

# ROBOTICA. PERSPECTIVAS Y APLICACIONES

*Juan L. Hernández S., Ph. D.*

## Introducción

**E**l uso de robots industriales en variadas empresas de los países desarrollados es relativamente conocido por el público en general, gracias a artículos de diarios y revistas y programas televisivos. Las reacciones que despiertan estos robots industriales son, por supuesto, muy diversas y serán, evidentemente, más intensas a medida que se introduzcan tipos, o "generaciones", más avanzados de ellos, capaces de reemplazar al hombre en labores no meramente manuales, sino que de mayor nivel intelectual y variedad.

Por ahora, los robots de primera generación son, generalmente, entes maquinales desprovistos de los sentidos superiores (visión, audición, olfato y gusto), capaces sólo de sensaciones táctiles, no ambulatorios por sí mismos y no decididores con libre albedrío. Más bien son máquinas manipuladoras de objetos, preprogramables, que son colocadas en su lugar de trabajo para realizar tareas industriales repetitivas, para lo cual están dotadas de brazos y manos con varios grados de libertad. Lo anterior se refiere a los robots industriales comunes; hay actualmente tipos más avanzados, o complejos, tanto en ciertas industrias como en laboratorios de investigación.

Los robots de primera generación, o primitivos, empleados en la industria no han despertado mayor resistencia o animosidad entre los trabajadores, puesto que desempeñan labores desagradables, rutinarias o peligrosas, poco apreciadas por el ser humano. Se menciona aquí este hecho, sobradamente conocido, dado que en actividades navales o militares existen justamente diversas tareas de ese tipo, como veremos más adelante.

Por otra parte, desde el punto de vista de la gerencia de empresas, los robots son utilizados por razones económicas frías y cuantitativas. Esta es otra razón que lleva progresivamente a pensar en usar robots en las Fuerzas Armadas de las superpotencias, debido a los cuantiosos costos de nuevas armas y sistemas y, cabría esperar, a razones de respeto a la economía de vidas humanas.

La anterior descripción de los manipuladores robóticos contrasta con los robots antropomórficos, autoambulatorios, inteligentes, libre-decididores, con cinco sentidos y de buenos (o malos) sentimientos, que nos presentan la literatura y el cine de ciencia-ficción, o anticipación. En realidad, hay ya robots con muchas de esas características y se avanza rápidamente hacia robots de cuarta generación. Este tema de las generaciones es aún impreciso, según se trate, por ejemplo, de robots japoneses o estadounidenses,

como veremos. En algunas industrias – como la de microelectrónica o circuitos integrados en muy alta escala – hay robots que corresponderían a características de tercera generación.

Algunas aplicaciones espectaculares de robots están relacionadas con la investigación espacial. Un ejemplo es el uso de mecanismos telecontrolados ambulorios (*moonrovers*) con dispositivos para colección de muestras. Otro ejemplo es el brazo manipulador del transbordador espacial. Hay también robots de varios brazos para exploración de fondos marinos.

Algunos autores han destacado el hecho de que las grandes potencias están empeñadas en una lucha a fondo por el predominio en las tecnologías de microelectrónica. Inglaterra tuvo la hegemonía en la Primera Revolución Industrial (reemplazó del músculo por la máquina), así como Estados Unidos la tuvo y la tiene en la Segunda Revolución Industrial (basada en el computador). El ganador en la lucha por la conquista de la microelectrónica, probablemente Estados Unidos o Japón, será hegemónico en la Tercera Era Industrial, *ad portas*. Por tal motivo, el gobierno de Estados Unidos dedica gran esfuerzo a evitar el espionaje industrial en esta sensible área, en la que tiene la delantera. No ocurre lo mismo en el uso masivo de robots, en los cuales hay cierta ventaja japonesa.

Se ha mencionado aquí el tema de la electrónica pues son justamente los avances en esta área los que han hecho posible el desarrollo y utilización económica de los robots. Más aún, los futuros avances en robótica estarán suspenidos al desarrollo de la tecnología de circuitos electrónicos de muy alta densidad y rapidez (VHSIC), la que es investigada activa y dispendiosamente en la actualidad.

Recientemente se ha advertido en Estados Unidos un interés creciente por explotar las aplicaciones de la robótica y

otras disciplinas conexas, en forma concreta en algunos proyectos militares y navales. Pero los fundamentos financieros para la investigación universitaria en inteligencia artificial y robótica fueron establecidos por el Departamento de Defensa en los años 60, a través de la Oficina de Proyectos Avanzados de Defensa y la Oficina de Investigaciones Navales. Esta investigación, en diversas universidades y otras instituciones, ha entregado numerosos resultados que han sido aplicados en equipos y sistemas militares, navales y aeroespaciales, pero prácticamente no ha habido aplicaciones estrictamente robóticas *per se*, hasta ahora, en sistemas de defensa.

En este artículo se presenta una vista panorámica de aquellos aspectos de la robótica más factibles de ser aplicados en equipos y sistemas navales y militares, y se describen y discuten casos concretos en proyecto en Estados Unidos. Se parte de las bases de la automática y se va describiendo la evolución de los sistemas de control automático, hasta llegar a la etapa del robót. Luego de describir diversos datos sobre robots y robótica, principalmente industrial, se presentan los citados ejemplos y proyectos.

### **Sinopsis del control automático, hasta 1960**

Las bases del control automático han sido presentadas en numerosos textos (1). El regulador centrífugo de Watt para controlar la velocidad de la máquina a vapor fue quizás el primer ejemplo significativo de control, o regulación, automático en el ámbito terrestre, y luego naval. En dicho regulador – y en muchos otros casos anteriores desde los tiempos más remotos – se hacía uso implícito del principio cibernético – en terminología moderna – de la retroalimentación, ilustrado en la figura N° 1.

En dicha figura, que también servirá para otras explicaciones posteriores, se

---

(1) K. Ogata, *Modern Control Engineering*, Prentice Hall, 1970.

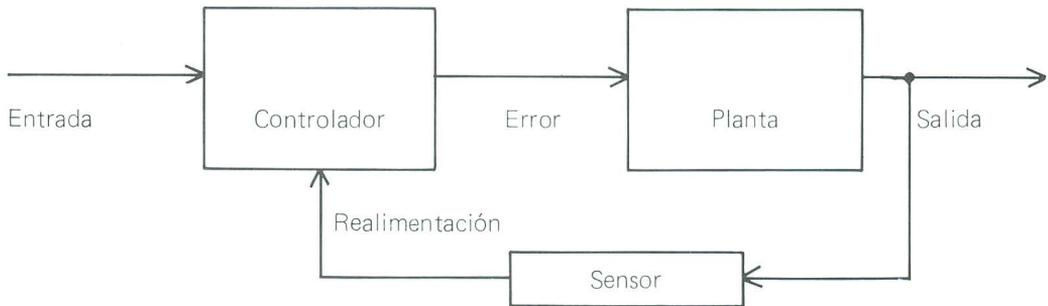


Figura 1.— Esquema básico de control automático

desea mantener la señal, o variable, de salida igual a la variable de entrada. La señal de salida es medida con un elemento sensor y la señal que resulta es realimentada al controlador. Este dispositivo resta la señal realimentada de la variable de entrada y produce una señal de error. Si ésta no es nula, se aplica a la planta controlada una señal que la active en forma tal que el error (discrepancia entre la entrada y salida) se anule. En el ejemplo de Watt, el regulador centrífugo actuaba como sensor de velocidad y como controlador, en tanto que la planta era la máquina a vapor. Si la velocidad era excesiva (o baja) el regulador cerraba (o abría) la válvula de admisión de vapor a la máquina.

En 1922, Minorsky desarrolló (en Estados Unidos) sistemas de control automático de buques, los que actuaban sobre el timón para compensar o corregir el rumbo. En los años 20 y 30 hubo diversos desarrollos en la ingeniería y tecnología de control automático, sobre la base del esquema de la figura N° 1.

Durante la Segunda Guerra Mundial hubo notables desarrollos en este campo, particularmente sistemas de control de fuego, control de antenas, control de buques, aviones y los primeros misiles. Fueron inventados nuevos dispositivos —sincros, amplidinas, amplificadores magnéticos, por ejemplo— y se desarrollaron esquemas de control aleatorio y adaptivo para resolver diversos problemas bélicos (radar, aviones de gran altura, submarinos de aguas profundas, y otros).

### Desarrollo de la automática, desde 1960

Desde la Segunda Guerra Mundial el control automático ha experimentado un desarrollo fenomenal y no es posible describir todas sus facetas en este breve trabajo. En la década de 1960 se empezó a usar el computador digital (inventado 15 años antes) como parte integrante de esquemas de control automático. Esto permitió controlar, en tiempo compartido, una gran cantidad de lazos de control del tipo de la figura N° 1; en un tipo de control, el computador actuaba como el controlador para un lazo y luego, como tal, sucesivamente para otros lazos independientes. El empleo del computador, además de mejorar la calidad y costo del control y regulación, hizo posible el desarrollo y efectiva aplicación de esquemas más complejos y óptimos. Por ejemplo, en aplicaciones militares, navales y aeroespaciales tiene especial importancia el control óptimo de tiempo mínimo, para asegurar la mayor rapidez de respuesta posible.

Los avances en microelectrónica y circuitos integrados posibilitaron la introducción de mini y microcomputadores en sistemas de control automático, a un costo razonable. Paralelamente se fueron inventando otros dispositivos electrónicos de control, de actuación y de interconexión.

En la actualidad tiene gran interés el desarrollo y aplicación de sistemas de control jerárquico y distribuido, como se ilustra en la figura N° 2. Los computadores

indicados pueden ser de cualquier capacidad, según el tipo de aplicación que se esté considerando. Como aquí nos interesa la aplicación a un robót pequeño, supondremos que en dicha figura los

computadores M y P son microcomputadores. Los microcomputadores P, esclavos, controlan sus respectivas plantas bajo instrucciones del microcomputador M, maestro o coordinador.

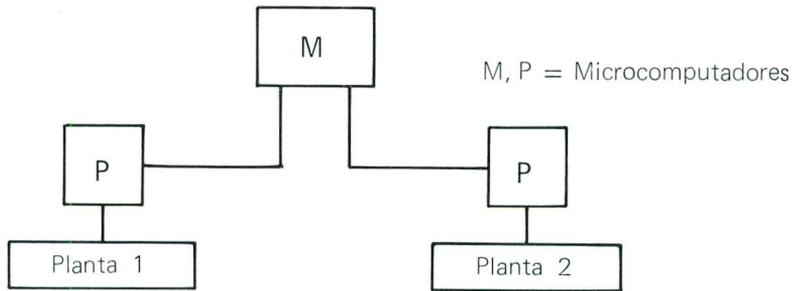


Figura 2.— Esquema de control jerárquico

### Transición desde servomecanismos a robots

Muchos de los sistemas de control en equipos militares y navales están destinados a gobernar variables de tipo mecánico, tales como posición, velocidad o aceleración angulares o translatorias de timones, antenas, cañones y otros dispositivos. Dichos sistemas de control automático son llamados servomecanismos, y su desarrollo evolutivo condujo, en cierto modo, a los manipuladores robóticos.

En la figura N° 3 se presenta el esquema de un manipulador robótico con dos articulaciones (A, B), sendos brazos (a, b) y un efector de muñeca (C) con dos dedos (c). Se supone que el hombro A está rotulado a algún marco fijo pero tiene los grados de libertad necesarios. Típicamente, para los efectos de este artículo; podemos suponer que en cada rótula hay un motor, eléctrico o de aire comprimido, controlado por un microcomputador (o controlador digital) en la respectiva rótula. El microcomputador en A actuaría como maestro o coordinador, en un esquema jerárquico como el descrito en la figura N° 2. Los servomecanismos de cada rótula son como el de la figura N° 1.

No es posible en este breve artículo dar todos los detalles de control y movimientos del manipulador robótico, pero describiremos el método de movimiento resuelto, en forma superficial. Si se desea, por ejemplo, mover la mano C a una nueva posición en el espacio, el microcomputador maestro debe enviar señales de entrada apropiadas a su servomecanismo, y señales de comando y coordinación a los microcomputadores de las articulaciones restantes. Estas, a su vez, entregan señales de entrada a sus servomecanismos. Así, todas las rotaciones de las articulaciones se combinan para dar el movimiento deseado a la mano. Si el manipulador tiene más grados de libertad, el movimiento y los cálculos de coordenadas son, por supuesto, más complejos.

### Definición del robót

Es importante definir lo que se debe entender por robót, puesto que hay mucha confusión en las diversas publicaciones. Por ejemplo, se ha publicado que en Japón hay unos 80.000 robots, un 70 por ciento del total mundial. Sin embargo, aplicando una definición más estricta, el número de robots japoneses de cierta

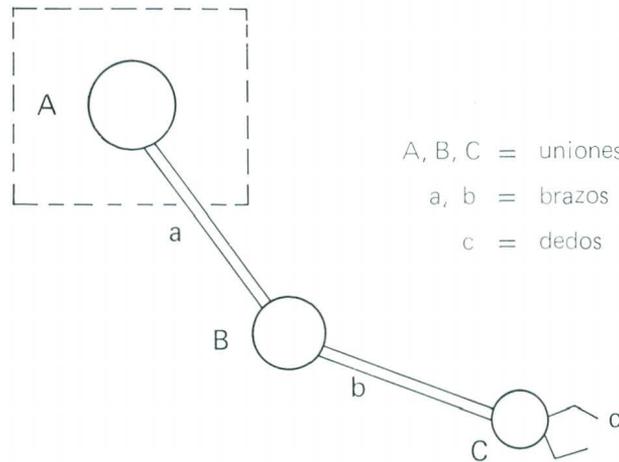


Figura 3.— Esquema de manipulador robótico

complejidad bajaría a 14.000, ó aun 3.000 si se aplica más rigurosidad.

La definición de robót, dada por la Organización Internacional de Normalización (ISO), es (2):

“El robót industrial es un manipulador multifuncional reprogramable controlado automáticamente en posición, que posee varios ejes (grados de libertad) y que es capaz de manejar materias, partes, herramientas o dispositivos especializados a través de movimientos programados variables para la realización de una variedad de tareas”.

De esta definición se aprecia que el robót debe tener las siguientes capacidades o aptitudes: 1) movimiento físico en más de una dimensión, realizado como parte de la función; 2) movimiento alterable sin modificaciones del equipo; y 3) provisión de sensores para medir algún aspecto del estado del dispositivo y de su ambiente, para afectar subsecuentemente el movimiento.

Actividades que requieren estas aptitudes surgen en áreas o campos indus-

triales, espaciales, militares, médicas, submarinos, domésticos y nucleares, entre otros.

Los japoneses usan una definición más amplia de robót, e incluyen como tales: los manipuladores manuales; los robots con secuencias de control fijas o variables; los robots de replicación o emuladores; los robots de control numérico de máquinas herramientas; los robots inteligentes.

Los robots más complejos y grandes parecen ser los Unimates, de la firma estadounidense Unimation, de los cuales hay unos 3.000 en el Mundo. Uno de los robots más pequeños, pero con plenas capacidades para uso industrial, es el IRI, de la firma estadounidense International Robomation/Intelligence (3), con 7 microcomputadores, 5 motores neumáticos y 90 kilogramos de peso, capaz de mover cargas de hasta 22 kilogramos y cuyo precio es de unos 10.000 dólares.

Para finalizar esta sección, conviene mencionar que muchas veces hay confusión entre computadores, robots, controles reguladores y otros términos. Un

(2) IFAC Newsletter, march 1983.

(3) International Robomation/Intelligence, *The Affordable Robot*, Tech. Report, Carlsbad, CA.

computador por si solo no es un robót, pues no tiene capacidad de movimiento. Un control para mover un cañón en elevación solamente no es un robót: no es multifuncional, ni reprogramable (si no es controlable por computador) y no tiene movimiento en más de una dimensión. Un cargador automático de obuses para un cañón podría o no ser considerado como un robót, según sea su diseño.

### **Inteligencia artificial y robótica**

Los futuros desarrollos de la robótica, para crear robots inteligentes, están ligados a avances científicos y tecnológicos en muchas disciplinas. Una de estas disciplinas ha sido llamada "inteligencia artificial" y es un término impreciso para designar una variedad de problemas y métodos: procesamiento de imágenes, reconocimiento de rasgos, traducción automática de lenguajes, y otros. Como se indicó al comienzo de este artículo, en los planes del Departamento de Defensa de Estados Unidos figura crucialmente la inteligencia artificial, combinada a veces con la robótica. Un autor ha dicho que es la función "control" la que separa la robótica de la inteligencia artificial: la inteligencia artificial representa el "pensamiento", en tanto que la robótica materializa la "acción".

### **Aplicaciones navales de la robótica**

Básicamente, un robót puede sustituir a un humano en tareas repetitivas, tediosas, rutinarias o peligrosas. También puede superarlo en algunas tareas, o complementarlo. Por ejemplo, un humano tiene dos manos pero un robót puede tener varias. Un robót puede sustituir 2 a 3 operadores en la realización de tareas repetitivas sencillas, en el estado actual de la robótica.

Una aplicación de robots, en la que ya hay experiencia, es en la exploración de fondos marinos, para rescates, prospección o extracción de minerales, detección e inutilización de minas o explosivos. Otra labor obvia es la vigilancia, particularmente con robots dotados de visión normal o de infrarrojo.

En los submarinos parece haber un buen campo para robots. En ellos, el espacio disponible es poco y la provisión de aire es limitada. El hacinamiento puede causar problemas psicológicos en la tripulación. La necesaria provisión de otros elementos (agua, alimentos) restringe aún más el espacio. Los tripulantes generalmente tienen que ejercer distintas tareas. Los robots no presentarían algunos de estos problemas, ocuparían menos espacio, no requerirían alimentos y tendrían una serie de ventajas adicionales. Aunque algunos robots podrían servir para complementar a la tripulación, cabría pensar que el submarino mismo sea un robót. Quizás los submarinos rusos denunciados por Suecia son de tipo robótico, no meramente controlados a distancia.

En buques de superficie los robots pueden realizar una serie de tareas, tales como: servir de timoneles; cargar municiones; cargar cañones; supervisar sistemas de control, de poder y de comunicaciones; detectar fallas incipientes y corregirlas; detectar y apagar incendios; pintar; limpiar y ejecutar otras tareas domésticas; realizar labores de mantenimiento; verificar acciones de combate o normales de los tripulantes, etc. A medida que los robots sean dotados de visión y otros sentidos y de la capacidad de decidir "inteligentemente", podrán asumir otras tareas. Obviamente, la meta de esta evolución robótica podría consistir en que todo el barco sea un robót o que al menos lo sean algunos de los subsistemas; por ejemplo, un cañón completo con sus controles podría ser, en realidad, un robót.

Las ideas anteriores pueden parecer exageradas, pero, se quiera o no, están siendo elaboradas en diversos laboratorios de inteligencia artificial y robótica.

Se espera que, por brevedad, basten los ejemplos anteriores para cerrar esta sección del artículo. Las aplicaciones aeronavales y aeronáuticas de la robótica serían principalmente para auxiliar a los pilotos durante acciones críticas, al menos por ahora.

## Otras aplicaciones de la robótica

Algunas de las posibles aplicaciones de la robótica en acciones de guerra en tierra serían similares a las antes citadas.

Describiremos el proyecto del tanque robótico con inteligencia artificial que está siendo diseñado por Hughes Research Laboratories para el Ejercicio de Estados Unidos. El vehículo será de tipo robótico autónomo. El módulo de inteligencia artificial ayudaría a guiar el tanque, o vehículo artillado, por el campo de batalla para reconocimiento o misiones de suministro, sin tripulación en él; el módulo recibiría información de sensores ópticos y auditivos, de modo que el vehículo robótico tendría "ojos y oídos" para detectar minas, trincheras individuales y otros objetivos.

Hay diversos otros proyectos más ligados a la inteligencia artificial que a la robótica, pero que, indudablemente, incidirán en ésta. Por ejemplo, el proyectil WASP, un misil antitanque, buscará inteligentemente su blanco en un campo de batalla. Un enjambre de mini WASP no interferirán entre sí y se dispersarán buscando cada uno su blanco.

Nótese que en los conflictos más recientes los misiles no eran inteligentes. Los que tengan inteligencia artificial son considerados por los analistas como verdaderos genios.

## Conclusiones

Se describió brevemente el campo de la robótica, sus nexos con el control automático, algunas de sus posibles aplicaciones navales y militares y, finalmente, algunos proyectos concretos que están siendo realizados en Estados Unidos. Incidentalmente se mencionaron las relaciones entre la robótica y la inteligencia artificial.

Cabría recordar que en todo proyecto de avanzada hay limitaciones de varios tipos: científicas, tecnológicas, económicas y de disponibilidad final. En el campo de la robótica no hay limitaciones esenciales de los dos primeros tipos y el costo y disponibilidad están mejorando mucho. En inteligencia artificial hay muchos proyectos técnicamente factibles, pero aún injustificables económicamente.

Finalmente, recordando la pugna de las potencias por la hegemonía en la Tercera Era Industrial, se ha dicho por algunos autores que en los países desarrollados la alternativa no es robots versus gente, sino robots versus competencia extranjera. Los japoneses han puesto en desarrollo la quinta generación de computadores y la tercera de robots, ambas con inteligencia artificial, para producción comercial (y militar, por cierto) en los años 90.

## REFERENCIAS

- K. Ogata, *Modern Control Engineering*, Prentice-Hall, 1970.
- *IFAC Newsletter*, march 1983.
- International Robomation/Intelligence, *The affordable robot*, Tech. Report, Carlsbad, CA.