

ROBOTS MÓVILES.

TEORIA, APLICACIONES Y EXPERIENCIAS

GIOVANNI BERMÚDEZ*
girober@express.net.co

1. Introducción

La robótica móvil se considera actualmente un área de la tecnología avanzada manejadora de problemas de alta complejidad. Sus productos se constituyen en aplicaciones de las áreas de control, programación, inteligencia artificial, percepción e instrumentación, y sirven de base para el avance en diversos campos de la industria, aportando soluciones tecnológicas innovadoras orientadas al desarrollo de mejores robots y a la ampliación del abanico de aplicaciones disponibles. Así, este campo de la investigación esta desarrollándose en todo momento, quedando aún mucho que recorrer.

También la percepción humana con respecto al área temática ha cambiado; el miedo de que los robots nos reemplacen ha desaparecido en razón del desarrollo de estudios de impactos tecnológicos, económicos y sociales realizados por la ACA (Asociación Colombiana de Automática), cuyos informes se presentan en su página web con la siguiente conclusión: «*en vez de desplazar a un gran número de trabajadores, los robots han traído consigo un grupo importante de especialistas en operación y control de ordenadores y aparatos robóticos*»¹.

Este artículo pretende generar un mayor interés en el lector por la robótica móvil. Para ello se presenta información detallada acerca de este tipo de equipos, y una reseña de diseños e implementaciones de robots desarrollados en la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital F.J.C.

2. Antecedentes

En 1979 el Instituto de Robótica de América definió el robot como «*Un manipulador reprogramable y multifuncional diseñado para mover materiales, partes, herramientas o dispositivos especializados a través de varios movimientos programados para el desarrollo de una variedad de tareas*». El Oxford English Dictionary, por su parte, lo define como «*un aparato mecánico que se parece y hace el trabajo de un ser humano*». Estas son algunas definiciones, adecuadas para el tiempo en que se formularon; sin embargo,



PALABRAS CLAVES

ROBÓTICA MÓVIL,
SERVOMECANISMOS,
MICROCONTROLADORES,
SENSORES, INTELIGENCIA
ARTIFICIAL, SISTEMAS
AUTÓNOMOS INTELIGENTES

* *Ingeniero Electricista Universidad Nacional de Colombia. Magíster en Ingeniería en Electrónica y de Computadores Universidad de Los Andes. Profesor Tiempo Completo adscrito a la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Miembro del Comité de Investigaciones de la Facultad y Director del Grupo de Investigación en Robots Móviles*

¹ En: <http://www.control-automatico.net/>

versiones actuales más completas debería incluir algunos conceptos como inteligencia, si se quiere llegar a una aproximación de la tendencia de los robots modernos.

Muchos años han transcurrido desde que el checo Karel Capek introdujo el término «robot» en su drama R.U.R, en el año de 1920. En este drama un personaje fabrica una serie de hombres artificiales llamados *robots*, que se asemejan a los humanos y fueron creados para reemplazarlos en el trabajo; como desenlace, los robots se vuelven contra sus creadores aniquilando la raza humana.

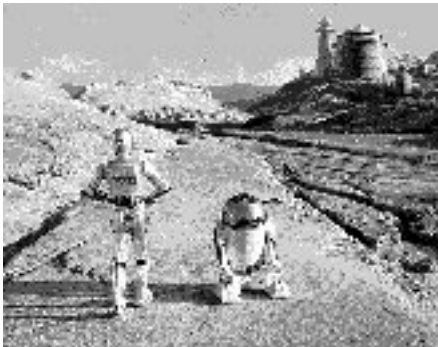


FIGURA 1. Imagen de Algunos Personajes de Película (R2D2 C3PO)

Esta escalofriante visión generó una concepción de los robots como máquinas humanoides dotadas de inteligencia y personalidades individuales, que con el tiempo se aleja cada vez más de la ficción para acercarse a los desarrollos actuales y al futuro cercano de la robótica. Aunque los productos de la imaginación colectiva nacida en la literatura y el cine parecen ser muy lejanos comparados con los robots industriales modernos, la cienciaficción en muchas ocasiones se ha adelantado a los avances tecnológicos con tal rigor en sus vaticinios, que en cierto modo pareciera que los propiciara. Así, no pasarán muchos años antes de que personajes de película, como Metrópolis (1926) o Star Wars (1977, con C3PO y R2D2, mostrados en la Figura 1) sean una realidad, de la misma manera como los robots industriales modernos parecerían fantásticos para las personas de 1920.

La robótica se ha desarrollado a pasos agigantados entre la década de los 50s hasta el día de hoy, con diferentes campos de aplicación, hasta la identificación de dos áreas de investigación claramente definidas, así: *teleoperados* y *autonomía*.

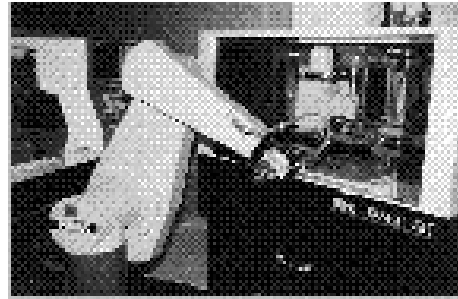


FIGURA 2. Manipulador Universal Programable para Ensamblaje PUMA

Uno de los primeros robots fue el llamado *Shakey*, desarrollado en el Instituto de Investigaciones de Stanford en 1960 y capaz de tomar bloques de una pila utilizando una cámara de video como sensor visual, y de procesar información en una pequeña computadora. Tiempo después, a mediados de 1970, la General Motors financió un programa de desarrollo en el que el investigador Victor Scheinman, del Instituto de Tecnología de Massachussets, inventó un *brazo mecánico* para producir un «*manipulador universal programable para ensamblaje* (Programmable Universal Manipulator for Assembly, PUMA)», el cual marcó el inicio de la era de los robots (Figura 2).

El campo de acción de la robótica comprende la actividad productiva, la investigación científica y la medicina; de acuerdo con su uso y aplicación, los aparatos tienen diversas características. En la producción industrial los robots se unen a otras máquinas con el propósito de mejorar la eficiencia en la producción, obtener mejores calidades de producto terminado y/o a aumentar la rapidez del proceso; sin embargo, su utilización también conlleva la disminución de la cantidad de mano de obra requerida.

En el área científica diversos dispositivos son empleados para hacer investigaciones en campos

en los cuales el hombre no puede ir o le es muy difícil ir, por tratarse de medios hostiles o demasiado peligrosos (submarino, espacial, irradiado por centrales nucleares, etc.). Así, de acuerdo con su misión y su sentido de operabilidad se han diseñado dos tipos de robot: los *robots autónomos* se programan para una misión, casi siempre de realización de trabajos sencillos que no requieren de reflexión ni de comprender su entorno; por su parte, la *teleoperación* o *telepresencia* permite el control a distancia por un puesto maestro monitoreado por un operador humano.

Los sistemas teleoperados, a su vez, pueden clasificarse como *sistemas manipulados* o *sistemas vehiculos*. Los primeros son sistemas que se mueven por mando en su ambiente, y los segundos son usados sólo para navegar o moverse sobre su espacio individual. Así mismo, la *telerobótica* o *robots semiautónomos* (SA) son un híbrido entre sistemas autónomos y teleoperados, con usos especialmente industriales.

Específicamente, la robótica se preocupa por el estudio de sistemas controlados por computador que son capaces de interactuar con su ambiente para llevar a cabo una tarea específica. De acuerdo con su diseño cada robot puede realizar funciones específicas y predeterminadas. El interés investigativo particular del autor es el de conocer, diseñar y desarrollar prototipos reales de robots móviles con alguna de las siguientes aplicaciones industriales:

- Operación en ambientes industriales hostiles, por ejemplo en refinerías de petróleos, plantas químicas o nucleares, o procesos que impliquen manipulación de sustancias tóxicas
 - Realización de rutinas de mantenimiento y seguridad en caso de accidentes
 - Inspección de tuberías terrestres y submarinas para detectar posibles filtraciones o fisuras
-

2 Wise, Edwin. «Applied Robotics». Prompt. Indianapolis. 1999

- Detección, recolección y clasificación de frutos o flores delicadas en el sector agrario
- Exploración submarina
- Reconocimiento de ambientes donde el hombre no puede llegar
- Tecnificación de la pesca
- Realización de labores de construcción que impliquen gran esfuerzo físico, o actividades que requieran constante concentración
- Vigilancia y seguridad de plantas industriales
- Inspección y reparación de tubos de evacuación que demanden controles y sensores robustos para trabajar en entornos muy contaminados
- Transporte de materiales en actividades de producción industrial
- Sillas de ruedas eléctricas dotadas de sistemas de sensores que permitan a los usuarios discapacitados evitar obstáculos y realizar desplazamientos seguros
- Implantación de sistemas de telerobots para el mantenimiento de líneas de distribución de energía eléctrica
- Extinción de pequeños incendios caseros
- Fabricación de juguetes sofisticados y educativos.

Como aplicación especial y campo posible de investigación cabe destacar que los *robots teleoperados* son empleados en situaciones que implican peligro para los seres humanos; ellos han sido usados en el seguimiento de la limpieza de incidentes como los ocurridos en las plantas nucleares de Chernobyl y Three Mile Island. Además, las fuerzas militares los emplean para recoger, probar o destruir bombas y explosivos contenidos en paquetes sospechosos.

3. Algunos Robots Móviles en la Historia

Algunos diseños de robots móviles desarrollados para fines específicos y que describen campos posibles de aplicación se describen a continuación²:

• Robots Industriales

Las primeras aplicaciones fueron en el campo de la limpieza; aún en el mercado actual se sigue aprovechando el potencial de robots que aspiran y limpian. En 1991 una compañía dedicada a comercializar robots móviles, la *Denning Mobile Robots y Windsor Industries*, produjo el *Roboscrub* (ver Figura 3), un robot que aspira y limpia pisos de grandes capacidades. El equipo se programó para seguir un patrón a través del espacio por limpiar, percibiendo la presencia de obstáculos para no tropezar con ellos; como parte de sus características, tiene incorporados transductores tipo sonar, infrarrojos y switches, y también algoritmos de navegación autónomos.

El *RoboKent* fue otro robot, fabricado por *Cleaning Equipments* en 1988, para labores de limpieza de espacios grandes; este ha sido tal vez el equipo de este tipo de mayor éxito en Norteamérica. Posee un sistema de detección tipo sonar y un control automático o manual que le indica la ruta establecida para la limpieza; posteriormente, el robot realiza autónomamente la tarea programada.

• Seguridad

Demming Mobile Robotics diseñó el *Denning Sentry* (Figura 5), destinado a ser un robot de seguridad. Mediante sensores de detección de intrusos él puede hacer patrullajes de manera infatigable en una instalación, bodega o similares. Cuando la alimentación se agota, el robot retorna automáticamente a su estación de carga y recarga sus baterías sin asistencia de ningún operador; el equipo incorpora un anillo de sonares para detección de obstáculos, sensores de movimiento de tipo infrarrojo y de microondas. También posee una cámara de TV, micrófono y transmisores inalámbricos para enviar la información a la estación de seguridad.

• Hospitales

El *Helpmate* (Figura 6) es un robot enfermero fabricado por *Helpmate Robotics Inc.* Nace de la reducción de la efectividad de los enfermeros y otros trabajadores de hospitales debido al tiempo que pierden en labores incidentales, y fue diseñado para aliviar el peso de tales tareas. Recorre los corredores de los hospitales combinando el sistema de navegación y la ubicación por sonar. Presionando un botón, el operario puede enviar el robot a determinado lugar del mapa y navegar de una estación programada



FIGURA 3. El Roboscrub, para la aspiración y limpieza de pisos



FIGURA 4. El RoboKent



FIGURA 5. Robot de Seguridad Denning Sentry

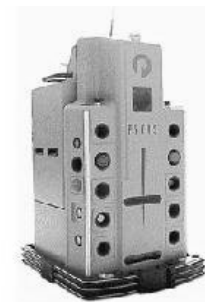


FIGURA 6. El Helpmate o Robot Enfermero

a otra. El equipo incorpora sonares para evitar obstáculos, y un sistema de triangulación por luz estroboscópica.

• Investigación espacial

La misión Pathfinder, que viajó a Marte en 1997, llevó el que se puede considerar el robot móvil autónomo de mayor éxito en la historia. El robot *Sojourner* (ver Figura 7) concentró la atención de millones de personas en su exploración del planeta rojo. Ejecutó fielmente los comandos enviados desde controladores en el laboratorio de Propulsión a Cohete en California; también podía tomar acciones por sí mismo, manteniéndose alerta de obstáculos y abismos. El equipo fue el resultado del desarrollo de varios prototipos tempranos, y fue programado de acuerdo a los principios del control por comportamientos.

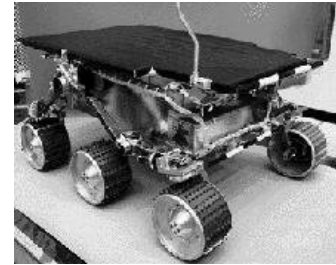


FIGURA 7. Robot Sojourner, para investigación espacial

• Actividad Militar

Otro de los robots más interesantes es el *Fletch* (ver Figura 8), diseñado con el propósito de remover las pequeñas bombas y granadas de la munición antitanque que no explotan en el campo de batalla. La munición es soltada desde aeronaves y se calcula que el 25% de ella no explota, lo que genera un grave problema. La tarea de remoción es perfecta para un robot; en la evaluación se demostró que ellos pueden deshacerse incluso de explosivos de artillería. El robot tuvo éxito en su navegación autónoma a un punto, en la búsqueda de munición en espiral, y en su localización, levantamiento y transporte a un punto.



FIGURA 8. Robot Fletch, de uso militar

• Sector Educativo

La investigación y desarrollo de sistemas contribuye a la generación de conocimiento. Específicamente, los sistemas LEGO (mostrados en la Figura 9) han desarrollado la robótica en todo el sentido de la palabra; ellos brindan información, elementos y partes que permiten crear cualquier sistema, constituyéndose en un apoyo educativo muy fuerte a partir de la utilización potencial del software, piezas mecánicas, sensores, sistemas de desarrollo y demás elementos necesarios para que el estudiante construya sus propios desarrollos asimilando el conocimiento requerido.



FIGURA 9. Sistemas LEGO

• Juguetes y Biología Electrónica

Algunas de los desarrollos de robots de juguete son presentados en la Figura 10. Por su parte, en la Figura 11 se observa un robot con la figura de un animal.



FIGURA 10. Algunos Juguetes Robots

• Humanoides

El robot Honda P3 (ver Figura 12) es posiblemente el más avanzado del mundo, al poder hacer tareas únicas como subir escaleras. Su tipo es conocido como *humanoide*, debido a su aparente forma humana. Sin embargo, aunque pueda parecer que se ha obtenido un sistema completo, capaz de realizar una amplia gama de actividades, en verdad no es así.

El diseño del robot y de su sistema sensorial inherente está orientado a conseguir una capacidad de desplazamiento elevada, pero los brazos han de ser controlados de forma remota. En él pueden distinguirse cuatro tipos de sensores: los *táctiles*, situados en las manos y en los pies, que le permiten controlar la fuerza de agarre de objetos o de pisada; un sensor *giroscópico* en la cintura, para detectar y controlar los movimientos de las piernas; internamente, sin señalarse en la Figura, dispone de un *inclinómetro* que le permite conocer la posición de su «columna vertebral»; además, una *cámara* localizada en su cabeza, que le permite desplazarse por el entorno mediante técnicas de visión.

La población de robots crece a pasos agigantados; muy pronto formarán parte indisoluble del paisaje tecnológico, pasando a dominar muchas de sus áreas de aplicación. Sólo en los Estados Unidos, el número de robots casi se dobló durante la pasada década, y su presencia es cada día más importante en operaciones como la exploración espacial, la cirugía o la producción de servicios.

En 1985 integrar seres humanos y robots era casi un sueño. Ahora existe un área científica dedicada a la ergonomía de estos aparatos, orientada a facilitar la relación hombre/máquina. En diversos procesos de fabricación, agricultura y construcción, los robots se hallan ya plenamente integrados en la labor de los seres humanos.



FIGURA 11. Una imagen de animales electrónicos

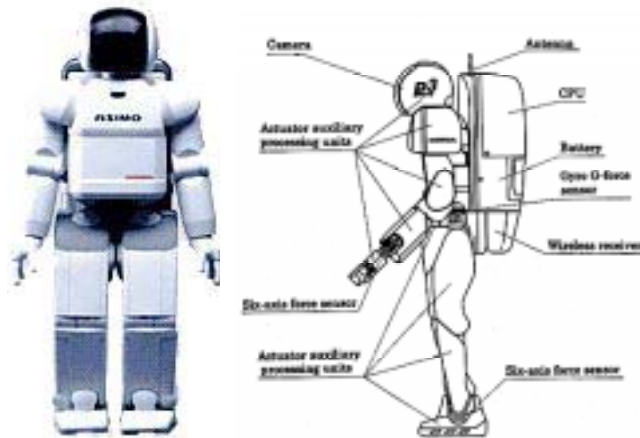


FIGURA 12. Robots Humanoides. El Robot Honda 3

En Japón, el número de robots por cada 10.000 empleados dedicados a la fabricación pasó de 8,3 en 1980 a 265 en 1996. En Alemania pasó de 2 a 79, en los Estados Unidos de tres a 38, y de 0 a 98 en Singapur. En suma, la población de robots en todo el mundo pasó de 35.000 en 1982 a 677.000 en 1996, y se estima en 950.000 en el año 2000.



FIGURA 13. Diagrama de bloques de un robot

4. El robot y su funcionamiento

Las propiedades características de los robots son la *versatilidad* y la *autoadaptabilidad*. La primera se entiende como la potencialidad estructural de ejecutar tareas diversas y/o ejecutar una misma tarea de forma diversa, lo cual implica una estructura mecánica de geometría variable. La autoadaptabilidad significa que un robot debe, por sí solo, alcanzar su objetivo a pesar de las perturbaciones imprevistas del entorno a lo largo de la ejecución de su tarea; esto supone una consciencia del entorno otorgada por la posesión de sentidos artificiales.

Un robot operacional está constituido por cuatro sistemas relacionados entre sí: *mecánico*, *sensoérico*, *control* y *alimentación*. El sistema mecánico permite el movimiento, utilizando diferentes elementos de acuerdo con el propósito del robot y ubicados estratégicamente. El sistema sensoérico brinda información importante para la ubicación de elementos u obstáculos: los sensores *propioceptivos* permiten determinar posición y velocidad; los sensores *exteroceptivos* determinan la interacción del entorno con él mismo. El sistema de control es el cerebro del robot, al interpretar y tratar la información; él debe contener un modelo del robot físico (actuadores y sensores), un modelo del entorno o estrategias para conocerlo, y los programas que permiten realizar las tareas (algoritmo de control). Un diagrama modular típico de un sistema robótico se presenta en la Figura 13; en él se pueden identificar los sistemas mencionados³.

4.1. Sistema Mecánico

Un robot móvil debe tener un principio de locomoción claramente definido y apropiado para su aplicación, el cual define su movilidad, la superficie de contacto y demás características

de operación. En el diseño es necesario la consideración de las propiedades físicas (peso, tamaño, modo de transporte) y la estabilidad del equipo⁴.

El sistema de locomoción de un robot móvil está determinado especialmente por su peso, dado que éste afecta la movilidad y define la potencia de los motores necesaria para el desplazamiento. A su vez, el peso se encuentra determinado por las siguientes partes: chasis, motores, baterías y sistema electrónico. Cuando un robot se considera pesado es necesario realizar una selección adecuada de motores, elegir el material adecuado para el chasis y comenzar una dieta de alimentación.

La dieta de alimentación es un método actualmente utilizado para disminuir el peso, reduciendo el tamaño de la fuente de energía pero también la autonomía del equipo. Se trata de realizar un diagrama de flujo de los requerimientos inmediatos de energía y establecer las prioridades de alimentación, de acuerdo con el tipo de aplicación.

Para establecer el nivel de estabilidad del robot es necesario calcular el Centro de Balance Horizontal que indica la distribución del peso sobre la base y el Centro de Gravedad Vertical que determina el área de contacto del robot con la superficie y a su vez, determina el nivel de estabilidad del robot.

En el sistema mecánico se relacionan los sistemas de movilidad, el sistema de transmisión mecánico, los cálculos de velocidad y la resolución espacial mecánica necesaria para caracterizar un robot. Los principales sistemas de movilidad se dividen en cuatro grupos, a saber:

- *Diferencial*: nombre técnico dado al sistema oruga utilizado por los tanque militares; mediante sistemas de engranajes y dos

.....

³ McDonald, Anthony. «Robot technology: theory, design and applications». Prentice – Hall. USA. 1986

⁴ Rorabaugh, Britt. «Mechanical Devices for the Electronics Experimenter». McGraw – Hill. USA. 1999

- motores se logran desplazamientos lentos y giros de 360°
- *Automóvil*: movilidad análoga a la empleada por los carros, utilizándose un motor de tracción y otro de dirección
 - *Triciclo*: es el más empleado por experimentadores en robótica dada la facilidad de su diseño; utiliza dos motores para la movilidad y dirección, y la estabilidad se realiza utilizando ruedas locas (castres)
 - *Omnidireccional*: es un sistema de alta tecnología que utiliza motor para cada una de las extremidades que produzcan movilidad; requiere un alto nivel de integración de los sistemas.



FIGURA 14. Tren de Engranajes

En cuanto a los sistemas de engranajes utilizados para la transmisión de fuerza en los robot debe decirse que se encuentran altamente desarrollados trenes de engranajes rectos llamados *motorreductores* (ver Figura 14). De estos dispositivos es necesario conocer su relación de transmisión, eficiencia y tamaño, principalmente.

4.2. Sistema Sensórico

Es el sistema que brinda la información del entorno necesaria para el cumplimiento de las

funciones definidas al equipo. Utiliza especialmente los principios de los sentidos humanos para captar valores de variables y procesar la información, que en nuestro caso es realizada por el denominado sistema de control⁵.

De acuerdo con la proximidad y distancia del objeto identificado existen sistemas de detección de objetos cercanos, y de detección de objetos lejanos, aunque «lejano» y «cercano» son conceptos relativos dependientes de la aplicación del robot. Para la determinación de movimientos y decisiones del robot deben usarse algoritmos rápidos. La detección de objeto cercano requiere de información de dos variables: proximidad y distancia; para ella se utilizan sensores capacitivos, inductivos, ultrasónicos, ópticos, etc. Por su parte, la detección de objeto lejano se realiza fuera del área de interés del robot pero dentro de un rango de detección principal; para ella se emplean técnicas basadas en mapeo espacial, como radares, sonares, lidars, etc.

El sistema de detección se debe diseñar de tal forma que sea redundante, es decir que siempre haya un criterio de comparación confiable para el sistema. La redundancia se basa en el adagio popular de que «dos cabezas son mejores que una», que definitivamente lleva a poder afirmar que «dos ojos son mejores que uno». Así, para cumplirlo es necesario emplear sensores iguales que utilicen el mismo principio de detección; luego se aplica la estadística, y concretamente la interpolación, para mejorar el sistema sensorico. También se emplean sensores complementarios, para que las lecturas de variables realizadas pueden ser comparadas por diferentes sistemas, y comprobarse los errores generados; así se constituyen sistemas de respaldo para la detección de la variable deseada⁶.

⁵ Everett, H. R. «Sensors for Mobile Robots: theory and application». A. K. Peters. USA. 1995

⁶ JONES, Joseph. «Mobile Robots: inspirations to implementation». A. K. Peters. USA. 1999

4.3. Sistema de Control

Es el sistema principal, si se considera que en él se procesa toda la información del robot. Actualmente realiza las siguientes funciones: control de motores, manejo de información del sistema sensorial, dietas de alimentación, algoritmos de navegación y algoritmos de procesamiento de información.

Para llevar a cabo cada una de estas funciones se ha requerido desarrollar niveles cognitivos que incorporen un procesamiento de información altamente relacionado y transportable a dispositivos electrónicos. Los principales conceptos utilizados en la robótica son: lógica difusa, redes neuronales artificiales, inteligencia artificial, etc.

Aunque en general el procesamiento de información requiere de una actividad de programación intensiva, existe un investigador que ha desarrollado sistemas mediante la comparación con la naturaleza. El Dr. Mark Tilden, del Laboratorio Los Álamos en USA⁷, establece una comparación razonable: «*un reloj digital tiene alrededor de 50.000 transistores y un animal tiene alrededor de 100 transistores. Cada uno de ellos utiliza los transistores para el procesamiento de información. Si la naturaleza hace tanto con tan poco, deben existir sistemas de información sencillos y confiables*». Es así como él implementó sistemas de control y procesamiento de información utilizando transistores bipolares mediante una conexión que llamo «*Solarengine*», que utiliza para la implementación de redes nerviosas en el desarrollo de robots móviles tipo *Beam* (Ver Figura 11).

4.4. Autonomía en Robots

Su objetivo es hacer que los robots se muevan de manera independiente en sus entornos de

.....

⁷ www.solarbotics.com

⁸ ÁLVAREZ, Juan. *Planificación de Movimiento de Vehículos Autónomos Basada en Sensores. Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo. Septiembre 1998*

trabajo. Para conseguirlo, ellos han de ser capaces de orientarse y elegir la ruta adecuada que les permita desplazarse mientras completan la tarea encomendada, sin colisiones u otros percances. Además de este tipo de movimiento se pueden demandar otras especificaciones, como su realización en el menor tiempo posible o por el camino más corto. El enfoque más empleado en la literatura para estudiar la navegación autónoma consiste en dividirla en tres problemas, que se expresan respectivamente con tres preguntas: ¿dónde estoy? (localización), ¿hacia dónde quiero ir? (planeación de tareas), y ¿cómo puedo llegar allí? (planeación de movimiento)⁸.

El problema de la localización consiste en conocer en todo momento las coordenadas del robot respecto a un cierto sistema fijo de referencia.

La *planificación de tareas* se encarga de decidir qué acciones y en qué orden se han de realizar para completar una misión. Este es el razonamiento de más alto nivel exigido a un robot, y se aborda frecuentemente con técnicas de inteligencia artificial. La *planeación de movimiento* se encarga de resolver el problema de navegación para desplazarse desde una posición inicial a otra final.

4.5. Programación usada en Robótica

La programación empleada en el área de la robótica tiene características diferentes: en forma explícita, porque el operador es el responsable de las acciones de control y de las instrucciones adecuadas que deben alimentarse; así mismo, cuando se describen la tarea y el entorno en sistemas autónomos debe realizarse una modelación del mundo exterior, para que el propio sistema toma las decisiones.

La programación explícita es la más utilizada en las aplicaciones industriales y consta de dos técnicas fundamentales: programación gestual y programación textual. La primera exige el empleo del manipulador en la fase de enseñanza, es decir que trabaja *on line*; en la segunda no participa la máquina (trabajo *off line*).

• **Programación gestual o directa (on line):** cuando el propio robot interviene en el movimiento y en las acciones a desarrollar. Se encuentra dividida en dos clases: *programación por aprendizaje directo* y *programación mediante un dispositivo de enseñanza*. La primera tiene pocas posibilidades de edición, ya que para generar una trayectoria continua es preciso almacenar o definir una gran cantidad de puntos y su reducción origina discontinuidades. La segunda clase consiste en determinar las acciones y movimientos del robot a través de un elemento especial para este fin; en este caso, las operaciones ordenadas se sincronizan para conformar el programa de trabajo.

• **Programación textual (off line):** en este caso el programa queda constituido por un texto de instrucciones o sentencias cuya conformación no requiere de la intervención del robot. Así, el operador prácticamente no define las acciones del robot, sino que ellas se calculan en el programa mediante el empleo de las instrucciones textuales adecuadas.

5. La Robótica en Colombia

El estudio de Robótica en Colombia ha tomado un nivel de interés muy alto por parte de diferentes universidades⁹:

- La Universidad Pontificia Bolivariana posee un robot didáctico RHINO y Controlador MARK-III, una celda de manufactura flexible didáctica, y trabaja en sistemas de visión artificial y AGVs

.....

⁹ <http://www.control-automatico.net/>

- La Universidad de Antioquia tiene el grupo GIRAA (Grupo de Investigación en Robótica y Areas Afines). Se trabaja en el área de manipulación, control, sensórica, procesamiento digital de imágenes y software
- La Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá trabaja en Inteligencia Artificial y Robótica. Ha desarrollado robots del tipo *Beam*, un robot caminador y un robot microcontrolado con una red neuronal del tipo *perceptron*
- La Pontificia Universidad Javeriana de Cali posee manipuladores industriales, vehículo autoguiado y varios robots autónomos pequeños. Con los autónomos se trabajan problemas de planificación de trayectorias dinámicas, y con los manipuladores tareas de posicionamiento
- La Universidad del Norte cuenta con un laboratorio de robótica y manufactura flexible con cuatro estaciones de trabajo
- La Universidad del Valle tienen dos grupos de investigación en robótica: el Grupo de Robótica y Productiva y el Grupo de Percepción y Robótica Avanzada.
- La Universidad de los Andes se encuentra trabajando en sistemas de detección de minas antipersonales y ha desarrollado plataformas posibles para mecanismos.

En el caso particular, la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital F.J.C. cuenta con manipuladores y una célula didáctica de manufactura flexible. Específicamente, en el programa de *Ingeniería en Control Electrónico e Instrumentación* se han diseñado asignaturas que orientan la aprehensión del conocimiento de la robótica por parte de los estudiantes. Por ejemplo, el curso de *Instrumentación Robótica* ha liderado el desarrollo del conocimiento acerca de robots móviles en la Facultad; así, mediante la organización y desarrollo de campeonatos estudiantiles se alcanzan resultados tangibles en cada semestre académico con respecto a temas específicos. De esta forma se propicia el desa-

rollo de una mentalidad de diseñador de sistemas aplicados a casos específicos. Los concursos realizados hasta la fecha comprenden: solución de un laberinto, seguidores de línea, limpiadores de superficie, y actualmente en curso luchadores de Sumo. A continuación se describen algunas de las características de los diseños aquí generados.

- **Robots para solucionar laberintos:** en la Figura 15 se aprecia un robot autónomo con algoritmo de decisión para establecer el camino más corto en la solución del laberinto, implementado en un PIC. Sistema sensorico a base de switches y bastón ciego para su contorno, y sensores de efecto hall en las ruedas para la determinación de la posición de ellas. El sistema de alimentación emplea una batería recargable. Para la implementación del sistema mecánico se utilizó la caja de reducción de un juguete, pero el chasis es diseñado a partir de estructuras en acrílico. Las dimensiones aproximadas del diseño son de 30 * 30 cm.

El robot presentado en la Figura 16 se desarrolló a partir del acondicionamiento de un juguete cuyo sistema mecánico no fue alterado. A él se le adaptó un sistema sensorico con utilización de sensores ópticos, y un algoritmo de control para la toma de decisiones implementadas en un PIC. Entre los problemas de este diseño figuran su peso liviano y su poca compensación de peso, que ocasiona patinado de las ruedas al momento de girar; también el consumo de corriente de los sensores y la ausencia de implementación de una dieta de alimentación reflejada en la autonomía del diseño.

- **Robots limpiadores de superficie:** *Sweeperbot*, mostrado en la Figura 17, es un robot con un algoritmo autónomo diseñado para limpiar superficies (igual a un carro escoba autónomo), programado en un PIC. Posee un sistema de detección diseñado a partir de sensores ópticos, y un sistema de limpieza desarrollado a partir de un rodillo giratorio tipo escoba; tiene además un sistema de recolección independiente, muy similar a las bolsas de aspiradoras. De su diseño es destacable su algoritmo de ahorro de potencia, que evita consumo de energía cuando no detecta suciedad en la superficie. Toda la estructura es original y puede llegar a construirse de forma modular

- **Manepa** es un robot autónomo con un algoritmo de control sencillo implementado en un PLC. Su sistema sensorico se encuentra compuesto por switches y posee un sistema de limpieza tipo aspiradora y un sistema de movilidad tipo triciclo, como se observa en la Figura 18. El inconveniente fundamental del diseño es el consumo de energía del robot, que disminuye su tiempo de autonomía.

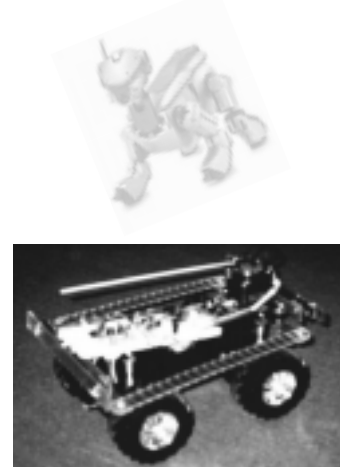


FIGURA 15. Robot para Solucionar Laberintos



FIGURA 16. Robot para Solución de Laberintos Adaptado a partir de un Juguete Mecánico



FIGURA 17. Sweeperbot. Un Robot Limpiador de Superficie



FIGURA 18. MANEPA. Un Robot de Limpieza

6. Perspectivas de Investigación en el Área en la Facultad Tecnológica

En la Facultad Tecnológica se ha conformado un grupo de trabajo dividido en dos componentes: un Grupo de Interés y un Grupo de Investigación, orientados principalmente al estudio de *robots móviles*; en él tienen participación activa estudiantes de diferentes programas académicos, orientados por docentes de la Facultad para abordar temas específicos de trabajo. La meta principal de trabajo es la generación de un prototipo para el desarrollo de investigaciones en sensorica, mecanismos, control y sistemas de alimentación.

El grupo de interés trabaja en el estudio de los principios operacionales y áreas del conocimiento tecnológico que conforman el concepto de *robot*, y simultáneamente en el desarrollo de dos prototipos: *un robot para la detección de conatos*

de fuego como guía para el apagado de incendios a bomberos y un *gripper* inteligente, mediante la utilización de alambre muscular.

El grupo de investigación se encuentra en proceso de formación y consolidación y tiene propósitos de formalización de su existencia en Colciencias. Pretende especializarse en áreas del conocimiento de mayor complejidad, aplicadas al desarrollo de sistemas autónomos, reconocimiento de imágenes, controladores fuzzy logic, detección de marcas naturales y redes neuronales artificiales aplicadas a prototipos desarrollados dentro del grupo.

Con el fortalecimiento de esta área de investigación la Facultad Tecnológica pretende identificar alternativas de solución a problemas reales del sector productivo, con el consecuente desarrollo de fortalezas de conocimiento en los programas de Ingeniería actualmente ofrecidos.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- RORABAUGH, Britt. Mechanical Devices for the Electronics Experimenter. McGraw – Hill. USA. 1999
- WISE, Edwin. Applied Robotics. Prompt. Indianapolis. 1999.
- MCCOMB, Gordon. The Robot Builder's Bonanza. McGraw – Hill. USA. 2001
- EVERETT, H. R. Sensors for Mobile Robots: Theory and Application. A. K. Peters. USA. 1995
- GROOVER, Mikell. Industrial Robotics. McGraw – Hill. USA. 1986
- ASFAHL, Ray. Robots and Manufacturing Automation. John Wiley & Sons. USA. 1992
- CONSIDINE, Douglas. Process/Industrial Instruments & Controls Handbook. McGraw – Hill. USA. 1993
- JONES, Joseph. Mobile Robots: Inspirations to Implementation. A. K. Peters. USA. 1999
- McDONALD, Anthony. «Robot Technology: Theory, Design and Applications». Prentice – Hall. USA. 1986
- DELGADO, Alberto. Inteligencia Artificial y Minirobots. ECOE Ediciones. Bogotá. 1998
- MARTÓNEZ, Humberto. Una Arquitectura Distribuida para el Control de Robots Autónomos Móviles: un Enfoque Aplicado a la Construcción de la Plataforma Quaky-ant. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia. Enero 2001
- ÁLVAREZ, Juan. «Planificación de Movimiento de Vehículos Autónomos basada en Sensores». Tesis Docotoral. Universidad de Oviedo. Septiembre 1998
- DUPUIS, Ray. Search, Identify, and Destroy: a Robotic Solution to Urban Warfare. Land Forces Technical Staff Programme V. Royal Military College, Kingston. June 2000
- Memorias IX Congreso Latinoamericano de Control Automático. Cali. Noviembre 2000
- TILDEN, Mark. Living Machines. Theoretical Division. Los Álamos National Laboratory. USA. March, 1997
- Tilden, Mark. The Design of Living Biomech Machines: How Low Can One Go?». Physics Division. Los Álamos National Laboratory. USA. July. 1997
- <http://mrt.tripod.com.co/Robots%20Moviles.htm>
- <http://www.control-automatico.net/>
- <http://www.robotbooks.com>
- <http://www.solarbotics.com>