es el conjunto de dispositivos que se encargan de realizar la transformación de los datos de entrada para obtener los datos de salida.
- **Unidades de entrada:** son las unidades que permiten realizar el ingreso de información para su posterior procesamiento.
- **Unidades de salida:** son las unidades que se ocupan de comunicarle los resultados del procesamiento al usuario u operador.

En un robot podemos encontrar la misma arquitectura. A las unidades de entrada de un robot las llamamos **sensores**, que pueden ser externos, como un sensor de tacto, o internos, como un **encoder** que permite determinar la distancia recorrida por una rueda. A las unidades de salida se las conoce como **actuadores**. Aquí podemos mencionar **leds** de señalización, **buzzers**, **motores**, **displays**, etcétera. En síntesis, el robot **recibe información** del ambiente mediante sus sensores, **procesa la información** con su unidad de procesamien-

to y **realiza sus acciones** al mover motores y encender luces y buzzers. Tomemos como ejemplo a uno de los robots más conocidos: Terminator. En este caso, sus sensores son las cámaras que le permiten mirar, su sistema auditivo y los sensores de tacto que tiene su piel. No recordamos que tenga olfato o que alguna vez haya comentado lo sabroso de alguna comida. Sus actuadores esenciales son los motores o los músculos de alambre que conforman su cuerpo.

Uno de los problemas más apasionantes de la robótica es el equilibrio que es necesario obtener entre las tres unidades, para lograr que el robot cumpla con su objetivo. Por ejemplo, los sensores más sofisticados o que

III GENERACIONES DE ROBOTS

Así como hablamos de generaciones de computadoras, también se ha definido el grado de evolución de los robots industriales como vemos a continuación:

- Primera generación: repiten una tarea sin considerar las modificaciones que ocurren en su entorno.
- Segunda generación: toman información limitada de su entorno y modifican su comportamiento.
- Tercera generación: son programados en lenguaje natural y organizan sus tareas en forma automática en un nivel más alto que los de Segunda generación.

entregan mayor cantidad de datos, como puede ser una cámara de video, exigen de parte del procesador un mayor tiempo de trabajo para poder obtener un conjunto de información que resulte significativo. De la misma manera, el control de los actuadores sofisticados, como cierto tipo de motores, consume tiempo de procesamiento que es absolutamente necesario para que el robot opere en tiempo real. En síntesis, es imprescindible lograr el **equilibrio entre velocidad y precisión**, en especial en aquellos robots que operan en entornos muy dinámicos. Es por eso que, habitualmente, se utilizan ciertos procesadores específicos para el filtrado de la información de entrada y para el control de los actuadores, y así se libera de esta tarea al procesador central y se complementa su función.

En las próximas páginas, analizaremos cada una de estas unidades en profundidad, de forma tal que podamos realizar la elección adecuada según los objetivos específicos que tengamos para nuestro robot.

Procesamiento

Cuando comenzamos a analizar lo que nos ofrece el mercado de la robótica con respecto a procesamiento, probablemente nos encontremos confundidos ante la diversidad de posibilidades. Podemos encontrar desde micros de muy bajo precio, en

los que debemos construir en forma artesanal toda la electrónica que los complementa para poder procesar las entradas y salidas, hasta costosos kits que tienen absolutamente todo resuelto. Está claro que con éstos últimos podremos hacer que nuestro robot funcione en algunas horas, pero es en el primer caso donde tendremos un control absoluto y de bajo nivel de las capacidades de procesamiento de nuestro dispositivo.

De todas maneras, analizaremos en forma detallada las ventajas y las desventajas de ambas propuestas: el desarrollo con el uso de kits frente a la construcción en forma artesanal de los robots. Además, conoceremos brevemente algunos kits y micros disponibles en el mercado, y haremos una lista de los sitios web donde se puede conseguir información más detallada y completa.

Kits

Los kits para la construcción de robots, en general, presentan los siguientes **elementos**:

- **Un procesador o conjunto de procesadores** con toda la electrónica de entrada y salida de los sensores resuelta. Además, poseen un sistema operativo dentro del controlador (**firmware**), que eleva el nivel de programación de los procesadores, lo que posibilita el uso de lenguajes de alto nivel o interfaces gráficas para el



Figura 9. Lego Nxt con el conjunto de motores y sensores que vienen con el kit.

desarrollo de la inteligencia de nuestro robot en forma muy sencilla.

- **Un conjunto de sensores** que aprovechan la electrónica ya resuelta, y que con una simple conexión funcionan de manera casi mágica. Por ejemplo, sensores de luz donde el firmware interpreta el voltaje que entrega el sensor como un valor entre 0 y 100.
- **Un conjunto de motores** que también utilizan la electrónica de salida, que se alimentan directamente de la misma fuente que alimenta al procesador, y que gracias al firmware podemos indicarle dirección, velocidad, etcétera, sin la necesidad de cálculos complejos.
- **Material constructivo** para resolver la mecánica del robot, altamente

reutilizable y que en poco tiempo permite la elaboración de la física del robot mediante la aplicación de conocimientos de nuestra infancia.

Si tenemos en cuenta este conjunto de materiales, es sencillo notar que las **ventajas** que nos presenta el uso de kits para la construcción de nuestro robot son las siguientes:

- **Menor tiempo de construcción del robot:** en pocas horas, podemos obtener robots poderosos para los desafíos habituales en robótica.
- **Alta reusabilidad del material:** una vez terminado el desafío, podemos desarmar el robot y utilizar todas las piezas, los sensores, los motores y el procesador para armar un robot completamente distinto.
- **Baja necesidad de conocimientos**



Figura 10. Un *humanoide* realizado con el Lego Nxt.

técnicos: sin saber electrónica y prácticamente sin saber programación, podemos desarrollar un robot poderoso. Desde ya que para aquellos usuarios que sí tengan esos conocimientos, el aprovechamiento será mucho mayor. Más aún si los desarrolladores del kit tuvieron la precaución de dejar abiertos tanto el firmware como el hardware del procesador y los sensores.

De todas formas, no todas son cosas positivas. Las **desventajas** que tenemos con el uso de kits son:

- **El alto o altísimo costo de un kit:**

la relación puede ser de 20 a 1 con respecto a un desarrollo manual. El robot que construiremos en este libro mantiene esta relación con los kits más económicos de robótica.

- **La imposibilidad,** en muchos casos, de poder realizar **modificaciones de bajo nivel en el hardware o el firmware del robot.** A pesar de todos los esfuerzos de documentación que haga la empresa creadora del kit, es imposible que todo sea altamente modificable, por la misma necesidad de mantener la arquitectura intrínseca del robot. Su elaboración artesanal desde cero nos permite modificar **hasta el más mínimo detalle.**
- **Baja precisión y calidad final de los robots:** dado que los kits son para el desarrollo de robots de diversos propósitos, en todos los casos perdemos precisión y calidad. Por ejemplo, los motores sirven para moverse en un determinado ambiente con alto margen de error, pero no son veloces ni permiten movimientos de precisión como lo pueden exigir ciertos objetivos. En general, los sensores son económicos, y el rango de valores que devuelven es pobre.

Los **kits de robótica más conocidos** en el mercado son los siguientes:

- **Legó Nxt:** sucesor del modelo **Mindstorms**, es el kit de mayor difusión en todo el mundo (Figura 9).

Su procesador es un **ARM7 de 32 bits**. Cuenta con 256 Kb de Flash y 64 Kb de RAM. Se comunica por Bluetooth clase 2 y por USB. Tiene 4 entradas para sensores y 3 salidas para actuadores. En el kit se integran 3 motores servo con encoders incorporados para controlar su movimiento con precisión.

Además, cuenta con un sensor de tacto, uno de sonido, otro de luz y por último un sensor ultrasónico. Para la mecánica del robot cuenta con piezas de las denominadas **Technic**, que permiten diseñar diferentes estructuras según el destino del robot creado (Figura 10). El len-

guaje de programación es un ambiente gráfico muy sencillo, similar al **Robolab** de las versiones anteriores, pero con mayor potencia y versatilidad. Para finalizar, una de las mejores decisiones que ha tomado la firma Lego es publicar muchísima información sobre el desarrollo tanto de hardware como de software del kit, lo que ha permitido que en poco tiempo (salió a la venta en agosto de 2006) las personas de todo el mundo que tienen este hobby hayan desarrollado hardware y software específico fuera del oficial. Para obtener más información, podemos visitar <http://mindstorms.lego.com>.

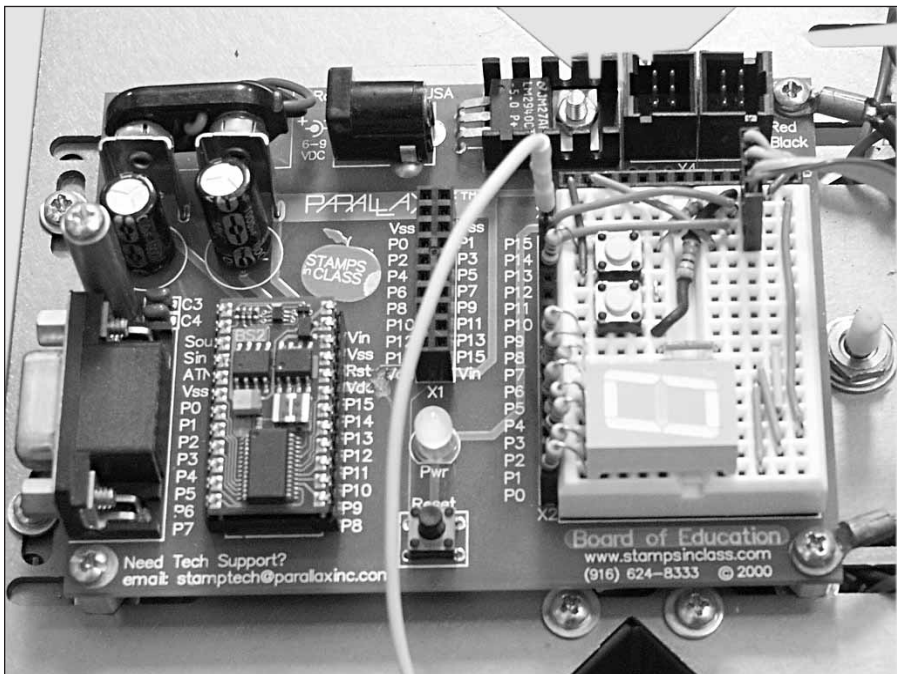


Figura 11. Placa educativa del **Basic Stamp** de Parallax.

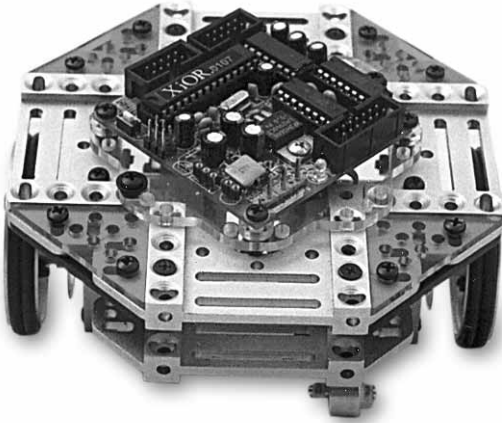


Figura 12. Aquí podemos ver uno de los modelos constructivos de XiOR, conocido como N10.

- **Parallax:** el producto más popular de esta empresa es el micro **Basic Stamp** (Figura 11). Aunque uno puede adquirir solamente el micro y realizar el robot desde cero como comentaremos más adelante, hay tantos desarrollos y tantas presentaciones de productos de la firma Parallax que hemos decidido presentarlo dentro de esta sección. El **Basic Stamp Starter Kit** está desarrollado para iniciarse en el mundo de la robótica. Incluye un Basic Stamp II, que tiene una velocidad de procesamiento de 20 Mhz, con 2 Kb de **EEPROM** (*electrically-erasable programmable read-only memory*, ROM programable y borrable eléctricamente) y 16 E/S (entradas y salidas) más 2 dedicadas. Este micro está instalado en una placa educativa con una pequeña **protoboard** (pla-

queta de experimentación), donde podremos realizar todas nuestras experiencias. Viene con un servo, leds, capacitores, resistencias y otros componentes para diseñar nuestro robot. Las guías que acompañan a este y otros kits son excelentes (¡y algunas están en castellano!), y pueden conseguirse en forma gratuita en el sitio de la empresa. La última creación de Parallax ha sido el micro de nombre **Propeller**, con 8 procesadores paralelos en su interior. Tiene una arquitectura de 32 bits, 80 Mhz, con 32 pines de E/S direccionables por cualquiera de los 8 procesadores. Para buscar más información, podemos visitar www.parallax.com.

- **XiOR:** en América Latina, contamos con nuestro propio kit de robótica. XiOR (www.xior.org) es una empresa argentina de tecnología y entre sus trabajos ha desarrollado un sistema constructivo para la fabricación de robots móviles autónomos. El modelo **N10** es el primer robot desarrollado con él (Figura 12). Una de sus principales características es la posibilidad de que el usuario reconfigure toda su morfología física para adaptarlo a diferentes entornos y experimentos. Incluso es posible combinarlo con otros robots similares para formar parte de estructuras mayores.

Normalmente, está equipado con 2 o 4 celdas de Li-Ion de 900 mAh,

agrupadas en packs de a dos. En cuanto a las capacidades de procesamiento, el controlador XiOR.0107 tiene un procesador **AVR ATMega8** (Atmel, 2003) de 16 MIPS aproximadamente, y 8 KB de RAM de programa, e incorpora comunicaciones RS-232, 2WI y drivers de potencia para agregar dos motores adicionales de corriente continua o un motor paso a paso.

El sistema constructivo **Múltiple** ofrece piezas de aluminio y plástico cuidadosamente diseñadas para desarrollar robots de tamaño reducido, pero con una precisión y robustez sorprendentes. Podemos encontrar más información en **www.xior.org**.

Además de estos kits que mencionamos, el mercado de la robótica educativa crece día a día, y en la Web podemos encontrar muchos otros que tal vez se ajusten mejor a nuestras necesidades. Aunque aquí describimos los más conocidos, podemos navegar para buscar más información sobre el tema.



Figura 13. *Sphinx*, otro modelo de XiOR para el control de pozos de petróleo.

Robótica sin kits

Como comentamos antes, realizar un robot sin la ayuda de un kit nos proporciona mayor versatilidad, robustez, potencia, precisión, velocidad y adaptabilidad. El problema esencial es que nos exige mayor conocimiento y trabajo. Cuando comencemos un desarrollo de este tipo, lo primero que debemos analizar es el procesador que vamos a utilizar, según la funcionalidad y el costo que deseamos que tenga nuestro robot.

▶ OTROS KITS LATINOAMERICANOS

Además de los kits mencionados, a continuación presentamos links donde se pueden encontrar otros kits desarrollados en Latinoamérica:

- **NeoRobotic**: kits de robótica autónoma (www.neorobotic.com).
- **Arbot**: robots controlados desde la PC por puerto paralelo (www.dutten.com.ar).
- **Blocky-tronic**: sistema constructivo con microcontrolador, sensores y motores (www.blockymaniacom.ar/blockytronic/).

Además, debemos tener en cuenta que es necesario complementar el procesador con un circuito de control adecuado para realizar las conexiones de entrada, salida, alimentación y control de dispositivos.



Figura 14. Otro de los micros de la firma **Microchip**, creadora del **16F84**.

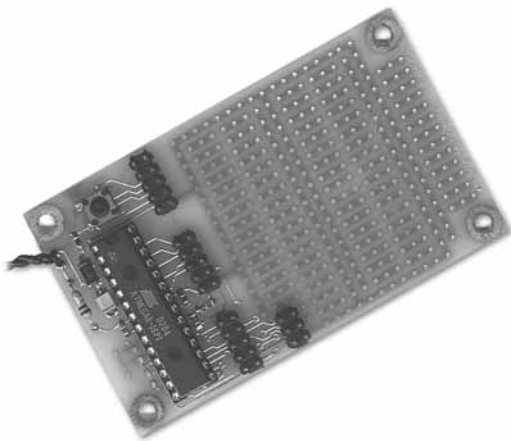


Figura 15. **ATmega8** en una placa de prototipado rápido.

Microcontroladores

El procesamiento más habitual en los robots pequeños y de bajo costo es el provisto por microcontroladores. Los micros más utilizados son los de la familia **PIC**, de la firma **Microchip**. De todos los modelos que se ofrecen, el más popular para la construcción de robots es el **PIC16F84**. Posee una memoria de programa Flash de 1 KB con palabras de 14 bits, una memoria RAM de datos de 68 bytes y una EEPROM de 64 bytes, y 13 pines de E/S.

Por otra parte, su precio es más que accesible. Dado que desarrollaremos nuestro robot con PIC, dejaremos para más adelante una descripción más detallada de éstos.

La empresa **Atmel** fabrica otro tipo de microcontroladores, que también son de uso habitual en la construcción de robots. De todas sus líneas, la denominada **AVR de 8 bits** es la más recomendada para el procesamiento en esta disciplina. Toda la línea AVR presenta características como bajo poder de consumo, arquitectura RISC y Harvard, 32 registros de 8 bits de propósito general y facilidad de implementación de lenguajes de alto nivel para la programación.

En particular, el micro **ATmega8** (Figura 15) es ideal, dado que presenta una memoria de 8 KB de programa, 1 KB de SRAM y 512 bytes de EEPROM, seis canales de PWM, USART progra-

mable, conversor analógico digital de cuatro canales multiplexados de 10 u 8 bits y dos canales de 8 bits, entre otras características que se pueden encontrar en la página de la firma.

PDA

Si no tenemos una base de conocimiento y experiencia en electrónica para utilizar los microcontroladores que presentamos pero contamos con una **Palm** o una **PocketPC**, podemos destinar parte de su tiempo de uso para que actúe como cerebro de nuestra creación. En los últimos años, estos dispositivos han bajado de precio en forma notable y, además, algunos modelos han caído en desuso, aunque pueden adaptarse perfectamente para ser empleados con nuestros robots. Uno de los ejemplos más interesantes en este punto es la adaptación del robot **Robosapien** (Figura 17) de la firma **Wow Wee** para que pueda ser controlado desde una PocketPC por infrarrojo, con lo cual utilizamos la PDA como control remoto inteligente que puede generar su propio procesamiento. Para la detección del

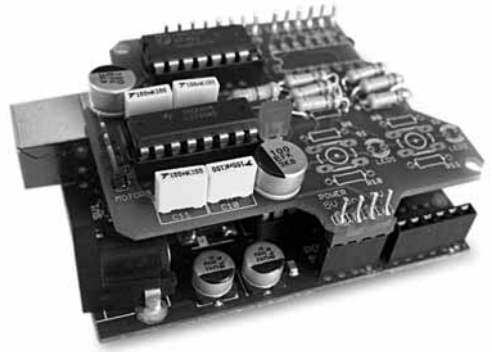


Figura 16. **Arduino**, una plataforma abierta en software y hardware para el desarrollo de robots.

mundo se utiliza una cámara que se conecta en el puerto de tarjetas de memoria. En síntesis, con poco dinero podemos tener un robot humanoide. Se puede obtener más información en www.informatik.uni-freiburg.de/~nimbro/media.html.

El Instituto de Robótica de **Carnegie Mellon** desarrolló un proyecto para la construcción de un robot autónomo móvil de bajo costo, y se utilizó una Palm como procesador (Figura 18). En el sitio www.cs.cmu.edu/~reshko/PILOT podemos encontrar todos los pasos y los materiales nece-



ARDUINO, UNA PLATAFORMA OPEN HARDWARE PARA ROBÓTICA

Arduino es una placa basada en el micro Atmel ATmega8, programable por serial o USB, con entradas y salidas analógicas y digitales. Su diseño y distribución son completamente libres. En su sitio web, www.arduino.cc, podemos encontrar los planos para armar la placa y el software necesarios para su programación. Si no nos animamos a construirlos desde cero, podemos adquirir los componentes en el mismo sitio.



Figura 17. Robot *Robosapien* hackeado con una PDA en su cabeza como procesador.

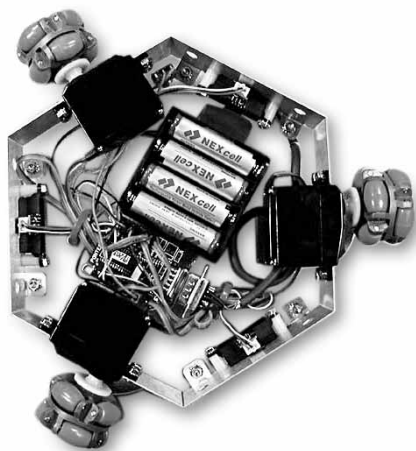


Figura 18. *Palm Pilot Robot Kit* es un kit de robótica cuyo procesador es una Palm Pilot.

sarios para construirlo, incluido el software que es indispensable bajar en la Palm para la programación. Si bien utiliza ruedas omnidireccionales, servos y otros materiales que pueden ser costosos en el mercado local, con ellos obtendremos un robot móvil de excelente calidad. Comprar una PDA pura y exclusivamente para la construcción de un robot es demasiado costoso en comparación con las otras variantes. Pero si disponemos de una, o si los precios de estos dispositivos continúan bajando, puede ser una posibilidad muy interesante por su potencia de procesamiento y tamaño.

Computadoras (PC)

Por último, no queremos dejar de presentar la posibilidad de usar motherboards de PC convencionales pero de tamaños reducidos, conocidos como **Mini** y **Nano-ITX** (Figura 19). Por ejemplo, la conocida firma **VIA** ha desarrollado la línea **EPIA**, de bajo consumo y con un tamaño que oscila entre 12 y 17 centímetros de lado. Uno de sus modelos, el **VIA EPIA NL**, posee placa de video de S3, zócalo para memoria DDR 266/333/400, un slot mini PCI, un puerto S-ATA y dos P-ATA, placa de sonido, LAN, puerto serie, USB y otros, que permiten tener toda la potencialidad de una PC ¡en 12 x 12 centímetros! En el sitio **www.mini-itx.com** se muestran desarrollos

de fanáticos de estos modelos, no sólo en robótica, sino también en los dispositivos más extraños. En www.epiacenter.com se analizan muchos mothers de este tipo, de diferentes marcas, y se ofrecen los links a tiendas en línea donde adquirirlos. La enorme ventaja de utilizar este tipo de tecnología es la potencia que nos brinda una PC para el procesamiento de la información de los sensores y la toma de decisiones, la posibilidad de programar cómodamente en lenguajes de alto nivel, y la facilidad de desarrollar y de testear en nuestra computadora de escritorio. Por otra parte, tanto los sensores como los actuadores que queramos conectar pueden desarrollarse sobre plataformas muy conocidas, como serial, paralelo o USB. Cualquier cámara web puede conectarse en segundos, y todos los drivers de los dispositivos ya desarrollados funcionan sin problema en nuestro robot.

Sensores

Una de las características fundamentales que debe tener un robot es po-

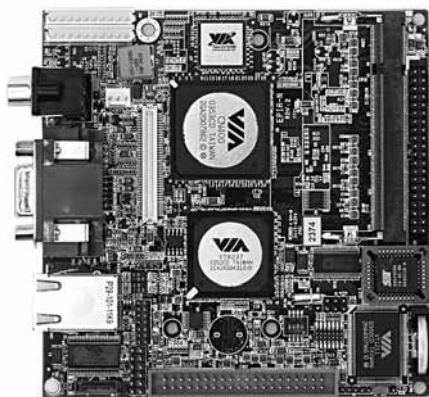


Figura 19. *Nano-itx*, un motherboard de la empresa *Via*, de 12 cm por 12 cm.

ser algún mecanismo de modificación de su comportamiento según el ambiente en el que se encuentra. Para esto, tiene que contar con dispositivos que le permitan **sentir** el mundo que lo rodea, según la tarea que deba realizar. Por ejemplo, en ambientes muy dinámicos, es probable que deseemos sensores que puedan captar rápidamente la información, aunque perdamos precisión. Si esto no fuera así, la información recibida no sería útil, porque representaría un

ROBOTS CON NOTEBOOKS

Gracias a la baja de su precio y a su tamaño, no es sorprendente encontrar robots cuyo procesamiento lo realiza una notebook. Permite utilizar lenguajes de alto nivel, muy buena velocidad de procesamiento y entradas y salidas estándares como serial, paralelo, USB o firewire. Además, es posible desarrollar todo el comportamiento del robot desde una PC convencional, y cualquier desperfecto es fácil de salvar con la instalación una nueva notebook.

estado antiguo que, con seguridad, ha sido modificado por el alto dinamismo del ambiente. Un ejemplo de esto es el fútbol de robots.

En otros casos, necesitamos la mayor precisión posible por la operación que realizamos y para lograrlo, tendremos que utilizar sensores de mayor fiabilidad, aunque su tiempo de respuesta sea bajo. En realidad, cuando construimos un robot, siempre luchamos con esta dualidad (y, seguramente, con muchas variables más). Es por eso que la elección de los sensores que utilicemos estará determinada por la tarea que vayamos a realizar y sus requerimientos particulares.

Los **sensores** pueden definirse como

dispositivos que nos permiten **medir** alguna característica del ambiente, como la temperatura, la distancia, la posición, el sonido, la intensidad de la luz, los colores, la altitud, la velocidad, la rotación, etcétera. Lamentablemente, en la realidad no existe el sensor perfecto, y por lo tanto debemos completar y corregir la información con la utilización de algoritmos de corrección y redundancia de sensores.

Otro aspecto importante para tener en cuenta es que, según el tipo de controlador que utilicemos para nuestro robot, deberemos diseñar **circuitos intermedios** entre el sensor y el controlador, con el fin de convertir la señal del sensor en un

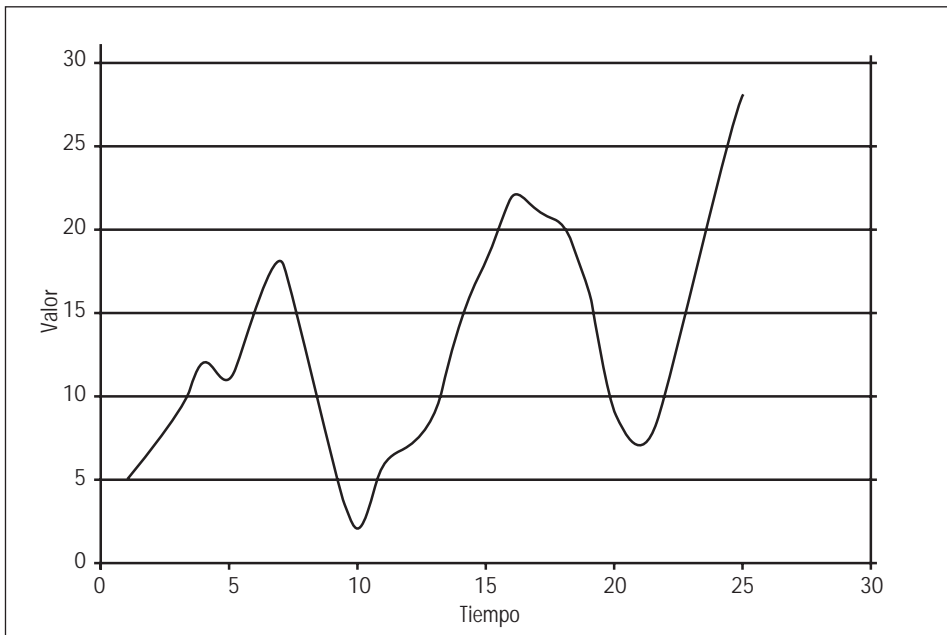


Figura 20. En este caso, los valores son los de un sensor analógico.

valor interpretable por nuestro procesador. Por lo tanto, aunque podamos utilizar un mismo sensor para diferentes plataformas de controladores, con seguridad tendremos que diseñar estas interfaces en forma dedicada para cada procesador.

Clasificación

Podemos dividir a los sensores en dos grandes grupos: **analógicos** y **digitales**. Los analógicos entregan un valor (por ejemplo, una tensión) dentro de un determinado rango continuo (Figura 20). Un ejemplo de este tipo es una **fotorresistencia**, que mide la intensidad de la luz, y que podemos adaptar para que entregue un valor de 0 a 5 Vol-

tios. Los sensores digitales entregan una señal discreta dentro de un conjunto posible de valores (Figura 21). Es decir, este conjunto de valores se modifica de un rango a otro por saltos discretos y no continuos.

Un ejemplo clásico es el sensor de toque, que devuelve valor 1 (ó 0 Voltios) si está apretado y 0 (ó 5 Voltios) si no es así.

Desde ya que, a pesar de que el sensor sea analógico, finalmente, en la lectura del controlador, obtendremos un valor discreto. Es decir, se realizará una conversión analógico/digital dentro del controlador o en la interfaz que construyamos para la adaptación del sensor al controlador.

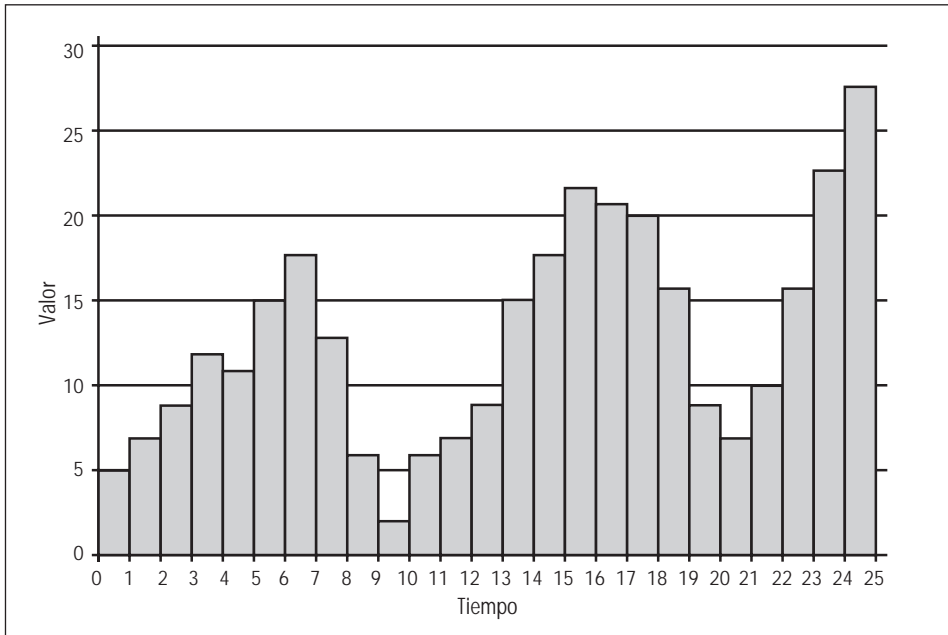


Figura 21. Aquí podemos ver un ejemplo de valores tomados por un sensor digital.



Figura 22. Aquí podemos apreciar un sensor de efecto hall.

Otra clasificación posible de los sensores es **internos** y **externos**. Los internos son aquellos que nos brindan información del propio robot, como la velocidad, la rotación, la posición, la altura, etcétera; en tanto que los externos son los que proporcionan datos del ambiente, como las distancias, la temperatura, la presión, etcétera. Por último, también podemos dividir los sensores en **pasivos** y **activos**. Los activos son los que necesitan enviar una señal hacia el ambiente para luego recibir el **rebote** de esa señal y, de esta manera, interpretar el estado del mundo que lo rodea. Un ejemplo clásico de es-

te tipo de sensor es el ultrasónico, que envía una señal sonora que, al rebotar con un objeto, vuelve al robot, y al calcular el tiempo de demora, puede interpretar la distancia al objeto. Desde ya que los sensores activos necesitan mucha más electrónica para su funcionamiento, pero la información que nos brindan es mucho más rica que la que nos ofrecen los sensores pasivos.

Tipos de sensores

Hacer una lista de todos los tipos de sensores existentes sería imposible. Los que nombraremos a continuación son los más utilizados en robótica de bajo costo:

- **Sensores de interrupción:** simplemente, detectan si pasa corriente o no. Se utilizan como sensores de choque o contadores de eventos (vueltas de una rueda, por ejemplo).
- **Sensores de posición:** determinan la posición del robot. Un sensor de este tipo puede ser un potenciómetro que cambia su valor por la rotación de las ruedas; u ópticos, como los que

▶ SIMULADORES

Existen cientos de simuladores de distintos tipos de robots: humanoides, autónomos, robots para fútbol, etcétera. Por ejemplo, uno de los más interesantes en el fútbol de robots lo podemos conseguir en el sitio www.fira.net/soccer/simurosot/R_Soccer_v15a_030204.exe. Sin embargo, un simulador no es lo mismo que la robótica física. Creer que la experiencia física es igual a la simulada es pensar que **Second Life** es igual a la vida misma. Y no es así, ¿no?

se usan en un mouse tradicional, que cuentan la cantidad de veces que recibe señal el sensor óptico de una rueda que tiene ventanitas cada determinado ángulo (podemos abrir uno para verlo, el mecanismo es sencillo).

- **Sensores de efecto hall:** estos sensores utilizan una propiedad de los imanes, que modifican su conductividad cuando encuentran un objeto metálico (Figura 22).
- **Sensores de luz o brillo:** detectan la cantidad de luz que reciben. Según el tipo de sensor utilizado, por este mecanismo podemos detectar diferencias entre los colores, si éstos no son brillantes.
- **Sensores infrarrojos:** envían una señal infrarroja y determinan el tiempo que tardan en volver a recibirla. Permiten detectar obstáculos (si la señal vuelve) o medir distancias si el sensor es preciso.
- **Sensores de ultrasonido:** como explicamos antes, envían una señal sonora y captan el rebote, de la misma manera en que lo hace un Sonar en el mar.

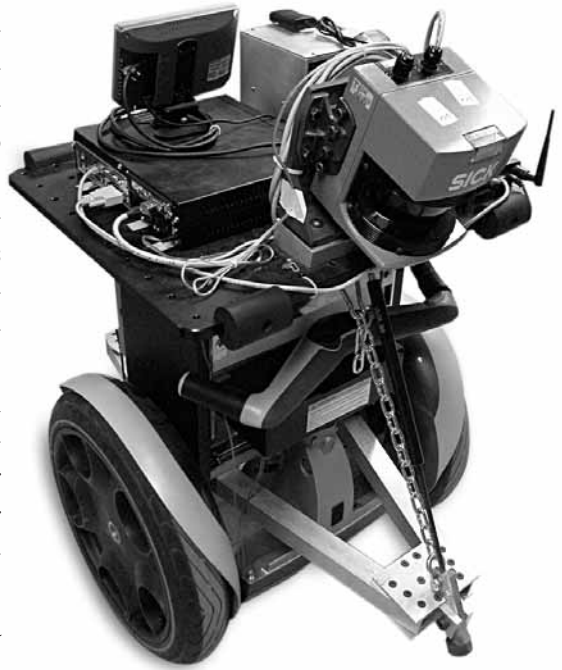


Figura 23. *Laser Sick, usado como sensor por su magnífica precisión.*

En los últimos tiempos, gracias a la posibilidad de contar con mucha capacidad de procesamiento en tamaño reducido, se ha comenzado a utilizar el **video** como sensor de los robots.

{ ROBOTS ADAPTATIVOS

Una de las dificultades más complejas en el desarrollo de robots es la de darles la capacidad de adaptarse en tiempo real al mundo que los rodea. Por ejemplo, los sistemas de visión son muy dependientes de la luz que existe en el ambiente. Por esa razón, es habitual que en las competencias de robots, los equipos que han tenido un gran desempeño en días anteriores, ante un leve cambio de iluminación no puedan realizar prácticamente ninguna tarea.

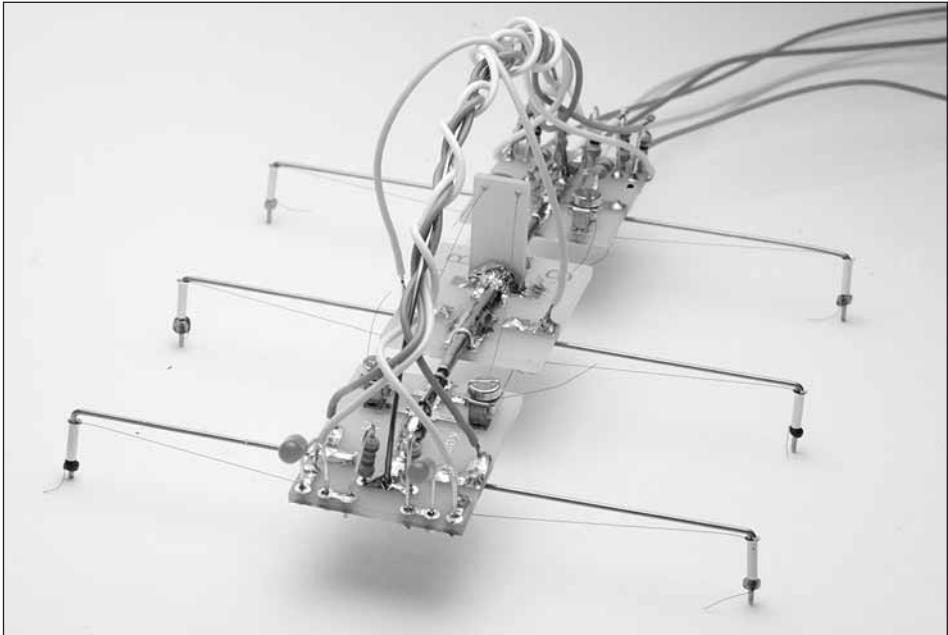


Figura 24. En esta imagen podemos ver un *insecto robótico* que, en lugar de motores, utiliza *músculos de alambre*.

El procesamiento de imágenes es un tema muy complejo y apasionante al mismo tiempo, y escapa a la arquitectura y los costos de fabricación de los robots que nos hemos propuesto para este libro. Pero seguramente, en poco tiempo podremos utilizar nuestras webcams en forma sencilla y eco-

nómica para nuestras creaciones. Las cámaras son los sensores que más datos nos proveen en un lapso de tiempo muy breve. El problema fundamental es que necesitamos mucho tiempo de procesamiento en algoritmos complejos para extraer información útil de semejante cantidad de

III MÚSCULOS DE ALAMBRE

Hasta hoy, el movimiento de los robots se ha realizado con motores. Pero si queremos imitar el movimiento de organismos vivos, ninguno de ellos utiliza este tipo de dispositivos. Es por eso que se ha desarrollado otro tipo de sistema de movimiento conocido como *músculos de alambre* (*wired muscles*). Los *músculos de alambre* son, como su nombre lo indica, alambres que cambian su longitud cuando se calientan, lo que se puede lograr al pasar corriente eléctrica por ellos (Figura 24).

bits. Es en este tipo de algoritmos donde podremos encontrar con más claridad el dilema a resolver entre **velocidad y precisión**.

Actuadores

Si nuestro robot sólo observara el mundo sin actuar en él, sería un robot sumamente limitado. Nuestro deseo es que modifique su estado y el del ambiente según la información que obtiene en el proceso. Con este fin, disponemos de motores, músculos de alambre, lámparas, displays, buzzers, etcétera. Al conjunto de estos dispositivos se lo denomina **actuadores**.

Los actuadores más sencillos de utilizar son las lámparas, que no ameritan demasiada descripción para su uso. Simplemente, con conectarlas a alguna salida del procesador y proveer la alimentación necesaria para su funcionamiento, podremos encenderlas y apagarlas con nuestro programa. Sin embargo, pondremos nuestro foco de atención en los motores, dado que definen en gran medida nuestra capacidad de desplazamiento, los grados de libertad y otros aspectos vinculados al movimiento del robot. Por definición, el **motor eléctrico** es un dispositivo electromotriz, es decir, que **convierte la energía eléctrica en energía motriz**. Todos los motores disponen de un eje de salida para accionar un engranaje, una rueda, una polea o cualquier mecanismo capaz de

transmitir el movimiento creado por el motor. La etapa de elección de un motor puede ser una tarea muy complicada según las limitaciones de nuestro proyecto, si tenemos en cuenta todas las características que definen al motor. Éstas son: tamaño, peso, velocidad (revoluciones por minuto, RPM), torque (kilogramo por centímetro) tensión y, la más sensible: el costo. En la actualidad, existen diferentes tipos de motores, que describiremos a continuación:

Motores de corriente continua (CC)

Son los motores más comunes y que casi todos conocemos (**Figura 25**). En general, los encontramos en cualquier

LEYES DE LA ROBÓTICA

Dentro de su producción literaria basada en la robótica, **Asimov** definió tres leyes para la protección de los humanos que los robots de ficción tienen almacenadas en su cerebro positrónico. Éstas son:

1. Un robot no puede hacerle daño a un ser humano o, por inacción, permitir que un ser humano sufra daño.
2. Un robot debe obedecer las órdenes de un humano, salvo que alguna de éstas entre en conflicto con la primera ley.
3. Un robot debe proteger su propia existencia, salvo que esto viole la primera o la segunda ley.



Figura 25. Motores y motorreductores de corriente continua.

tipo de juguete (¡un buen lugar donde ir a buscarlos!). El funcionamiento del motor se basa en la acción de campos magnéticos opuestos que hacen girar el **rotor** (eje interno) en dirección opuesta al **estator** (imán externo o bobina). De este modo, si sujetamos la cubierta del motor por medio de soportes o bridas, el rotor con el eje de salida será lo único que girará. Para cambiar la dirección de giro en un motor de corriente continua, tan sólo debemos invertir la polaridad de su alimentación eléctrica.

Un detalle importante es que, casi siempre, se utilizan acompañados de un sistema de engranajes que reducen la velocidad y proporcionan mayor fuerza, dado que este tipo de motores carece de esta cualidad. Es conveniente conseguir el conjunto completo porque las adaptaciones son complicadas y pocas veces se obtienen muy buenos resultados.

Motores paso a paso (PAP)

Un motor paso a paso (Figura 26) se diferencia de uno convencional porque puede **ubicar su eje en posiciones fijas o pasos**, con lo cual es capaz de mantener la posición. Esta peculiaridad se debe a la construcción del motor en sí: por un lado, tiene el rotor constituido por un imán permanente, y por el otro, el estator construido por bobinas. Al alimentar alguna de esas bobinas, se atrae el polo magnético del rotor opuesto al polo generado por la bobina, y éste permanece en esta posición hasta que la bobina deje de generar el campo magnético y se acti-



FANÁTICOS DE LEGO

Como comentamos anteriormente, Lego tuvo la precaución de liberar muchísima información sobre sus diseños de manera que otros pudieran desarrollar material para sus kits. Es por eso que podemos encontrar varios lenguajes para poder programar los robots de esta firma. Además, también se pueden conseguir los planos de los sensores de todo tipo. Una de las páginas más conocidas de sensores caseiros es www.extremenxt.com/lego.htm.

ve otra bobina, lo cual hace avanzar o retroceder al rotor. De esta manera, al variar los campos magnéticos en torno al eje del motor, se logra que gire. Los motores PAP pueden ser de dos tipos:

Bipolar: lleva dos bobinados independientes. Para controlarlo se necesita invertir la polaridad de cada una de las bobinas en la secuencia adecuada.

Unipolar: dispone, normalmente, de 5 ó 6 cables, dependiendo de si el común está unido en forma interna o no. Para controlar este tipo de motores existen tres métodos con sus correspondientes secuencias de encendido de bobinas. El común irá conectado a $+V_{CC}$ o masa según el circuito de control usado y, luego, sólo tendremos que alimentar la bobina correcta para que el motor avance o retroceda según avancemos o retrocedamos en la secuencia. Estos motores son muy utilizados en disqueteras, lectoras de CD e impresoras. En las antiguas disqueteras de $5\frac{1}{4}$, podemos encontrar algunos bastante poderosos, y en las lectoras



Figura 26. Vista interna de un motor paso a paso.

de CD, unos más pequeños pero siempre acompañados de buenos mecanismos reductores.

Servomotores

El servo (Figura 27) es un pequeño pero potente dispositivo que dispone en su interior de un pequeño motor con un reductor de velocidad y un multiplicador de fuerza. También cuenta con un pequeño circuito eléctrico encargado de gobernar el sistema. El recorrido del eje de salida es de 180° en

BUZZERS PARA DETECTAR ERRORES

Una de las herramientas fundamentales para detectar errores en nuestro robot es la posibilidad de mostrar en un **display** el valor de los sensores, las variables, etcétera. El problema es que como se trata de un ente autónomo, tendríamos que correr detrás de él para ver qué ocurre y leer los valores que se muestran en el display. Es por eso que usualmente al robot se le agrega un buzzer que nos permite emitir sonidos y enterarnos de lo que sucede.



Figura 27. Servomotor tradicional de la marca Hitec.

la mayoría de ellos, pero se puede modificar con facilidad para tener un recorrido libre de 360° y, entonces, actuar como un motor común.

El control de posición lo efectúa el servo en forma interna mediante un potenciómetro que va conectado en forma mecánica al eje de salida. Éste controla un **PWM** (*Pulse Width Moduler*, modulador de anchura de pul-

sos) interno para compararlo con la entrada PWM externa del servo, mediante un sistema diferencial y así, modificar la posición del eje de salida hasta que los valores se igualen y el servo se detenga en la posición indicada. En esta posición, el motor del servo deja de consumir corriente y sólo circula una pequeña cantidad hasta el circuito interno. Si en ese



NANOBOTS

Los nanobots son robots de tamaño microscópico, cuyas dimensiones están en el orden de una millonésima de milímetro. Se realizan con técnicas de nanotecnología y, aunque aún son ensayos y especulaciones teóricas, ya se han dado pasos para su concreción. Esencialmente, se han desarrollado nanobots químicos o moleculares con funciones limitadas. La aplicación para estos futuros robotitos está apuntada a la medicina, la industria, la ecología y la producción de alimentos.

momento forzamos el servo (al mover el eje de salida con la mano), el control diferencial interno lo detecta y manda la corriente necesaria al motor para corregir la posición.

Para controlar un servo, tenemos que aplicar un pulso de duración y una frecuencia específicos. Todos los servos disponen de tres cables: dos para la alimentación y uno para aplicar el tren de pulsos de control que harán que el circuito de control dife-

rencial interno ponga el servo en la posición indicada por la anchura del pulso. Los servomotores son una muy buena alternativa, ya que traen integrado un sistema reductor que nos ahorrará dolores de cabeza a la hora de buscar **fuerza**. La desventaja para algunas aplicaciones es que, en general, **son lentos**. Se utilizan mucho en los automóviles y aviones radiocontrolados, principalmente para accionar el mecanismo que les da la dirección.

RESUMEN

En este primer capítulo hemos hecho una breve introducción a los conceptos fundamentales de la robótica. Un robot no es más que un dispositivo con un determinado grado de movilidad, que puede realizar un conjunto de tareas en forma independiente y se puede adaptar al mundo en el que opera. Existen diversos tipos de robots, según el uso para el cual se han destinado, el medio en el que se mueven, la capacidad de autonomía que presentan, etcétera.

Cualquiera de estos robots está dirigido por una unidad de procesamiento, que se puede adquirir en forma completa con todas sus comunicaciones de entrada y salida resueltas, o que podemos desarrollar desde cero con micros, dispositivos portátiles o, simplemente, motherboards de PC.

Además, necesita de sensores para poder captar el mundo. Cuanto más complejo sea un sensor y más datos nos provea, tendremos que renunciar a ciertos aspectos de velocidad para obtener información más precisa. Por último, para que el robot pueda trasladarse y actuar sobre el entorno, necesitamos de los actuadores. Los esenciales y más usados son los motores, de los cuales tenemos diversos tipos según el objetivo de nuestro robot y la cantidad de dinero que poseamos.



TEST DE AUTOEVALUACIÓN

1 ¿Cuál es nuestra definición de robot?

2 ¿Qué clasificaciones encontramos de los diferentes tipos de robots?

3 ¿Cuáles son las unidades que presenta un robot?

4 Compare las ventajas y desventajas del uso de un kit de robótica o el desarrollo desde cero del procesamiento del robot.

5 Si desarrollamos la unidad de procesamiento por nuestros propios medios, ¿qué dispositivos podemos utilizar?

6 ¿Qué es un sensor? ¿Cuál es la diferencia entre sensores activos y pasivos?

7 ¿Cuáles son los tipos de sensores con los que podemos contar en la elaboración de nuestro robot?

8 ¿Qué ventajas y desventajas presenta el uso de video como entrada de datos de un robot?

9 ¿A qué llamamos actuadores?

10 ¿Qué tipos de motores encontramos en el mercado?
