





Robótica educativa
Estrategias activas en ingeniería

JOVANI ALBERTO JIMÉNEZ BUILES

DEMETRIO ARTURO OVALLE CARRANZA

JUAN FERNANDO RAMÍREZ PATIÑO

Robótica educativa

Estrategias activas en ingeniería

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Sede Medellín

Facultad de Minas

Robótica educativa: máquinas inteligentes en educación
Grupo de investigación: Inteligencia artificial en educación

INVESTIGADOR PRINCIPAL

Jovani Alberto Jiménez Builes, Ph. D.
Profesor asociado, Escuela de Ingeniería de Sistemas
jajimen1@unal.edu.co

CO-INVESTIGADORES

John William Branch Bedoya, Ph. D.
Profesor asociado, Escuela de Ingeniería de Sistemas
jwbranch@unal.edu.co

Jaime Alberto Guzmán Luna, Ph. D.
Profesor asociado, Escuela de Ingeniería de Sistemas
jaguzman@unal.edu.co

Demetrio Arturo Ovalle Carranza, Ph. D.
Profesor titular, Escuela de Ingeniería de Sistemas
dovalle@unal.edu.co

Juan Fernando Ramírez Patiño, Ph. D. (c).
Profesor asistente, Escuela de Ingeniería Eléctrica y Mecánica
jframirp@unal.edu.co

ASISTENTES DE INVESTIGACIÓN

Juan Sebastián Álvarez Chavarría
Estudiante de Maestría en Ingeniería Mecánica

Juan José González España, Ing.
Estudiante de Maestría en Ingeniería de Sistemas

Marcela Jiménez Sánchez, Ing.
Estudiante de Maestría en Ingeniería de Sistemas

Juan Ricardo Osorio Cadavid
Estudiante de Ingeniería Mecánica

Rubén Esneider Ruiz Pino
Estudiante de Ingeniería Mecánica

Ana Caterine Serna Marín
Estudiante de Ingeniería Mecánica

ASESORES PEDAGÓGICOS

Prof. César Augusto Chávez Roldán, Esp.
Prof. Jorge Orlando García Escobar, MSc.
Prof. Gloria Inés Jiménez Gutiérrez, MSc.
Prof. Beatriz Londoño Vélez, MSc.
Prof. Gabriel Hernán Uribe Restrepo, Esp.

REVISIÓN

Darío Valencia Restrepo
Profesor emérito y Doctor Honoris Causa
Universidad Nacional de Colombia

RECTOR DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Moisés Wasserman Lerner

VICERRECTORA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, SEDE MEDELLÍN

Ana Catalina Reyes Cárdenas

DIRECTOR ACADÉMICO

Carlos Mario Sierra Restrepo

DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN - DIME

Jaime Hening Polanía Vorenberg

DIRECTOR DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA

Alexander Alberto Correa Espinal

DIRECTOR BIENESTAR UNIVERSITARIO

Rafael Rueda Bedoya

DECANO FACULTAD DE MINAS

John William Branch Bedoya

VICEDECANO ACADÉMICO

Moisés Oswaldo Bustamante Rúa

VICEDECANO DE INVESTIGACIÓN Y EXTENSIÓN

Andrés Fernando Osorio Arias

VICEDECANA DE BIENESTAR UNIVERSITARIO

Lina María Gómez Echavarría

© Universidad Nacional de Colombia
Sede Medellín
Facultad de Minas

© Jovani Alberto Jiménez Builes, Demetrio Arturo Ovalle Carranza,
Juan Fernando Ramírez Patiño

Primera edición: 2010

Preparación editorial e impresión
Editorial Universidad Nacional de Colombia
direditorial@unal.edu.co
www.editorial.unal.edu.co

ISBN: 978-958-719-453-1

Impreso y hecho en Colombia

Catalogación en la publicación Universidad Nacional de Colombia

Jiménez Builes, Jovani Alberto, 1972-
Robótica educativa : estrategias activas en ingeniería / Jovani Alberto Jiménez
Builes, Demetrio Arturo Ovalle Carranza, Juan Fernando Ramírez Patiño. – Medellín :
Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas, 2010
114 p., il.

Incluye referencias bibliográficas

ISBN : 978-958-719-453-1

1. Robótica 2. Innovaciones educativas 3. Aprendizaje activo I. Ovalle
Carranza, Demetrio Arturo, 1962- II. Ramírez Patiño, Juan Fernando, 1976- III. Tít.

CDD-21 629.89207 / 2010

Contenido

Introducción	11
Prefacio	13

1

La universidad

El paso del colegio a la universidad	15
Cambios que se producen	16
Recomendaciones para afrontar los cambios	18
Deserción universitaria	19
Realidad en las universidades	19
Deserción en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín	20
Iniciativas para combatir la deserción	22
Universidad Nacional de Colombia	23
Historia de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín	24
Programas curriculares de la Unalmed	25
Estadísticas de programas, profesores y estudiantes	29

2

Modelos de enseñanza para el aprendizaje

Contextualización	35
Teorías de aprendizaje	37
Conductismo	37
Cognitivismo	38
Histórico-social	42
Aspectos del diseño curricular	44

3**Construcción del robot**

Nociones de robótica	47
Piezas del robot	49
Placa superior	49
Placa inferior	50
Barras	50
Correa de fijación principal	51
Correa de fijación para baterías	51
Mecanismo motriz	52
Rueda libre	52
Proceso de pre-ensamble	52
Placa superior y placa inferior	53
Mecanismo motriz	53
Proceso de ensamble	55

4**Principios de física, electrónica y algoritmia por abordar**

Principios de física mecánica	67
Leyes de Newton	67
Equilibrio de cuerpos rígidos	69
Fricción	71
Centro de gravedad	72
Principios de física ondulatoria	73
La luz como onda electromagnética	73
Principios de electrónica	75
Sistemas electrónicos	75
Ley de Ohm	77
Resistencias en serie	77
Divisor de voltaje	78
Algoritmia	79
Estructura secuencial	80
Estructura de decisión lógica	81
Estructura cíclica	82

Taxonomía del robot

Sensórica	83
Sensores pasivos	84
Sensores activos	87
Motor eléctrico	90
Motorreductor DC	90
<i>Driver</i> de los motores	90
Microcontroladores	91
Microcontrolador MC68HC908JK8 (Robot-madre, RTM)	92
Microcontrolador MC68HC908JK3 (Robot-hijo, RTH)	92
Multiplexor	93
Comunicación entre el robot y el computador	94

Anexos

Estructura de las tarjetas	97
Tarjeta principal	97
Tarjeta secundaria	98
Planos de las placas del robot	99
Referencias bibliográficas	105
Índice alfabético	109



Cuando llegué a Japón hace quince años, casi todo me impresionó de este maravilloso país. Su tren bala, su sistema de transporte en general, su arquitectura, sus magníficas islas artificiales, sus grandiosas obras de ingeniería, sus excelentes laboratorios, sus grandes fábricas y su estricta disciplina, fueron algunas de las cosas que más lograron deslumbrarme.

Sin duda alguna, me impresionó también su grandioso desarrollo en el área de la robótica. Todo era robótica en este país. Las competencias en esta área se llevaban a cabo en todas las principales ciudades japonesas. Los robots Aibo, Qrio, Asimo y otros estaban a la orden del día y eran mostrados con orgullo en todas las exhibiciones de robótica en el país. Las competencias de fútbol en las cuales el robot Aibo u otros robots eran entrenados usando sofisticados lenguajes de programación, asombraban por igual a los japoneses y a los extranjeros que las visitaban. Las más importantes empresas de robótica del Japón se encontraban desarrollando por igual hardware y software tendientes a crear robots que fueran capaces de ayudar en hospitales, restaurantes, hoteles, casas de familia, supermercados, entre otros.

En el año 2001 y después de seis años y medio de estudio en el área de reconocimiento de patrones y redes neurales en general, comencé a trabajar con la empresa Panasonic en el área de *Robot Vision*. Fue allí en donde conocí de cerca los robots industriales y los robots que jugaban al fútbol con una inteligencia que asombraba a todos.

Las competencias de RoboCup se llevaban a cabo en todo el mundo y agrupaban a las más prestigiosas universidades del planeta. Esta era una forma de medir la capacidad intelectual y la calidad de la investigación que se llevaba a cabo en los principales laboratorios de robótica de las más prestigiosas universidades.

Los partidos de fútbol de robots eran algo muy parecido a los encuentros de los mundiales de fútbol que eran llevados a cabo por seres humanos. A estos encuentros asistían personas de muchas partes del mundo: alemanes, americanos, canadienses, franceses, australianos y, por supuesto, japoneses. Todos gritaban por igual haciéndoles barra a sus equipos de robots creados y perfeccionados en los sofisticados laboratorios de cada una de estas prestigiosas universidades.

Mientras yo observaba cada uno de estos encuentros, siempre pensaba en la posibilidad de que un equipo colombiano pudiera estar allí participando y haciéndoles barra a todos sus sofisticados robots creados y perfeccionados en laboratorios netamente colombianos. En mis pensamientos nunca dejó de existir la posibilidad de que un equipo conformado por robots netamente colombianos pudiera llevarse la primera presea, por encima de las más famosas universidades del mundo, como por ejemplo Carnegie Mellon (USA), Bonn (Alemania) o Tokio (Japón).

Después de leer este maravilloso libro, me di cuenta de que todas estas ilusiones podrían convertirse en realidad. Este libro podría ser una herramienta que podría abrirnos a nosotros los colombianos hacia un futuro lleno de conocimiento en el área de robótica, y sería un gran paso para que nuestro país pudiera algún día optar por el primer trofeo en alguno de estos campeonatos de fútbol de robótica que se llevan a cabo por todo el mundo.

Así yo lo espero y ojalá que algún día así sea.

Muchas felicidades al grupo de personas que elaboró este excelente libro aportando grandes conocimientos y buenas bases a los colombianos de bien que quieren abrirse paso en el maravilloso mundo de la robótica.

Óscar Vanegas

Sensing & Control Lab.

Advanced Technologies Development Laboratory

Panasonic Electric Work Co., Ltd.

Japan

Uno de los ejes estructurantes, y quizás el más importante, en el desarrollo de un país es la educación, y es precisamente ella uno de los escenarios fundamentales en la solución del conflicto planteado por la necesidad de operar la tecnología y la necesidad de conocerla para el mejoramiento de la calidad de vida de los individuos de la sociedad.

Enmarcado dentro de este eje estructural surge la misión de la Universidad Nacional de Colombia, universidad de la Nación que fomenta el acceso con equidad al sistema educativo colombiano. Para lograrlo promueve la oferta de programas académicos formando profesionales competentes y socialmente responsables.

La Universidad Nacional de Colombia contribuye a la elaboración y resignificación del proyecto de Nación, y estudia y enriquece el patrimonio cultural, natural y ambiental del país. Como tal la asesora en los órdenes científico, tecnológico, cultural y artístico, con autonomía académica e investigativa.

Para lograr su misión debe contar con talento humano idóneo formado en las competencias impuestas por la sociedad moderna que se requieren para educar seres humanos con una gran capacidad de abstracción, aptos para la experimentación, el trabajo en equipo y con gran capacidad de adaptación al cambio.

Buscando el anterior perfil que involucra competencias investigativas y pedagógicas dentro de la reforma académica que actualmente adelanta la Universidad Nacional de Colombia, tenemos el agrado de presentar el libro *Robótica educativa: estrategias activas en ingeniería*, que construye con orgullo los proyectos de Facultad, de Escuela y de formación de ingenieros e ingenieras que posean sólidos conocimientos tecnológicos, fundamentados en los valores humanos y en los códigos propios de la modernidad.

El propósito del libro es, a través de la robótica educativa, enseñar a los adolescentes que están mirando opciones profesionales; a construir un robot con múltiples mecanismos para sensar un ambiente de trabajo. Acompañado de la construcción, se abordan varios principios de la física mecánica, ondulatoria, electrónica y algoritmia. También se trata de experimentar diversas teorías de aprendizaje, retando a los actores del proceso educativo

[14]

Prefacio

a un cambio de paradigma pasivo a proactivo. En el libro se contextualiza en el proceso de pasar de la educación media a la superior.

Es preciso mencionar la resistencia de algunos docentes frente al desafío de introducir y experimentar nuevas maneras de formación basadas en aprendizaje activo, para implementar las investigaciones y los desarrollos en las áreas de la pedagogía y la ingeniería, en las aulas de clase. Es imperiosamente necesario innovar los métodos tradicionales de enseñanza y de aprendizaje, pero antes debe de hacerse una labor de concienciación y formación pedagógica entre los docentes.

1

La universidad

La palabra “universidad” proviene del latín *universitas* y está compuesta de dos términos: *unus* (uno) y *verto* (girado o convertido). Es decir, “girado hacia uno” o “convertido en uno”. *Unus* expresa un integral que no admite división. Universidad tiene la misma etimología que universo y universal. Estas palabras expresan una multitud de cosas diferentes, pero en sentido de unidad (Diccionario etimológico, 2009).

Una universidad es una institución de enseñanza superior que comprende diversas facultades, y que confiere los grados académicos correspondientes. Según las épocas y países, puede comprender colegios, institutos, departamentos, centros de investigación, escuelas profesionales, entre otros (RAE, 2009).

En este capítulo se recopilan algunos de los cambios que normalmente afronta la mayoría de estudiantes que pasan del colegio a la universidad. Luego se socializan las problemáticas asociadas a la mortalidad académica en la universidad durante los primeros semestres, la deserción en general y las consecuencias que trae consigo la libertad mal administrada. También se lleva a cabo una descripción del entorno universitario, dejando en claro que a la universidad pueden ingresar personas comunes y diversas, es decir, sin importar su ideología política o religiosa, estrato socioeconómico, sitio de origen, edad, raza, entre otros. Todo lo anterior, con el ánimo de preparar al público objetivo de este texto, antes de afrontar su paso a la universidad.

El paso del colegio a la universidad

En general, la universidad es un mundo totalmente distinto al colegio. Por lo anterior, muchos jóvenes se sienten desorientados al empezar la carrera. No sólo se trata de contenidos de estudio más avanzados y complejos, una gran variedad de compañeros, profesores mejor preparados, el desplazamiento a otros sitios diferentes de estudio, el registro de asignaturas en diferentes horarios, el manejo del dinero, entre otros, sino que también implica hacerse cargo de trámites administrativos como la matrícula y la elección de las materias. El estudiante requiere gran capacidad para adaptarse a nuevos modos de relacionarse con profesores y compañeros (Brustein, 2002).

Este cambio del colegio a la universidad puede generar una serie de miedos y traumatismos en los jóvenes. Algunos son capaces de afrontarlo; sin embargo, otros pueden desarrollar algún tipo de estrés y angustia ante la nueva experiencia. Estos miedos se pueden asociar a la etapa en la cual se encuentra la mayoría de los nuevos universitarios: la adolescencia. Esta etapa de la vida se caracteriza por la búsqueda de una identidad y de una perspectiva de su futuro. Por tanto, recibir continuamente mensajes de adultos mayores del tipo: “la elección de la profesión que estudies es para toda la vida. La profesión que elijas determinará tu vida laboral y desarrollo personal”, puede generar angustia, ya que son decisiones importantes que requieren responsabilidad y madurez.

Cambios que se producen

“Los adolescentes ven en la universidad un ambiente más informal. Lenguaje, manejo de horarios, corte de cabello y uso de la ropa, entre otros, en algunos casos sufren cambios drásticos como una manifestación del salto del niño del colegio al joven universitario” (Díaz, 2007). Para la mayoría se convierte en un mundo nuevo que los hace sentir más autónomos y responsables. Es normal que los llamados “primíparos”¹ tiendan a cambiar sus comportamientos y actividades cotidianos. Fumar, tomar unas cervezas, participar en juegos de mesa, asistir a fiestas que duran hasta el amanecer y tener novio o novia en el aula de clase son experiencias que algunos comienzan a vivir para sentirse a tono con los demás compañeros de la universidad.

Aunque muchos jóvenes llegan a la universidad con estilos y personalidades muy bien definidas desde el colegio, algunos continúan con este ritmo de vida e incluso frecuentando los mismos amigos. Otros, mientras tanto, pueden encontrar nuevos amigos y vivir experiencias diferentes.

Otros síntomas de inestabilidad se evidencian en el rendimiento académico, el cual no llega a ser el esperado por el estudiante, lo cual conlleva a la desmotivación y finalmente a la deserción². No es fácil para los jóvenes reconocer qué es lo que está sucediendo. Entonces aparece un cuadro de angustia y síntomas depresivos. Hay dificultades para llegar a reconocer los miedos y el desajuste que significa comenzar esta etapa que requiere mayor responsabilidad. Esto podría significar un fracaso en sus decisiones y, a su vez, que no tiene claridad en “qué es lo que realmente quiere” para su futuro.

1 Apodo dado a los estudiantes del primer semestre.

2 Desamparo o abandono que hace un estudiante de sus estudios en una universidad.

Teniendo en cuenta que la dedicación académica en la universidad es más fuerte que en el colegio, una de las dificultades que los jóvenes experimentan en el “día-a-día” es el manejo del tiempo. Siempre sienten que no les va a alcanzar y lo expresan durante su primer semestre. El tiempo se convierte en un tema de importancia, por lo que deben tener manejo de su agenda, autonomía y libertad, todas ellas controladas por sí mismos para asistir o realizar o no, una actividad académica como lo es una clase, una tarea o un examen.

También es necesario reconocer que el contexto determina algunos de los comportamientos emergentes. Hoy en día los estudiantes egresan cada vez más jóvenes de los colegios; aproximadamente, entre los 15 y 16 años. A esta edad todavía existen rasgos de una personalidad adolescente, aun no se ha formado una identidad propia y persiste una búsqueda de aceptación.

Algunos expertos han señalado que el comportamiento de los nuevos universitarios depende de la carrera que hayan elegido y de la misma universidad. En las áreas de la salud, por ejemplo, tienden a estar más preocupados por su bienestar, calidad de alimentación y estilo de vida. En las ingenierías, en cambio, se ve mayor tendencia a trasnochar, aislarse, ser más autónomos, fumar o consumir bebidas alcohólicas. El tamaño de la universidad también puede influir. En las pequeñas, se siguen comportando casi igual que en el colegio porque los profesores pueden ejercer un mejor acompañamiento, mientras que en las grandes, se pueden producir mayores transformaciones en el estilo de vida.

En resumen, los cambios más notorios que deben afrontar los jóvenes cuando ingresan en la universidad, son:

- 1 Nuevos modelos pedagógicos y sistemas de evaluación. Autonomía en el manejo del tiempo.
- 2 Cambios en el modo de vida, costumbres y dinámicas familiares. En algunas ocasiones los jóvenes deben vivir en habitaciones de alquiler, e incluso en otras ciudades.
- 3 El manejo del dinero es diferente, sobre todo para quienes estudian en otras ciudades diferentes a la de su origen.
- 4 Cambio en la perspectiva de vida. Se presentan mayores retos, inician un proyecto de vida profesional.
- 5 Fortalecimiento de la responsabilidad. La sociedad de consumismo continuamente bombardea con publicidad que trata de mostrar a los adolescentes que para llevar a cabo una tarea o labor, se privilegia la falta de compromiso, el facilismo y la rapidez (lo prematuro, aun si no es completo). Los procesos de enseñanza y aprendizaje viajan a otro ritmo, es decir, requieren tiempo, espacio y responsabilidad.

Recomendaciones para afrontar los cambios

Algunas de las recomendaciones que deben ser consideradas a la hora de afrontar esta transición entre colegio y universidad son:

Para los docentes de instituciones de educación media

- Desde los grados 10° y 11° se pueden tomar medidas que permitan la preparación de los estudiantes. Una de ellas puede ser el hecho de cambiar los salones de clase para cada asignatura con el propósito de que los estudiantes se sientan responsables de asistir.
- Proponer estrategias de “aprendizaje activo” en las cuales el estudiante, además de atender a una clase, pueda desarrollar actividades más participativas.
- Familiarizar a los estudiantes en aspectos propios de la educación superior como son: los sistemas de calificación numérica de 0 a 5 (cuantitativa), las habilitaciones, la transición por semestre y no por año, y el desarrollo de habilidades en matemáticas, inglés y lectura, ya que es común recibir documentos extensos para leerlos en corto tiempo. De la misma forma, y a medida que transcurre la carrera, es cada vez más frecuente la exigencia por parte de los profesores de lectura de artículos escritos en inglés. También es favorable que el joven tenga conocimiento, al menos mínimo, de aplicaciones de uso genérico para computador, como por ejemplo un procesador de texto, hoja de cálculo e Internet.

Para los nuevos universitarios y sus familiares

- Lo más conveniente es que los jóvenes elijan qué estudiar de acuerdo con sus intereses, su manera de pensar y la idea que tienen de felicidad, no como la entienden sus padres y la sociedad en general. Pero también es importante que puedan ser honestos con ellos mismos y se den cuenta de cuáles son sus capacidades más desarrolladas y si son acordes con aquellas que exige la carrera que más les interesa.
- Si tienen dificultades para incorporarse al primer periodo de universidad, deben acercarse al servicio de orientación o a algún psicólogo que los pueda guiar. Es clave que el estudiante entienda que equivocarse no es malo. Equivocarse hace parte del aprender y crecer. El hacer parte del mundo universitario no implica sólo preparar una prueba e ir a clases. Es la etapa que permite el desarrollo de muchas capacidades y habilidades necesarias para la vida adulta.
- Considerando que todos los admitidos están en las mismas condiciones, es bueno acercarse a los compañeros. Tratar de conformar

grupos para estudiar y para sentirse más acompañados y apoyados entre sí es beneficioso.

- Estar bien informados es fundamental. Prestar atención a las indicaciones administrativas que dan los docentes, leer las carteleras e información en línea que provee la institución, como el correo electrónico o el boletín de noticias.
- Si no se está completamente seguro acerca de la profesión por seguir, una opción podría ser esperar un tiempo para pensar y llevar a cabo actividades complementarias a la educación superior, pero igualmente enriquecedoras (idiomas, deportes, pre-universitarios, entre otras). También se podría pensar en adquirir experiencia en el mundo laboral.
- Si se escogió una carrera pero se tienen algunas dudas respecto a esta selección, lo ideal es darse un tiempo para entender completamente de qué se trata y si realmente es la carrera adecuada y llena sus expectativas.
- La familia y las personas que rodean al nuevo estudiante universitario deben estar al tanto de las actividades que desarrolla, en todo momento. Lo anterior, porque pueden darse ciertos momentos de vulnerabilidad, debido a que el adolescente todavía no ha desarrollado un carácter suficientemente fuerte ni una capacidad adecuada para discernir entre lo malo y lo bueno. Lo ideal es que siempre exista un acompañamiento de la familia para que el joven pueda afrontar los nuevos retos que le impone la sociedad.

Deserción universitaria

Es común escuchar la frase desalentadora “A la universidad llegan pocos y se retiran muchos”. Este fenómeno es conocido con el título de deserción (corresponde a la suma de las líneas verde y azul en la figura 1.1), la cual se entiende como el abandono de los estudios, ya sea por motivos personales, disciplinarios o académicos. Hay otro término, denominado mortalidad, que hace referencia al abandono por razones netamente académicas (línea roja en la figura 1.1).

Realidad en las universidades

Según el Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico (CEDE) de la Universidad de los Andes (Colombia), los programas con índices más altos de deserción se encuentran en: Ingeniería, Arquitectura y Urbanismo (49,9%) y Economía, Administración y Contaduría (47,1%), mientras que los programas de Ciencias de la Salud presentan los más bajos, con una tasa

de 35,3%. Se evidencia además que la mayor deserción está en el primer año de la carrera, con casi 65%, aunque también se dan retiros hasta en octavo o noveno semestre. Adicionalmente, casi la mitad de los estudiantes que inician una carrera en una universidad, no la termina (Suárez, 2007).

Las causas asociadas a la deserción tienen que ver con factores económicos, académicos, personales o institucionales. Sin embargo, el estudio del CEDE señala que es el académico el factor más determinante a la hora de abandonar la carrera.

Deserción en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín

La deserción académica en la educación superior es un tema cuya atención ha venido creciendo, tanto internamente como en el contexto nacional. El gobierno central ha hecho énfasis en una política de ampliación de cobertura en la educación superior, la cual debe complementarse con políticas subsidiarias para disminuir la deserción.

El índice de deserción intersemestral en la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, ha aumentado considerablemente. Pasó de 9,8% en el primer semestre del año 2001 a 12,4% en el segundo semestre de 2006. El factor de mayor incidencia en la deserción es la mortalidad académica, con una participación de 60% sobre la deserción total. Esto se debe a que los niveles de la formación preuniversitaria de la mayoría de los desertores académicos están por debajo del promedio de todos los estudiantes. Las áreas de conocimiento donde es particularmente débil esta formación son las de ciencias exactas y naturales. En términos generales, los sancionados no han cumplido con las exigencias académicas de la universidad.

A partir de estudios realizados por la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín (Unalmed), se obtuvo la información de mortalidad académica en el periodo comprendido entre los años 2001 a 2005 (figura 1.1).

Estas cifras justifican la necesidad de tomar medidas sobre la situación. De allí es que surge el proyecto “Prevención y acción sobre la deserción de estudiantes de pregrado” en el marco del Plan de Acción 2004-2006.

El proyecto busca fortalecer el programa de nivelación académica como parte del compromiso social y académico que adquiere la universidad al recibir año tras año nuevos estudiantes en sus programas de pregrado. Se trata de facilitar los procesos de inserción de los nuevos estudiantes a la vida institucional universitaria, de modo que se fortalezcan y equilibren los conocimientos insuficientes con los que llegan los estudiantes a la educación superior, y que son indispensables para que respondan satisfactoriamente al ciclo básico de los diferentes programas que imparte la universidad (Unalmed, 2006).

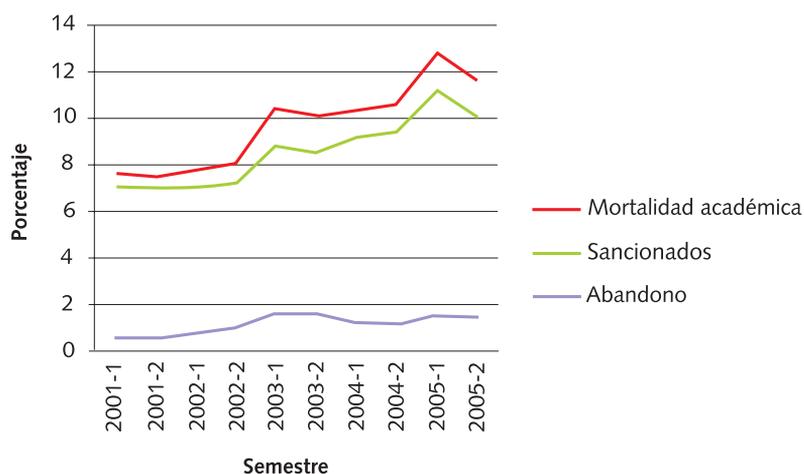


Figura 1.1
Evolución de los índices de deserción académica (Unalmed, 2006).

A partir de este propósito, se genera una serie de propuestas que buscan combatir la mortalidad académica, ya que es la mayor fuente de deserción estudiantil en la Unalmed. Adicionalmente, la Dirección de Bienestar Universitario desarrolla una serie de programas asistenciales con el objeto de brindar ayuda económica a los estudiantes de menores recursos. Otra de las razones fuertes de la deserción estudiantil es el componente de manutención (económico).

La deserción estudiantil en la Unalmed es alta, con una tasa que en la mayoría de sus cohortes está entre 45 y 50%, cifra muy cercana al promedio del país, que es de 52%. Entre las diferentes formas de deserción está la deserción no académica, la cual contribuye en promedio con 40% de la deserción general (tal como lo muestra la figura 1.1), donde los factores socioeconómicos son su componente principal. Aunque la Unalmed cuenta con un importante número de programas asistenciales, e incluso, aunque el costo de la matrícula sea relativamente bajo, la mayoría de los desertores no académicos no ha logrado sustentar su permanencia. El hecho es que la mayoría de la población estudiantil está conformada por los estratos bajos, caracterizados por pertenecer a los más bajos niveles de ingreso económico. Cabe señalar que no está al alcance de la Unalmed solucionar ciertos problemas sociales. Su acción es limitada y se reduce solo a la oferta de programas asistenciales, que, sin duda, han contribuido a que la deserción actual no sea mayor de la que probablemente sería sin ellos.

Por su parte, el nivel de transferencias entre programas académicos es relativamente bajo e involucra menos de 1% de la población estudiantil en

promedio por semestre. De ahí que ningún programa académico se vea significativamente afectado por la deserción interna de este tipo.

Iniciativas para combatir la deserción

Algunos planes para combatir la deserción universitaria que han tenido éxito en otras instituciones y en otros países son (Unalmed, 2006):

- Programas de tutorías académicas. Dirigidos especialmente a estudiantes con mayor riesgo de deserción.
- Cursos preparatorios o de nivelación académica. Estos cursos no son sólo para los estudiantes recién admitidos. Se les da continuidad hasta el segundo o tercer nivel que cursa el estudiante.
- Reforma académica. Orientada principalmente a evaluar qué se puede flexibilizar y hasta qué punto dentro de los planes de estudio, los reglamentos y el sistema de evaluación. La reforma académica puede ayudar a mejorar los actuales índices de desempeño académico de los estudiantes.
- Medidas para mejorar los procesos de admisión. Algunos bachilleres se preparan bien para el examen de admisión, pero a veces no tan bien para los estudios universitarios. Se está pensando en evaluar si es posible mejorar el proceso de selección, con medidas como la incorporación del rendimiento académico promedio del bachillerato, e igualmente estudiar cómo podría la universidad brindar asesoría u ofrecer mayor información sobre orientación profesional a los aspirantes que se inscriban y antes de seleccionar carrera.
- Semestre especial de rehabilitación académica para estudiantes sancionados. En lugar de esperar por fuera uno o más semestres, se pueden adelantar cursos nivelatorios o preparatorios, en las modalidades de extensión, matrícula condicional o como se juzgue pertinente, y que permitan, así mismo, obviar trámites como el reingreso si los resultados son satisfactorios.
- Generación de servicios académicos virtuales. La mayoría de los jóvenes que ingresan en la universidad tienen familiaridad con dispositivos electrónicos como computadores, IPod, celulares, agendas electrónicas, Palms, estéreos, entre otros. La Unalmed ha incurrido en el uso de tecnología de información y comunicación (TIC) como apoyo a la instrucción de sus asignaturas presenciales, especialmente aquellas con alto índice de deserción. Esta innovación contempla la implementación de recursos didácticos, como por ejemplo: contenidos educativos, foros, evaluaciones, talleres, videos, animaciones, entre otros. También la virtualización de museos, como

el Herbario, Entomológico, Arboretum, Geociencias y métodos de lectura eficiente.

[23]

Universidad Nacional de Colombia

La Universidad Nacional de Colombia (UN), en sus más de 140 años de historia al servicio del país, se ha consolidado como paradigma de la universidad colombiana. En la actualidad ofrece alrededor de 100 programas de pregrado y casi 300 programas de posgrado entre especialidades, especializaciones, maestrías y doctorados. Los programas curriculares cubren un espectro muy amplio de disciplinas y profesiones en las ciencias, la técnica y las artes, en siete sedes: Bogotá, Medellín,³ Manizales, San Andrés, Arauca, Palmira y Leticia. Tiene más de 70 programas acreditados de pregrado. Aunque esta cifra pudiera parecer corta, la UN solo comenzó el proceso de acreditación de sus programas recientemente. Además, la UN cuenta con acreditación institucional por diez años, en todas sus sedes.

La UN no solo ofrece el componente de docencia. Como toda universidad en Colombia, brinda cinco funciones sustantivas, en todas sus sedes; a saber: docencia, investigación, extensión, bienestar universitario y proyección social. A la fecha cuenta con 761 grupos de investigación y 1.601 proyectos de extensión.

La UN tiene como fines (Unalmed, 2007):

- Contribuir a la unidad nacional, en su condición de centro de vida intelectual y cultural abierto a todas las corrientes de pensamiento y a todos los sectores sociales, étnicos, regionales y locales.
- Estudiar y enriquecer el patrimonio cultural, natural y ambiental de la Nación y contribuir a su conservación.
- Asimilar críticamente y crear conocimiento en los campos avanzados de las ciencias, la técnica, la tecnología, el arte y la filosofía.
- Formar profesionales e investigadores sobre una base científica, ética y humanística, dotándolos de una conciencia crítica, de manera que les permita actuar responsablemente frente a los requerimientos y las tendencias del mundo contemporáneo y liderar creativamente procesos de cambio.
- Formar ciudadanos libres y promover valores democráticos, de tolerancia y de compromiso con los deberes civiles y los derechos humanos.
- Promover el desarrollo de la comunidad académica nacional y fomentar su articulación internacional.

3 Unalmed.

- Estudiar y analizar los problemas nacionales y proponer, con independencia, formulaciones y soluciones pertinentes.
- Prestar apoyo y asesoría al Estado en los órdenes científico y tecnológico, cultural y artístico, con autonomía académica e investigativa.
- Hacer partícipes de los beneficios de su actividad académica e investigativa a los sectores sociales que conforman la Nación colombiana.
- Contribuir mediante la cooperación con otras universidades e instituciones del Estado a la promoción y al fomento del acceso a educación superior de calidad.
- Estimular la integración y la participación de los estudiantes, para el logro de los fines de la educación superior.

Historia de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín

La historia se remonta a la creación de dos tradicionales centros de educación superior, bastante ligados al desarrollo económico, social y cultural de la región antioqueña: la Escuela Nacional de Minas y la Escuela de Agricultura Tropical. Ambas instituciones, aunque en momentos diferentes, surgieron por la necesidad existente de desarrollar recursos humanos y áreas del saber y la técnica que respondieran a la vocación económica de la región.

En el año de 1936 y mediante el Acuerdo No. 131 del Consejo Superior Universitario, se incorporó a la universidad la Escuela Nacional de Minas, creada en 1886. Dos años más tarde, se incorporó también la Escuela de Agricultura Tropical de Medellín, creada en 1914, convirtiéndose en lo que hoy se conoce como la Facultad de Ciencias Agropecuarias. Las edificaciones de ambas facultades fueron diseñadas por el maestro Pedro Nel Gómez (figuras 1.2 y 1.3).

Inicialmente, las dos instituciones fundadoras se convirtieron en las facultades de Minas y Ciencias Agropecuarias. Con el tiempo, otros programas

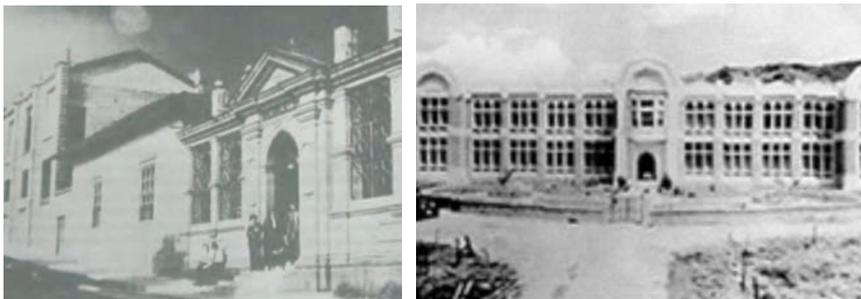


Figura 1.2
Escuela Nacional de Minas (*izq.*) y Escuela de Agricultura Tropical (*der.*).

curriculares y facultades se crearon en respuesta a las necesidades que el desarrollo regional y nacional planteaba: la Facultad de Arquitectura en 1946, la Facultad de Ciencias y la Facultad de Ciencias Humanas y Económicas en 1975, estableciendo una nueva estructura académica para la Sede. Su historia le confiere a Unalmed un carácter peculiar, dado que no se formó como la mayoría de nuestras universidades, a partir de las clásicas carreras de derecho, medicina, letras y ciencias.

La Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, no nació entonces de un simple decreto. Se fue estructurando como respuesta a las necesidades nacionales y regionales. En este proceso continúa, y le ha permitido convertirse en uno de los centros universitarios más dinámicos del país (figura 1.3).



Figura 1.3
Facultad de Minas (*izq.*) y Facultad de Ciencias Agropecuarias (*der.*).

Programas curriculares de la Unalmed

Los programas curriculares están orientados a la formación de profesionales e investigadores en las áreas de artes plásticas, arquitectura, ciencias, ciencias agropecuarias, ciencias sociales e ingeniería, en los niveles de pregrado y de posgrado (especializaciones, maestrías y doctorados).

En la Unalmed existen 25 programas curriculares de pregrado, una tecnología y cerca de 60 programas curriculares de posgrado, entre especializaciones, maestrías y doctorados ofrecidos a través de sus cinco facultades.

Los estudiantes de los programas curriculares de pregrado y posgrado deben desarrollar competencias tales como autonomía, trabajo en grupos interdisciplinarios, habilidades interpersonales, liderazgo, capacidad para administrar información, compromiso con la calidad, ética profesional, participación en una cultura del discurso crítico, responsabilidad social y compromiso con el medio ambiente.

El objetivo de los programas de especialización es profundizar y desarrollar competencias en temas específicos de una profesión, disciplina, arte o técnica.

El objetivo de las maestrías es desarrollar competencias para diseñar y participar en actividades de investigación o creación; o actualizar, asimilar e incorporar en el ejercicio profesional la producción científica y tecnológica para resolver problemas particulares de un campo profesional. De acuerdo con estos objetivos, y en función del énfasis puesto en el proceso formativo, las maestrías podrán desarrollar perfiles de carácter predominantemente investigativo o profesional.

El objetivo de los programas de doctorado es desarrollar competencias para proponer, dirigir y realizar investigación de manera autónoma, producir conocimiento original y participar en la construcción de comunidades académicas.

A continuación se describen los programas curriculares que a la fecha posee cada una de las cinco facultades de la Unalmed:

- Facultad de Arquitectura
 - Ofrece los siguientes programas de pregrado:
 - Arquitectura
 - Artes plásticas
 - Construcción

Así mismo, ofrece los siguientes programas de posgrado:

- Especialización en Patología de la edificación y técnicas de intervención y prevención
 - Especialización en Gestión inmobiliaria
 - Especialización en Interventoría de proyectos y obras
 - Especialización en Diseño urbano
 - Especialización en Diseño de multimedia
 - Especialización en Planeación urbano–regional
 - Maestría en Estudios urbano–regionales
 - Maestría en Hábitat.
- Facultad de Ciencias

Está conformada por las escuelas de Matemáticas, Estadística, Física, Química, Geociencias y Biociencias. Ofrece los siguientes programas de pregrado:

 - Estadística
 - Ingeniería Biológica
 - Ingeniería Física
 - Matemáticas

Los programas de posgrado que ofrece son:

 - Especialización en Estadística

- Especialización en Matemática avanzada
 - Especialización en Biotecnología
 - Especialización en Entomología
 - Maestría en Ciencias – Estadística
 - Maestría en Ciencias – Matemáticas
 - Maestría en Ciencias – Biotecnología
 - Maestría en Ciencias – Entomología
 - Maestría en Ciencias - Geomorfología y suelos
 - Maestría en Ciencias – Física
 - Maestría en Ciencias – Química
 - Doctorado en Ciencias – Estadística
 - Doctorado en Ciencias – Matemáticas
- Facultad de Ciencias Agropecuarias
Está conformada por los departamentos de Ciencias Agronómicas, Ciencias Forestales, Ingeniería Agrícola y Alimentos, y Producción Animal. Ofrece los siguientes programas de pregrado:
 - Tecnología Forestal
 - Ingeniería Agrícola
 - Ingeniería Agronómica
 - Ingeniería Forestal
 - Zootecnia
 Los programas de posgrado que ofrece son:
 - Especialización en Ciencia y tecnología de alimentos.
 - Especialización en Gestión agroambiental
 - Especialización en Nutrición animal
 - Maestría en Ciencia y tecnología de alimentos.
 - Maestría en Bosques y conservación ambiental
 - Maestría en Ciencias agrarias
 - Doctorado en Ciencias agropecuarias - Área agraria
- Facultad de Ciencias Humanas y Económicas
Está conformada por las escuelas de Ciencia Política, Economía, Estudios Filosóficos y Culturales e Historia. Ofrece los siguientes programas de pregrado:
 - Ciencia Política
 - Economía
 - Historia
 Los programas de posgrado que ofrece son:
 - Especialización en Economía internacional

- Especialización en Estética
- Especialización en Ciencia política
- Especialización en Divulgación y apropiación de las ciencias y las técnicas
- Maestría en Ciencias económicas
- Maestría en Estética
- Maestría en Historia
- Doctorado en Historia

- Facultad de Minas

Está organizada en siete escuelas: Geociencias y Medio Ambiente, Ingeniería de Materiales, Química y Petróleos, Ingeniería de la Organización, Sistemas, Mecatrónica e Ingeniería Civil. Se compone de los siguientes programas de pregrado:

- Ingeniería Administrativa
- Ingeniería Civil
- Ingeniería de Control
- Ingeniería de Minas y metalurgia
- Ingeniería de Petróleos
- Ingeniería de Sistemas e informática
- Ingeniería Eléctrica
- Ingeniería Geológica
- Ingeniería Industrial
- Ingeniería Mecánica
- Ingeniería Química

Los programas de posgrado que ofrece son:

- Especialización en Ingeniería financiera
- Especialización en Gestión empresarial
- Especialización en Sistemas
- Especialización en Mercados de energía
- Especialización en Aprovechamiento de recursos hidráulicos
- Especialización en Vías y transportes
- Especialización en Estructuras
- Especialización en Gestión ambiental
- Maestría en Ingeniería - Materiales y procesos
- Maestría en Medio ambiente y desarrollo
- Maestría en Ingeniería – Geotecnia
- Maestría en Ingeniería – Recursos hidráulicos
- Maestría en Ingeniería Administrativa
- Maestría en Ingeniería – Ingeniería de sistemas

- Maestría en Ingeniería – Ingeniería química
- Maestría en Ingeniería - Infraestructura y sistemas de transporte
- Maestría en Ingeniería – Mecánica
- Doctorado en Ingeniería – Sistemas energéticos
- Doctorado en Ingeniería – Recursos hidráulicos
- Doctorado en Ingeniería – Sistemas
- Doctorado en Ingeniería – Ciencia y tecnología de materiales

Estadísticas de programas, profesores y estudiantes

Para el primer semestre de 2008, se tienen las siguientes cifras de estudiantes matriculados:

Nivel	Modalidad	Estudiantes
Pregrado		9.619
Posgrado	Especialización	155
	Maestría	581
	Doctorado	92
Total Posgrado		828
Total Pregrado + Posgrado		10.447

Fuente: tomado de Unalmed (2008).

En cuanto a las cifras de admisión en pregrado en este mismo semestre, se presentan a continuación los datos para los diferentes programas:

Carrera	Inscritos	Admitidos	Porcentaje de admisión %
Arquitectura	366	69	18,9
Artes Plásticas	57	20	35,1
Ciencia Política	157	62	39,5
Construcción	38	28	73,7
Economía	120	64	53,3
Estadística	12	51	425,0
Historia	53	67	126,4
Ingeniería Administrativa	485	94	19,4
Ingeniería Agrícola	43	73	169,8
Ingeniería Agronómica	67	75	111,9
Ingeniería Biológica	185	88	47,6
Ingeniería Civil	309	90	29,1
Ingeniería de Control	108	54	50,0

Ingeniería de Minas y Metalurgia	83	39	47,0
Ingeniería de Petróleos	243	66	27,2
Ingeniería de Sistemas e Informática	366	93	25,4
Ingeniería Eléctrica	102	53	52,0
Ingeniería Física	24	52	216,7
Ingeniería Forestal	81	70	86,4
Ingeniería Geológica	70	39	55,7
Ingeniería Industrial	350	102	29,1
Ingeniería Mecánica	283	94	33,2
Ingeniería Química	187	86	46,0
Matemáticas	27	49	181,5
Zootecnia	248	74	29,8
Total sede Medellín	4.064	1.652	40,6

Fuente: tomado de Unalmed (2008).

Existen casos en que hay más admitidos que inscritos porque algunos de los admitidos provienen de otras carreras o porque piden reingreso. Regularmente entre 15% y 20% de los admitidos para pregrado en la Unalmed desiste de la matrícula; en el segundo semestre de 2007 este porcentaje fue mayor, ya que 462 admitidos dejaron de matricularse. Otros indicadores importantes de la Unalmed reportados para el año 2007 son:

Tabla 1.3 Indicadores de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín

Concepto		2007-1	2007-2
Población estudiantil	Total estudiantes	10.361	10.231
	Estudiantes pregrado	9.582	9.469
	Estudiantes posgrado	779	762
	Estudiantes especialización	180	179
	Estudiantes maestría	524	482
	Estudiantes doctorado	75	101
	Estudiantes graduados de pregrado	495	524
	Estudiantes graduados de posgrado	145	123
Cobertura pregrado	Cupos ofrecidos	1.475	1.420
	Aspirantes inscritos	7.638	4.064
	Aspirantes admitidos	1.820	1.652
	Estudiantes nuevos	1.470	1.190

Programas académicos	Pregrado (incluida una tecnología)	26
	Posgrado	61
	Especializaciones	29
	Maestrías	24
	Doctorados	8
Docentes y personal administrativo	Docentes activos de planta	545
	Planta docente activa en equivalencia de tiempo completo	563
	Docentes tiempo completo y dedicación exclusiva	462
	Docentes con formación máxima en maestría	257
	Docentes con formación máxima en doctorado	148
	Personal administrativo en planta	613
Investigación	Proyectos de investigación Colciencias activos	42
	Proyectos de investigación DIME activos	219
	Grupos de investigación en Colciencias	140
	Categoría A	42
	Categoría B	16
	Categoría C	18
Extensión	Proyectos de extensión	218
Recursos de apoyo	Libros y monografías en biblioteca	129.030
	Laboratorios	93
	Salas de informática	25
	Computadores de uso académico y administrativo	3.035
	Aulas de clase	158
	Aulas taller	58
	Auditorios	6
	Centros de documentación	10
	Oficinas de profesores	452
	Oficinas administrativas en facultades	413
	Salas de reuniones	32

Fuente: tomado de Unalmed (2007).

El personal docente (profesores) está categorizado según la dedicación de tiempo, de la siguiente manera:

- Dedicación exclusiva: docentes vinculados a la Unalmed con una dedicación en tiempo completo y un ejercicio exclusivo de la docencia en la misma.

- Tiempo completo: docentes vinculados con una dedicación semanal de 40 horas.
- Medio tiempo: docentes vinculados con una dedicación de 20 horas semanales.
- Cátedra: docentes vinculados con una dedicación variable según necesidades de docencia y programación académica.

También se categorizan por el título máximo alcanzado. Estas estadísticas se muestran a continuación:

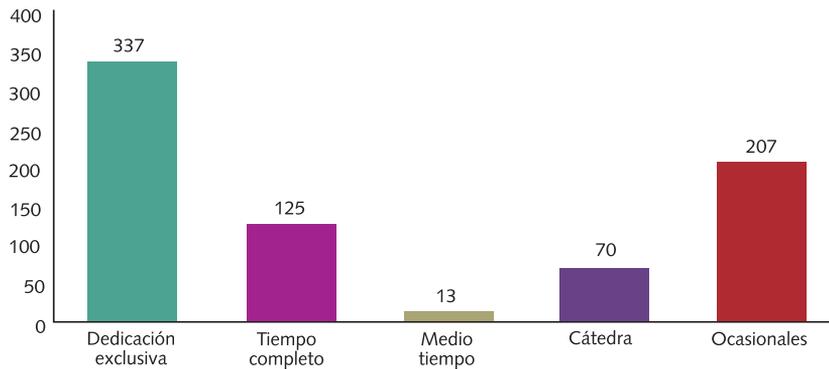


Figura 1.4
Personal docente por dedicación (Unalmed, 2007).

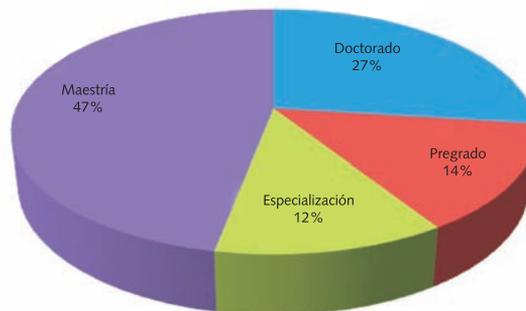


Figura 1.5
Personal docente de planta por título máximo (Unalmed, 2007).

Además de los aspectos académicos, la Unalmed sigue muy de cerca los servicios que se prestan a los estudiantes, como se muestra a continuación:

Tabla 1.4 Beneficiarios programas de Bienestar Universitario

Programa/Actividad	Semestre	Número
Estudiantes beneficiarios de residencias estudiantiles	01-2007	83
	02-2007	87
Participantes en el proceso de inducción	01-2007	998
	02-2007	904
Grupos académicos activos registrados		48
Lockers asignados a estudiantes		181
Beneficiarios del préstamos estudiantil condonable	01-2007	477
	02-2007	464
Beneficiarios del préstamo PAES	01-2007	68
	02-2007	84
Beneficiarios del crédito Icetex	01-2007	146
	02-2007	133
Beneficiarios actividades de acompañamiento estudiantil		708
Participantes San Alejo estudiantil		398

Fuente: tomado de Unalmed (2007).

Así mismo, la sección salud presta a los estudiantes servicios de medicina, odontología, psicología y nutrición (exámenes de ingreso, consultas, emergencias, prescripciones, remisiones, hospitalizaciones, acciones de promoción y prevención, entre otros).

Como se puede apreciar, la Unalmed es una de las universidades que mayor número de servicios de bienestar ofrece a sus estudiantes. También se puede observar que cuenta con una planta docente sólidamente formada y una amplia gama de programas curriculares de pregrado y posgrado. Los anteriores criterios indican que es una excelente alternativa para los jóvenes que están explorando las universidades con el propósito de iniciar una carrera.

En el siguiente capítulo se exploran algunas de las teorías establecidas acerca de la manera como las personas aprenden y enseñan los modelos a través de los cuales reciben instrucción.



Modelos de enseñanza para el aprendizaje

Inicialmente se realizará la contextualización acerca de lo que es el aprendizaje humano, para luego pasar a revisar algunas teorías acerca del mismo; ellas son: conductismo, cognitivismo (cognición distribuida, aprendizaje basado en problemas y aprendizaje activo) e histórico–social. Pero antes, se presentan cuatro respuestas a preguntas frecuentes relacionadas con el ámbito educativo (González, 1998):

- *¿Qué son las ciencias de la educación?* Es el conjunto plural de ciencias que estudian el hecho educativo. Algunas de estas ciencias son: sociología de la educación, psicología educativa, filosofía de la educación, administración educativa, antropología pedagógica y didáctica.
- *¿Qué es la pedagogía?* Es un campo del conocimiento de las ciencias sociales, cuyo objeto de estudio es la formación de los hombres y de las mujeres que integran una sociedad.
- *¿Qué es el currículo?* Es todo cuanto la institución educativa provee para la organización de los conocimientos que se imparten en forma consistente y sistémica, en beneficio de la formación de los estudiantes.
- *¿Qué es la didáctica?* Es la mediación (a partir de los procesos comunicativos) para la divulgación de los conocimientos.

Contextualización

La naturaleza del aprendizaje humano ha sido motivo de estudio desde el principio de la historia. La importancia de este tema es obvia; se debe fundamentalmente a la asombrosa capacidad de la mente humana para capturar información, mantenerla en la memoria en forma organizada y utilizarla para resolver problemas en su lucha por entender y transformar a la naturaleza (Méndez, 2002).

Todos los organismos tienen la capacidad de adquirir nueva información (*aprendizaje*) y almacenar esa información en su sistema nervioso (*memoria*) y con ello la habilidad de adaptarse y cambiar su comportamiento en respuesta a eventos que ocurren en sus ámbitos de vida. En otras palabras, la evolución biológica ha facilitado mecanismos que cambien el sistema

nervioso de los organismos, de tal manera que el comportamiento de este ha de ser diferente como consecuencia de su experiencia (Méndez, 2002).

Numerosas investigaciones (Skinner, 1954; Piaget, 1979; Vygotsky, 1978; Eisner, 1979; Hutchins, 1990) han tratado de encontrar las leyes del aprendizaje, y unas pocas han sido suficientemente audaces para proponerlas. En todos los casos se ha encontrado que tales leyes son simplemente especificaciones de lo que pudiera pasar en situaciones concretas, pero de ninguna manera expresiones de la riqueza y variedad del aprendizaje animal y humano.

En su forma más básica, el aprendizaje es un fenómeno biológico. En otras palabras, en las células nerviosas de todo organismo existe la capacidad de cambiar la cantidad de neurotransmisores que ellas sintetizan como respuesta a cambios experimentados en el medio ambiente del organismo. Todo aprendizaje involucra un cambio neuroplástico. Este hecho ha sido documentado en una gran cantidad de casos y es casi incontrovertible. Estudios del aprendizaje en animales, el síndrome de Alzheimer, la manipulación farmacológica del cerebro, la amnesia orgánica, la pérdida de memoria con terapia electroconvulsiva, la incapacidad de aprender nueva información cuando el área del hipocampo ha sido alterada, entre otros, soportan la naturaleza biológica del aprendizaje (Skinner, 1954).

El aprendizaje es también un fenómeno psicológico. Esto significa que grandes áreas del cerebro humano interactúan entre sí con el propósito de incorporar información en los sistemas de memoria. Procesos de inducción y deducción, codificación de categorías, formación de imágenes mentales y relaciones del aprendizaje con otros aspectos del ser humano, como la emoción y la motivación, acompañan todo acto de implantación de unidades informativas en la memoria. El aprendizaje visto desde esta perspectiva es la respuesta de sistemas enormes de organización trabajando conjuntamente en la mente humana. Cambios cuantitativos al nivel neuronal (*billones de neuronas en interacción*) producen cambios cualitativos al nivel psicológico (Piaget, 1979; 1981).

Finalmente, el aprendizaje es un fenómeno social (Pea, 1993). Esto implica que personas interactúan entre ellas para transmitir información directamente o en forma virtual a través de algún dispositivo tecnológico. Los dispositivos tecnológicos como el libro permanecen más allá del tiempo de vida de un ser humano; el aprendizaje se convierte en un fenómeno histórico-social. De esta forma Platón todavía enseña (*virtualmente*) a individuos del siglo XX (Vygotsky, 1978).

Se puede concluir (Papalia y Wendkus, 1987) que el aprendizaje es un cambio relativamente permanente en el comportamiento, que refleja un

aumento de los conocimientos, la inteligencia o las habilidades conseguidas a través de la experiencia, y que puede incluir el estudio, la instrucción y la observación o práctica.

Teorías de aprendizaje

El aprendizaje puede verse desde tres puntos de vista: conductista, cognitivista (cognición distribuida, aprendizaje basado en problemas y aprendizaje activo) e histórico-social. Estos paradigmas, cada uno con su nivel de complejidad, soportan el ideal educativo, y es erróneo suponer que uno es superior al otro (Jiménez, 2006).

Conductismo

El conductismo tomó sus orígenes en la teoría de la evolución de Darwin resaltando el concepto de que el aprendizaje era un hecho general en la naturaleza y, consecuentemente, aprendizaje animal y humano no deberían ser muy diferentes (Skinner, 1954).

Esta teoría tiene más presente las condiciones externas que favorecen el aprendizaje que el sujeto que aprende (organismo). Siempre lleva la objetividad experimental hasta sus últimas consecuencias, rechazando la hipótesis de la mente, y con ello emociones y conciencia (debido a que no las podían observar científicamente), y se concentra sólo en aquello que es observable y sujeto a medición. Esto es, el estímulo bajo su control experimental y la respuesta del organismo a tal estímulo (Skinner, 1954).

El razonamiento conductista es en el fondo simplista: "Si no lo puedes medir ignóralo". Sin embargo, tuvo la virtud de dar muestras palpables de cómo el aprendizaje animal y el aprendizaje humano en su forma más básica siguen los mismos principios (Skinner, 1950).

El ruso Ivan Pavlov y el norteamericano John Watson, haciendo pruebas primero con animales y luego con personas, demostraron que "el sistema nervioso del ser humano tiene la asombrosa capacidad de responder a estímulos totalmente arbitrarios y responder psicológicamente como si estos estímulos tuvieran una realidad biológica" (Bredo, 1997).

Skinner tuvo un papel importante en la creación de un conductismo menos ambicioso pero mucho más preciso. Sostuvo que "el comportamiento de un individuo puede ser anticipado estadísticamente de manera determinista" (Bredo, 1997).

La mayor distinción del conductismo es el hecho de negar la existencia de la cognición humana, ya sea en forma absoluta o como simple fenómeno. El conductismo tiene también implicaciones filosóficas importantes en su intento de controlar el comportamiento humano, al igual que el físico controla sus experimentos de fenómenos naturales (Méndez, 2002).

El conductismo es práctico en un sentido extremo. No pierde tiempo en analizar la complejidad existencial del estudiante. Simplemente logra sus metas de comportamiento por medio de la “fuerza bruta” de la práctica continua (Méndez, 2002).

Cognitivismo

En la década de 1950 empezó lo que se ha denominado la “revolución cognitiva”, que investigaba y trataba de descifrar lo que ocurría en la mente del sujeto entre el estímulo y la respuesta. Sólo desde esta década la actividad mental de la cognición humana era un respetable campo de la psicología y digno de estudio científico (Simon y Ericsson, 1980)

El propósito del cognitivismo no era intentar oponerse al conductismo, sino realizar una integración de este en un nuevo esquema teórico de referencia (Bruner, J. *The process of education*. Cambridge, MA: Harvard University Press; 1965. Bruner, J. *Child's talk: learning to use language*. New York Norton; 1983). Las reglas de reforzamiento fueron puestas dentro de la mente del individuo y se les llamó reglas de representación simbólica de un problema. El comportamiento visible del organismo en sus procesos de aprendizaje fue remplazado por procesos internos de pensamiento llamados en forma genérica resolución de un problema (Sastre et ál., 1988).

Jean Piaget aportó cuatro postulados (Piaget, 1979; 1981):

- El aprendizaje ha de partir de las necesidades y de los intereses del estudiante, para lo cual debe tenerse en cuenta la génesis de la adquisición del conocimiento.
- El estudiante debe elaborar su proceso de aprendizaje a partir de la experiencia de sus propios aciertos y errores, ambos necesarios en toda construcción intelectual.
- Las relaciones afectivas y sociales desempeñan un papel importante en el proceso de aprendizaje.
- Los mundos escolar y extraescolar no pueden dissociarse, es decir, deben formar un todo.

El cognitivismo se extendió hacia el estudio de problemas que no podían ser observados visual o externamente, como por ejemplo el depósito de información en la memoria, la representación del conocimiento, la metacognición, entre otros. Los cognitivistas concluyeron que la mente humana puede lograr conceptos usando métodos tan rigurosos como los conductistas, pero sin dejar a un lado la suposición de que el individuo piensa y elabora información por sí mismo (Piaget, 1979; 1981).

El desarrollo de la tecnología creó otro pilar de apoyo en la teoría cognitiva. El computador aportó un asombroso modelo de funcionamiento

mental debido a que puede recibir y organizar información, operar con ella, transformarla y hasta resolver cierto tipo de problemas. Esto constituía para muchos el principio del estudio de la cognición humana teniendo un modelo concreto que sólo necesitaba ser mejorado en sus capacidades y funciones para lograr una fiel réplica del aprendizaje humano. Sin embargo, esta analogía no pudo sostener el peso de tan ambiciosa tarea, y el computador representa hoy en día un extraordinario instrumento de ayuda a la cognición humana, más que una réplica de ésta (Simon, 1979; Dreyfus, 1979).

El paradigma cognitivo centra sus esfuerzos en entender los procesos mentales y las estructuras de la memoria con el fin de comprender la conducta humana. Coloca todo el crédito en el éxito, o toda la culpa en el fracaso del estudiante por su aprendizaje. La imagen proyectada por el cognitivismo es que en el aprendizaje, como en la vida, cada persona es el arquitecto de su propio conocimiento (Chomsky, 1965; Simon, 1979).

Del cognitivismo se derivan varias corrientes. Tres de ellas pueden ser apoyadas en la tecnología de las redes de computadores (Internet): cognición distribuida, aprendizaje basado en problemas (ABP) y aprendizaje activo. A continuación se describen:

Cognición distribuida

Esta corriente está cada día más presente en los artículos de investigación sobre las aplicaciones de las tecnologías en la educación. Fue propuesta por Hutchins (1990) y pertenece a la corriente de pensamiento socio-constructivista. Esta teoría permite llevar a la práctica principios pedagógicos que suponen que el estudiante es el principal actor en la construcción de sus conocimientos, con base en situaciones (diseñadas y desarrolladas por el maestro) que le ayudan a aprender mejor en el marco de una acción concreta y significativa y, al mismo tiempo, colectiva (Waldegg, 2002).

Esta teoría pretende analizar la organización de un sistema cognitivo (dentro de un marco sociocultural) formado por la interacción entre personas y recursos disponibles (materiales, distribución, entre otros). Tanto el objetivo como el modo de llegar a lograrlo no están ligados a ningún componente del sistema, ilustrando de este modo su naturaleza distribuida (Gea et ál., 2003).

El centro de atención es la transferencia y transformación de información entre los actores del proceso educativo (Cañas y Waen, 2001). Los procesos de memoria y control están distribuidos entre las personas, e interactúan entre sí para lograr una estabilidad en el sistema bajo el concepto de acción-reacción, y donde la coordinación entre los participantes es el eje fundamental.

El científico Wright y sus colegas describen el propio mecanismo de interacción entre una persona y el computador como un caso de cognición distribuida (parte del conocimiento reside en la persona y la otra parte en el computador), donde se analiza la coordinación entre ambos para alcanzar metas comunes (Wright et ál., 2000).

Aprendizaje basado en problemas

La corriente del Aprendizaje Basado en Problemas, ABP (*Problem Based Learning*, PBL) presenta un método aplicable al trabajo de grupos de pocos integrantes. En estas actividades grupales los alumnos asumen responsabilidades y realizan acciones que son básicas en su proceso formativo; es usado principalmente en educación superior (Rhem, 1998; Jiménez, 2006).

El camino que toma el proceso de aprendizaje convencional se invierte al trabajar en el ABP. Mientras tradicionalmente primero se expone la información y posteriormente se busca su aplicación en la resolución de un problema, en el caso del ABP primero se presenta el problema, se identifican las necesidades de aprendizaje, se busca la información necesaria y finalmente se regresa al problema.

El ABP tuvo sus primeras aplicaciones y desarrollos en la escuela de medicina de *Case Western Reserve University* en Estados Unidos y en *McMaster University* en Canadá en la década de los años sesenta del siglo pasado. Tenía como propósito mejorar la calidad de la educación médica cambiando la orientación de un currículum que se basaba en una colección de temas y exposiciones del profesor, a uno más integrado y organizado en problemas de la vida real y donde confluyen las diferentes áreas del conocimiento que se ponen en juego para dar solución al problema (Itesm, 2005; Rhem, 1998).

El ABP se sustenta en diferentes teorías sobre el aprendizaje humano, y entre ellas tiene particular presencia la teoría constructivista. De acuerdo con esta postura, en el ABP se siguen tres principios básicos (Gijsselaers, 1995):

- El entendimiento con respecto a una situación de la realidad surge de las interacciones con el medio ambiente.
- El conflicto cognitivo al enfrentar cada nueva situación estimula el aprendizaje.
- El conocimiento se desarrolla mediante el reconocimiento y la aceptación de los procesos sociales y de la evaluación de las diferentes interpretaciones individuales del mismo fenómeno.

Algunas diferencias entre el proceso de aprendizaje tradicional y el proceso de aprendizaje ABP están representadas en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 Comparativo entre aprendizaje tradicional y aprendizaje ABP (Samford, 2005)

En un proceso de aprendizaje tradicional	En un proceso de aprendizaje ABP
El profesor asume el rol de experto o autoridad formal.	Los profesores tienen el rol de facilitador, tutor, guía, coaprendiz, mentor o asesor.
Los profesores transmiten la información a los alumnos.	Los alumnos toman la responsabilidad de aprender y crear alianzas entre alumno y profesor.
Los profesores organizan el contenido en exposiciones de acuerdo con su disciplina.	Los profesores diseñan su curso basado en problemas abiertos. Los profesores incrementan la motivación de los estudiantes presentando problemas reales.
Los alumnos son vistos como "recipientes vacíos" o receptores pasivos de información.	Los profesores buscan mejorar la iniciativa de los alumnos y motivarlos. Los alumnos son vistos como sujetos que pueden aprender por cuenta propia.
Las exposiciones del profesor se basan en la comunicación unidireccional; la información se transmite a un grupo de alumnos.	Los alumnos trabajan en equipos para resolver problemas, adquieren y aplican el conocimiento en una variedad de contextos. Los alumnos localizan recursos y los profesores los guían en este proceso.
Los alumnos trabajan por separado.	Los alumnos, conformados en pequeños grupos, interactúan con los profesores, quienes les ofrecen retroalimentación.
Los alumnos absorben, transcriben, memorizan y repiten la información para actividades específicas como pruebas o exámenes.	Los alumnos participan activamente en la resolución del problema, identifican necesidades de aprendizaje, investigan, aprenden, aplican y resuelven problemas.
El aprendizaje es individual y de competencia.	Los alumnos experimentan el aprendizaje en un ambiente cooperativo.
Los alumnos buscan la "respuesta correcta" para tener éxito en un examen.	Los profesores evitan solo una "respuesta correcta" y ayudan a los alumnos a armar sus preguntas, formular problemas, explorar alternativas y tomar decisiones efectivas.
La evaluación es sumatoria, y el profesor es el único evaluador.	Los estudiantes evalúan su propio proceso, así como los demás miembros del equipo y de todo el grupo. Además, el profesor implementa una evaluación integral, en la que es importante tanto el proceso como el resultado.

En el recorrido que viven los alumnos desde el planteamiento original del problema hasta su solución, comparten en la experiencia de aprendizaje colaborativo la posibilidad de practicar y desarrollar habilidades, de observar y reflexionar sobre actitudes y valores que en el método convencional expositivo difícilmente podrían ponerse en acción (Samford, 2005).

Aprendizaje activo

La enseñanza tradicional se ha caracterizado por utilizar un esquema de aprendizaje "pasivo" en donde el profesor imparte, en forma presencial,

a través de presentaciones en tablero o diapositivas, el contenido de sus cursos, con muy poca o ninguna intervención e interacción de sus alumnos. Esta metodología de aprendizaje vuelve al estudiante un ser pasivo, poco proactivo y propositivo, así como un individuo dependiente del conocimiento del profesor y poco dinámico en la construcción de su propio conocimiento, de sus competencias y del saber-hacer que requiere.

Los modelos actuales de enseñanza y aprendizaje buscan proponer aprendizajes activos, en donde los alumnos tengan una participación más activa en la construcción de su propio conocimiento.

De esta forma, en un aprendizaje activo es el propio estudiante el que va construyendo conceptos, significados y estrategias a partir de las experiencias a las que se ve enfrentado durante el proceso de enseñanza en tiempo real. El aprendizaje resulta entonces ser más eficaz y productivo para el estudiante.

Si observamos bien la naturaleza de la construcción de robots, propósito de este libro, este texto puede ser clasificado como una construcción de “saber-hacer”, y no de un “saber teórico”, lo cual justifica la elección de este modelo de aprendizaje en el área de la robótica educativa.

Histórico-social

La teoría histórico-social se basa en que ninguno de los seres humanos es una isla autosuficiente en el océano social. Siempre dependemos de aquel “otro generalizado” para nuestro desarrollo físico y mental. El conocimiento y el aprendizaje no están localizados en los rincones neurales de la corteza cerebral, sino en los encuentros sociales que favorablemente enriquecen, atemorizan, oprimen y liberan la existencia del ser humano (James, 1952; Vygotsky, 1978; Ausubel, 1990).

Esta teoría ha adquirido importancia debido a las críticas hechas al paradigma cognitivista. Una de las críticas hace referencia a que la cognición humana debe de ser estudiada en su ambiente natural (*en el entorno familiar, en la empresa, en la escuela, en la calle, en la oficina, en las conversaciones, o en cualquier otra actividad humana*), es decir, en el contexto sociocultural, incluyendo el ámbito físico y el uso de herramientas que utiliza para resolver situaciones problemáticas (*con todas las frustraciones, emociones, significados y motivos que acompañan a tales situaciones*), en vez de los métodos y medidas que se utilizan en el laboratorio (Neisser, 1976).

El ruso Lev Vygotsky, considerado el padre de este paradigma, se propuso demostrar que todo aprendizaje tiene un origen social. El siguiente párrafo encierra su postulado:

[en el aprendizaje] procesos interpersonales son transformados en procesos intrapersonales. Todas las funciones en el desarrollo cultural del niño aparecen dos veces: primero en el ámbito social y luego en el ámbito individual; primero entre las personas (interpsicológicamente) y luego dentro del niño (intrapsicológicamente). Esto aplica igualmente al control voluntario de la atención, la memoria lógica y la formación de conceptos. Todas las funciones de alto nivel se originan en relaciones reales entre humanos (Vygotsky, 1978).

Su postulado queda encapsulado en la frase: “A través de otros llegamos a ser nosotros mismos”.

La preocupación social de Vygotsky tiene sus orígenes en el pensamiento de Marx, quien afirmaba que la ideología de una sociedad está moldeada en las actividades sociales en las que el individuo participa, y no dentro de su cerebro exclusivamente (Vygotsky, 1978).

El postulado de Vygotsky gira alrededor de las ideas de “actividad” y “naturaleza social del conocimiento” (Vygotsky, 1978):

- *Actividad.* Se refiere al desarrollo histórico de las actividades de aprendizaje, al aprendizaje mediado por herramientas, al aprendizaje colaborativo e interactivamente estructurado. Actividad no es simplemente actividad cognitiva, sino una interacción compleja de la persona con la realidad a través del uso de un lenguaje simbólico y herramientas concretas (Wertsch, 1981).
- *Naturaleza social del conocimiento.* Se refiere a la importancia del aprendizaje en lo que concierne a la manera como este ocurre en la vida práctica y real de las personas. El individuo, aunque importante, no es la única variable en el aprendizaje. Su historia personal, su clase social, y consecuentemente, sus oportunidades sociales, su época histórica, las herramientas que tenga a su disposición, todas ellas no sólo apoyan el aprendizaje sino que son parte integral de él. No es sólo que la cultura o la sociedad ayude al individuo en sus esfuerzos por aprender; es que la cultura y la sociedad son por sí mismos factores de aprendizaje. El individuo literalmente piensa conjuntamente con su ámbito sociohistórico.

Otro de los pioneros de este paradigma fue la antropóloga Lave (1998), quien se concentró en la descripción de los aspectos comunitarios del aprendizaje. Su propósito fue crear una teoría de “cómo actores sociales en un tiempo y espacio determinado actúan en el mundo en que viven y lo moldean al mismo tiempo”.

En observaciones de aprendizaje comunal, Lave notaba que el aprendizaje ocurría en la práctica participativa de una comunidad de aprendizaje y no en lecciones aisladas en las diferentes etapas del proceso. Para esta antropóloga, la comunidad es un conjunto o entidad, y los participantes son sus elementos o células con limitaciones específicas. El aprendizaje no está en la persona sino en la actividad práctica con un grupo de personas. La práctica social es entonces la fuente del aprendizaje humano. Se puede decir entonces que: “la práctica en una comunidad de aprendizaje hace eventualmente del estudiante un experto” (Lave, 1998).

El elemento “histórico” de esta teoría se refiere a que los azares genéticos colocaron al individuo en cierta posición social y en cierto punto de la historia de la humanidad. Las mujeres y los hombres están determinados por las experiencias psicológicas de su infancia, por su clase social y por el periodo histórico que les tocó vivir (Lave, 1998). Estos hechos histórico-sociales determinan las posibilidades de aprendizaje. Se puede concluir de manera concreta que “el aprendizaje de todo individuo está determinado por la intersección de la genética, la sociedad y la historia” (Vygotsky, 1978).

Hasta el momento, se concluye esta primera sección del capítulo, la cual hace referencia a la asombrosa capacidad que tenemos los seres humanos: el aprendizaje. Como se anotó al principio, ninguna teoría es superior o inferior a otra. Todas tratan de explicar desde su experiencia el ideal educativo. Lo relevante es conocer que existen diversas teorías que se pueden configurar y aplicar en las aulas de clase.

Invitamos a nuestros lectores a que continúen consultando acerca de teorías en las que se apoya el aprendizaje humano.

Aspectos del diseño curricular

Después de conocer algunas de las teorías de aprendizaje, es interesante conocer cómo se configuran las bases que las integran en el aula de clase. Para lograr añadirlas, es necesario dar respuesta a cuatro cuestiones, a saber: *¿qué enseñar?*, *¿cómo enseñar?*, *¿cuándo enseñar?* y *¿qué, cómo y cuándo evaluar?* (véase figura 2.1).

De acuerdo con las respuestas que el docente indica, se puede determinar cuál es la teoría que más se adapta a las necesidades del aula. Se debe aclarar que el docente debe ser consciente del público al que va dirigido su enseñanza. A continuación se presenta una síntesis de las etapas del diseño curricular, enmarcadas en las cuatro preguntas, anteriormente formuladas.

- *¿Qué enseñar?* Hace referencia al conocimiento por compartir o asignatura. Cuando se tenga claro el dominio de enseñanza, se recomienda identificar un objetivo general o logro que se pretende que

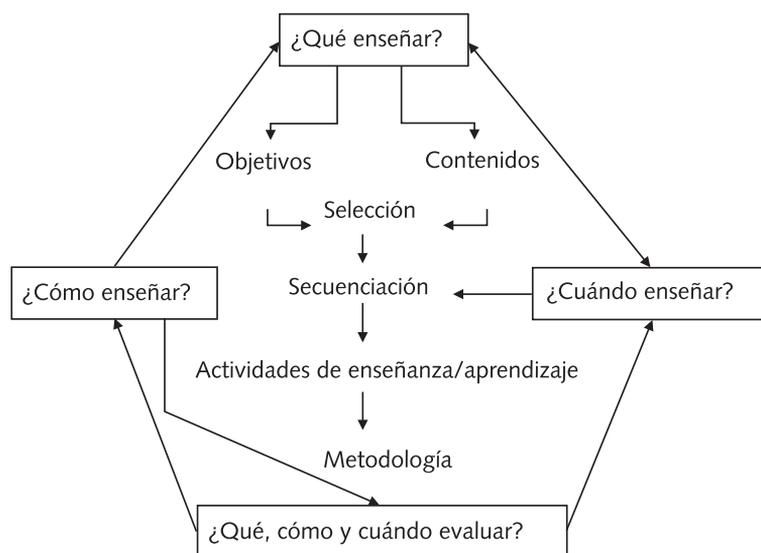


Figura 2.1
Diagrama del diseño curricular.

el estudiante alcance al finalizar un curso. Teniendo identificado este objetivo, se procede a dividir el conocimiento en secciones o unidades; a estos compendios se les denomina contenidos. Asociados a cada uno de los contenidos, se formulan los objetivos específicos de la unidad. En ocasiones puede suceder que dentro de la asignatura existan contenidos que no son necesarios de enseñar o hay que ampliar los mismos. Por lo anterior, es aconsejable seleccionar los contenidos y los objetivos asociados.

- *¿Cómo enseñar?* Tiene relación a la manera de ilustrar los contenidos a los estudiantes. Es importante el espacio donde se dictarán las sesiones (clases) y los recursos didácticos asociados para brindar mejores explicaciones y realizar una o diversas actividades.
- *¿Cuándo enseñar?* Se refiere al tiempo que se tiene para apreciar cada uno de los contenidos, y si es importante seguirlos de manera secuencial o aleatoria, dependiendo de los hallazgos encontrados en el aula. También es relevante tener en cuenta si las sesiones serán cara-a-cara o si el estudiante puede acceder a contenidos en línea, a través de Internet, sin importar que el profesor y demás estudiantes estén conectados en el mismo instante.
- Para la programación de las actividades de enseñanza y de aprendizaje se debe abordar una metodología que armonice con los otros componentes.

- *¿Qué, cómo y cuándo evaluar?* La evaluación es un proceso formativo. Se debe tener en cuenta, según la programación de los otros componentes, la manera de evaluar. La evaluación puede ser individual o colectiva. Existen diversos tipos de elaboración de cuestionarios, que van desde preguntas abiertas hasta preguntas de respuesta simple como "falso" o "verdadero".

De esta manera se termina este capítulo, dedicado a los modelos de enseñanza para el aprendizaje. En el siguiente se presentará el proceso de la construcción del robot, sus piezas y los procesos de pre-ensamble y ensamble.

Construcción del robot

En este capítulo se ofrecen algunas nociones de robótica antes de realizar una descripción detallada de las partes que constituyen el robot por construir y los procedimientos para su fabricación y ensamble. El robot es de tipo vehículo, con dos motores y ruedas de caucho.

Nociones de robótica

La robótica surge, a principios del siglo XX, de la necesidad experimentada por el hombre de aumentar la productividad en las industrias y así ensamblar productos acabados de alta calidad, de forma estándar y continua. Lo anterior impulsa a las empresas a lograr una automatización de los procesos, la cual es altamente asistida por computador (Fu et ál., 1998).

La figura 3.1 muestra el robot Aibo desarrollado por la compañía Sony.



Figura 3.1
Robot Aibo de la compañía Sony.

Este robot tiene la misma apariencia y el comportamiento que un perro doméstico. La figura 3.2 muestra imágenes del robot violinista desarrollado por la compañía Toyota, que además colabora en las tareas domésticas y el cuidado de los enfermos. En efecto, este pequeño robot de 56 kg de peso y unos 150 cms de altura no solo es capaz de tocar el violín sino que participa activamente de las tareas hogareñas. La precisión de los movimientos del brazo robótico, similares a los del ser humano, es muy importante debido a que tocar el violín exige de una coordinación tal, que a un humano le toma varios años aprender a hacerlo bien (Toyota, 2007).



Figura 3.2
Robot violinista de la compañía Toyota (Toyota, 2008).

La palabra “robot” proviene de la palabra checa *robota*, que significa trabajo. El escritor y bioquímico ruso Isaac Asimov, prolífico autor de obras de ciencia ficción, historia y divulgación científica, utilizó por primera vez el término *robótica* en los relatos cortos reunidos en su libro *I Robot* (Yo robot) publicado en 1950. En el relato titulado *Runaround*, visualizado en el año 2056, se postulan las tres leyes de la robótica siguientes:

- Un robot no debe dañar a un ser humano ni, por su pasividad, dejar que un ser humano sufra daño.
- Un robot debe obedecer las órdenes que le son dadas por un ser humano, excepto cuando estas órdenes están en oposición con la primera Ley.
- Un robot debe proteger su propia existencia, hasta donde esta protección no esté en conflicto con la primera o segunda ley.

A pesar del ámbito novelístico propio de los libros de Asimov, esto no ha impedido que sigan vigentes estas leyes propuestas por él, hasta la actualidad; al menos como referente teórico. Cabe señalar que Asimov consideró

necesario añadir una cuarta ley, antepuesta a las demás, que afirma que un robot no debe actuar simplemente para satisfacer intereses individuales, sino que sus acciones deben preservar el beneficio común de toda la humanidad.

El Robot Institute of America define un robot industrial como un “manipulador reprogramable y multifuncional diseñado para mover materiales, piezas o dispositivos especializados, a través de movimientos programados variables para la realización de una diversidad de tareas”. La mayoría de los robots que están disponibles en la actualidad se utilizan en tareas de fabricación y ensamblaje de productos industriales, exploración de sitios hostiles, remplazo de extremidades humanas, manipulación de materiales peligrosos, entre otros.

En los años 30 se inicia el desarrollo de la ingeniería en sus diferentes ramas –mecánica, electrónica, sistemas, informática, computación y telecomunicaciones–, las cuales van a permitir la construcción de los robots modernos. La lista de disciplinas que tienen que ver con la robótica no se limita únicamente a la ingeniería, sino que involucra a las matemáticas y la física teórica. Incluso las formulaciones científicas de Lagrange, Newton y Euler son fundamentales para desarrollar después las ecuaciones que explican la dinámica y el procesamiento de los robots actuales.

Finalmente, los avances en informática y computación de las últimas décadas han brindado el impulso definitivo que permite desarrollar máquinas muy cercanas al ideal propuesto por la inteligencia artificial de crear simuladores de la inteligencia humana en hardware y software, representados a través de robots autónomos.

Piezas del robot

A continuación se relacionan los elementos constitutivos del robot: placas, barras, correas, mecanismo motriz y ruedas.

Placa superior

La placa superior está conformada por:

- Una placa de multienchape (material polimérico similar al acrílico), de 227 mm de largo, 140 mm de ancho, 3 mm de espesor, con agujeros y canales que se muestran en la figura 3.3 (las dimensiones y posiciones de las placas se especifican en el anexo).
- Tres bandas de Velcro® (hembra) de una pulgada de ancho, pegadas a la placa, como se observa en la figura 3.3. Dos de ellas, pegadas a lo largo, poseen una longitud de 200 mm, y la restante, pegada a lo ancho, tiene una longitud de 140 mm.

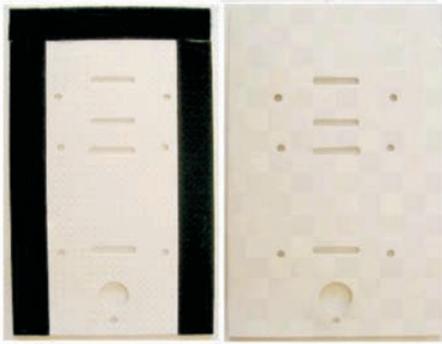


Figura 3.3
Placa superior (vistas anterior y posterior).

Placa inferior

La placa inferior está conformada por:

- Una placa de multienchape (material polimérico similar al acrílico), de 227 mm de largo, 150 mm de ancho, 3 mm de espesor, con agujeros y canales que se muestran en la figura 3.4 (las dimensiones y posiciones de las placas se especifican en el anexo).
- Cinco bandas de Velcro® (hembra) de una pulgada de ancho, pegadas a la placa, como se observa en la figura 3.4. Dos de ellas, de una longitud de 150 mm, serán pegadas en la parte anterior y posterior de la placa a lo ancho. Una, con longitud de 80 mm, será ubicada en la parte anterior de la placa, a lo ancho, aproximadamente en el centro de la placa. Las restantes, con longitud de 15 mm cada una, serán pegadas en los extremos inferiores de la parte posterior de la placa.

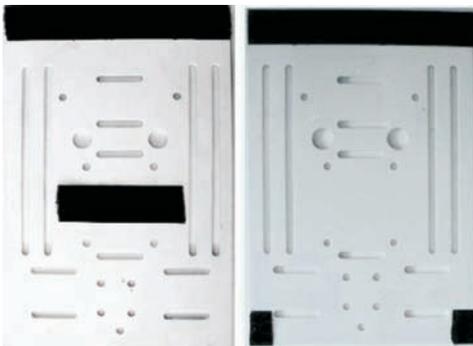


Figura 3.4
Placa inferior (vistas anterior a la izquierda y posterior a la derecha).

Barras

Son barras de acrílico de 10 mm de diámetro, y de 50 mm de longitud total, con una reducción en sus extremos donde poseen un diámetro de

5 mm, como lo muestra la figura 3.5 (para ver la geometría de una manera más detallada, anexo).

[51]



Figura 3.5
Barras.

Correa de fijación principal

Conformada por dos bandas de Velcro® de una pulgada de ancho, pegadas entre sí, tal como lo muestra la figura 3.6. La banda macho será de una longitud de 210 mm, y la banda hembra tendrá una longitud de 40 mm. Esta correa servirá para mantener acopladas las placas superior e inferior.



Figura 3.6
Correa de fijación principal.

Correa de fijación para baterías

Conformada por dos bandas de Velcro® de una pulgada de ancho, pegadas entre sí, tal como lo muestra la figura 3.7. La banda macho será de una longitud de 80 mm, y la banda hembra tendrá una longitud de 20 mm. Se requiere una correa por batería; en este caso se necesitan dos correas para el robot.



Figura 3.7 Correa de fijación para baterías.

Mecanismo motriz

El mecanismo motriz del robot está conformado por:

- Dos motorreductor de 6 V.
- Rueda de caucho de 30 mm de diámetro por 6 mm de espesor, con agujero interno, para el eje del motorreductor.
- Perfil metálico para soporte del motorreductor (véase anexo).

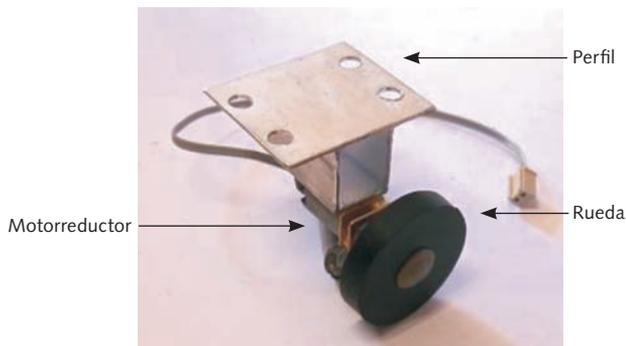


Figura 3.8
Mecanismo motriz.

Rueda libre

La rueda libre es un elemento comercialmente disponible, que simplemente permite la rotación, en cualquier sentido, alrededor de un eje.

Proceso de preensamble

A continuación se describen las actividades relacionadas con el preensamble: el pegado de las bandas de la placa superior, motorreductores y ruedas con motores. Cabe aclarar que los sub-ensambles que se describen en este apartado constituyen el punto de partida para realizar el posterior proceso de ensamble del robot.



Figura 3.9
Rueda libre.

Placa superior y placa inferior

Se pegan las bandas a la placa superior.



Figura 3.10
Pegado del Velcro® en las placas.

- Se esparce pega amarilla XL sobre las superficies de contacto en la placa y en las bandas, según dimensiones y posición de las mismas (anexo), y se deja reposar por 15 minutos. Pasado ese tiempo, se pega cuidadosamente cada banda en su respectiva ubicación, y se les hace una pequeña presión para su buena adherencia.

Mecanismo motriz

Pegado de los motorreductores al perfil de soporte

- Para lograr una adecuada adhesión es necesario preparar las superficies; se recomienda usar una lija para hacer un rayado en las mismas, de tal forma que exista una mayor superficie de contacto y se genere una unión más fuerte. Luego se limpian bien las superficies que van a entrar en contacto, preferiblemente con alcohol industrial, y se dejan secar. Una vez secas, se procede a pegar los componentes con Loctite® 495, se esparce sobre ambas superficies y se une inmediatamente. Es preferible dejar los componentes unidos bajo presión por

un lapso de 30 segundos, y luego por un poco más de tiempo con ayuda de una prensa. Aquí cabe resaltar la importancia de proporcionar una correcta orientación del motorreductor: su eje debe quedar paralelo con los bordes del perfil (figura 3.11).



Figura 3.11
Pegado de motorreductores.

Pegado de las ruedas a los motores



Figura 3.12
Pegado de ruedas.

- Para realizar esta acción es necesario preparar la masilla, de acuerdo con las instrucciones de la caja. Se cortan pedazos iguales pero pequeños de cada una y se procede a amasarlos entre sí hasta obtener una mezcla homogénea. Luego se procede a llenar el agujero de la rueda y se inserta el eje del motorreductor, haciendo presión por el otro extremo del agujero (figura 3.12).

Proceso de ensamble

A continuación se detalla el proceso de ensamble basándose en un robot hijo (RTH). Para el robot madre (RTM) el procedimiento es muy similar (por ello se omite), pero se aclaran ciertos pasos que difieren de uno a otro.⁴

- Acoplar la rueda libre a la placa inferior, mediante 4 tornillos M4, con sus respectivas arandelas y tuercas, preferiblemente usando una pinza y un destornillador de estrella (figuras 3.13 y 3.14).

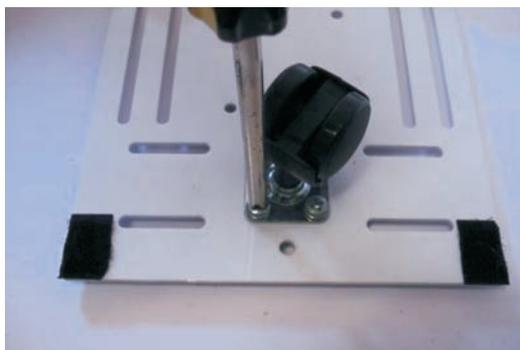


Figura 3.13
Posicionamiento de la rueda libre y del destornillador para acople del primer tornillo.



Figura 3.14
Posicionamiento de las pinzas para acople del primer tornillo.

- Acoplar los mecanismos motrices a la placa inferior, mediante 4 tornillos M4, con sus respectivas tuercas (figura 3.15). El procedimiento se

⁴ Los robots se pueden trabajar como un conjunto, es decir, como un enjambre inteligente, o simplemente como robots independientes. Cuando trabajan en el enjambre se pueden distinguir dos tipos: la madre y los hijos. Estos interactúan entre sí, de manera similar como lo hacen una mamá pata con sus hijos (patitos).

repite para el otro mecanismo motriz ubicado en el otro canal (figura 3.16). Una vez instaladas, se verían como aparece en la figura 3.17.

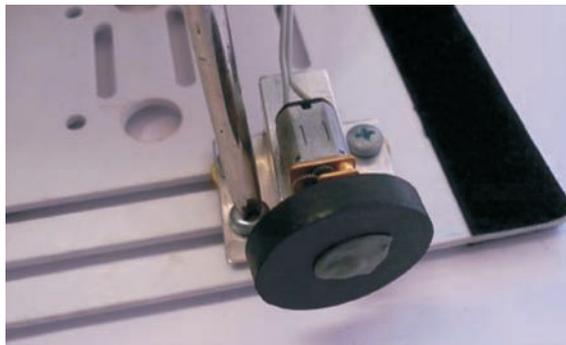


Figura 3.15
Posicionamiento del primer mecanismo motriz y del destornillador para acople del primer tornillo.



Figura 3.16
Acople del segundo mecanismo motriz.

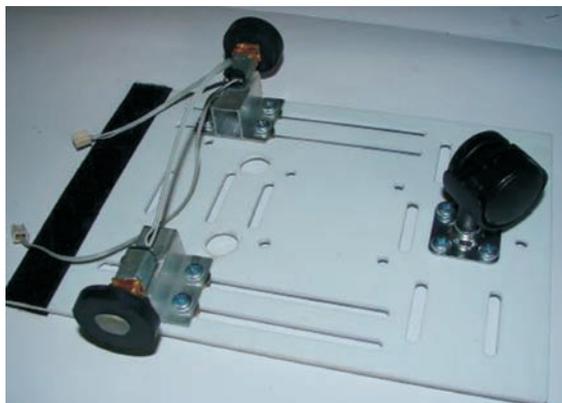


Figura 3.17
Acople final.

- Posicionar la tarjeta de motores (secundaria) sobre la placa inferior mediante el Velcro® pegado en el medio (figura 3.18) y llevar las conexiones de los dos mecanismos a la tarjeta secundaria (figuras 3.19 y 3.20).

[57]

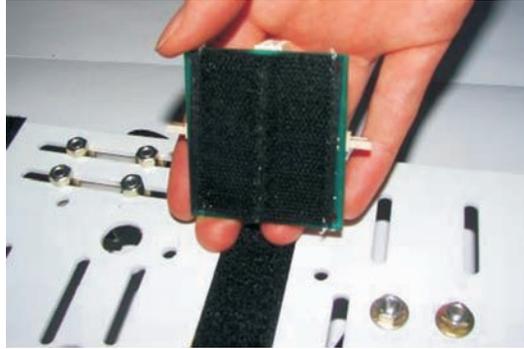


Figura 3.18
Posicionamiento de la tarjeta secundaria y conexiones.

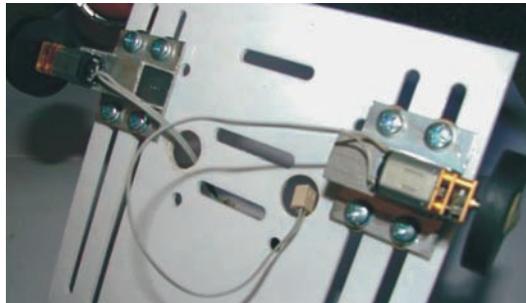


Figura 3.19
Pasar conexiones de motores a tarjeta secundaria.



Figura 3.20
Conexión de los motores con la tarjeta de motores.

- Posicionar las baterías en el lugar que se prefiera entre las diferentes posibilidades que se tiene (anexo), y luego, mediante las correas de

fijación para baterías, asegurar su posición. Una de las configuraciones posibles se muestra en la figura 3.21.

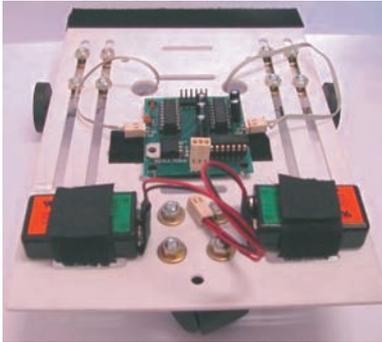


Figura 3.21
Una de las posibilidades para posicionar baterías.

- Conectar el cable entre la tarjeta principal y la secundaria para el control de los motores, como se ve en la figura 3.22. Es importante resaltar que en esta fase del ensamble el cable de conexión entre la tarjeta secundaria (motores) y la tarjeta principal de un robot hijo (RTH) tiene un pin menos que este mismo cable para el robot madre (RTM); por tanto, para la conexión se debe tener en cuenta que el orificio que no tiene cable no va a hacer contacto con el conector, es decir, que queda por fuera.

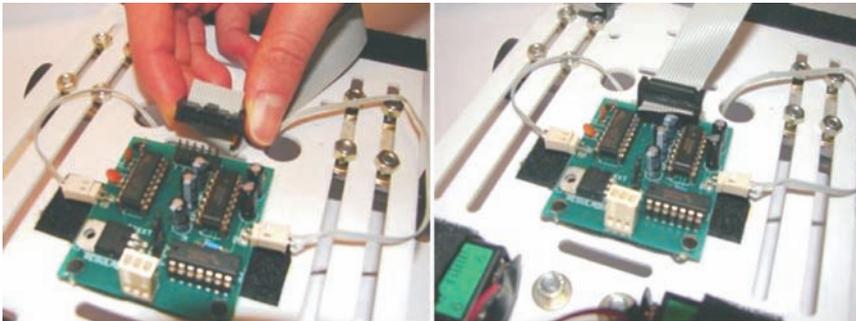


Figura 3.22
Conexión del cable para el control de los motores.

- Posicionar las barras en los agujeros indicados para estas, en la placa inferior (figura 3.23).
- Previo al acople de las placas mediante las barras, es necesario ubicar la correa principal, que permite que las placas superior e inferior se mantengan acopladas. Esta se sitúa en la cara anterior de la placa superior y se pasan los extremos hacia la cara posterior. Luego se

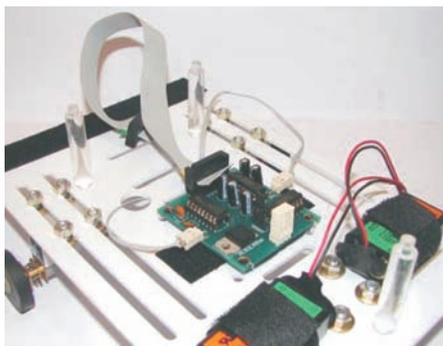


Figura 3.23
Fijación de barras en la placa inferior.

posiciona en la cara superior de la misma placa la tarjeta principal mediante los tornillos, las arandelas y las tuercas, como se aprecia en la figura 3.24.

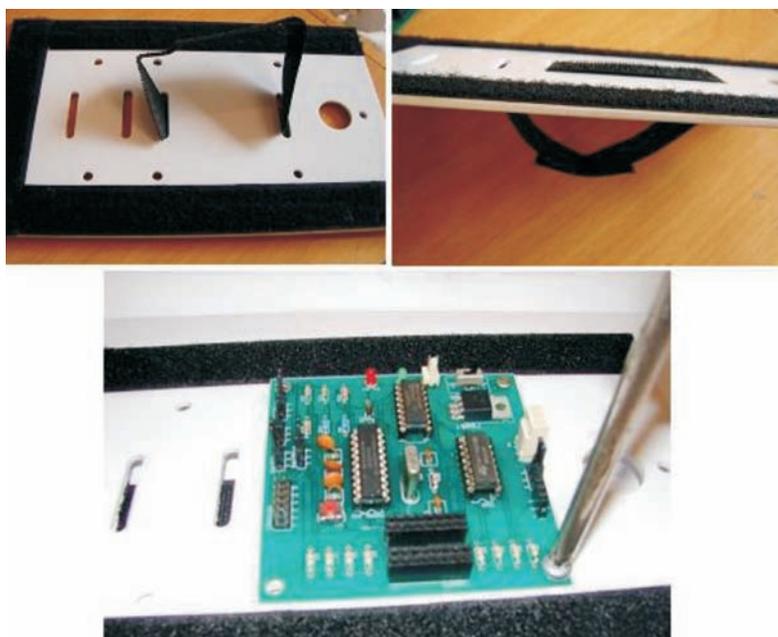


Figura 3.24
Posicionamiento de la correa principal y la tarjeta principal en la placa superior.

- Acercar la placa superior a las barras y alinear estas con los agujeros de la placa destinados para ello y luego acoplar (figura 3.25).
- Posicionar la correa de fijación principal, entrando por los canales destinados para ello y sujetándola firme en la parte anterior de la placa superior (figura 3.26). Se obtiene la estructura de dos pisos que se ve en la figura 3.27.

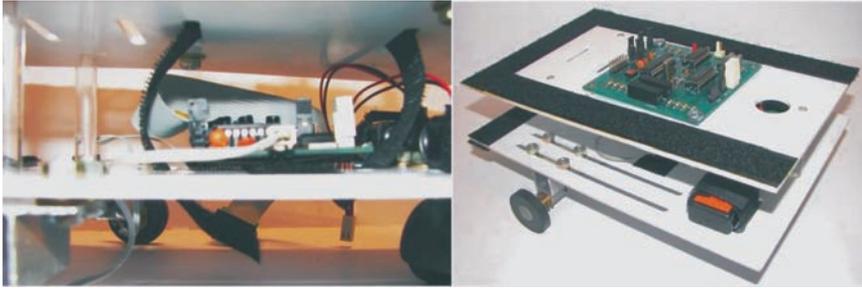


Figura 3.25
Alineación y acople de barras con la placa superior.

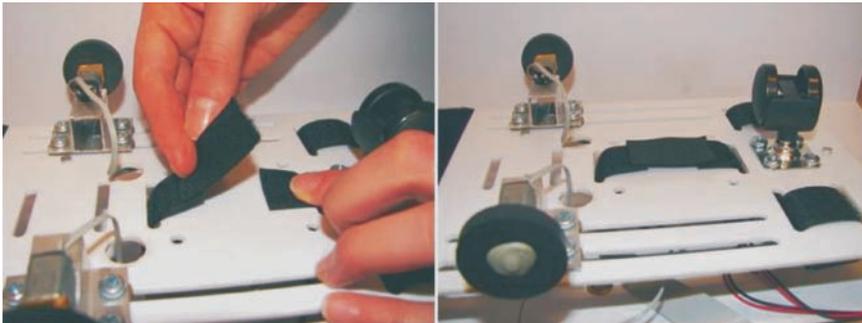


Figura 3.26
Acople correa principal.

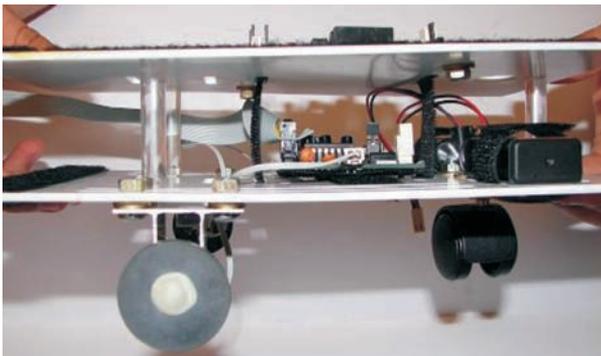


Figura 3.27
Acople correa principal.

- Introducir los cables que vienen de la tarjeta secundaria a la principal (control de los motores y baterías) por el agujero de la placa superior, como se muestra en la figura 3.28. En la figura 3.29 se indica cómo se realiza la conexión.
- Ahora se procede con el montaje de los sensores, que tienen Velcro® en la parte inferior de la tarjeta para que puedan ser posicionados en cualquiera de las partes de las placas que tengan Velcro®. A modo

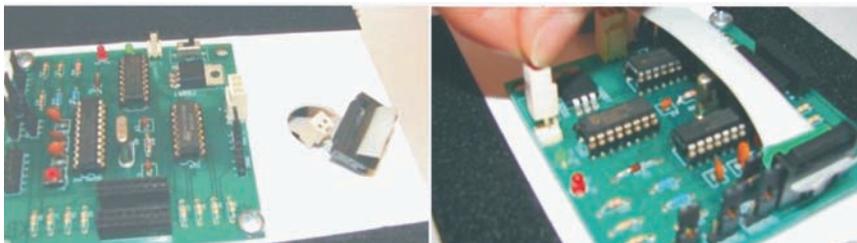


Figura 3.28
Conexión de cables tarjeta principal – secundaria.



Figura 3.29
Conexión de cables.

de ilustración, la figura 3.30 muestra cómo posicionar el sensor de infrarrojo que permitirá esquivar obstáculos al robot.

- La conexión del sensor infrarrojo, como se ve en la figura 3.31, es de seis líneas (cuatro líneas de datos y dos líneas de alimentación); por tanto, es necesario un cable de este tipo. Cada línea que compone el cable está identificada con un color, de la siguiente forma:

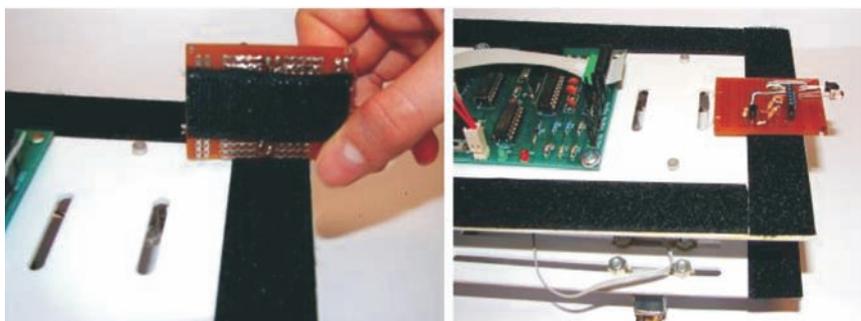


Figura 3.30
Posicionamiento del sensor infrarrojo.

- **Rojo** o positivo. 5V (alimentación).
- **Negro** o tierra. 0V (alimentación).
- **Verde**. Datos del microcontrolador.
- Blanco. Identificación del sensor conectado.
- **Azul**. Datos del microcontrolador.
- **Amarillo**. Identificación del tipo de sensor (de cuatro o seis líneas).

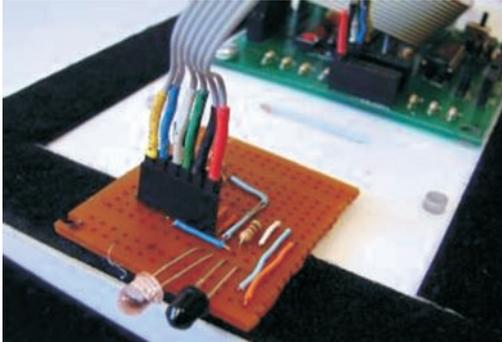


Figura 3.31
Conexión del sensor infrarrojo.

- Posteriormente se debe conectar el cable que viene del sensor infrarrojo en la tarjeta principal, como se ve en la figura 3.32, siguiendo el orden de los colores.

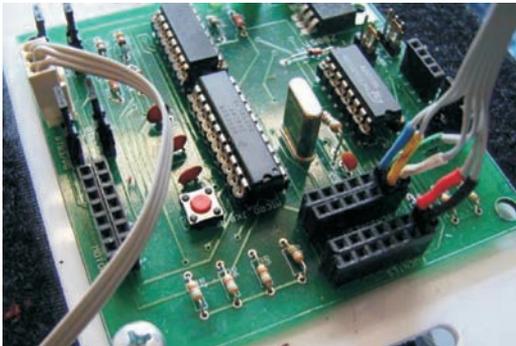


Figura 3.32
Conexión del sensor infrarrojo en la tarjeta principal.

- A continuación se describe por medio de imágenes el procedimiento de posicionamiento del sensor táctil y el sensor de luz. A diferencia del sensor infrarrojo, el cable del sensor táctil y del sensor de luz es de cuatro líneas (figuras 3.33 y 3.34).

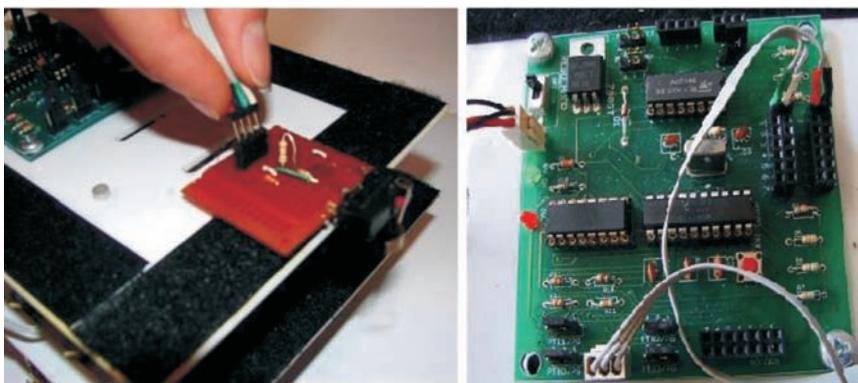


Figura 3.33
Conexión sensor táctil.

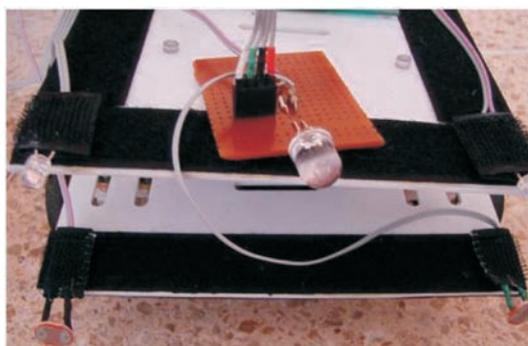


Figura 3.34
Conexión del sensor de luz.

- En el caso del sensor de luz, es necesario aclarar que las fotoceldas (se describen en el capítulo 5) están identificadas con un color para indicar en qué lado deben ubicarse: la verde a la izquierda y la negra a la derecha. De su posición dependerá el sentido de giro del robot.
- Se incluyó un sistema de luces indicadoras en el robot, las cuales encienden y apagan según el movimiento de los motores, como se descubrirá al operar el robot. En la figura 3.35 se muestra un ejemplo de cómo posicionar las luces por medio del Velcro® y cómo se conecta este sistema de luces con la tarjeta principal.
- A diferencia de los demás sensores, el sensor seguidor de línea se posiciona en la cara posterior de la placa inferior del robot, como se muestra en la figura 3.36.
- Finalmente, en la figura 3.37 se presentan imágenes del robot totalmente ensamblado y con algunas funcionalidades de los sensores, tales como: seguidor de línea, seguidor de luz y sistemas de luces.

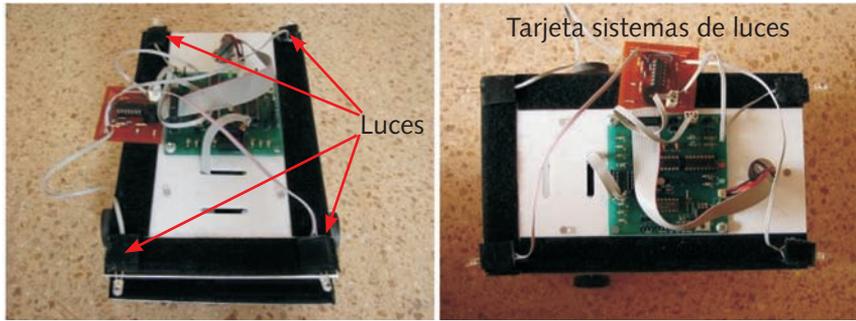


Figura 3.35
Posicionamiento y conexión del sistema de luces.

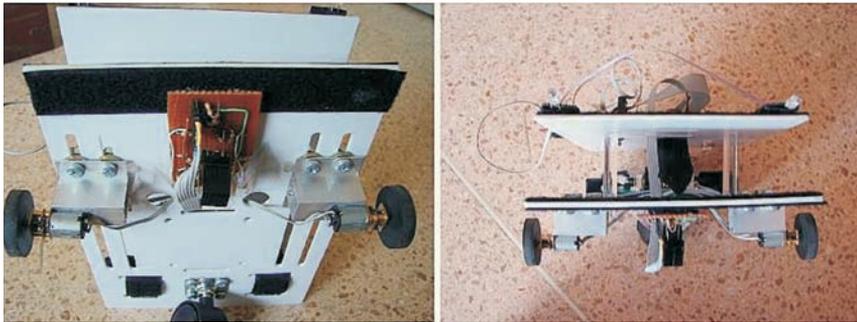


Figura 3.36
Posicionamiento del sensor seguidor de línea.

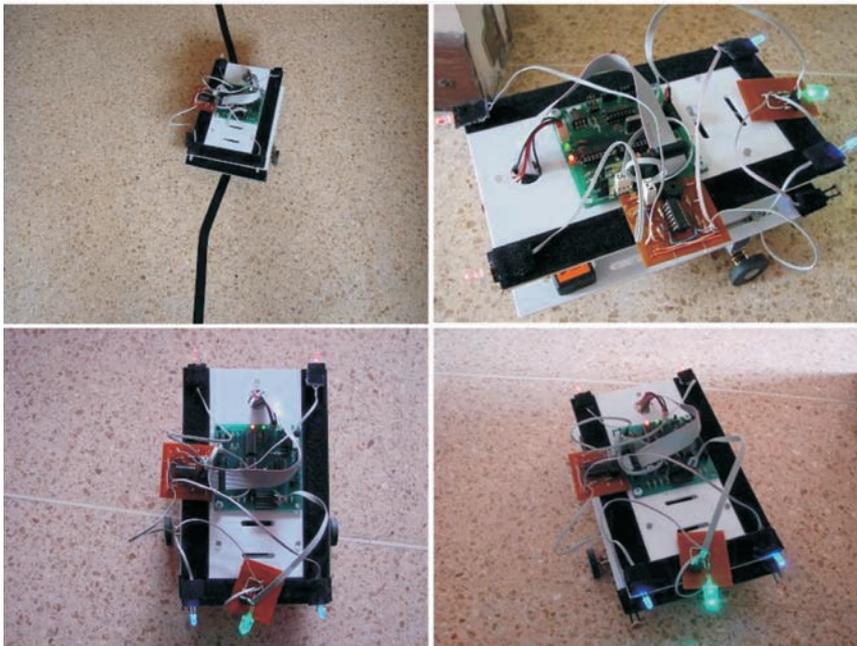


Figura 3.37
Robot en funcionamiento.

Cabe señalar que se deben tomar precauciones para no dejar caer agua o cualquier otro líquido a los robots. Tampoco es aconsejable ubicarlos cerca de fuentes de potencia o dejarlos caer desde alturas superiores a 12 cm.

Otras consideraciones para tener en cuenta son:

- No usar otras baterías diferentes a las especificadas en este libro o entregadas con el robot.
- No cambiar o usar nuevos dispositivos en el robot sin la previa consulta a los creadores de los mismos.
- No usar los robots como transportadores de elementos.
- Evitar movimientos bruscos al colocar el robot sobre la superficie por explorar.
- No acercar el robot a temperaturas superiores de 50°C.
- No soldar ni desoldar ningún elemento de la tarjeta principal (*main*) ni del motor; de lo contrario se podrían causar daños irreparables en el robot.
- Si se va a trabajar acompañado de niños, se debe de tener cuidado con el manejo de las herramientas. En la construcción de los robots se utilizaron materiales de primera calidad, que no son dañinos para el medio ambiente.

De esta manera finaliza el proceso de construcción del robot. Invitamos a los lectores a que continúen con el siguiente capítulo en donde se abordan los principios de la física mecánica, ondulatoria, electrónica y algoritmia.



Principios de física, electrónica y algoritmia por abordar

En este capítulo se describen los principios de funcionamiento de los diferentes elementos usados en el proyecto. También se presentan algunos conceptos que pueden ser abordados mediante la robótica educativa, a saber: física mecánica, ondulatoria, electrónica y algoritmia.

Principios de física mecánica

Leyes de Newton

Durante muchos siglos se intentó encontrar leyes fundamentales que determinaran el comportamiento de los cuerpos cuando se encuentran tanto en situaciones de reposo como de movimiento, para abreviar los procesos tediosos de experimentación y pasar a optimizar con base en cálculos hechos a mano. Fue en la época de Galileo y Newton cuando se empezaron a esbozar unas leyes apoyadas en el ingenio de estos científicos, de las cuales resultaron tres leyes fundamentales conocidas hoy como Leyes de Newton (Leyes de Newton 2, 2008).

Estas tres leyes tienen como punto esencial de partida un concepto denominado *fuerza*, que es la interacción mecánica entre dos cuerpos, la cual puede ser de contacto directo, gravitacional y magnética.

En la mayoría de los problemas que se abordan, se tratan muchas fuerzas de contacto directo, tanto activas como reactivas y algunas correspondientes a la fuerza gravitacional ejercida por la Tierra sobre los cuerpos, llamada *peso*. El peso se calcula por la relación $P = m * g$, donde P es el *peso*, m es la *masa* del cuerpo y g es la *gravedad* que está calculada aproximadamente en $9,81 \text{ m/s}^2$ (Leyes de Newton 1, 2008).

Primera Ley de Newton o Ley de la inercia

Si la fuerza neta sobre un cuerpo es cero, este se mantendrá moviendo con velocidad constante, si se estaba moviendo, o seguirá en reposo si inicialmente estaba en reposo.

Tomando la fuerza neta como la sumatoria vectorial de todas las fuerzas aplicadas a un cuerpo, resulta lógico decir que cuando esta es cero, el

cuerpo no experimentará cambios en su velocidad, ni trayectoria (se toma el caso del reposo, que sería cuando la velocidad es cero).

Por medio de esta ley se puede establecer que en la Tierra los cuerpos con aceleración igual a cero tienen por lo menos una fuerza aplicada: la gravitacional. Por tanto, debe haber una o más fuerzas que la contrarresten. Así, cuando se ve un cuerpo en reposo, no es que no se ejerza fuerza alguna sobre él, sino que todas las que actúan sobre él se contrarrestan entre sí.

Segunda Ley de Newton o Principio fundamental de la dinámica

La fuerza neta aplicada sobre un cuerpo es proporcional a la aceleración que adquiere dicho cuerpo. La constante de proporcionalidad es la masa del cuerpo.

En palabras más simplificadas $F = m \cdot a$, donde F es fuerza, m es la masa del cuerpo y a es la aceleración.

Esta equivalencia surge de la afirmación de que la aceleración es proporcional a F/m . Esto se demuestra cuando se intenta empujar un carrito, y cuanto mayor es la fuerza aplicada, mayor es la aceleración conseguida, y mientras más pesado (mayor masa) es el carro, mayor fuerza hay que aplicar para conseguir la misma aceleración relativa al movimiento.

Haciendo uso de esta ley se puede dar una aclaración más precisa al término de *fuerza*, ya que esta puede acelerar objetos, rompiendo su inercia⁵.

Tercera Ley de Newton o Principio de acción / reacción

Siempre que un cuerpo ejerce una fuerza sobre un segundo cuerpo, el segundo ejerce una fuerza sobre el primero, de igual magnitud, igual dirección y sentido contrario a la primera (figura 4.1).

Cuando se consideran dos cuerpos en interacción, se dice que las fuerzas que se ejercen son internas al sistema, dado que sin desacoplarlo, cada uno de los cuerpos ejerce y al mismo tiempo siente una fuerza de igual magnitud y dirección, pero de sentido contrario. Al separar los cuerpos deberá aparecer sobre cada uno de ellos la fuerza que generaba el otro elemento, convirtiéndose así en fuerzas externas.

Esta ley puede comprobarse fácilmente, por ejemplo cuando una persona se impulsa sobre una pared para lograr movimiento. Aunque se efectúa una fuerza sobre la pared, esta termina por aplicar la misma fuerza sobre la persona. Dado lo anterior, sale para el otro lado del empuje.

⁵ Resistencia que oponen los cuerpos a cambiar el estado o la dirección de su movimiento.

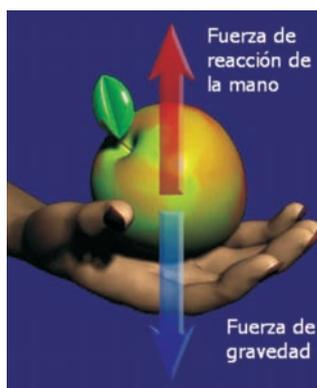


Figura 4.1
Principio de acción/reacción.

En el caso del robot, cuando está en reposo, este está sometido a dos fuerzas. Una de ellas es la fuerza del peso y la otra la normal que le ejerce el piso a las ruedas y que contrarresta completamente el efecto del peso, por acción/reacción. Para que el robot pueda moverse por medio de los motores, las ruedas deberán realizar una fuerza tal que rompan el estado de reposo del robot y, por segunda ley, permitan el movimiento del robot.

Equilibrio de cuerpos rígidos

Para el análisis de las fuerzas actuantes sobre un cuerpo, además de establecer bien las fuerzas utilizando la primera y tercera leyes de Newton, es importante, aplicar la segunda ley de una manera más práctica (Hibbeler, 2004).

Se sabe que la segunda ley dice que $F = m \cdot a$, pero sobre un cuerpo en general siempre actuará más de una fuerza, por lo cual se puede modificar esta ecuación y sugerir que lo que causa la aceleración es la sumatoria de fuerzas $\Sigma F = m \cdot a$. Muchos de los cuerpos que son objeto de estudio en un primer momento son aquellos que están en reposo o con velocidad constante, lo que agrega otro dato, $a = 0$. De esta manera se concluye que $\Sigma F = 0$ y, por la primera ley de Newton, esta condición es suficiente para asegurar el equilibrio del cuerpo con respecto a traslaciones.

Normalmente se trabaja con cuerpos reales de diversas dimensiones y geometrías. En física mecánica, cuando se trabaja con cuerpos, se les asigna el nombre de sólidos rígidos. Aunque la ciencia ha demostrado que todos los cuerpos experimentan deformaciones reales cuando se les aplica fuerzas, estas son relativamente pequeñas. Tomar el cuerpo como si fuera rígido perfectamente es un muy buen punto de partida para el análisis de equilibrio de fuerzas. Además, cuando se usa el concepto de sólido rígido no se puede asegurar el equilibrio sólo por sumatoria de fuerzas, dado que

los cuerpos pueden experimentar también rotaciones debido al punto de aplicación de las fuerzas (figura 4.2).

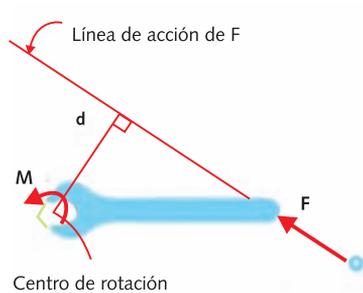


Figura 4.2
Momento de una fuerza.

Si se considera que la tuerca de la figura anterior está siendo apretada, y que sobre la llave se aplica una fuerza F diferente de cero, la tuerca experimentará una rotación con respecto a su eje y perderá su situación de equilibrio. Por tanto es importante incluir el concepto de *momento de una fuerza* (M), que representa la fuerza que se tiene que hacer para rotar un cuerpo respecto a un punto fijo. El momento de una fuerza se determina multiplicando el módulo de dicha fuerza (F) por el brazo de dicha fuerza (d), definido como la distancia perpendicular del centro de rotación a la línea de acción de la fuerza (perpendicular trazada desde el centro de rotación a la recta donde actúa la fuerza), es decir, $M = d \times F$.

Según lo dicho anteriormente, los momentos entre sí también se deben contrarrestar para asegurar el equilibrio estático del cuerpo rígido. Por tanto, se tiene otra ley que está dada por $\Sigma M = 0$.

En conclusión, para asegurar que un cuerpo conserve su estado inercial, se deben cumplir las siguientes dos condiciones:

- 1) $\Sigma F = 0$
- 2) $\Sigma M = 0$

Las anteriores expresiones son válidas en cada una de las tres direcciones ortogonales en las cuales se puede descomponer la traslación (esto asociado a las fuerzas) y en cada uno de los tres ejes ortogonales respecto a los cuales se puede describir la rotación (esto asociado a los momentos). De esta manera se tiene un cuerpo tridimensional en el espacio. Para garantizar su equilibrio rotacional y traslacional, se deberá garantizar: $\Sigma F_x = 0$, $\Sigma F_y = 0$, $\Sigma F_z = 0$, $\Sigma M_x = 0$, $\Sigma M_y = 0$, y $\Sigma M_z = 0$.

Sin embargo, pueden existir muchos casos en los cuales el robot no permanezca en reposo. Estos casos se presentarán cuando el robot se vuelque repentinamente o bajo la acción de una condición nueva, que se incorpora al sistema. Es importante evaluar en esos momentos cuáles son las fuerzas que contribuyeron al desequilibrio. Se debe pensar siempre en una fuerza que, debido a su punto de aplicación, generó un momento que no pudo ser contrarrestado por los apoyos del robot y sus puntos de aplicación. Cabe señalar que todo cuerpo en el mundo, y especialmente el robot, se verá sometido a la misma fuerza de la gravedad constantemente, pero la intervención de esta fuerza en el equilibrio del robot se verá afectada cuando la dirección de la misma no se encuentre en puntos intermedios del robot. Esto puede ocurrir en planos inclinados respecto a la horizontal. Los apoyos del robot son, en general, los mecanismos motrices y la rueda libre. Su ubicación por los canales genera diferentes puntos de aplicación para las fuerzas asociadas.

Fricción

La fricción se puede definir como una fuerza que actúa sobre un cuerpo. Esta fuerza impide o retarda el deslizamiento del cuerpo con relación a un segundo cuerpo o superficie con el cual está en contacto. La fuerza de fricción actúa siempre tangencialmente a la superficie en los puntos de contacto con otros cuerpos, y está dirigida en sentido opuesto al movimiento posible o existente del cuerpo con respecto a esos puntos.

En general pueden ocurrir dos tipos de fricción entre superficies: la fricción fluida y la fricción seca. La primera se da cuando las superficies en contacto están separadas por una película de fluido (gas o líquido), mientras que la fricción seca, también llamada fricción de Coulomb⁶, ocurre entre las superficies de cuerpos que están en contacto en ausencia de un fluido lubricante (Hibbeler, 2004).

La teoría de la fricción seca se puede explicar de manera conveniente, considerando los efectos que provoca el tirar horizontalmente de un bloque de peso uniforme W que descansa sobre una superficie horizontal rugosa (figura 4.3), donde P es la fuerza con la cual se tira del bloque y F es la fuerza de fricción que se opone al desplazamiento. En el caso del robot, la fuerza de fricción se verá entre las ruedas y las distintas superficies en las que se ponga a funcionar el robot. Se sabe por teoría que para una condición de deslizamiento inminente, la fuerza de la fricción es igual al producto entre el coeficiente de fricción (μ_s) y la fuerza normal N (fuerza ejercida por el piso perpendicular a las superficies en contacto). Es decir:

⁶ Sus características fueron estudiadas extensamente por C. A. Coulomb en 1781.

$$F_f = \mu_s * N$$

donde el coeficiente de fricción varía según las superficies que estén en contacto. Teniendo en cuenta lo anterior, se podrá observar que el robot se desplazará con más facilidad en unas superficies que en otras, al aumentar o disminuir la fuerza de fricción.

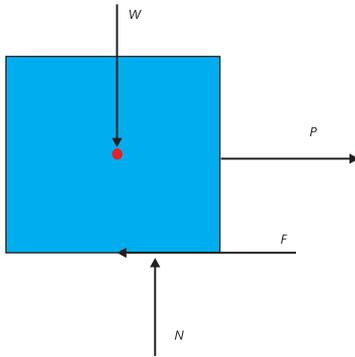


Figura 4.3
Representación simplificada de un modelo de fricción seca.

Centro de gravedad

El centro de gravedad G es un punto en el cual se puede ubicar el resultado del peso de un sistema de partículas o cuerpo rígido. Los pesos de las partículas comprenden un sistema de fuerzas paralelas que puede ser remplazado por un peso resultante (equivalente) que tenga el punto G de aplicación definido. Sin embargo, esto no es estrictamente cierto, ya que los pesos no son paralelos entre sí; más bien son concurrentes al centro de la Tierra. Además, la aceleración de la gravedad g es diferente para cada partícula ya que depende de la distancia del centro de la Tierra a la partícula. Sin embargo, para todo fin práctico, generalmente estos dos efectos pueden ser ignorados (Hibbeler, 2004).

En resumen, se puede decir que el centro de gravedad es el punto donde puede considerarse aplicada la fuerza que ejerce la Tierra sobre el cuerpo. Con el centro de gravedad está relacionado también el centro de masa. No obstante, la diferencia entre estos dos radica en que el centro de masa no depende de la gravedad, ya que es el punto donde se concentra toda la masa de un cuerpo. Dicho punto puede moverse dependiendo de la distribución de masa del elemento, y esta a su vez depende de la distribución de la densidad.

El robot es un sistema constituido por varias partes, cada una de ellas con densidad diferente, lo cual, asociado a las diferentes alternativas de ubicación de algunos elementos constitutivos, permitirá al estudiante modificar la posición resultante del centro de gravedad G del robot.

En primer lugar, se cambiarán de posición las baterías, ubicándolas en las diferentes posiciones que tiene el robot. Una de estas se ubica en la placa superior, y hay dos posiciones más en la placa inferior. Luego se moverán las dos ruedas motrices a lo largo de las ranuras de la placa inferior. Dichas ranuras fueron hechas con este objetivo, para ver qué sucede con el centro de masa del robot. Los estudiantes podrán observar si el centro de masa del robot cambia de posición y qué efecto tiene este cambio, si es que lo hay. El cambio en el centro de masa se vuelve bastante relevante cuando aplicamos el concepto de momento de una fuerza, lo cual puede alterar el equilibrio del robot.

Principios de física ondulatoria

La luz como onda electromagnética

En principio, es necesario definir la onda como una perturbación que se propaga desde el punto en que se produjo hacia el medio que rodea ese punto. Las ondas materiales requieren un medio para propagarse. Sin embargo, existen unas ondas denominadas electromagnéticas –como la luz, el calor del sol, las ondas de radio y televisión, entre otras– que pueden propagarse en el vacío.

Todas las ondas se caracterizan por los siguientes parámetros (figura 4.4):

- *Longitud de onda.* Distancia entre dos puntos de la onda que se encuentran en el mismo estado de oscilación.
- *Intensidad o amplitud.* Máxima separación de la onda.
- *Frecuencia.* Número de oscilaciones que se dan en una unidad de tiempo.

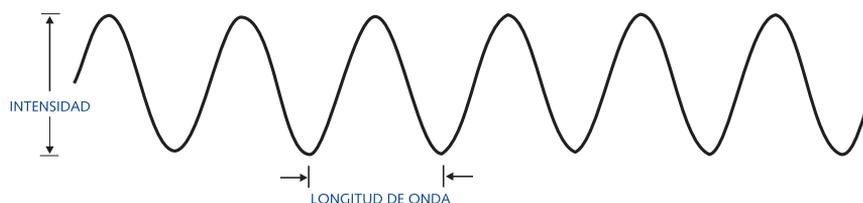


Figura 4.4
Onda electromagnética.

En el caso de la luz, la longitud de onda determina el color. Por ejemplo, el ojo humano sólo puede percibir las longitudes de onda que van desde los 380 a los 700 nm (nanómetro), como se muestra en la figura 4.5. Para dar

una idea de esta medida, supongamos que el tamaño de una canica corresponde a un nanómetro; entonces el tamaño del planeta Tierra corresponde a un metro.



Figura 4.5
Espectro visible (Luz, 2008).

La luz blanca es una mezcla de radiaciones de longitudes de onda diferentes. Se extienden desde la luz roja, que tiene la longitud de onda más larga, hasta la luz violeta, que posee la longitud de onda más corta. En la figura 4.6 se muestra la descomposición de un rayo de luz blanca; al atravesar un prisma, se obtiene el espectro de colores o arco iris.

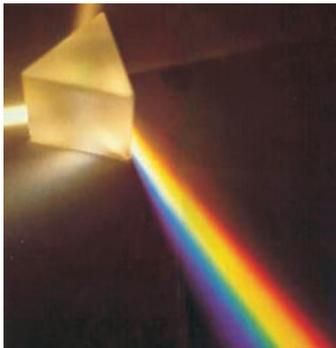


Figura 4.6
Descomposición de la luz blanca.

El color de las cosas que vemos depende del tipo de luz que las ilumina y de la naturaleza de sus superficies. Por ejemplo, si una superficie refleja toda la luz que cae sobre ella, el color de la superficie será blanco cuando lo ilumine la luz blanca, rojo cuando lo ilumine la luz roja, y así sucesivamente. Una superficie que absorbe toda la luz que le llega, se verá de color negro. Esto se entiende mejor por medio de la figura 4.7. El payaso ubicado en la parte superior está iluminado con luz blanca; por tanto se aprecian todos los colores que constituyen la imagen, mientras que los payasos que están debajo han sido iluminados con luz verde, azul, amarilla y roja, respectivamente.

De esta manera se perciben fielmente los colores correspondientes a la luz que los ilumina, pero los demás colores se perciben como una mezcla del color real y del proyectado.



Figura 4.7
Incidencia de la luz sobre los objetos.

En el robot, este concepto se puede comprender mejor cuando se analiza su funcionamiento evadiendo los obstáculos, usando el sensor infrarrojo. Este sensor le indica al robot cuándo se encuentra un obstáculo próximo, pero la distancia depende del color del obstáculo; por ejemplo, si el obstáculo es de color blanco, la distancia de giro del robot será mayor que si es negro. De hecho, para ciertas tonalidades de negro, el obstáculo no será detectado, porque el color negro absorbe toda la onda infrarroja que emite el sensor y, por tanto, no hay ninguna reflexión que pueda ser captada por el fototransistor.

Principios de electrónica

Sistemas electrónicos

Son un conjunto de circuitos que interactúan entre sí para obtener un resultado. Se pueden dividir en las siguientes partes:

- *Entradas.* Sensores que toman señales (temperatura, presión, entre otros) del mundo físico y las convierten en señales de corriente o voltaje; por ejemplo, el termopar o la fotorresistencia que mide la intensidad de la luz, entre otros.
- *Circuitos de procesamiento de señales.* Piezas electrónicas conectadas entre sí para manipular, interpretar y transformar las señales de voltaje y corriente provenientes de los transductores.
- *Salidas.* Actuadores u otros dispositivos que convierten las señales de corriente o voltaje en señales físicamente útiles; por ejemplo, un

display que registra la temperatura o un sistema de luces que se enciende automáticamente cuando esté oscureciendo.

Cuando se habla de *señal*, se hace referencia a la representación de un fenómeno físico o estado material a través de una relación establecida. Las entradas y salidas de un sistema electrónico serán señales variables. Las señales primordialmente pueden ser de dos tipos:

- *Variable analógica*. Puede tomar un número infinito de valores comprendidos entre dos límites. La mayoría de los fenómenos de la vida real dan señales de este tipo, como la temperatura ambiente (por ejemplo: 23 °C).
- *Variable digital*. También llamada variable discreta, puede tomar un número finito de valores; por ejemplo, las variables binarias que solo tienen dos estados: prendido y apagado o activo e inactivo.

En electrónica, las variables más usadas son:

- *Voltaje o tensión*. Es la diferencia de potencial generada entre los extremos de un componente o dispositivo eléctrico. También se define como la energía capaz de poner en movimiento los electrones libres de un conductor o semiconductor. La unidad de esta variable es el voltio (V). Existen dos tipos de voltaje: continuo y alterno.
 - Voltaje continuo o VDC. Tiene una polaridad definida, como la que proporcionan las pilas, las baterías y las fuentes de alimentación.
 - Voltaje alterno VAC. Su polaridad va cambiando o alternando con el transcurso del tiempo. Las fuentes de tensión alterna más comunes son los generadores y las redes de energía doméstica.
- *Corriente o intensidad*. Es el flujo de electrones libres a través de un conductor o semiconductor en un sentido. La unidad de medida es el amperio (A). Al igual que existen voltajes continuos o alternos, las intensidades también pueden ser continuas o alternas, dependiendo del tipo de voltaje que se utiliza para generar estos flujos de corriente.
- *Resistencia*. Es la propiedad física mediante la cual todos los materiales tienden a oponerse al flujo de la corriente. La unidad de este parámetro es el ohmio (Ω).

Un ejemplo de la vida real que resulta útil a la hora de aprender estos conceptos es una cañería, donde la *corriente eléctrica* se puede entender como la cantidad de agua que circula por la cañería por unidad de tiempo. Por otro lado, si se inclina la cañería, se obtienen unas diferencias de altura y de presión que permiten el flujo del agua. En este caso, el voltaje o tensión se podría entender como esa diferencia de presión. Y por último, al final de la cañería se instala una llave que hará las veces de resistencia,

que permitirá mayor flujo de agua cuando está abierta y menor flujo si se encuentra cerrada.

Ley de Ohm

La ley de Ohm expresa la relación existente entre tres variables presentes en todo circuito electrónico: el *voltaje* (V), la *corriente* (I) y la *resistencia* (R), que viene expresada en la siguiente ecuación:

$$V = I * R$$

Es importante anotar que esta fórmula lineal es un modelo sencillo, pero útil, ya que las condiciones ambientales y físicas a las que estarán sujetos los agentes robóticos son estables y controladas. Por tanto, las ecuaciones son muy buenas aproximaciones del modelo real.

Para entender mejor los conceptos mencionados anteriormente, tomemos la analogía clásica de los fluidos. Imaginemos un galón de agua que tiene una canilla muy cerca de su parte inferior. El voltaje será la cantidad de agua que tiene el galón, y la canilla será la resistencia. Cuando la canilla está cerrada, no circulará agua (corriente). En la medida que se abra la canilla fluirá agua (circulará corriente en el circuito). Ocurre igual en un circuito electrónico donde se utiliza una resistencia (oposición) de menor valor, y a medida que se haga menor, la corriente será mayor, así como cuando abrimos más la llave.

En el robot, las resistencias son usadas principalmente para controlar los niveles de voltaje para la línea de detección de los sensores (líneas blanca y amarilla) y la luminosidad de los LED⁷ de luz visible e infrarrojos.

Resistencias en serie

Las resistencias en serie se suman aritméticamente, es decir:

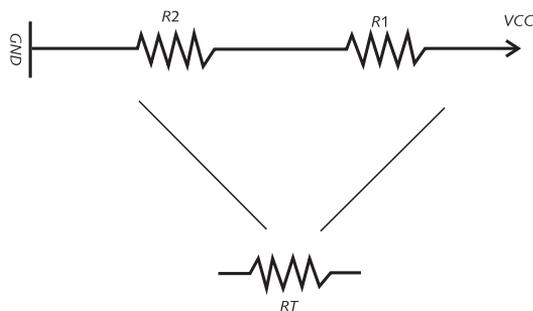


Figura 4.8
Resistencias en serie.

7 Diodo emisor de luz, LED (por su sigla en inglés). Capítulo 5.

La resistencia total R_T es igual a la suma de las resistencias R_1 y R_2 , como se muestra en la siguiente ecuación:

$$R_T = R_1 + R_2$$

Divisor de voltaje

El divisor de voltaje, como su nombre lo indica, permite conocer el voltaje sobre un circuito en serie, tal como el siguiente:

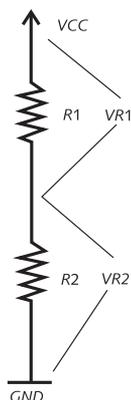


Figura 4.9
Circuito en serie.

En la figura 4.9, VCC se refiere al voltaje aplicado al circuito y GND es "ground" o en español la "tierra" del circuito, la cual es la referencia con respecto a la cual se miden los voltajes y por tanto tiene un valor de 0V.

Aplicando el divisor de voltaje para el caso de la resistencia R_1 (VR_1), la expresión que rige el voltaje sobre ella viene dada por la ecuación:

$$V_{R1} = \frac{V_{CC} * R1}{R1 + R2}$$

Para el caso de la resistencia R_2 el voltaje (VR_2) sobre ella tiene una expresión similar a la ecuación anterior, con la diferencia que en el numerador va R_2 en lugar de R_1 . Aunque el concepto de divisor de voltaje se puede extender a cualquier número de resistencias en serie, los conceptos aplicados en este proyecto solo requieren conocer el caso mencionado anteriormente.

Los conceptos de divisor de voltaje y de resistencias en serie se ven implementados en el robot en la línea de detección de los sensores (líneas blanca

y amarilla) y en los sensores de luminosidad, es decir, las fotorresistencias. En el último caso, las dos fotorresistencias se hallan en una configuración en serie, las cuales se ponen en lados opuestos del robot para determinar diferencia de intensidad luminosa en el ambiente.

Refiérase a la figura 4.9, y suponga que la fotorresistencia del lado izquierdo y del lado derecho son R1 y R2, respectivamente. Si la intensidad luminosa en ambos lados es aproximadamente la misma, por el divisor de voltaje se obtiene que VR2 es aproximadamente 2,5V. Aunque este es el valor que se espera teóricamente observar cuando la luminosidad en ambas fotorresistencias es el mismo, en la práctica este valor no se presenta debido a pérdidas en otros elementos que componen el circuito y porque no son iguales los valores de los parámetros que definen las diferentes fotorresistencias usadas y por tanto sus respuestas ante iguales valores de luminosidad no son las mismas. Debido a esto en el presente trabajo se considera que la intensidad luminosa es la “misma” en ambas fotorresistencias cuando el voltaje se encuentra entre [2,29V, V2,69].

Ahora bien, si la intensidad luminosa es “mayor” (“menor”) en el lado derecho, la resistencia R2 será “inferior” (“superior”) a R1, y por tanto el voltaje VR2 estará por arriba (debajo) del rango [2,29V, V2,69]. El microcontrolador detecta y da la orden al robot de girar al lado derecho (izquierdo) hasta encontrar la dirección de la fuente luminosa y dirigirse hacia ella, que para el caso de persecución hijo (RTH) – madre (RTM), sería el evento disparador de la persecución.

Los términos mayor, menor, inferior, superior, se encuentran en comillas en el párrafo anterior debido a que hacen referencia a valores de intensidad luminosa y resistencia que producen voltajes fuera del rango [2,29V, V2,69].

Algoritmia

La algoritmia es la ciencia que se ocupa de estudiar el cálculo aritmético y algebraico, además de la teoría de los números. Los algoritmos (*algorithms*) no son un concepto que proviene del campo de la computación, sino un término de origen matemático.

El nombre de algoritmo se debe al matemático y astrónomo árabe *Muhammad ibn Musa Al_khowarizmi*⁸ quien escribió el tratado sobre manipulación de números y ecuaciones en el siglo IX llamado *Kitab al-muhtasar fi hisab al-gabr wa-almuqabala*. Al_khowarizmi nació en la ciudad de Huwarizmi, hoy Khiwa, a finales del siglo VIII, y murió hacia el año 844

8 También se conoce con el nombre de: Abu Abdallah Muḥammad ibn Mūsā al-Jwārizmī.

(Baldor, 1941). De su nombre *Al_khowarizmi* se deriva el término *algoritmo* en la traducción al latín (Joyanes, 1995).

Un algoritmo es un método que permite resolver un problema siguiendo una serie de pasos precisos, ordenados y finitos. Los algoritmos constituyen la estructura básica, necesaria y obligatoria para construir cualquier programa de computación.

Para construir algoritmos exitosos es necesario conocer y analizar ampliamente el problema que se quiere resolver, eliminando todo tipo de ambigüedades. En las actividades de nuestra vida diaria encontramos y ejecutamos una serie de algoritmos, como por ejemplo: cuando compramos un artículo en el supermercado, cuando cenamos, cuando realizamos las actividades escritas en la agenda, entre otros. En todas estas actividades tenemos un conjunto mínimo de instrucciones y un orden para realizar cada uno de sus pasos.

La representación de un algoritmo se hace por medio del lenguaje natural o mediante el uso de gráficas. Los algoritmos pueden ser representados usando algún método que permita ser independiente del lenguaje de programación que se requiera utilizar, y su propósito es visualizar más claramente la solución del problema. Existen tres formas para representar un algoritmo:

- *Diagrama de flujo*. También conocido con el nombre de diagrama de ANS (Vásquez, 1985). Es un conjunto de figuras geométricas unidas una con otra por medio de flechas.
- *Diagrama rectangular*. Como su nombre lo indica, son una serie de cajones en forma vertical que representan la secuencia del algoritmo. En el diagrama rectangular no existen flechas para unir los cajones.
- *Pseudocódigo*. Es una representación del algoritmo mediante palabras. Las instrucciones son ubicadas con sangría, lo que permite una visualización más clara. Este tipo de diagrama es muy utilizado para transcribir al lenguaje de programación.

En la algoritmia, las principales estructuras son:

Estructura secuencial

La estructura secuencial permite representar las instrucciones que se ejecutan una tras otra en forma de serie y sin ningún tipo de bifurcación o repetición. La salida de una instrucción es la entrada de la próxima, es decir, una seguida de la otra. Esta estructura sirve para representar las instrucciones de asignación a las variables de entrada y salida de datos.

La aplicación de esta estructura dentro del robot se inicia cuando este se enciende. El sistema verifica el estado de los puertos de entrada e identifica

los sensores que se encuentran conectados. Posteriormente se escoge el algoritmo más adecuado para la configuración sensorial. Finalmente, el robot desarrolla sus labores asignadas.

Estructura de decisión lógica

La estructura selectiva se utiliza para determinar las alternativas por seguir en el instante de tomar una decisión. También se conoce con el nombre de estructura de decisión lógica.

Por lo general sólo se programa para tomar dos posibles caminos: el primer camino es un conjunto de instrucciones si el resultado de evaluar la condición es verdadero. El segundo camino es otro conjunto de instrucciones diferentes, si el resultado de evaluar la condición es falso. Nunca se pueden tomar los dos caminos a la vez. A esta estructura se le conoce con el nombre de selección de dos alternativas.

En otros casos se puede presentar que se debe tomar uno de varios caminos o alternativas; este caso se conoce con el nombre de selección de múltiples alternativas, que puede ser abordado mediante la utilización de la estructura de condicionales anidados o mediante la estructura Caso (Case).

Esta estructura se aplica dentro del robot cuando se detecta un cambio de estado en uno de los sensores. El robot decide qué acción ejecutar, para posteriormente enviar a los motores el sentido de giro. Finalmente, vuelve a tomar una trayectoria recta.

También se puede apreciar en sus diferentes modos de operación, a saber:

- *En el modo evasión de obstáculos.* El robot explora y sensa su entorno manteniendo una dirección constante mientras no se presente un objeto en su trayectoria. Cuando ello sucede, gira hacia un lugar libre de obstáculos cercanos.
- *En el modo seguidor de línea.* El robot seguirá una línea negra hasta cuando sus sensores detecten que hay una curva; en tal caso escoge el lado hacia el que debe girar.
- *En el modo sensor de aplausos.* El robot decide seguir una trayectoria recta a menos que detecte aplausos. Cuando ello ocurre, según el número de ellos, escogerá el sentido en el cual girar.
- *En el modo seguidor de luminosidad.* El robot sigue una trayectoria recta cuando existe la misma luminosidad a ambos lados. Cuando sucede lo contrario, girará en el sentido de la fuente luminosa de mayor intensidad.

Estructura cíclica

La estructura repetitiva permite que un grupo determinado de instrucciones se ejecute varias veces, como resultado de evaluar una condición. También se conoce con el nombre de estructura iterativa o ciclo (*loop*).

Los ciclos repiten una serie de instrucciones mientras, o hasta, que se cumpla una determinada condición. El resultado de evaluar la condición solo permitirá tomar uno de los dos posibles valores: verdadero o falso. Cuando el resultado es verdadero, se ejecuta el conjunto de instrucciones que se encuentra dentro del ciclo (conocidas como cuerpo del ciclo). Después de la ejecución del cuerpo del ciclo, se comprueba de nuevo la condición. Mientras el valor resultante de evaluar la condición sea verdadero, se ejecutará el cuerpo del ciclo repetidamente. Cuando el resultado es falso, el control pasa a la siguiente instrucción que se encuentra a continuación del ciclo.

Existen tres tipos de ciclos: ciclo *para* (*for-to*), ciclo *repita hasta* (*repeat-until*) y el ciclo *haga mientras* (*do-while*). Los ciclos necesitan herramientas auxiliares para hacer conteos de sucesos, eventos o acciones internas en un ciclo (variable tipo contador), para acumular o totalizar variables (variable tipo acumulador) y para seleccionar una de dos posibles alternativas (variable tipo bandera). Este tipo de estructuras permiten elaborar algoritmos más eficientes, sofisticados y, por tanto, más útiles, más aplicables a situaciones concretas.

La elección del tipo de ciclo por implementar es una de las partes más importantes en el diseño del algoritmo. La repetición de las instrucciones del interior del ciclo requiere definir las condiciones de terminación del mismo con mucho cuidado para evitar ciclos infinitos o incorrectos.

La estructura cíclica se aplica en el robot básicamente en tres instantes:

- Cuando el robot, cíclicamente, cada tiempo t (definido por el usuario), revisará el estado de sus sensores.
- Cuando el robot encuentra un cambio de estado de su entorno que afecta su desempeño, prenderá cíclicamente leds a chorro y un emisor de sonido.
- La tarjeta *main* del robot envía cada tiempo t_2 una señal de PWM (*pulse width modulation*) a la tarjeta de motores para definir la dirección de los robots.

De esta manera se concluyen los principios de física mecánica, ondulatoria, electrónica y algoritmia más significativos de los robots. Cabe aclarar que existen otros principios que no fueron abordados en este capítulo.

A continuación se tratará la taxonomía de los robots, es decir, los elementos que lo componen. En el capítulo 3 se habló sobre la construcción del robot, integrando los elementos que se presentan en el siguiente capítulo para su funcionamiento como unidad.

Taxonomía del robot

En este capítulo se describen los principales dispositivos que componen el robot y las funciones que cumplen en el sistema, a saber: sensores, motor, microcontrolador, multiplexor. De igual manera, se indica la comunicación entre el robot y un computador. La figura 5.1 ilustra la taxonomía del robot.

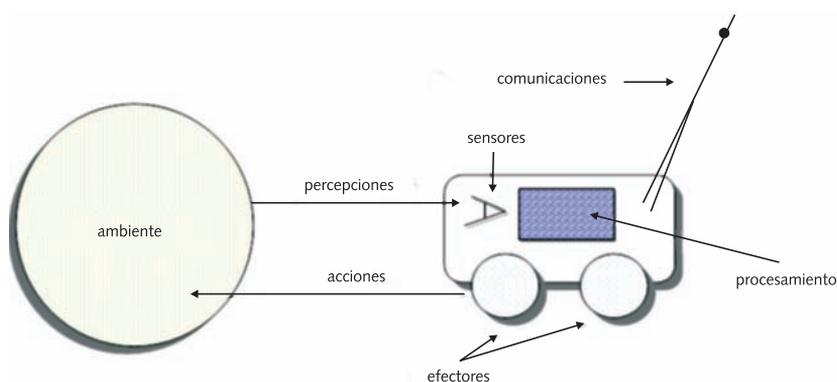


Figura 5.1
Arquitectura del robot.

Sensórica

Para conocer su entorno y explorarlo correctamente, todo robot debe reaccionar de manera coherente a los estímulos que este le brinda, por lo cual debe estar equipado con un sistema de sensores según el entorno que explora. Un sensor es un dispositivo que transforma magnitudes físicas o químicas, presentes en el entorno, a magnitudes eléctricas. Estos pueden clasificarse, según su interacción con el ambiente, en *activos* o *pasivos* (Martin, 2001).

Para entender en mayor profundidad este concepto, se usa la analogía con dos países: *entorno* y *circuito electrónico*. Resulta que el señor X tiene el dinero (*señal*) correspondiente a su país *entorno*, pero quiere darse unas vacaciones en el país *circuito electrónico*. Para hacerlo necesita ir con la moneda correspondiente al país que desea visitar, así que va a la casa de cambios (*sensor*), quien se encarga de hacerle el cambio de moneda (*señal*) para que el señor X pueda circular en el país *circuito electrónico* sin ningún

inconveniente. Así mismo sucede con el *sensor*, quien se encarga de transformar la *señal* proveniente del *entorno* a una que se acomode a las señales del *circuito electrónico* (Carletti, 2007).

Sensores pasivos

Los sensores pasivos no actúan sobre el medio, sino que, según su género, detectan las señales presentes en el entorno y las convierten a una cantidad eléctrica. Algunos de estos dispositivos son: fotorresistencias, interruptores, micrófonos.

Fotorresistencia o fotocelda

Se conoce por su sigla en inglés, LDR (*light dependent resistor*) o resistor dependiente de la luz. Como su nombre lo indica, son resistencias cuyo valor cambia según el nivel de luz al que están expuestas (Palazzesi, 2006). Al aumentar la intensidad de la luz que incide sobre la fotorresistencia, su resistencia disminuye. También se conocen como fotorresistores, fotoconductores o células fotoeléctricas.

Las fotorresistencias están construidas con materiales de estructura cristalina, como el sulfuro de cadmio y el seleniuro de cadmio, ya que estos tienen propiedades fotoconductoras. Los materiales usados para fabricar fotorresistencias se caracterizan porque liberan a su superficie una gran cantidad de electrones o cargas negativas que permiten una mayor conducción de la corriente eléctrica, y, por tanto, una menor resistencia a su paso.

El valor de las fotorresistencias se da en ohmios, y en las convenciones usadas para representar los circuitos eléctricos se usan los símbolos que se indican en la figura 5.2.

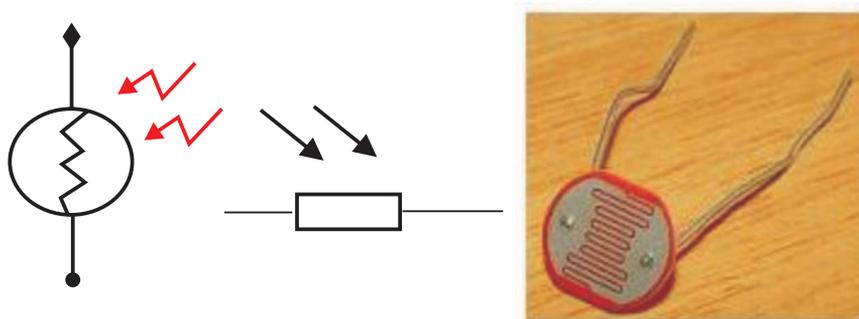


Figura 5.2
Representación física y símbolo de la fotorresistencia.

Una de las tantas aplicaciones de las fotorresistencias es en el encendido automático de la luz cuando se detecta la escasa iluminación al anochecer.

En el sistema desarrollado, este sensor se usa en la persecución de un(os) robot(s)-hijo(s) (RTH) a un robot-madre (RTM). Ambos, el robot-hijo y el robot-madre, tienen una fotorresistencia y un LED a chorro, que les permite, respectivamente, detectar la presencia del otro o indicar la suya propia. El robot-hijo hiberna en su entorno próximo y cuando detecta la luz de su madre comienza la persecución tras ella.

El circuito básico asociado a esta aplicación consta de una fotorresistencia y una resistencia fija o punto de referencia.

Interruptor eléctrico (switch)

Es un dispositivo usado para desviar o interrumpir el curso de una corriente eléctrica. Se compone de dos contactos metálicos normalmente separados que se unen por medio de un actuador para permitir el paso de la corriente (interruptor eléctrico, 2008).

Para el caso de este sensor, se utiliza un pulsador o interruptor momentáneo. Se activa cuando se ejerce una fuerza sobre el actuador para que los contactos estén juntos y se cierre el circuito. Un ejemplo de este dispositivo es el timbre de la casa.

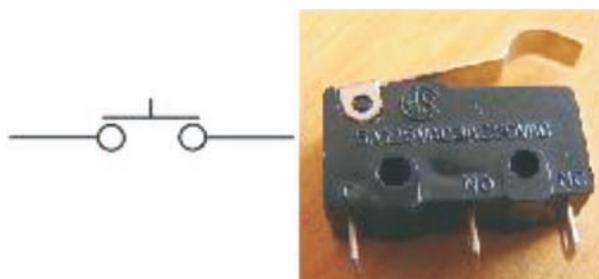


Figura 5.3
Representación física y símbolo del interruptor.

El interruptor eléctrico se usa en el robot como un sensor de obstáculo. Se acciona al tener contacto físico con la pared u objeto que se encuentre en la trayectoria. Este contacto envía una señal eléctrica al microcontrolador para que tome una decisión al respecto.

Micrófono

Dispositivo electrónico acústico que convierte el sonido que percibe en señal eléctrica. Los micrófonos se usan en diferentes aplicaciones, como

teléfonos, grabadoras, audífonos, producción de películas, ingeniería de grabación de audio, en transmisión de radio y televisión, en grabación en computadores, entre otros. Un micrófono es un dispositivo hecho para capturar ondas en el aire, agua (hidrófono) o materiales duros, y traducirlas a señales eléctricas. El método más común es el que emplea una delgada membrana que vibra por el sonido y que produce una señal eléctrica proporcional.



Figura 5.4
Micrófono electrónico.

El uso de micrófonos en robots se puede hallar en dos aplicaciones: primero, dentro de un sistema de medición de distancia, en el que el micrófono recibe sonidos emitidos desde el mismo robot, luego de que estos rebotan en los obstáculos que tiene en frente, es decir, un sistema de sonar. Segundo, un micrófono para captar el sonido ambiente y utilizarlo en algún sentido, como recibir órdenes a través de palabras o tonos, y, un poco más avanzado, determinar la dirección de estos sonidos. Como es obvio, ahora que se habla tanto de robots para espionaje, también se incluyen micrófonos para tomar el sonido ambiente y transmitirlo a un sitio remoto (Micrófono, 2008).

En el caso concreto, el micrófono le permitirá al robot detectar los aplausos y, según el número de golpes, el autómatas realizará un movimiento específico.

Diodo emisor de luz o LED

LED es la sigla en inglés para *light emitting diode*. Este es un diodo especial que emite luz cuando una corriente eléctrica pasa a través de él. Normalmente se usan como luces “piloto” o indicadores de que el circuito está abierto o cerrado (diodo emisor de luz, 2008). La figura 5.5 muestra el símbolo usado para representar este dispositivo en los diagramas de circuitos y un ejemplo de los LED que se usan normalmente.

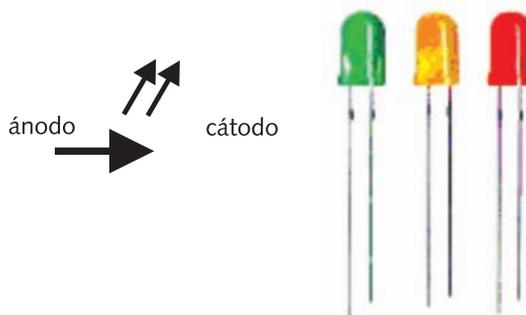


Figura 5.5
Símbolo y ejemplos de LED.

Existen LED de varios colores que dependen del material con el que fueron construidos; son de color rojo, verde, amarillo, ámbar, infrarrojo, entre otros. Según el material de que está hecho el LED, así será la emisión de la longitud de onda y, por ende, el color. Los LED más comunes están compuestos de arseniuro de galio y aluminio, que son los que emiten colores rojo e infrarrojo.

Existen diferentes tipos de LED. Un ejemplo es el LED de luz difusa, el cual se utiliza como indicador. También existe el LED de luz puntual o emisor de chorro, que se emplea en linternas y dispositivos para el alumbrado, porque con este se obtiene una mayor iluminación.

En la persecución del robot-hijo (RTH) al robot-madre (RTM), se hace necesario el uso de un LED o fuente luminosa que afecte el valor de la fotorresistencia. En contraste con los LED difusos, el LED de luz puntual o a chorro cumple con este requerimiento (figura 5.6).

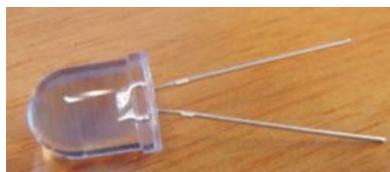


Figura 5.6
LED a chorro.

Sensores activos

En contraste con los sensores pasivos, los activos necesitan actuar sobre el entorno para poder realizar sus acciones de detección. Su filosofía básica consiste en un transmisor (Tx) y un receptor (Rx). El primero se encarga de enviar una onda al entorno, la cual –luego de interactuar con el medio, ser modificada y reflejada por este– llega al receptor. Algunos ejemplos de sensores activos son los sensores de distancia, proximidad, nivel, campo gravitacional.

Infrarrojos

En esta categoría se detallan las dos clases siguientes:

- *Fototransistor sensor de objeto reflexivo*. Es un dispositivo que se compone de un diodo emisor infrarrojo y un fototransistor. Este último reacciona a la radiación del diodo emisor sólo cuando un objeto reflexivo pasa sobre su campo de visión. Algunos ejemplos de este tipo de dispositivos son el QRB1114 - Phototransistor reflective object sensor (Fairchild QRB1114, 2002) y el CNY70 – Reflective optical sensor with transistor output (Vishay CNY70, 2000).

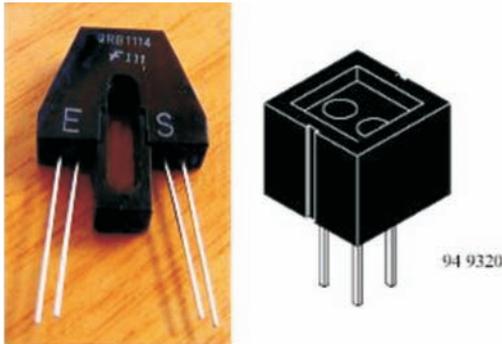


Figura 5.7
Representación física del fototransistor QRB1114 y CNY70.

Este dispositivo es comúnmente usado en robots que deben seguir una trayectoria preestablecida. En este caso se utilizan dos fototransistores que le permitan al robot posicionarse siempre sobre la trayectoria a seguir. Una pequeña tabla de verdad sobre este es la siguiente:

Tabla 5.1 Tabla de verdad para el seguidor

Sensor I	Sensor D	Acción
0 (F)*	0 (F)	Continuar
0 (F)	1 (V)*	Giro izquierda
1 (V)	0 (F)	Giro derecha
1 (V)	1 (V)	Reencontrar línea

* Los términos V y F se refieren a verdadero y falso, respectivamente. Las ramas de la computación y la electrónica no utilizan V y F, sino que en vez de ello usan 1 y 0, solo que para la electrónica estos valores indican 5 voltios y 0 voltios.

Este tipo de LED está fabricado de aluminio, galio y arsénico. Emiten luz infrarroja, es decir, luz que resulta invisible para el ojo humano, ya que su longitud de onda es de 880 nm. Un ejemplo de este tipo de

dispositivos es el QED523 *Plastic infrared light emitting diode* (Fairchild QED523, 2002).

[89]

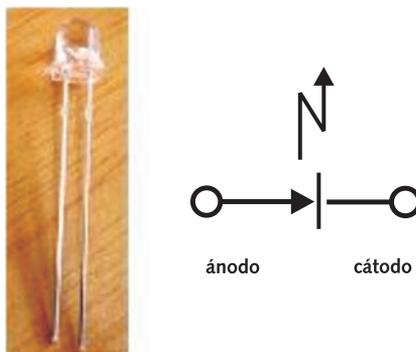


Figura 5.8
Representación física y símbolo del LED
infrarrojo.

El LED infrarrojo es comúnmente usado en los controles remotos de los televisores y otros artefactos con mando a distancia, ya que permiten enviar señales, detectar obstáculos (como en robótica) y comunicar varios elementos entre sí. También son utilizados en cámaras de visión nocturna ya que pueden detectar el calor.

En conjunto con el LED infrarrojo está el fototransistor infrarrojo, el cual conduce la corriente eléctrica cuando se excita su base con la energía infrarroja emitida por un LED infrarrojo. Un ejemplo de este tipo de dispositivos es el QSD723 *Plastic silicon infrared phototransistor* (Fairchild QSD723, 2002).

Este fototransistor trabaja en conjunto con el LED infrarrojo porque la idea es que detecte cuando este LED está encendido. Por tanto, para la referencia del fototransistor QSD723 que detecta una longitud de onda de 880 nm se requiere un LED infrarrojo que emita esta misma longitud, como es el QED523.

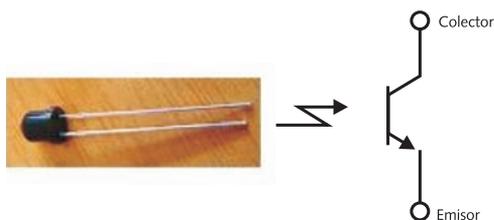


Figura 5.9
Representación física y símbolo del fototransistor
infrarrojo.

Motor eléctrico

Básicamente existen tres tipos de micromotores que se utilizan en robótica: los motores de corriente continua o motores de corriente directa, los servomotores y los motores paso a paso. En robótica, generalmente se emplean baterías o pilas como fuente de tensión; por tanto se emplean motores DC, que se describen a continuación.

Motorreductor DC

Estos equipos son usados generalmente en robótica. Se alimentan de corriente continua para producir energía mecánica o movimiento (López y Margni, 2003). Los motorreductores son apropiados para accionar toda clase de máquinas y aparatos de uso industrial que necesitan reducir la velocidad de giro y aumentar el torque necesario para mover objetos grandes, como en este caso en que se requiere movilizar la estructura del robot usando poca energía.

El motorreductor opera de igual forma que un motor de corriente continua. Se compone de un *rotor* o parte móvil que proporciona el torque para mover a la carga, y un *estator* o parte fija de la máquina que suministra el flujo magnético. Este último será usado por el bobinado del rotor para realizar el movimiento giratorio.

En el robot se implementó un motorreductor DC (figura 5.10) con las siguientes características de funcionamiento:

- 6V DC
- 1,5 Kgf de torque
- 60 rpm de velocidad



Figura 5.10
Motorreductor DC.

Driver de los motores

Este dispositivo no es un microcontrolador como tal, pero comparte la apariencia de un chip. En robótica lograr que algo se mueva no es tan

sencillo como parece. No basta con conectar el motor a un microcontrolador y esperar que se desplace, dado que la potencia que puede proveer este último no es suficiente para lo que requiere el motor. El *driver* se encarga de transformar la señal que emite el microcontrolador para operar el motor a un nivel adecuado (Solarbotics L293D, 2003).

En este caso, el *driver* usado es el L293D, que consiste en un chip de 16 pines como se puede apreciar en la figura 5.11.

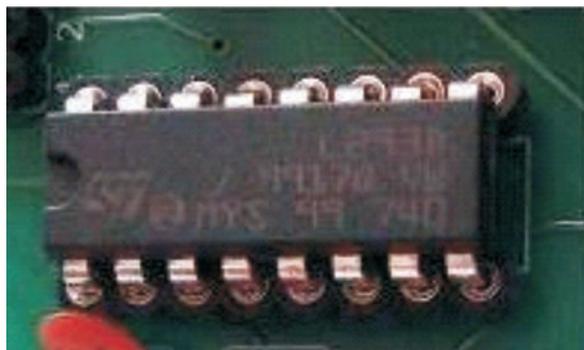


Figura 5.11
Driver L293D.

Microcontroladores

Son computadores que ejecutan programas y realizan cálculos, pero no interactúan con ningún humano. Son *micros* porque son pequeños y *controladores* porque controlan máquinas o incluso otros controladores. Son muy útiles dado que cualquier persona puede construir una máquina o artefacto, escribir programas para controlarlo, y luego dejarlo trabajar automáticamente.

Cuando se crean dispositivos que tienen un microcontrolador actuando como un "cerebro" (por ejemplo en robótica), lo que se busca es imitar la manera de actuar del cuerpo humano. El cerebro necesita cierta información para tomar decisiones y esta información es obtenida a través de varios sensores, como la vista, el oído, el tacto, entre otros. Estos sensores detectan lo que pasa en el mundo real o en el entorno y envían esta información al cerebro para su procesamiento. Lo mismo sucede cuando el cerebro toma una decisión y manda señales a través del cuerpo para hacer algo en el entorno. Utilizando las "entradas" de sus sentidos, y las "salidas" de sus piernas, brazos, manos, entre otros, el cerebro se está comunicando e interactuando con el mundo exterior.

Cualquier sistema microcontrolador (o computador) consta de dos componentes primarios: *hardware* y *software* (circuito y programa). El *hardware* es el componente físico del sistema. El *software* es la lista de instrucciones

que residen dentro del hardware. Las empresas productoras crean el hardware, y luego cada usuario escribe un programa de software para “controlarlo”.

La utilización de microcontroladores en este caso introduce dos tipos de dispositivos: un tipo de microcontrolador para el robot-madre (RTM) y uno similar para el robot-hijo (RTH). La diferencia radica en las capacidades que tiene cada uno. Para el robot-madre se utiliza el MC68HC908JK8, el cual puede comunicarse con un computador común (los que utilizamos normalmente), mientras que para el robot-hijo se implementó un microcontrolador MC68HC908JK3, que no tiene esta característica de comunicación. A continuación se describirá con más detalle cada dispositivo.

Microcontrolador MC68HC908JK8 (Robot-madre, RTM)

Viene de una familia de microcontroladores de bajo costo y alto desempeño que tiene las siguientes características (figura 5.12) (Freescale M68HC08, 2005):

- Diseñado para trabajar con pequeñas potencias.
- 10 canales de 8 bits para convertir de señal análoga a señal digital.
- Interfaz para comunicaciones seriales (para comunicar con un computador). Para que sea posible esta comunicación, es necesario contar con un cable DB9.
- 15 puertos para salidas o entradas de propósito general.

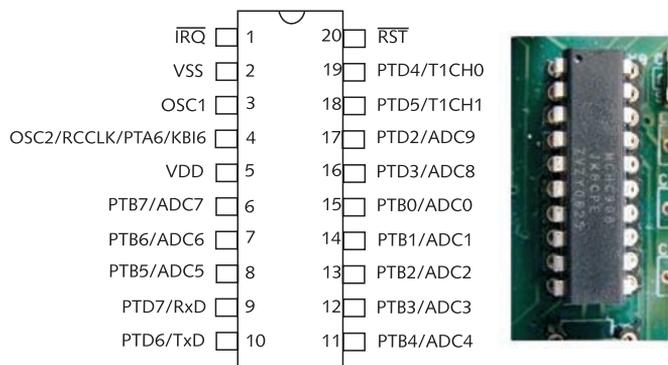


Figura 5.12
Microcontrolador MC68HC908JK8.

Microcontrolador MC68HC908JK3 (Robot-hijo, RTH)

Viene de una familia de microcontroladores de bajo costo y alto desempeño que tiene las siguientes características (figura 5.13) (Freescale M68HC08, 2005):

- Diseñado para trabajar con pequeñas potencias.
- 5 V y 3 V son los voltajes de funcionamiento.
- 10 canales de 8 bits para convertir de señal análoga a señal digital.
- 15 puertos para salidas o entradas de propósito general.

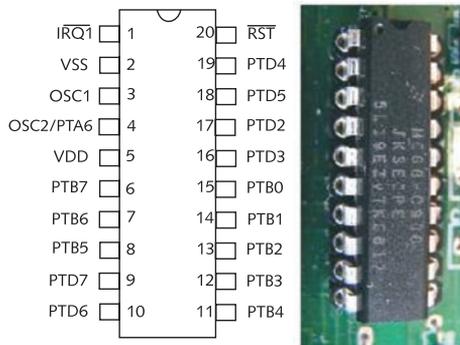


Figura 5.13
Estructura del microcontrolador MC68HC908JK3.

Multiplexor

Este dispositivo no es un microcontrolador. Es un chip que en términos generales tiene como función recibir varias entradas o señales y transmitir las por un medio de transmisión compartido. Para lograr esto, el multiplexor divide el medio de transmisión en múltiples canales para que varios elementos puedan conectarse simultáneamente.

En este caso el multiplexor usado es el CD4051 (figura 5.14), que se compone de ocho canales que operan de forma análoga (Fairchild CD4051BC, 2000).



Figura 5.14
Multiplexor CD4051.

Comunicación entre el robot y el computador

Por medio del computador se pueden llevar a cabo ciertas acciones sobre el robot, tales como monitoreo y control, que se realizaran a través de las señales que entregan los sensores, las cuales son generalmente señales eléctricas analógicas. Estas deben ser convertidas a señales digitales para que puedan ser procesadas por el computador.

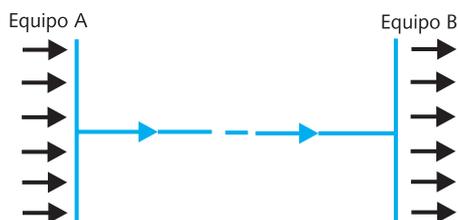


Figura 5.15
Representación de la comunicación serial.

La comunicación con el computador ofrece dos posibilidades: serie y paralelo. Los puertos seriales, también llamados RS-232, fueron las primeras interfaces que permitieron que los equipos intercambiaran información con el "mundo exterior". El término serial se refiere a los datos enviados mediante un solo hilo: los bits se envían uno detrás del otro, como se muestra en la figura 5.15. Este tipo de puerto ofrece una ventaja sobre el paralelo, ya que se requieren menos cables para la transmisión; el conector para el puerto en serie se denomina DB-9 (9 pines) (figura 5.16). Para este último se describen a continuación las funciones de algunos pines:

- Pin 2: recibe datos
- Pin 3: transmite datos
- Pin 5: conexión a tierra
- Pin 7: realiza peticiones de envío



Figura 5.16
Conector DB9.

De esta manera finaliza el último capítulo del libro *Robótica educativa: estrategias activas en ingeniería*. Pero antes se debe aclarar que los robots pueden estar embebidos en pequeños enjambres de robots cumpliendo algún tipo de objetivo. Estos enjambres, lo mismo que los robots en particular, pueden tener vistas parciales sobre el ambiente (figura 5.17).

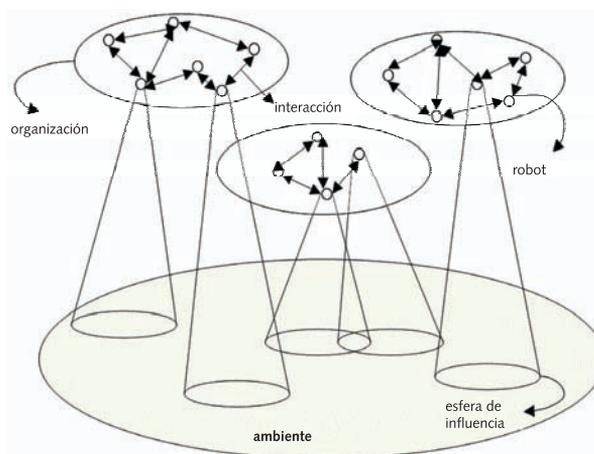


Figura 5.17
Enjambres robóticos.

Nuestro próximo reto será construir enjambres de robots que interactúen entre sí a manera de comunidad, y a su vez sean parte de una sociedad más amplia de robots, similar a lo que ocurre en una sociedad de humanos. Este reto es interesante, dado que se pueden analizar varias variables de la cibernética⁹. También se le añadiría el modelo BDI (*belief-desire-intention*, creencias, deseos e intenciones) relacionado con el estado mental de los robots. De esta forma estaríamos construyendo una nueva ciudadanía a los robots, semejante a la de los humanos, e incluyendo los grandes cambios que continuamente produce la sociedad.

Finalmente concluimos que se hace imperiosamente necesario cambiar los tradicionales métodos de enseñanza y de aprendizaje en ingeniería. Los docentes deben asumir la responsabilidad de innovar constantemente en el aula de clase.

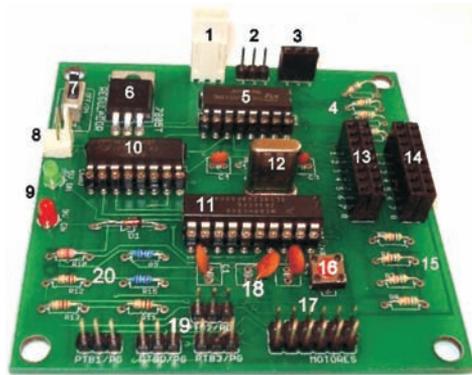
⁹ La cibernética es el estudio de la manera como los sistemas complejos afectan y luego se adaptan a su ambiente externo; en términos técnicos, se centra en funciones de control y comunicación: ambos fenómenos externos e internos del/ al sistema. Esta capacidad es natural en los organismos vivos y se ha imitado en máquinas y organizaciones. Especial atención se presta a la retroalimentación y sus conceptos derivados.



Estructura de las tarjetas

Tarjeta principal

En la siguiente figura se enumeran los elementos que componen la tarjeta principal hijo y se describen a continuación:

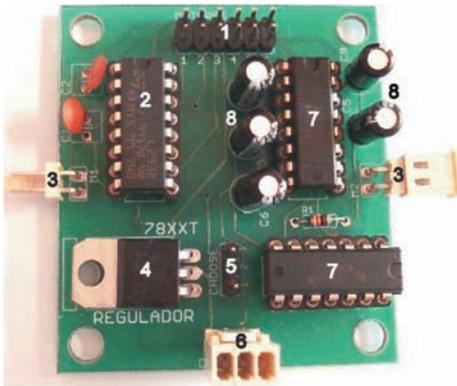


- 1 Conexión para las *buzzer* y luces o LED que se encienden cuando el robot está en movimiento.
- 2 Puertos para cambiar de modo programación a modo ejecución del algoritmo.
- 3 Puerto para monitorear futuros procesos del robot.
- 4 Resistencias para la detección del sensor conectado.
- 5 Multiplexor.
- 6 Regulador de voltaje.
- 7 *Switch* de encendido
- 8 Puerto para la alimentación
- 9 LED o luces indicadoras: si ambos LED están encendidos, el circuito está funcionando correctamente, pero si solamente se enciende el LED rojo es porque hay un corto circuito. Si no se enciende ninguno, las baterías están bajas y deben recargarse.
- 10 Convertidor de datos seriales a paralelos.
- 11 Microcontrolador.
- 12 Cristal para el reloj del microcontrolador.
- 13 Puertos para las conexiones de los sensores.
- 14 Puertos para la alimentación de los sensores.
- 15 Resistencias para la detección del sensor conectado.

- 16 *Switch* para el *reset* del microcontrolador: el *reset* se hace para que el microcontrolador identifique un nuevo sensor conectado.
- 17 Puerto para la conexión con la tarjeta secundaria (control de los motores).
- 18 Capacitores para el óptimo funcionamiento del microcontrolador.
- 19 Puertos para la programación.
- 20 Resistencias para el control de la luminosidad de los LED y para la programación del circuito.

Tarjeta secundaria

En la siguiente figura se enumeran los elementos que componen la tarjeta secundaria del robot hijo (RTH) y se describen a continuación:

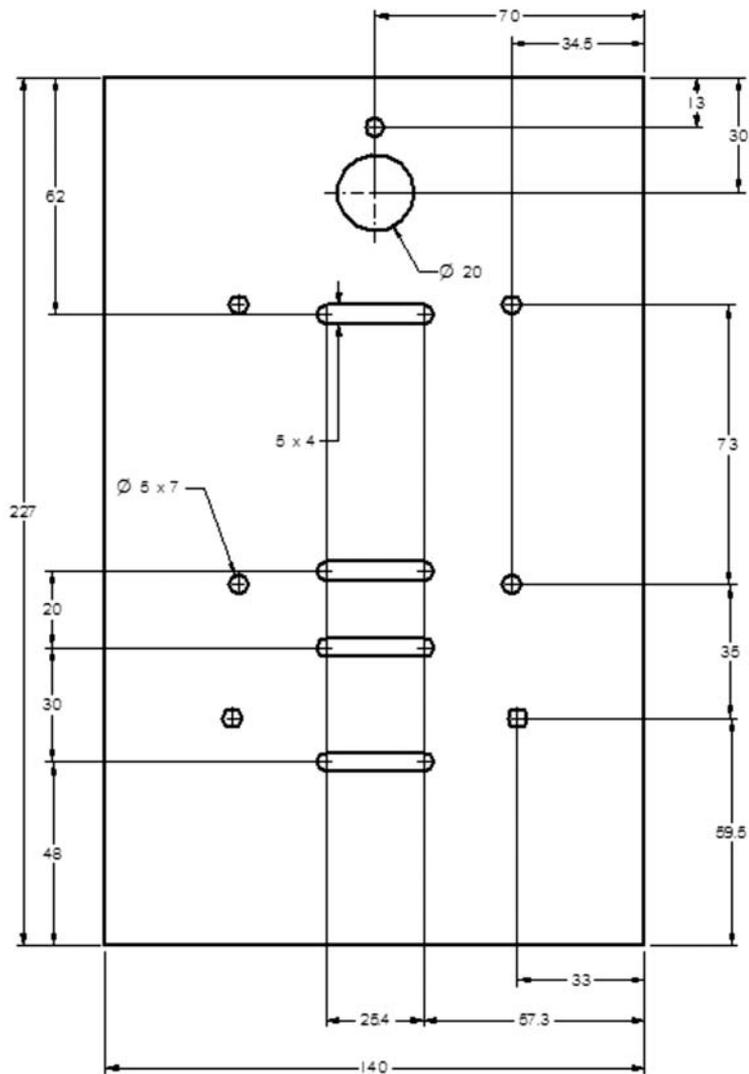


- 1 Puerto para la conexión con la tarjeta principal.
- 2 *Driver* de los motores.
- 3 Conexiones con los motores.
- 4 Regulador de voltaje.
- 5 Puerto para la selección del nivel de voltaje que se usará como alimentación: puede ser 6V o 9V.
- 6 Puerto para conexión serial con el PC.
- 7 Integrados para la programación.
- 8 Capacitores para la programación.

Planos de las placas del robot

[99]

PLACA SUPERIOR



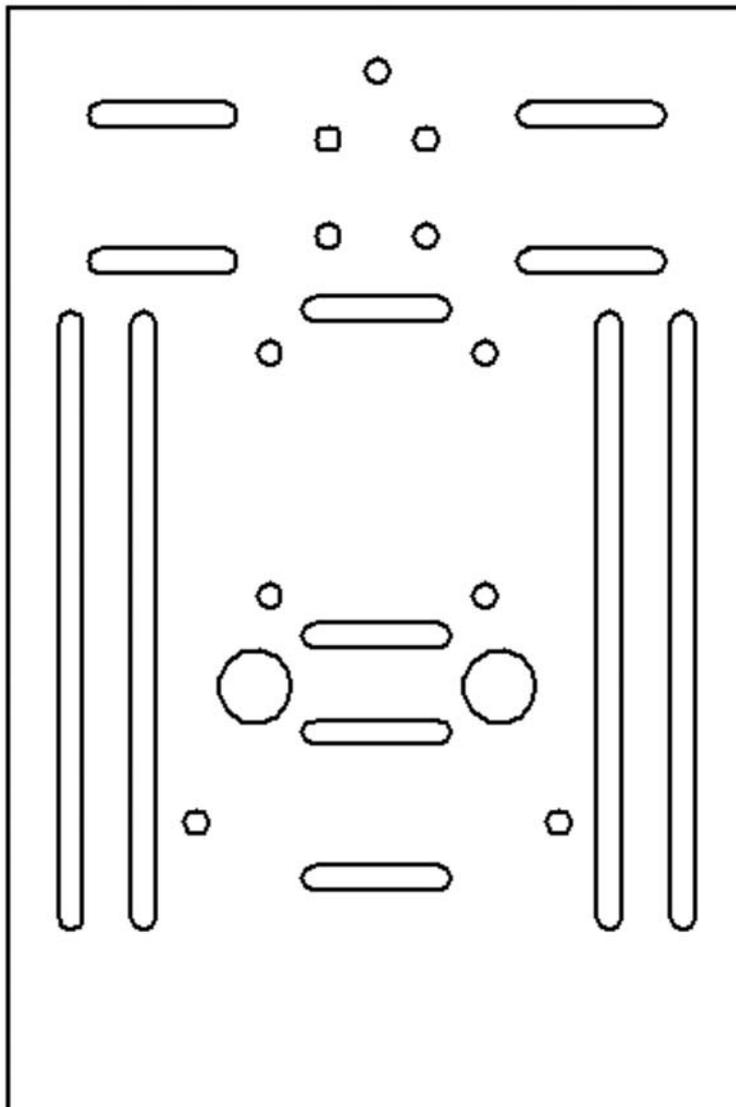
Notas:

- Cotas en mm, y simétricas respecto a la mitad del ancho de la placa
- Tolerancias de $\pm 0,1$ mm

[100]

PLACA INFERIOR COMPLETA

Anexos

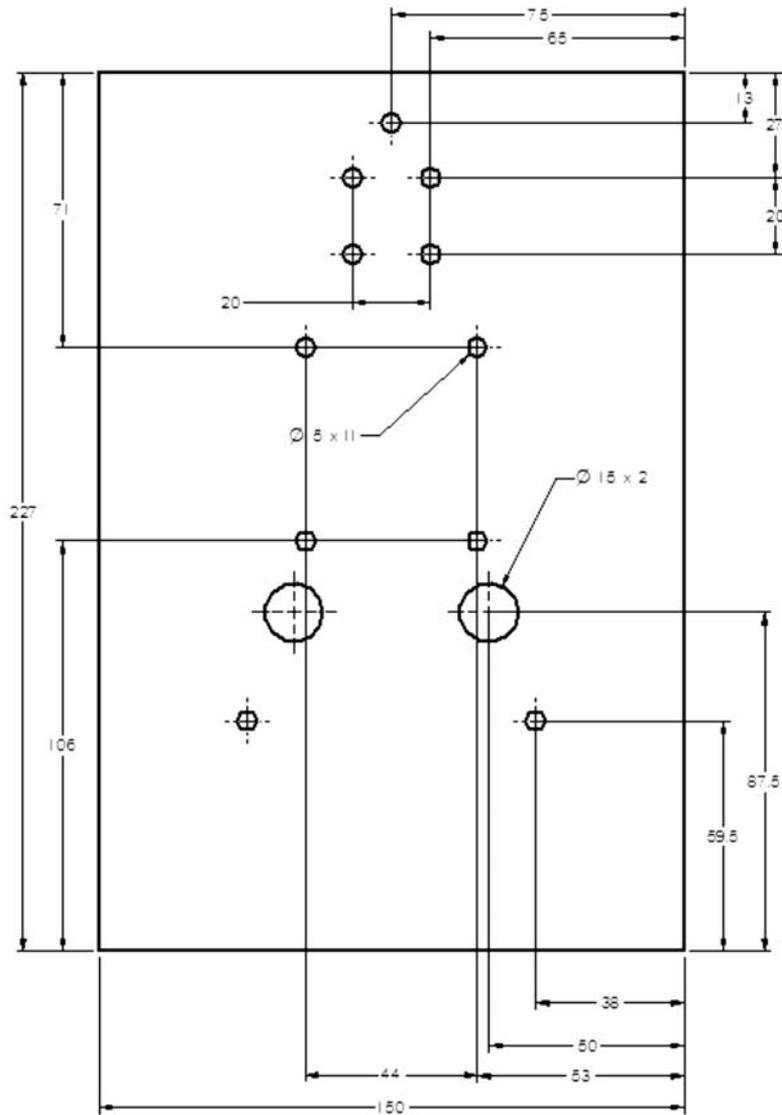


Notas:

- Cotas en mm, y simétricas respecto a la mitad del ancho de la placa
- Tolerancias de $\pm 0,1$ mm

PLACA INFERIOR – AGUJEROS

[101]

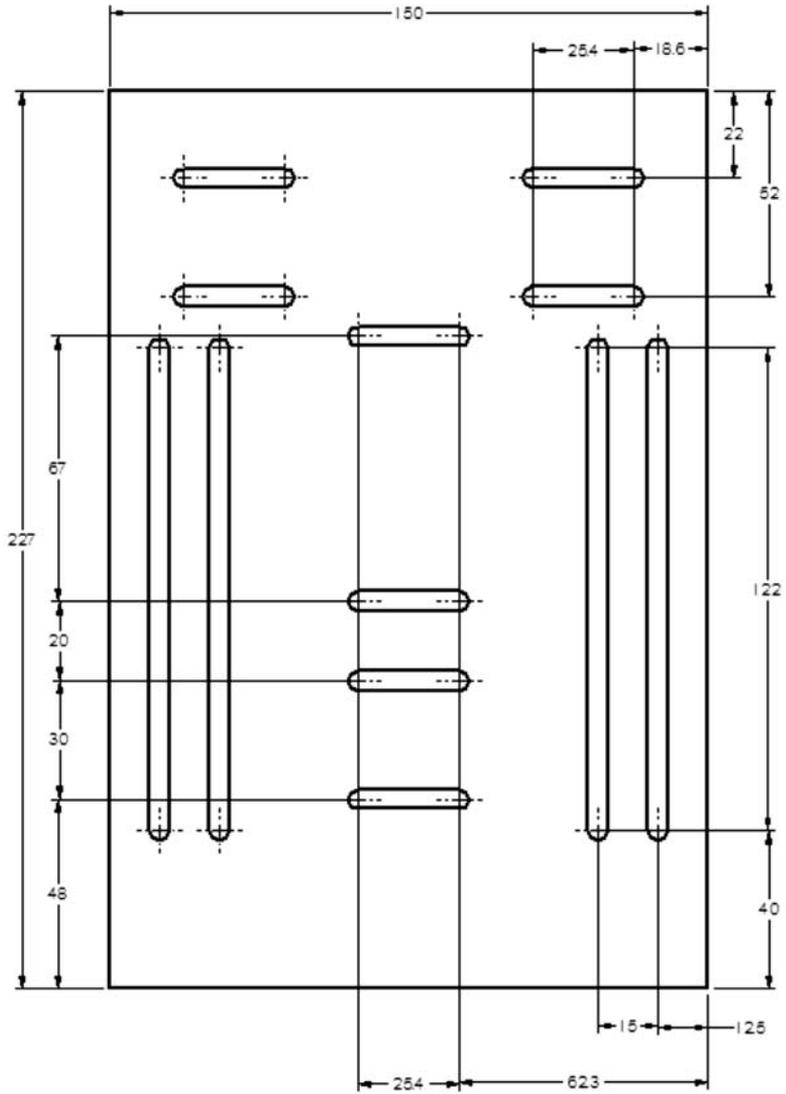


Notas:

- Cotas en mm, y simétricas respecto a la mitad del ancho de la placa
- Tolerancias de $\pm 0,1$ mm
- Por comodidad, no se muestran los canales en la vista

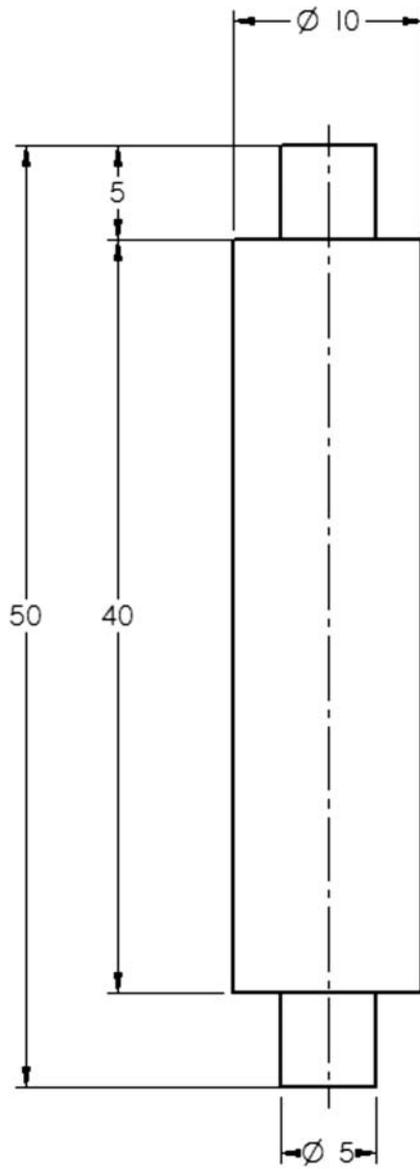
PLACA INFERIOR – CANALES

Anexos



Notas:

- Cotas en mm, y simétricas respecto a la mitad del ancho de la placa
- Tolerancias de $\pm 0,1$ mm
- Por comodidad, no se muestran los agujeros en la vista



Notas:

- Cotas en mm
- Tolerancias de $\pm 0,1$ mm
- No dejar aristas vivas



- Ausubel D. Factores de grupo y sociales en el aprendizaje. En: Ausubel D, Novak J, Hanesian H. Psicología educativa: un punto de vista cognoscitivo. México: Trillas; 1990.
- Baldor A. Álgebra. México: DGT Publicaciones Cultural; 1941.
- Bredo E. Reconstructing educational psychology. Handbook of educational psychology. Charlotteville: Academic Press; 1997.
- Brustein C. El difícil paso del colegio a una carrera universitaria. En: Clarín, Edición Domingo, Sociedad. Argentina; 2002.
- Cañas J, Waen Y, edits. Ergonomía cognitiva. Bogotá: Panamericana; 2001.
- Carletti E. Sensores-Conceptos generales. Descripción y funcionamiento; 2007. Disponible en http://robots-argentina.com.ar/Sensores_general.htm. Fecha de acceso: mayo de 2010.
- Chomsky N. Aspects of the theory of Syntax. Cambridge: MIT Press; 1965.
- Cibernética. Wikipedia; 2009. Fecha de acceso: septiembre de 2009. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Cibern%C3%A9tica>
- Díaz S. El paso del colegio a la universidad, un salto que invita a ser grandes. En: Vanguardia Liberal de Bucaramanga, sección Educación. Colombia; 2007. Fecha de acceso: junio de 2009. Disponible en: <file:///E:/Proyecto%20Robotica/Libro/paso%20del%20colegio%20a%20la%20U.html>
- Diccionario etimológico. 2009. Origen de las palabras; 2009. Fecha de acceso: agosto de 2009. Disponible en: <http://etimologias.dechile.net/>
- Diodo emisor de luz. Wikipedia; 2008. Fecha de acceso: junio de 2009. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Diodo_LED
- Dreyfus H. What computers can't do? New York: Dover Publications; 1979.
- Eisner E. The educational imagination. New York: Macmillan; 1979.
- Fairchild Semiconductor Corporation. QSD723 - Plastic silicon infrared phototransistor, datasheet; 2000. Fecha de acceso: junio de 2009. Disponible en: http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/Q/S/D/7/QSD723.shtml
- Fairchild Semiconductor Corporation. CD4051BC, single 8-channel analog multiplexer/demultiplexer; 2000. Fecha de acceso: junio de 2009. Disponible en: http://www.datasheetcatalog.net/es/datasheets_pdf/C/D/4/0/CD4051.shtml

- Fairchild Semiconductor Corporation. QED523 - plastic infrared light emitting diode, datasheet; 2002. Fecha de acceso: junio de 2009. Disponible en: <http://www.digichips.com/datasheets/parts/datasheet/161/QED523.php>
- Fairchild Semiconductor Corporation. QRB1114-phototransistor reflective object sensor, datasheet; 2002. Fecha de acceso: junio de 2009 Disponible en: www.dee.hcmut.edu.vn/vn/bomon/bmdientu/tailieu/datasheet/Sensor/QRB1114.pdf.
- Freescale Semiconductor. M68HC08 microcontrollers, MC68HC908JL8, marzo de 2005.
- Freescale Semiconductor. M68HC08 microcontrollers, MC68HC908JL3/H, agosto de 2005.
- Fu K, González R, Lee C. Robótica: control, detección, visión & inteligencia. Editorial McGraw-Hill; 1998.
- Gea M, Gutiérrez F, Garrido J, Cañas J. Teorías y modelos conceptuales para un diseño basado en grupos. En: IV Congreso Internacional de Interacción Persona-Ordenador, Interacción'2003. España; 2003.
- Gijselaers W. Perspectives on problem-based learning. En: Educational innovation in economics and business administration: the case of problem-based learning. USA: Ed. Kluwer; 1995.
- González E. Conceptos fundamentales para la modelación en pedagogía. En: Corrientes pedagógicas contemporáneas. Medellín: Universidad de Antioquia; 1998
- Hibbeler R. Mecánica vectorial para ingenieros: estática. México, D. F.: Pearson Educación; 2004.
- Hutchins E. The technology of team navigation. En: Galegher J et ál, edits. Intellectual Teamwork - Social and Technological Foundations of Cooperative Work. Hillsdale; 1990.
- Interruptor eléctrico, Wikipedia; 2008. Fecha de acceso: junio de 2009. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Interruptor_el%C3%A9ctrico
- Itesm. El aprendizaje basado en problemas como técnica didáctica. Las estrategias y técnicas didácticas en el rediseño. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey; 2005. Fecha de acceso: agosto de 2005. Disponible en: www.sistema.itesm.mx/va/dide/inf-doc/estrategias/abp.pdf
- James W. The principles of psychology. En: Encyclopedia Britannica; 1952.
- Jiménez J. Un modelo de planificación instruccional usando razonamiento basado en casos en sistemas multi-agente

- para entornos integrados de sistemas tutoriales inteligentes y ambientes colaborativos de aprendizaje. Tesis de Doctorado (Ingeniería), Universidad Nacional de Colombia; 2006.
- Joyanes L. Programación en QuickBASIC/QBasic. 2ª ed. España: ed. McGraw-Hill; 1995.
- Lave. Cognition in practice. En: Cambridge: Cambridge University Press; 1988.
- Leyes de Newton 1. Octubre 10 de 2008. Fecha de acceso: junio de 2009. Disponible en: <http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd98/Fisica/02/leyes.html>
- Leyes de Newton 2. Octubre 10 de 2008. Fecha de acceso: junio de 2009. Disponible en: <http://www.jfinternational.com/mf/leyes-newton.html>
- López G. Margni S. Motores y sensores en robótica. Proyecto de grado, Universidad de la República Oriental del Uruguay; 2003.
- Luz, Wikipedia, diciembre 11 de 2008. Fecha de acceso: junio de 2009. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Luz>
- Martin F. Robotics exploration. New Jersey: Prentice Hall; 2001.
- Méndez H. Teorías de aprendizaje. México: Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey; 2002. Fecha de acceso: noviembre de 2002. Disponible en: <http://www.ruv.itesm.mx>
- Micrófono, Wikipedia; 2008. Fecha de acceso: junio de 2009. Disponible en: <http://es.wikipedia.org/wiki/Micr%C3%B3fono>
- Neisser U. Cognition and reality. San Francisco: Freeman; 1976.
- Palazzesi A. LDR (Fotorresistencias). Neoteo; 2006. Fecha de acceso: junio de 2009. Disponible en: <http://www.neoteo.com/ldr-fotorresistencias.neo>
- Papalia D. Wendkus S. Psychology. USA: Ed. McGraw-Hill; 1987.
- Piaget J. El mecanismo del desarrollo mental. Madrid: Editora Nacional; 1979.
- Piaget J. La teoría de Piaget. En: Infancia y Aprendizaje, 2; 1981.
- RAE. Diccionario de la Real Academia Española; 2009. Fecha de acceso: agosto de 2009. Disponible en: www.rae.es
- Rhem J. Problem-based learning: an introduction. En: The National Teaching & Learning Forum, vol. 8, nro. 1.
- Samford. Traditional versus PBL classroom. Samford University; 2005. Fecha de acceso: agosto de 2005. Disponible en: <http://www.samford.edu/pbl/what3.html#>
- Sastre G, Moreno M, Baró M. Enciclopedia práctica de la pedagogía. Tomo II. España: Editorial Planeta; 1998.

- Simon H. Models of thought. En: Rational decision making in business organizations. New Haven: Yale University Press; 1979.
- Simon H, Ericson K. Verbal reports as data. En: Psychological Review. 1980; 87: 215-251.
- Skinner B. Are theories of learning necessary? En: Psychological Review. 1950 ; 57(4).
- Skinner B. The science of learning and the art of teaching. En: Harvard Educational Review. 1954; 24 (2).
- Solarbotics. L293D Motor Driver; 2003. Fecha de acceso: junio de 2009. Disponible en: <http://www.solarbotics.com/assets/documentation/kit10.pdf>
- Suárez C. A la universidad llegan pocos y se retiran muchos. El Colombiano; 2007. Fecha de acceso: junio de 2009. Disponible en: <http://www.rgs.gov.co/noticias.shtml?x=14274>
- Toyota. Toyota presenta un robot violinista; 2007. Fecha de acceso: agosto de 2009. Disponible en: <http://www.neoteo.com/toyota-presenta-un-robot-violinista.neo>
- Unalmed. Caracterización de la deserción estudiantil en la Universidad Nacional de Colombia. Medellín: Oficina de Planeación, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín; 2006.
- Unalmed. Boletín Estadístico 2007. Medellín: Oficina de Planeación, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín; 2007.
- Unalmed. Estadísticas de Sede. Medellín: Oficina de Planeación, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín; 2008.
- Vásquez G. Lógica para programación de computadores, fundamentos y aplicaciones. Colombia: Ediciones Gráficas Ltda; 1985.
- Vishay Semiconductors. CNY70, Reflective optical sensor with transistor output; 2000. Fecha de acceso: junio de 2009. Disponible en: <http://www.terra.es/personal/fremiro/Archivos/CNY70%20web.pdf>
- Vygotsky L. Mind in society: the development of higher psychological processes. Cambridge: Harvard University Press; 1978
- Waldegg G. Using new technologies for teaching and learning science. En: Revista Electrónica de Investigación Educativa. 2002; vol. 4(1).
- Wertsch J. The concept of activity in soviet psychology. Armonk, HM: Sharpe; 1981.
- Wright P, Fields R, Harrison M. Analysing human-computer interaction as distributed cognition. En: Human Computer Interaction Journal. 2000; vol. 51(1).

A

Aceleración, 68, 69, 72
Acreditación institucional, 23
Administración, 19, 35
Admisión, 22, 29
Adolescencia, 16
Algoritmia, 13, 65, 67, 79, 80, 82
Algoritmos, 79, 81
Altura, 48, 65, 76
Amperio, 76
Amplitud, 73
Aprendizaje, 13, 14, 17, 18, 35-46, 95, 105-107
Aprendizaje activo, 14, 18, 35, 37, 39, 41, 42
Aprendizaje basado en problemas, 35, 37, 39, 40, 106
Arquitectura, 11, 19, 25, 26, 29
Arte, 23, 25, 26, 29
Asignaturas, 15, 22
Automatización, 47
Autonomía, 13, 17, 24, 25
Ayudas virtuales, 18, 22, 35

B

Barras, 49, 50, 58, 59
Baterías, 51, 57, 58, 60, 65, 73, 76, 90, 97
Bienestar universitario, 21, 23, 33

C

Carreras universitarias, 15-17
Centro de Estudios sobre Desarrollo Económico, CEDE, 19
Centro de gravedad, 72
Centros de investigación, 15
Ciclos, 81, 82

Ciencias de la educación, 35
Ciencias de la salud, 19
Ciencias exactas, 20
Ciencias naturales, 20
Circuitos, 75, 84, 86
Cobertura educativa, 20
Cognición distribuida, 35, 37, 39, 40
Cognitivismo, 35, 38, 39
Colegios, 15, 17
Compañeros de estudio, 15, 16, 18
Computación, 19, 79, 80
Computador, 18, 22, 31, 38-40, 47, 83, 85, 91, 92, 94, 108
Condicionales, 80
Conductismo, 35, 37, 38
Conexiones, 57, 97, 98
Conocimiento, 12, 13, 18, 20, 23, 26, 35, 37-45
Contaduría, 19
Contenidos educativos, 22
Correas, 49, 51, 57
Correo electrónico, 19
Corriente, 23, 39, 40, 75-77, 84-86, 89, 90, 106
Cuerpo, 67-72, 81, 91
Currículo, 35

D

Densidad, 72
Departamentos, 15, 27
Deportes, 19
Derecho, 23, 25, 78
Deserción escolar, 19-22, 108
Didáctica, 35, 106
Diodo emisor de luz, LED, 77, 86, 105
Diseño curricular, 44
Distancia, 70, 72, 73, 75, 86, 87, 89
Divisor de voltaje, 78

Doctorado, 23, 25-31, 107
 Driver, 90, 91, 98, 108

E

Economía, 19, 27-29
 Edad, 15, 17
 Educación superior, 18-20, 24, 40
 Elección profesional, 16
 Electrones, 76, 84
 Electrónica, 13, 22, 49, 65, 67, 75, 76, 88, 108
 Ensemble, 46, 47, 52, 55, 58
 Enseñanza, 14, 15, 17, 35, 41-46, 95
 Entorno, 15, 42, 81-85, 87, 91, 107
 Equilibrio, 69-71, 73
 Escuela de Agricultura Tropical, 24
 Escuela Nacional de Minas, 24
 Escuelas profesionales, 15
 Especialidades, 23, 25
 Especializaciones, 23, 25, 31
 Estrato socioeconómico, 15
 Estudiantes, 15-18, 20-22, 24, 25, 29, 30-33, 35, 41, 45, 73
 Evaluación, 17, 22, 40, 41, 46
 Extensión universitaria, 23, 31

F

Facultades, 15, 24-26, 31
 Facultad de Arquitectura, 25, 26
 Facultad de Ciencias, 25, 26
 Facultad de Ciencias Agropecuarias, 24, 25, 27
 Facultad de Ciencias Humanas y Económicas, 25, 27
 Facultad de Minas, 25, 28,
 Familia, 11, 19, 92
 Filosofía, 23, 35, 87
 Física, 26, 27, 49, 67, 76, 77, 84, 85, 88, 89
 Física mecánica, 13, 65, 67, 69, 82
 Física ondulatoria, 73
 Fococeldas, 63
 Fotorresistencia, 75, 78, 84, 85, 87, 107
 Fototransistor, 75, 88, 89
 Frecuencia, 73

Fricción, 71, 72
 Fuerza, 38, 67-73, 85
 Fuerza gravitacional, 67

H

Habilitaciones, 18
 Hardware, 11, 49, 91, 92
 Histórico-social, 36, 37, 42, 44

I

Ideología política, 15
 Ideología religiosa, 15
 Información, 19, 20, 22, 25, 35, 36, 38-41, 91, 94
 Informática, 28, 30, 31, 49
 Ingeniería, 11, 13, 14, 17, 19, 25-30, 49, 86, 95, 107
 Inglés, 18, 67, 84, 86
 Interacción, 36, 39, 42, 43, 67, 68, 83, 106
 Institutos, 15
 Intensidad, 73, 75, 76, 78, 81, 84
 Inteligencia artificial, 49
 Interruptores, 84
 Investigación, 11, 15, 23, 26, 31, 39, 108

L

Laboral, 10, 19
 Led, 77, 82, 85-89, 97-98
 Lenguaje de programación, 79, 80
 Letras, 25
 Ley de Ohm, 77
 Leyes de Newton, 67, 69, 107
 Longitud de onda, 73, 74, 87-89
 Luces indicadoras, 63, 79
 Luz, 62, 63, 73, 75, 77, 84-88, 105, 107

M

Maestría, 23, 25-31
 Manejo del dinero, 15, 17
 Masa, 67, 68, 72, 73
 Matemáticas, 18, 26, 27, 30, 49
 Matrícula, 15, 21, 22, 30
 Mecánica, 13, 28-30, 49, 65, 67, 69, 82, 90, 106

Mecanismo motriz, 49, 52, 53, 56
 Medicina, 25, 33, 40
 Memoria, 35, 36, 38, 39, 43
 Microcontrolador, 62, 78, 83, 85, 90-93, 97, 98
 Micrófonos, 84-86
 Modelos pedagógicos, 17
 Momento de fuerza, 70
 Mortalidad académica, 15, 20, 21
 Motor, 65, 83, 90, 91, 108
 Motorreductor, 52-54, 90
 Movimiento, 48, 49, 63, 65, 67, 68, 69, 71, 76, 86, 90, 97
 Multiplexor, 83, 93, 97

N

Nivelación académica, 20, 22
 Nutrición, 27, 33

O

Odontología, 33
 Onda electromagnética, 73
 Orientación profesional, 22
 Orientación psicológica, 18
 Oscilaciones, 73

P

Padres de familia, 18
 Patrimonio cultural, natural y ambiental, 13, 23
 Pedagogía, 14, 35, 106, 107
 Peso, 39, 49, 67, 69, 71, 72
 Placas, 49, 50, 51, 53, 58, 60, 99
 Población universitaria, 21, 30
 Posgrado, 23, 25-31, 33
 Potencia, 65, 91-93
 Pre-ensamble, 46, 52
 Pregrado, 20, 23, 25-31, 33
 Presión, 53, 54, 75, 76
 Pre-universitarios, 19
 Primíparos, 16
 Profesores, 15, 17, 18, 29, 31, 41
 Proyección social, 23

Q

Química, 26-30

R

Raza, 15
 Reforma académica, 13, 22
 Registro de asignaturas, 15
 Resistencia, 14, 68, 76-78, 84, 97, 98
 Responsabilidad, 16, 17, 26, 41, 95
 Retos, 17, 19
 Robot, 11-13, 42, 46-49, 51, 52, 55, 61, 63, 65, 69, 71-73, 75, 77, 78, 80-86, 88, 90, 94, 95, 97-99, 105, 108
 Robot hijo RTH, 55, 58, 85, 87, 92, 98
 Robot madre RTM, 55, 58, 85, 87, 92
 Robótica educativa, 13, 42, 67, 95
 Rotaciones, 70
 Ruedas, 47, 49, 52, 54, 69, 71, 73

S

Sensor de luz, 62, 63
 Sensor infrarrojo, 61, 62, 75
 Sensor seguidor de línea, 63
 Sensor táctil, 62
 Sensores, 60, 63, 75, 77, 78, 80-84, 87, 91, 94, 97, 105, 107
 Señales, 75, 76, 84, 86, 89, 91, 93, 94
 Sistemas, 17, 18, 28-30, 36, 49, 63, 75, 95, 106, 107
 Sociedad, 13, 17-19, 35, 43, 44, 95, 105
 Software, 11, 49, 91, 92
 Sólidos rígidos, 69
 Superficie, 53, 65, 71, 72, 74, 84

T

Tarjeta de motores, 57, 82
 Tarjeta principal, 58, 59, 62, 63, 65, 97, 98
 Tarjeta secundaria, 57, 58, 60, 98
 Técnica, 23, 24, 26, 28, 106
 Tecnología, 13, 22, 23, 25, 31, 38, 39
 Telecomunicaciones, 49
 Temperatura, 65, 75, 76
 Transferencia entre programas académicos, 21
 Traslación, 70
 Trayectoria, 68, 80, 81, 85, 88
 Tutorías académicas, 22

U

Universal, 15
Universidad, 15-20, 22-25, 33, 105
Universidad Nacional de Colombia, 13,
23, 107
Universidad Nacional de Colombia,
Sede Medellín, 20, 24, 25, 30, 108
Universo, 15
Urbanismo, 19

V

Variables, 49, 76, 77, 80, 81, 95
Velocidad, 67-69, 90
Voltaje, 75-78, 93, 97, 98
Voltaje alterno VAC, 76
Voltaje continuo DC, 76

Robótica educativa
Estrategias activas en ingeniería

Se imprimieron 1.000 ejemplares en julio de 2010 en la Editorial Universidad Nacional de Colombia y en su composición se utilizaron los siguientes elementos: fuente Syntax 10/14,5 puntos, formato 16,5 x 24 cm, papel propalcote de 240 g para su carátula y propalmate de 115 g para las páginas interiores

