

Interdisciplinariedad aplicada a una tecnología actual, en el diseño de una celda robotizada

Arnaldo Héctor Odorico, Fernando Lage, Zulma Cataldi

Laboratorio de Informática Educativa y Medios Audiovisuales, Facultad de Ingeniería. UBA
 Instituto Superior del Profesorado Técnico. Universidad Tecnológica Nacional.
aodorico@gmail.com, liema@fi.uba.ar

Resumen

En menos de 30 años la robótica ha pasado de ser un mito, propio de la imaginación de algunos autores literarios, a una realidad imprescindible en el actual mercado productivo. La robótica posee un reconocido carácter interdisciplinario, participando en ella diferentes disciplinas básicas, y tecnológicas tales como la teoría de control, la mecánica, la electrónica, y la informática, entre otras. El presente trabajo tiene como objetivo establecer conexiones interdisciplinarias, enfocando el diseño de una celda robotizada y el software apropiado que permita facilitar dicho desarrollo. Se intenta además, responder a la pregunta: ¿Cómo es el uso didáctico de los programas de computadora en el aula, para la concreción de mejores aprendizajes?. [6]. Por este motivo se ha procurado llegar a un equilibrio entre los temas relacionados con el conocimiento del funcionamiento de un robot (en los aspectos mecánico, informático y de control) y aquellos en los que se proporcionan los criterios para evaluar la conveniencia de utilizar un robot y el modo más adecuado de hacerlo.

Palabra clave: Robótica; Tecnología, Inteligencia Artificial, Informática y Educación

1. Introducción

Los individuos seleccionan activamente los aspectos relevantes de su entorno, manipula objetos concretos, y asimilan nuevos conocimientos por medio de la observación de los efectos de estas acciones. En este sentido el individuo construye una representación de la realidad. Es la participación activa del estudiante el aspecto más atractivo de los juegos de simulación por computadora. No obstante, al mismo tiempo los entornos software de simulación tradicionales atrapan al usuario en un mundo idealizado donde aspectos importantes y difusos del entorno físico son a menudo ignorados. En este trabajo se pretende describir cómo usar una computadora para dar vida a objetos en un mundo físico. En este sentido, todo objeto del entorno

es visto como un pequeño sistema inteligente que puede ser estudiado en interacción con el resto del mundo físico y con otros sistemas inteligentes. Desde este punto de vista, la computadora puede ser vista como un puente entre las estructuras formales puramente abstractas (programas informáticos) y los aspectos claves no deterministas del mundo físico real. La robótica, en sentido general abarca una amplia gama de dispositivos con muy diversas cualidades físicas y funcionales asociada a la particular estructura mecánica de aquellos, a sus características operativas y al campo de aplicación para el que sea concebido. Todos estos factores están íntimamente relacionados, de forma que la configuración y el comportamiento de un robot condicionan su adecuación para un campo de aplicación específico. La robótica se apoya en gran medida en los progresos de la electrónica y la informática, así como en nuevas disciplinas como el reconocimiento de formas y la inteligencia artificial. (IA). Durante el siglo XXI, y gracias al considerable avance tecnológico, han ido progresivamente apareciendo diversos tipos de sistemas artificiales de apariencia antropomórfica, conocidos con el nombre de robots. Existen muchas clases de robots, pudiendo ser diferenciados de acuerdo a su arquitectura interna, tamaño, materiales con los que están hechos, la forma en que estos materiales se han unido, los actuadores que utilizan (p.e. motores y transmisores), los tipos de sistemas sensoriales que poseen, sus sistemas de locomoción, los microprocesadores que tengan a bordo, etc.. Si bien hasta la fecha los robots han permitido una automatización elevada de tareas simples y repetitivas en procesos industriales y otras áreas, la construcción de robots que exhiban un cierto grado de inteligencia humana es todavía un problema abierto. *“Un robot considerado inteligente deberá ser una máquina autónoma capaz de extraer selectivamente información de su entorno y utilizar el conocimiento sobre el mundo que le rodea para moverse de forma segura, útil e intencionada”*.

2. Orientaciones didácticas

La Educación Tecnológica pretende que los alumnos logren una comprensión del mundo artificial y una

capacidad para desenvolverse efectivamente dentro del mismo, en un nivel que podría denominarse alfabetización tecnológica. La alfabetización tecnológica de los estudiantes supone:

- la capacidad para apreciar el desarrollo tecnológico y su relación con la sociedad y el ambiente;
- la capacidad para reflexionar sobre los actos tecnológicos propios y ajenos en el marco de su impacto social y ambiental;
- la capacidad de ejecutar actos tecnológicos con calidad, respeto ambiental, creatividad, efectividad y ética.

Los alumnos, a través del aprendizaje en tecnología, tienen la oportunidad de:

- Usar una variedad de medios para distinguir y enunciar problemas y, resolver problemas prácticos en un contexto social;
- Adquirir y usar durante su trabajo tres tipos de habilidades interrelacionadas: el cómo hacer, la comprensión de procesos y la adquisición de conocimientos;
- Arriesgarse a tomar opciones, desarrollar múltiples soluciones a problemas, probar y mejorar, prevenir, trabajar en grupo en forma colaborativa, responsabilizarse por los resultados y administrar los recursos en forma efectiva y eficiente.

En este contexto, una tecnología específica corresponde a un sistema dinámico en que la persona coordina creativamente prácticas de trabajo, herramientas, máquinas y conocimientos para satisfacer necesidades o aspiraciones.

3. Orientación tecnológica

Desde una perspectiva tecnológica se relaciona con la capacidad de creación e intervención en las diferentes aplicaciones. Respecto a una tecnología particular los hombres y mujeres pueden relacionarse con ella desde diferentes perspectivas, a saber:

- Como **usuarios**, cuya relación se caracteriza por la utilización responsable de los objetos y servicios,
- Como **técnicos**, cuya relación está orientada a la producción de objetos y servicios
- Como **innovadores**, como diseñadores de nuevas aplicaciones; esto es, nuevas formas de interacción, nuevos productos o servicios.

Estas caracterizaciones no son excluyentes. Una persona puede ser a la vez un usuario, un técnico y un innovador. Estos roles sólo ilustran las diferentes posibilidades de relación con una tecnología. Sin embargo, participar de éstos requiere conocimientos y habilidades distintas. Acercándose a la tecnología desde los tres roles mencionados, los alumnos habrán logrado comprender que:

- **desde la perspectiva de uso**, el programa se orienta a una adecuada utilización de objetos y servicios y de las nuevas capacidades de acción que éstos hacen posible.
- **desde la perspectiva técnica**, se orienta al desarrollo de capacidades necesarias para intervenir en la funcionalidad de los procesos de producción y de los productos.
- **desde la perspectiva innovadora**, se orienta a la creación de nuevas funcionalidades y diseños.

El manejo de información y comunicaciones, debe llevar al estudiante a comprender que este hecho se encuentra directamente relacionado con la globalización y tiene implicaciones locales asociado al acceso a información, comunicación y nuevas formas comerciales.

4. Trabajo con metodología de proyecto

El proyecto como estrategia pedagógica está centrado en la planificación, puesta en marcha y evaluación de un conjunto de actividades y procedimientos, con el fin de lograr un objetivo específico [1]. Los alumnos, en forma organizada y planificada, resuelven una tarea, aprovechando para ello los recursos disponibles en su entorno y respetando ciertas restricciones impuestas por la tarea y por el contexto. Durante el desarrollo de un proyecto, el alumno debe enfrentar desafíos y situaciones en el aula que tienen relación con: emprender, tomar decisiones, asumir riesgos, establecer redes de cooperación, negociar posibles soluciones con sus pares, etc. Para el éxito de un proyecto, es fundamental el rol de guía y orientador que cumple el o la docente. Es necesario cautelar que se cumplan ciertas condiciones que son centrales a la metodología de proyecto: que los alumnos trabajen y se involucren responsablemente en las metas que han establecido; que se establezca un clima de respeto entre los pares y una valoración de sus singularidades; y que se logre una comprensión de la necesidad del trabajo colaborativo. Por aprendizaje colaborativo se entiende habitualmente como aquel en el que un grupo de estudiantes trabaja en equipo para: tomar una decisión, crear un producto, elaborar un proyecto, etc; utilizando diversas áreas de conocimiento para contribuir a un producto final de alta calidad que excede de lejos la capacidad de cada

miembro individual. En el aprendizaje colaborativo, la autoridad está compartida entre el profesor y los estudiantes ya que estos últimos juegan un papel importante a la hora de estructurar las tareas y los equipos. En este tipo de enseñanza, los problemas encaminan a los alumnos conjuntamente con los profesores hacia las áreas más importantes del conocimiento teórico, que son esenciales para solventar los problemas profesionales actuales. El trabajo por proyectos se organiza en grupos de alumnos y puede aglutinarse en dos categorías principales:

1. El **orientado al diseño**. Se trabajan los problemas prácticos en términos de una síntesis del conocimiento. Este tipo de trabajo desarrolla el conocimiento básico tradicional y las capacidades dentro de la tradición profesional. Los alumnos **aprender a saber cómo**.

2. El **orientado a resolver el problema**. Se encarga de la resolución de problemas prácticos mediante el uso del conocimiento más relevante. Aquí el trabajo por proyectos se centra en explorar y trabajar un problema práctico con una solución básicamente desconocida.

4.1. Características de un proyecto:

A pesar de estar restringido a objetivos de aprendizaje enmarcados por el o la docente, su especificidad surge de los intereses personales o del grupo.

- Es una tarea específica que debe traducirse en un producto concreto.
- Implica una reflexión en la cual se confrontan las necesidades con los medios para lograrlas.
- Durante su formulación se explicitan los objetivos, necesidades, recursos disponibles, se definen acciones, se distribuyen responsabilidades y se delimitan los plazos.
- Si el proyecto es grupal, las acciones a realizar se organizan interactivamente como un compromiso de cada una de las personas involucradas. Tanto alumnas como alumnos deben asumir diversos roles y responsabilidades al interior de los grupos.
- Debe evaluarse en forma permanente, confrontando el trabajo realizado con el trabajo proyectado, analizando también el proceso de realización

5. Función educativa del software

El software más adecuado en el área de la robótica sería aquel que permite experimentar con los conocimientos teóricos adquiridos y a la vez profundizar en los mismos, posee unos objetivos curriculares bien definidos, y dentro de los límites permitidos conseguir

una iniciativa variada por parte del alumno (de carácter exploratorio), pero guiada por el docente [9]. De ello se deriva la importancia que debe darse a esta herramienta en la enseñanza y en la preparación de los futuros profesionales, donde el alumno puede utilizarla como una herramienta más para reforzar los conocimientos que va adquiriendo en las distintas disciplinas. En el proceso de enseñanza- aprendizaje, la simulación juega un papel muy importante. Se considera que simular debe: **Favorecer** el aprendizaje del tema o materia, **Mejorar** el aprendizaje utilizando un instrumento del tipo guiado. Simular un brazo robótico con un programa especializado, después de hacer los desarrollos teórico-matemáticos, permite determinar las trayectorias y la viabilidad del diseño. La acción del educador debe conducir a desarrollar en el alumno un método de trabajo adecuado con las herramientas de simulación, es necesario generar un núcleo de conocimientos teóricos básicos que le permitan continuar aprendiendo de forma guiada y por sí mismo cuando la complejidad vaya en aumento. Además, al ser un aprendizaje personalizado, interactivo y creativo, el alumno tendrá la ventaja de poder seguir su ritmo personal de aprehensión. La automatización y la robótica son dos tecnologías estrechamente relacionadas. En un contexto industrial se puede definir la automatización como una tecnología que está relacionada con el empleo de sistemas mecánicos, electrónicos y basados en computadoras en la operación y control de la producción. Ejemplos de esta tecnología son: líneas de transferencia, máquinas de montaje mecanizado, sistemas de control de realimentación (aplicados a los procesos industriales), máquinas-herramienta con control numérico y robots. Este trabajo pretende aportar información que pueda resultar de interés para profundizar el conocimiento sobre la cinemática de un robot industrial, con su soporte informático original. Constituye un punto de partida, para que los alumnos cuenten con una herramienta flexible y dinámica para estudiar problemas similares, relacionados con el diseño, la construcción y la utilización de robots industriales. Este enfoque muestra que es posible lograr: a) Una enseñanza que contemple los aspectos no sólo informativos, sino también los formativos y que se ajuste más adecuadamente a los perfiles profesionales demandados por la sociedad. b) Una mayor motivación y satisfacción en el aprendizaje por parte de los alumnos. c) Una reformulación de los objetivos educativos, transformando más adecuadamente los contenidos científicos, fomentando a su vez, una mayor reflexión y elaboración de los contenidos tratados. Desde el punto de vista tecnológico constituye un banco para el estudio de problemas de aplicación directa en la industria con fuerte incidencia en el sector nacional para procesos de desarrollo y automatización. En esta propuesta de solución se presenta el programa de simulación, el cual es un sistema de diseño y simulación gráfica sencillo de un robot para computadora. Gracias a

este software se puede realizar en una PC lo que antes era únicamente teniendo acceso al robot mismo. El proyecto de un nuevo sistema o proceso de fabricación, que puede incluir el diseño del robot, permite tener lugar antes de que la adquisición e instalación del nuevo sistema tenga lugar. De esta forma pueden ser simulados los montajes complejos con total seguridad y gran realismo, debido a su interface gráfica. Durante esta simulación, los problemas potenciales que pueden aparecer son puestos de manifiesto, para que el diseñador modifique el sistema de forma sencilla y rápida. Con esta herramienta se puede incrementar la productividad y reducir el tiempo de diseño e implementación de un proceso automatizado de fabricación basado en robots. Un robot industrial raramente trabaja como un elemento aislado, sino que forma parte de un proceso de fabricación que debe en general interactuar, formando parte de un estructura de fabricación superior. Dos de los problemas en aplicaciones de ingeniería de robots son el diseño físico de la célula de trabajo y el diseño del sistema de control que coordinará las actividades entre las diversas componentes de la célula. De una forma importante, estos temas aglutinan muchas de las cuestiones de tecnología y programación con el fin de aplicar la robótica en procesos productivos. El primer aspecto considerado es el diseño de la célula desde el punto de vista del *lay-out* (esquema de disposición de equipos, máquinas y demás elementos de la planta) y de la arquitectura de control. Se trata de una cuestión importante para poder extraer las máximas prestaciones a un robot industrial durante su explotación, como también lo es el escoger el robot adecuado para una determinada aplicación. Junto con la selección más adecuada del robot para la aplicación, habrá que definir, e incluso diseñar, los elementos periféricos pasivos (mesas, alimentadores, etc.) o activos (manipuladores secuenciales, máquinas CN, etc.) que intervienen en la célula, y situarlos físicamente en el sistema. Asimismo será preciso definir y seleccionar la arquitectura de control, tanto hardware como software, que todo sistema flexible de fabricación debe incluir. La definición del *lay-out* del sistema es un proceso iterativo del que debe resultar la especificación del tipo y número de robots a utilizar, así como de los elementos periféricos, indicando la disposición relativa de los mismos. En este proceso iterativo es clave la experiencia del equipo técnico responsable del diseño. La utilización de herramientas informáticas, simuladores específicos para robots y simuladores de sistemas de fabricación flexible facilitan enormemente esta tarea. Un simulador de sistemas robotizados permite de manera rápida y eficiente evaluar las diferentes alternativas en cuanto al robot a utilizar y la disposición física de todo el sistema. Utilizando la interacción gráfica, se puede analizar qué robot de los existentes en la librería del programa se adapta mejor a la tarea programada, detectando posibles colisiones y

verificando el alcance. Un simulador de sistemas de fabricación flexible permite dimensionar adecuadamente la célula, informando sobre su productividad, rendimiento y comportamiento ante cambios de la demanda o situaciones imprevistas (averías, cambios en el producto, etc.). Asimismo permite ensayar diferentes estrategias de control de la célula encaminadas a optimizar su funcionamiento. Desde el punto de vista tecnológico este trabajo pretende aportar información que pueda resultar de interés para profundizar el conocimiento sobre la robótica industrial y constituye un banco para el estudio de problemas de aplicación directa en la industria con fuerte incidencia en el sector nacional para procesos de desarrollo y automatización.

6. Características del programa

Puede ser utilizado para el diseño y simulación de cualquier proceso automatizado en el que intervenga un robot, como pueden ser los procesos de: fabricación de automóviles, ensamblaje de maquinaria, manipulación remota de objetos, manipulación automatizada de residuos de centrales nucleares y en general de áreas peligrosas, sistemas de aprendizaje y entrenamiento. Independientemente del enfoque industrial, este programa constituye una ayuda de inestimable valor en la labor educativa de los centros universitarios y profesionales puesto que permitirá a los alumnos crear robots, manejar modelos comerciales y programar los conjuntos mediante lenguajes normalizados en entornos reales, evitando los costos, los espacios y las limitaciones que supone trabajar con un modelo físico concreto que, generalmente, sólo puede realizar una tarea determinada y ser programado con un lenguaje único. Una vez dentro del programa aparecerá la imagen de la figura 1 (Software de simulación desarrollado por Odorico A.). En la misma se puede observar una corona circular, que representa el área máxima de trabajo que puede realizar el brazo robot, los dos eslabones o estructuras rígidas que representan al robot (trazos verde y azul) y los ángulos (trazo color rojo) que determinan la posición de cada uno de los eslabones.

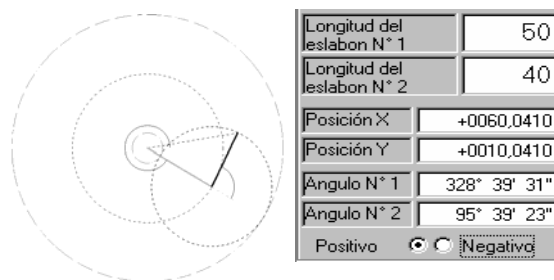


Figura 1: Presentación de la pantalla de inicio del programa de simulación

En la tabla que aparece a la derecha del gráfico, se observan 6 barras horizontales. En la barra superior se puede establecer la longitud del eslabón 1 (trazo color verde, es el que está vinculado con la base del robot), para ello se clikea con el botón izquierdo del mouse y se escribe el valor elegido (el cual se expresa en cm). Debajo de ésta se muestra la longitud del eslabón 2 (trazo de color azul) y para el cual se repite el procedimiento indicado anteriormente. Los dos ítems que le continúan indican la posición que toma la herramienta o efector en el punto de trabajo o bien donde se encuentra la pieza. Estos valores cambian de acuerdo al movimiento que se realiza con el mouse sobre el plano indicado como las máximas coordenadas posibles a alcanzar, de acuerdo a la corona circular que se forma). En caso de ser necesario se puede ubicar el cursor (tanto para la posición del eje X como la del eje Y), se clikea con el botón izquierdo del mouse y se escribe el valor elegido (el cual se expresa en cm). A continuación aparecen los ángulos θ_1 , θ_2 (trayectoria por arriba o negativa, o bien, trayectoria por abajo o positiva), los mismos cambian como lo hacen las coordenadas o bien se clikea con el botón izquierdo del mouse y se escribe el valor elegido (el cual se expresa en grados, minutos y segundos). En cuanto a la trayectoria elegida solo basta con seleccionar con el mouse (botón izquierdo) si se la desea que esta sea positiva o negativa, de acuerdo al tipo de movimiento que se desea realizar. Es decir, una vez establecida la longitud de cada eslabón en la tabla donde se vuelcan los parámetros establecidos para el diseño, se puede obtener la posición de dichos eslabones mediante el movimiento del mouse sobre la corona circular, o bien, ingresando los datos con la posición que debe tomar el brazo robot en los ítems correspondientes a la posición en X y en Y. Si se toma el sentido de giro horario, es decir, ángulos negativos, o bien, si el sentido es antihorario, entonces los ángulos son considerados positivos. Otra alternativa posible es, establecer los ángulos que ocupará cada uno de los eslabones y se puede obtener la posición de los mismos, tanto para el sentido horario como antihorario. Una vez finalizado este procedimiento y obtenidos los valores requeridos, se fija la imagen pulsando la tecla F10, lo cual permite desplazar el cursor fuera del plano de trabajo y así permitir capturar la pantalla presionando la tecla Print Screen para poder procesarla con cualquier programa de dibujo (eg. Paint)

7. Una clase haciendo uso del programa

Los alumnos al llegar a la unidad temática planificada, tienen adquiridos los conocimientos previos con respecto al espacio curricular (Robótica) [5]. Por lo tanto es indispensable tener en cuenta estos saberes previos para lograr un aprendizaje significativo,

mediante estrategias específicas de enseñanza que vinculen la nueva información con esos conocimientos, de modo que se relacionen armónicamente y fluyan de manera dinámica a través de cada etapa de aprendizaje. Se debe tener en cuenta que tanto la enseñanza como los aprendizajes estratégicos incluyen el desarrollo de un menú de estrategias cognitivas y metacognitivas sobre las cuales basarse para adquirir y producir información, resolver problemas y monitorear el proceso de aprendizaje. Así como el alumno estratégico piensa cuidadosamente en la selección de una estrategia de aprendizaje adecuada al contenido y a la tarea, el docente estratégico concibe las estrategias del proceso de enseñanza – aprendizaje como medios para aprender en contextos particulares.[5]. El docente estratégico tiene una agenda doble, no sólo se ocupa del producto del aprendizaje sino también del proceso de aprendizaje. La atención a este proceso es lo que fomentará la autorregulación de parte del alumno. Las estrategias cognitivas y metacognitivas que el alumno usa en este proceso y los medios para encarar estas estrategias hace articular vertical y horizontalmente con los contenidos a enseñar en el plan de estudios. [4]. Este Espacio Curricular se fundamenta en aptitudes básicas propias para el desempeño en el mundo del trabajo. Entre ellas se destacan: a) Capacidad crítica y de diagnóstico, b) Capacidad creativa e investigadora, c) Capacidad para el trabajo en equipo, d) Capacidad y actitud positiva ante la innovación y adelanto tecnológico, e) Actitud científica en la toma de decisiones y la resolución de problemas, f) Comprensión de criterios de adaptación a nuevos sistemas de organización del trabajo, g) Valoración positiva de la formación permanente para elevar las posibilidades de reconversión y readaptación profesional.

Para ello se debe: a) Plantear una metodología constructivista en donde, desde los conocimientos previos, el alumno que cumple un papel activo pueda acceder a los contenidos considerando su significancia, b) Aprender haciendo, mediante los procesos característicos de la profesión, c) La estrategia interactiva con el medio (docente, compañeros, contexto externo) permitirán un progresivo y adecuado acceso a los nuevos saberes. Dentro de este contexto, el trabajo grupal, la ejercitación áulica, el análisis de casos, con el marco teórico de la bibliografía trabajada ayudarán a alcanzar los objetivos propuestos. Tratar, en la medida de las necesidades y posibilidades, contribuir a fundar el saber significativo desde las experiencias personales apoyándose, para eso, en la realidad diaria que el mundo laboral aporta, al relacionar los contenidos con dicha experiencia [4].

8. Disposición del robot en la célula de trabajo

A la hora de decidir la disposición del robot en la célula, cabe plantearse cuatro situaciones básicas [8]:

8.1. Robot en el Centro de la célula

En esta disposición el robot se sitúa de modo que quede rodeado por el resto de elementos que intervienen en la célula. Se trata de una disposición típica para robots de estructura articular, polar, cilíndrica o SCARA, en la que se puede aprovechar al máximo su campo de acción, que presenta una forma básica de esfera. La disposición del robot en el centro se usa frecuentemente en aquellas aplicaciones en las que un robot sirve a una o varias máquinas (carga-descarga de máquinas herramientas), así como en las aplicaciones de soldadura al arco, paletización o ensamblado, en las que el robot debe alcanzar diversos puntos fijos dentro de su área de trabajo.

8.2. Robot en línea

Cuando uno o varios robots deben trabajar sobre elementos que llegan en un sistema de transporte, la disposición de robots en línea es la más adecuada. El ejemplo más representativo de esta disposición son las líneas de soldadura de carrocerías de vehículos, en las que éstos pasan secuencialmente frente a sucesivos robots alineados, cada uno de los cuales realiza una serie de puntos de soldadura. En este tipo de disposición cabe diferenciar que el transporte sea de tipo intermitente o continuo. En el primer caso, en un momento determinado cada robot tiene delante una pieza sobre la que realiza las operaciones establecidas. Una vez acabadas éstas, bien se espera a que todos los robots finalicen sus tareas, para que entonces el sistema de transporte avance un puesto, o bien, si el sistema lo permite, da salida a la pieza que proceda, quedando disponible para recibir una nueva. Si el transporte es continuo, esto es, si las piezas no se detienen delante del robot, éste deberá trabajar sobre la pieza en movimiento, para lo que el transporte deberá limitar su velocidad de modo que la pieza quede dentro del alcance del robot durante al menos el tiempo de ciclo.

8.3. Robot móvil

En ocasiones es útil disponer al robot sobre una vía que permita su desplazamiento lineal de manera controlada. Esta posibilidad permite, por ejemplo, seguir el movimiento de la pieza en el caso de que ésta se desplace sobre un sistema de transporte continuo, de modo que la posición relativa entre pieza y robot durante el tiempo que dura el proceso se mantenga fija. Para ello es necesario una precisa sincronización de los

dos movimientos: transporte de la pieza y transporte del robot, lo que se puede conseguir con un acoplamiento mecánico desembragable o mediante un adecuado control en cadena cerrada de ambos transportes. En cualquier caso, una vez acabado el procesamiento de la pieza, el robot debe regresar rápidamente a su posición inicial para recibir una nueva. Otra situación en la que el empleo del robot con capacidad de desplazamiento lineal es particularmente ventajosa es cuando éste debe cubrir un elevado campo de acción. Por ejemplo, en la pintura de carrocerías de coches, el dotar al robot de este grado de libertad adicional permite que dos robots de dimensiones medias (2 metros de radio de alcance aproximadamente) lleguen con la orientación adecuada a todos los puntos de proyección correspondientes a un coche. Asimismo, esta disposición del robot puede utilizarse cuando éste tenga que dar servicio a varias máquinas (por ejemplo, para carga-descarga de máquinas herramientas), obteniendo el máximo rendimiento del robot.

8.4. Robot suspendido

En el diseño de esta célula de robot se debe tomar en cuenta que el robot es capaz de desplazarse a las diversas piezas del equipo dentro de la célula. Esto se consigue típicamente montando al robot sobre una base móvil que se puede transportar sobre un sistema de rail. El sistema de railes utilizado en células de robots son o vías sujetadas al suelo de la planta o un sistema de railes aéreos. Las ventajas de este último comparado con el anterior es que necesita menos espacio de suelo, y se hace un mejor aprovechamiento del área de trabajo, pues de este modo el robot puede acceder a puntos situados sobre su propio eje vertical. La desventaja es el mayor coste de construcción del sistema aéreo. Una célula de robot móvil sería apropiada cuando el robot está siguiendo a algunas máquinas de herramientas con ciclos de procesamiento largos. En esta situación, el robot sería capaz de compartir su tiempo entre las máquinas sin tiempos significativos de paradas para él mismo o las máquinas a las que está sirviendo. Si un robot independiente fuera a servir a cada una de las máquinas, la utilización de éstos sería baja debido a que la mayor parte de su tiempo la pasaría esperando a que se completasen los ciclos de las máquinas. Correspondientemente, uno de los problemas en el diseño de células de robots móviles es encontrar el número de máquinas a las que tiene que servir el robot. El objetivo en este problema es maximizar el número de máquinas en la célula sin originar tiempos muertos en ninguna de las máquinas. Las operaciones típicas donde se utiliza el robot suspendido son en aplicación de adhesivos o sellantes, proyección de material (pintura, acabado superficial, etc.), corte (chorro de agua, láser, etc.) y soldadura al arco. Algunos fabricantes incluso han desarrollado modificaciones sobre sus robots básicos, tanto en su estructura mecánica como en su

control, para facilitar el uso del robot en esta disposición.

9. Características del sistema de control de la célula de trabajo

Una vez establecidos los elementos operativos de la célula y su disposición en la planta, el segundo factor crítico en la definición de la célula robotizada es la especificación del sistema de control. Una célula robotizada debe responder a las premisas de flexibilidad y automatización que justifican su empleo. Para ello es imprescindible el establecimiento de un buen sistema de control que deberá realizar, entre otras, las siguientes funciones.

- **Control individual** de cada una de las máquinas, transportes y demás dispositivos, incluidos robots, que compongan la célula.
- **Sincronización** del funcionamiento de los diferentes dispositivos entre sí.
- **Detección, tratamiento y recuperación** si es posible de las situaciones anómalas de funcionamiento que puedan presentarse.
- **Optimización del funcionamiento.** conjunto de los dispositivos de la célula, distribuyendo si es posible las funciones de manera dinámica, para así evitar paradas por espera o acciones innecesarias
- **Interfaz con el usuario,** mostrando la información adecuada para que en todo momento se conozca con el detalle necesario el estado del sistema, así como permitiendo que el operador acceda, con las restricciones pertinentes, al funcionamiento del mismo.
- **Interfaz con otras células,** para permitir la sincronización entre ellas, optimizando el funcionamiento de un sistema de fabricación flexible compuesto por varias células.
- **Interfaz con un sistema de control superior** que realiza básicamente funciones de supervisión y actualización de programas cuando se diese un cambio en la producción.

Estas funciones, que pueden ser necesarias en mayor o menor medida en el control de una célula robotizada, se implementarán en un hardware que será preciso definir y dimensionar. En aquellas ocasiones en las que la simplicidad de la célula lo permite, el propio controlador del robot podrá simultanear las funciones propias de control de sus ejes con el mando del resto de los dispositivos. Para ello utilizará sus entradas/salidas digitales/analógicas, o si fuera necesario la posibilidad de incorporar ejes externos servocontrolados. Si por el

contrario la célula incluye un mayor número de dispositivos, algunos de los cuales incluso disponen de su propio controlador, será preciso disponer de una estructura jerarquizada en la que un elemento central (computadora, PLC, etc.) mantenga una comunicación con el resto de los controladores. En cualquier caso, el correcto dimensionamiento del control de la célula es tarea que no debe desestimarse, pues repercutirá tanto en el costo de implantación y desarrollo de la misma como en el de explotación.

10. Características a considerar en la selección de un robot

Cuando se desea robotizar un determinado proceso, el equipo de técnicos responsable de esta tarea debe seleccionar el robot más adecuado. Para ello recurrirá a su experiencia y buen criterio, escogiendo dentro del amplio mercado de robots existente, aquel que mejor responda a las características necesaria y buscando siempre el adecuado compromiso entre precio y prestaciones (Tabla 1).

Caract. geométricas

- Área de trabajo
- Grados de libertad
- Errores de posicionamiento
 - Distancia tras emergencia
 - Repetitividad
 - Resolución
- Errores en el seguimiento de trayectorias
 - Calidad de una línea recta, arco,..
 - Precisión cuando se mueve el mínimo incremento posible

Caract. Cinemáticas

- Velocidad nominal máxima
- Aceleración y deceleración

Caract. Dinámicas

- Fuerza de Agarre
- Carga máxima
- Control de fuerza-par
- Frecuencia de resonancia

Tipo movimientos

- Movimientos punto a punto
- Movimientos coordinados
- Trayectorias continuas (CP)

Modo programación

- Enseñanza (guiado)
- Textual

Tipo accionamiento

- Eléctrico (c. alterna o c. continua)
- Neumático
- Hidráulico

Comunicaciones

- E/S Digitales/Analógicas
- Comunicaciones línea serie

Servicio proveedor

- Mantenimiento, Servicio
- Técnico, Cursos de formación

Costos

Tabla 1: Características a tener en cuenta para la selección de un robot

La selección del robot más idóneo debe hacerse valorando una gran variedad de características, siendo éste un proceso de difícil sistematización. Sin embargo, en general puede ser suficiente con considerar un conjunto limitado. En los catálogos de robots, los fabricantes proporcionan los valores de las prestaciones de sus productos. Se van a comentar a continuación las características más destacadas que deben ser consideradas a la hora de seleccionar un robot para una determinada aplicación, y que han sido recogidas de manera resumida en la Tabla 1.

10.1. Área de trabajo

El área de trabajo o campo de acción es el volumen espacial al que puede llegar el extremo del robot. Este volumen está determinado por el tamaño, forma y tipo de los eslabones que integran el robot, así como por las limitaciones de movimiento impuestas por el sistema de control. Nunca deberá utilizarse el efector colocado en la muñeca para la obtención del espacio de trabajo, ya que se trata de un elemento añadido al robot, y en el caso de variar el efector el área de trabajo se debería calcular nuevamente. El robot debe elegirse de modo que su área de trabajo (o campo de acción) le permita llegar a todos los puntos necesarios para llevar a cabo su tarea. En este sentido, no debe olvidarse la necesidad de incluir entre los puntos a acceder los correspondientes a puntos de recogida de piezas (alimentadores), mesa de trabajo, puntos de salida de piezas, etc. El que el robot pueda acceder a todo el espacio de trabajo no significa que lo pueda hacer con cualquier orientación. Existirán un conjunto de puntos, los más alejados y los más cercanos, que únicamente se podrán acceder con unas orientaciones determinadas, mientras que otros puntos admitirán cualquier orientación. Se ha de tener en cuenta también la posible existencia de los denominados puntos singulares, es decir, se trata de puntos con una

determinada orientación en el espacio sobre los que, por ejemplo, no es posible realizar una trayectoria rectilínea, bien sea porque su ejecución implicaría el movimiento a velocidad infinita de uno de los ejes, bien porque el valor de los ejes en ese punto con esa orientación se encuentre indeterminado. La disposición óptima de todos los elementos que compondrán la célula junto con el robot, es una delicada tarea por el gran número de variables a considerar. No basta con asegurarse de que todos los puntos necesarios quedan dentro del campo de acción, sino que se deberá verificar que una vez situados los demás componentes de la célula, el robot no colisione con ellos al efectuar sus movimientos. Por este motivo, es de gran ayuda el empleo de programas de simulación gráfica, que dotados de un sistema de diálogo interactivo con el usuario, simulación gráfica, que dotados de un sistema de diálogo interactivo con el usuario, permiten seleccionar mediante ensayo y error la disposición óptima de la célula. Con el objeto de desarrollar un plan para controlar el movimiento de un manipulador, es necesario desarrollar técnicas para representar la posición del brazo en puntos, en relación con el tiempo. Se definirá el manipulador de robot utilizando dos elementos básicos: **articulaciones y enlaces**. Cada articulación representa un grado de libertad la cual puede traer consigo un movimiento lineal o un movimiento rotacional entre los enlaces adyacentes, entendiéndose que los enlaces son estructuras rígidas que conectan las articulaciones. El número de grados de libertad con que cuenta un robot (GDL) determina la accesibilidad de éste y su capacidad para orientar su herramienta o efector final. Es relativamente frecuente que el número de GDL de los robots comerciales coincida con el número de articulaciones, es decir, que cada permiten seleccionar mediante ensayo y error la disposición óptima de la célula. Con el objeto de desarrollar un plan para controlar el movimiento de un manipulador, es necesario desarrollar técnicas para representar la posición del brazo en puntos, en relación con el tiempo. Se definirá el manipulador de robot utilizando dos elementos básicos: **articulaciones y enlaces**. Cada articulación representa un grado de libertad la cual puede traer consigo un movimiento lineal o un movimiento rotacional entre los enlaces adyacentes, entendiéndose que los enlaces son estructuras rígidas que conectan las articulaciones. El número de grados de libertad con que cuenta un robot (GDL) determina la accesibilidad de éste y su capacidad para orientar su herramienta o efector final. Es relativamente frecuente que el número de GDL de los robots comerciales coincida con el número de articulaciones, es decir, que cada articulación representa un GDL. La elección del número de grados de libertad necesarios viene determinada por el tipo de aplicación. Así, en muchas operaciones de manipulación, *pick & place* o paletizado los objetos se recogen y depositan sobre planos horizontales. En estos casos, un robot con 3 GDL para posicionar, y a lo sumo uno mas para orientar (giro

en tomo a un eje vertical), es suficiente. Sin embargo, en otras aplicaciones, es preciso orientar la herramienta en el espacio o acceder a posiciones complicadas, siendo precisos 6 o incluso más grados de libertad. Aplicaciones típicas que precisan de 6 GDL pueden ser la pintura, la soldadura por arco o la aplicación de selladores.

10.2. Precisión, Repetibilidad y Resolución

Las ventajas del robot frente a otras maquinas en muchas de las aplicaciones actuales se basan además de en la flexibilidad y velocidad, en el bajo error de posicionamiento con el que realizan su trabajo. Para la definición de este error es necesario tener en cuenta tres conceptos complementarios entre sí, como son: la precisión, la repetibilidad y la resolución. De entre los tres, el dato normalmente suministrado por los fabricantes es el de repetibilidad y éste es el utilizado a la hora de seleccionar un robot u otro por su exactitud. El origen de cada uno de ellos es diferente; su definición y causa se indica a continuación:

- **Resolución:** Mínimo incremento que puede aceptar la unidad de control del robot. Su valor está limitado por la resolución de los captadores de posición y convertidores A/D y D/A, por el número de bits con los que se realizan las operaciones aritméticas en la CPU. y por los elementos motrices, si estos son discretos (motores paso a paso, sistemas neumáticos todo nada, etc.)
- **Precisión:** Distancia entre el punto programado (normalmente de manera textual) y el valor medio de los puntos realmente alcanzados al repetir el movimiento varias veces con carga y temperatura nominales. Su origen se debe a errores en la calibración del robot (punto de sincronismo por ejemplo), deformaciones por origen térmico y dinámico, errores de redondeo en el cálculo de la transformación cinemática (especialmente en las cercanías de puntos singulares), errores entre las dimensiones reales y teóricas del robot, etc.
- **Repetibilidad:** Radio de la esfera que abarca los puntos alcanzados por el robot tras suficientes movimientos, al ordenarle ir al mismo punto de destino programado, con condiciones de carga, temperatura, etc., iguales. (Normalmente se considera la banda que abarca el 99% de los puntos respecto a la media.) El error de repetibilidad es debido fundamentalmente a problemas en el sistema mecánico de transmisión como rozamientos, histéresis, zonas muertas (*backlash*).

10.3. Velocidad

Como ya se ha indicado, la velocidad a la que puede moverse un robot y la carga que transporta, están

inversamente relacionados. Tanto es así que en muchas ocasiones los datos proporcionados en catálogo sobre la velocidad de movimiento del robot se dan para diferentes valores de la carga a transportar. De igual forma y como es lógico, también suele existir una relación de orden inverso entre el error de posicionamiento y la velocidad del robot. La velocidad de movimiento de un robot puede darse por la velocidad de cada una de sus articulaciones o por la velocidad media de su extremo, siendo esta última más útil para el usuario, pero más imprecisa. El valor de la velocidad nominal de movimiento de un robot es un dato relevante para el cálculo de los tiempos de ciclo, sobre todo en robots destinados a tareas de manipulación o ensamblaje. No obstante, hay que considerar que el dato proporcionado normalmente corresponde a la velocidad nominal en régimen permanente. Para alcanzar este régimen es preciso que el movimiento del robot sea suficientemente largo. En otro caso, los tiempos de arranque y parada son proporcionalmente más significativos que el correspondiente al movimiento a velocidad nominal. En la práctica, en la mayoría de los casos los movimientos del robot son rápidos y cortos, con lo que la velocidad nominal es alcanzada en contadas ocasiones. Por este motivo, la medida del tiempo de ciclo no puede ser obtenida a partir de la velocidad, siendo ésta una valoración cualitativa del mismo. En vez de este dato, algunos robots indican el tiempo empleado en realizar un movimiento típico (un *pick & place*, por ejemplo). Los valores habituales de velocidad del extremo oscilan entre 1 y 4 m/s con carga máxima.

10.4. Capacidad de carga

La capacidad de carga del robot a seleccionar para una determinada tarea viene condicionada por el tamaño, la configuración y el sistema de accionamiento del propio robot. Por otra parte, al evaluar la carga a manipular por el robot debe considerarse el peso de las piezas a manipular y el propio peso de la herramienta o pinza que emplee el robot colocada sobre la muñeca (en muchas ocasiones superior al de los propios objetos). Se debe tener en cuenta además de la carga, el momento que la pieza a transportar genera en el extremo del robot. Para ello el fabricante puede proporcionar un cuadro en el que se indica la disminución de la posible carga a transportar para no disminuir prestaciones a medida que el centro de gravedad de la misma se aleja del centro de la muñeca. El dato que normalmente se proporciona en la hoja de características del robot, corresponde a la carga nominal que éste puede transportar sin que por ello disminuyan sus prestaciones dinámicas, y siempre considerando la configuración del robot más desfavorable. Sin embargo, es posible aumentar esta carga hasta un cierto límite, siempre y cuando se pueda admitir una disminución en la velocidad de los movimientos del robot e incluso en su

precisión. Los valores más frecuentes de capacidades de carga varían entre 5-50kg, aunque se pueden encontrar robots que transporten más de media tonelada.

10.5. Sistema de control

La potencia de la unidad de control del robot determina en gran medida sus posibilidades. Las características del control del robot hacen referencia por una parte a sus posibilidades cinemáticas (tipo de trayectorias) y dinámicas (prestaciones dinámicas del robot), y por otra parte a su modo de programación. En cuanto a las posibilidades cinemáticas es muy importante tener en cuenta la aplicación a realizar. Para muchas aplicaciones (*pick & place*, por ejemplo), es suficiente con un control del movimiento punto a punto (PTP) en el que sólo es relevante el punto final a alcanzar por el robot y no el camino seguido. En otras, por el contrario, la trayectoria continua (CP) descrita por el extremo del robot es fundamental (soldadura al arco). Casi todos los robots incorporan la posibilidad de realizar trayectorias en línea recta y con interpolación circular. Estas posibilidades vienen normalmente indicadas en las especificaciones técnicas del robot. Un primer dato relativo al control dinámico de un robot, es el que indica si éste se efectúa en cadena abierta o cerrada. El primer caso no es frecuente si bien se emplea cuando no se prevén grandes inercias. Su implementación se realiza normalmente con motores paso a paso, simplificando notablemente la complejidad de los algoritmos de control. Las características del control dinámico del robot, como velocidad de respuesta y estabilidad, son de particular importancia cuando éste debe manejar grandes pesos con movimientos rápidos. En estos casos, un buen control dinámico asegura que el extremo del robot no presente oscilaciones ni errores de posicionamiento. El sobrepasar el punto de destino (*overshoot*) por una elevada inercia, puede originar colisiones de graves consecuencias. Normalmente las prestaciones del control dinámico no son indicadas explícitamente como una característica a conocer por un posible usuario. Algunos sistemas de control de robots permiten variar, incluso en mitad de la ejecución de un programa, algunas de las características del control dinámico. Otra importante característica relacionada con el control dinámico hace referencia a la posibilidad de realizar un control de esfuerzos de manera selectiva en alguna de las articulaciones o ejes cartesianos, esta posibilidad, que implica el empleo de sensores de esfuerzos, es fundamental en aquellas aplicaciones en las que la pieza manipulada deba entrar en contacto con algún objeto durante la realización de la tarea (ensamblaje, desbarbado, pulido, etc.). En cuanto a las características relacionadas con el método de programación y las posibilidades que este ofrece, puede decirse que una primera división entre programación por guiado y programación textual es suficiente como para decidirse sobre el empleo de un robot u otro para

una determinada aplicación. Así, una aplicación de pintura debe realizarse con un robot cuya programación se efectúe fundamentalmente mediante guiado, y más específicamente, con un sistema en el que la unidad de control memorice automáticamente el camino por el que se desplaza el extremo del robot durante la etapa de programación. Por el contrario, en un robot destinado a tareas de paletizado será aconsejable la programación textual. Otras características importantes relacionadas con el modo de programación son las relativas al manejo de entradas salidas, posible estructuración de los programas (manejo de subrutinas, bucles, etc.), posibilidad de atención de interrupciones y modificación de trayectorias atendiendo a señales externas, sistemas de programación y control desde un dispositivo externo (computadora), etc. Existen otras consideraciones, además de las meramente técnicas, a la hora de seleccionar el robot más adecuado para robotizar un proceso. Así, es importante considerar el servicio técnico que proporciona el fabricante (de postventa, mantenimiento, formación, actualización) y que lógicamente variará según la distribución geográfica del lugar de implantación y de la fábrica o delegación del fabricante del robot. También será importante considerar el costo y posibilidad de amortización del robot, pues un robot más barato, y con menos prestaciones, puede resolver correctamente la aplicación en cuestión, pero ser difícilmente adaptable a otras aplicaciones futuras. La Tabla 2 muestra una primera aproximación de las características a tener en cuenta para la elección de un robot en una determinada aplicación. Estas indicaciones no tienen porqué ser válidas en todas las situaciones, pero se cumplen de forma general.

PINTURA

Programación por guiado
 Campo de acción similar al humano
 Estructura antropomórfica
 6 grados de libertad

PALETIZACIÓN

Elevada capacidad de carga
 Relación grande entre área de trabajo y el tamaño del robot
 Control PTP

PROCESADO

Sistema de programación
 5-6 grados de libertad
 Campo de acción similar al humano
 Control de trayectoria continua

ENSAMBLADO

Campo de acción similar al humano
 Potencia del sistema de programación
 Sistema sensorial
 Elevada precisión y rapidez

Tabla 2: Características deseables en un robot según su aplicación

11. Inteligencia del robot

La investigación sobre resolución de problemas con robots ha conducido a muchas ideas acerca de los sistemas para la resolución de problemas en inteligencia artificial. La inteligencia artificial estudia como lograr que las máquinas realicen tareas que, por el momento, son realizadas mejor por los seres humanos. La definición es efímera porque hace referencia al estado actual de la informática. No incluye áreas que potencialmente tienen un gran impacto tales como aquellos problemas que no pueden ser resueltos adecuadamente ni por los seres humanos ni por las máquinas. No obstante el éxito que ha tenido la IA se basa en la creación de los sistemas expertos, y de hecho áreas en donde se debe tener alto conocimiento de alguna disciplina se han dominado no así las de sentido común. En una formulación típica de un problema de robot tenemos un robot que está equipado con sensores y un conjunto de acciones primitivas que puede realizar en algún mundo fácil de comprender. Las acciones del robot cambian un estado o configuración del mundo en otro. La discusión hace énfasis en la resolución del problema o aspectos de planificación de un robot. Un planificador de robot intenta encontrar una trayectoria desde nuestro mundo del robot inicial hasta un mundo del robot final. El camino consiste en una secuencia de operaciones que se consideran primitivas para el sistema. Una solución a un problema podría ser la base de una secuencia correspondiente de acciones físicas en el mundo físico. La planificación de robots, que proporciona la inteligencia y la capacidad de resolución de problemas a un sistema robótico, es todavía un área de investigación muy activa. Para aplicaciones de robots en tiempo real, necesitaremos algoritmos de planificación potentes y eficaces que se ejecutarán por sistemas de computadoras de uso especial a alta velocidad.

12. Conclusiones y trabajos futuros

Se atribuye a los medios informáticos un efecto inicial de alta motivación por parte de los usuarios, por lo que habría que superar esta instancia para que el “efecto novedad” desaparezca y el medio comience a ser usado en forma constante [2], [3]. Es luego de este período en el que se debe medir su significatividad. Por otra parte, la elaboración de los materiales educativos informáticos no sólo requiere de un preciso conocimiento de los contenidos, sino también de los modos más efectivos de presentación de los mismos, a fin de motivar al usuario a su recorrido. Independientemente del enfoque industrial, un software constituye una ayuda de inestimable valor en la labor educativa de los centros universitarios y profesionales puesto que permitirá a los alumnos crear robots, manejar modelos comerciales y programar los conjuntos mediante lenguajes

normalizados en entornos reales, evitando los costos, los espacios y las limitaciones que supone trabajar con un modelo físico concreto que, generalmente, sólo puede realizar una tarea determinada y ser programado con un lenguaje único. En la actualidad, la simulación se ha convertido en una herramienta de uso obligatorio tanto para profesionales dedicados al diseño de sistemas como investigadores. En el área de la robótica permite experimentar con los conocimientos teóricos adquiridos y a la vez profundizando en los mismos. De ello se deriva la importancia que debe darse a esta herramienta en la enseñanza y en la preparación de los futuros profesionales, donde el alumno puede utilizarla como una herramienta más para reforzar los conocimientos que va adquiriendo en las distintas disciplinas. La acción del educador debe desarrollar en el alumno una metodología de trabajo adecuada con las herramientas de simulación, es necesario generar un núcleo básico de conocimientos teóricos básicos que le permitan continuar aprendiendo de forma guiada y por sí mismo cuando la complejidad vaya en aumento (método de andamiaje). Es necesario además generar una actitud crítica ante los resultados de la simulación. Este nuevo método de utilización de sistemas informáticos y su aplicación produce un refuerzo, así como una mayor y mejor asimilación y utilización de lo aprendido. Además, al ser un aprendizaje personalizado, el alumno puede preguntar y explorar sin inhibición alguna, con rapidez y sencillez, y con la ventaja de poder seguir su ritmo personal de aprendizaje con pocas distracciones y en donde el alumno experimente su aprendizaje con unas prácticas diseñadas especialmente para ello. Éstas prácticas deben mostrar al alumno toda la información que necesite de los procesos simulados para el análisis de esos datos, tanto de forma gráfica como numérica, permitiendo la posibilidad de modificar los elementos de estudio para adquirir un mayor conjunto de valores que le ayuden en la comprensión de la realidad. Lamentablemente es una herramienta que no se encuentra completamente aplicada, por lo que, viendo las ventajas que su utilización aporta al aprendizaje del alumno, se debe seguir investigando y aportando nuevos desarrollos.

13. Bibliografía

- [1] Bermejo, S. (2003). *Aprendizaje basado en proyectos robóticos*. Disponible en: <http://www.vgweb.upc-vg.eupvg.es>.
- [2] Cabero, J. (2000) *Tecnología Educativa*. Síntesis. Madrid.
- [3] Cabero, J. (2000) *Nuevas tecnología aplicadas a la educación*. Síntesis. Madrid.
- [4] Cabona, F. y Rozenhaus, J. Apunte estructurado en base al material multimedial correspondiente al curso Didáctica del Nivel Superior - FRA – UTN -2003, Las Estrategias de Enseñanza
- [5] Castro, M.(1999). *Simulación en Ingeniería Eléctrica y Electrónica*. Disponible en:

www.mundoelectrónico.com/sumaris/1999/sum_me_301.html

[6]Cataldi Z. (2001). *“Diseño y Evaluación de Programas Didácticos Hipermediales”*. Tesis para el Magíster en Docencia Universitaria. Universidad Tecnológica Nacional. Regional Buenos Aires

[7]Garcia, A. (2003). *Medios Informáticos*. Disponible en: <http://www.web.usal.es/anagy/arti5.htm>

[8]Groover, M; Weiss, M; Ángel, R. Odrey, N. (1989) *Robótica Industrial*. Mc Graw Hill. Madrid.

[9]Gros, B. (2000). *Diseños y programas educativos*. Ariel. Barcelona.

[10]Lion, C. (2006). *Imaginar con tecnologías. Relaciones entre tecnologías y conocimiento*. Editorial Stella. La Crujía Ediciones. Bs. As.

[11]Odorico, A. (2005a). *Marco teórico para una robótica pedagógica*. Revista de Informática Educativa y Medios Audiovisuales. Año 1, Volumen 1, Número 3. Universidad de Buenos Aires.

[12]Odorico, A. (2005b). *La robótica desde una perspectiva pedagógica*. Revista de Informática Educativa y Medios Audiovisuales. Año 2, Volumen 2, Número 5. Universidad de Buenos Aires.

[13]Odorico, A., et. al.(2005c).*La robótica: Una visión pedagógica para una tecnología actual*. CACIC 2005: Congreso Argentino de Ciencias de la Computación. 20 de octubre de 2005. Entre Ríos.

[14]Odorico, A., et. al. (2006d). *La robótica: Aspecto clave de la producción moderna vista desde una perspectiva pedagógica*. CACIC 2006. Congreso Argentino de Ciencias de la Computación .1º de Octubre de 2006. San Luis.

Dirección de Contacto de los Autores

Arnaldo Héctor Odorico
aodorico@gmail.com