

# Cálculo Diferencial con Aprendizaje por Proyecto empleando Matlab y Robots LEGO NXT

Teresita Montañez<sup>1</sup>, Cinhtia González<sup>1</sup>, Michel García<sup>1</sup>, Manuel Escalante<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Yucatán, Facultad de Matemáticas, Unidad Tizimin,  
Calle 41 S/N 97700 Tizimin, Yucatán, México  
{monmay, gsegura, michel.garcia, manuel.escalante}@uady.mx

**Resumen.** Se describe una experiencia docente adquirida al emplear herramientas tecnológicas para impartir un curso de cálculo diferencial a estudiantes de licenciatura, implementando así una nueva dinámica de enseñanza. El objetivo del curso contempla que el estudiante aplique los principales conceptos, definiciones y teoremas del cálculo diferencial a la resolución de problemas reales. Los estudiantes construyen progresivamente sistemas computacionales que simulan los componentes que intervienen en una cirugía ocular con rayos láser, mediante el desarrollo de diferentes algoritmos, cuyo sustento radica en el cálculo diferencial. Se emplean robots LEGO NXT, el lenguaje de programación NXT-G y el software Matlab, así como la metodología denominada Aprendizaje Basado en Proyectos. Se muestran ejemplos de proyectos finales y ejercicios realizados por los estudiantes. Se describen las ventajas que presenta la aplicación de esta estrategia de enseñanza en el desarrollo de habilidades y actitudes.

**Palabras clave:** Cálculo Diferencial, Aprendizaje Basado en Proyectos, Matlab, Robots LEGO NXT.

## 1 Introducción

En el nuevo modelo educativo de la Universidad Autónoma de Yucatán (UADY) se pretende que los planes de estudio de las carreras contengan asignaturas que cubran los siguientes aspectos: instrumental o básico, donde se promoverá el desarrollo de las habilidades intelectuales básicas y lenguajes indispensables para la formación profesional; disciplinario, donde se adquirirán los conocimientos y habilidades necesarias relativas a un área del conocimiento; profesional, donde adquirirán las competencias necesarias para el ejercicio de una profesión específica, promoviendo la adquisición de conocimientos y habilidades para el ejercicio de la misma; integrador, que promoverá la interdisciplinariedad, organizada para la resolución de problemas con referencia al contexto profesional, laboral y social; de elección libre, donde el estudiante seleccionará cursos o actividades que le garanticen un valor agregado a su formación integral [1]. La asignatura de cálculo diferencial es considerada instrumental o básica y desafortunadamente presenta un elevado índice de reprobación, en general.

La metodología que se describe en este trabajo parte del supuesto de que estos índices se podrían reducir significativamente al emplear metodologías dinámicas como el aprendizaje basado en problemas, o el aprendizaje basado en proyectos, así como el uso de herramientas tecnológicas tales como los robots o las cámaras digitales. Además, mediante la impartición de dicha asignatura, se busca también abordar aspectos disciplinarios, profesionales y que contribuyan con una formación integral. Se plantea una experiencia en la cual convergen la robótica, el software y la estrategia de enseñanza aprendizaje basado en proyectos (ABP). Los resultados obtenidos son positivos y alentadores.

## **2 Metodología ABP**

La metodología ABP tiene sus orígenes en la Universidad canadiense de McMaster [2] y en la universidad de Aalborg, Dinamarca [3]. Posteriormente fue adoptada por la universidad de Twente, Holanda [4]. Actualmente ya se considera una herramienta probada y madura sobre todo en el campo de la ingeniería e informática [5][6][7].

ABP es una técnica didáctica en la que el estudiante construye su aprendizaje mediante la planeación y desarrollo de un proyecto aplicado a una problemática real. A lo largo de la elaboración de dicho proyecto el estudiante se involucra en un proceso de aprendizaje dinámico donde profundiza en conceptos técnicos y teóricos como consecuencia de la motivación inherente a la técnica ABP. Además, desarrolla una serie de habilidades y actitudes propias de un investigador, como son el trabajo en equipo, la planificación, la comunicación, la creatividad y la responsabilidad [8].

En esta ocasión la metodología ABP se implementó de manera parcial, pues es aplicada únicamente en la sección práctica de la asignatura. Se propusieron dos proyectos del curso, los cuales consisten en la realización de un subsistema titulado “Zoom Inteligente” y otro denominado “Corte Automatizado”.

## **3 Robots y Software Matemático en la Educación**

Cada vez es más frecuente la incorporación de los robots como una herramienta educativa [9] [10] [11], no sólo con el propósito de enseñar robótica sino también en proyectos de investigación [12], o como herramienta de apoyo en diversas áreas de la ciencia [13] [14]. Cuando el alumno construye un robot, tiene la oportunidad de poner en práctica diversos conceptos que ha aprendido durante su experiencia académica y personal, tales como poleas, fuerzas, punto de equilibrio, etc. Lo anterior le permite darse cuenta de que la interacción con el mundo real ocurre de diversas formas y que los problemas pueden ser resueltos aplicando los conocimientos que cada individuo posee. Además, el alumno profundiza en el conocimiento que adquiere y reafirma, al mismo tiempo que realiza un aprendizaje autónomo al observar el funcionamiento de su creación retroalimentándose con el desempeño de la misma.

Aunado a lo anterior, la robótica es un área relacionada con diversos campos de la ciencia por lo que es relativamente fácil proponer proyectos didácticos acordes con la temática particular de cada asignatura que se imparta. Tanto los robots como los

lenguajes de programación son dos medios que permiten el desarrollo de una habilidad, planteada como fundamental para la educación de este siglo, que consiste en la destreza para resolver problemas [21]. En [15], [16], [17] y [18], se describen experiencias relacionadas con la utilización de robots y ABP.

Por otra parte, desde el punto de vista educativo, la utilización de lenguajes de programación permite activar una amplia variedad de estilos de aprendizaje [19] además de desarrollar el pensamiento algorítmico. Adicionalmente, compromete a los estudiantes a la consideración de varios aspectos importantes para la solución de problemas: decidir sobre la naturaleza del problema, seleccionar una representación que ayude a resolverlo y, monitorear sus propios pensamientos (meta cognición) y estrategias de solución. Solucionar problemas con ayuda de la computadora puede convertirse en una excelente herramienta para adquirir la costumbre de enfrentar problemas de manera rigurosa y sistemática. En [20] se recomienda utilizar LOGO en el nivel básico; Alice, KPL ó Processing a nivel medio o medio-superior y se podría agregar Scilab, Matlab o Maple (nivel mínimo de programación) o bien: C, C++ (mayor nivel de programación), en el nivel superior.

## 4 Características del Curso

La asignatura de Cálculo Diferencial se imparte en el primer semestre de la Licenciatura en Ciencias de la Computación. La experiencia aquí descrita se realizó con un grupo formado por 17 jóvenes provenientes de escuelas de nivel medio superior con perfil técnico, es decir, su grado de conocimiento en matemáticas (álgebra, geometría plana, geometría analítica, trigonometría, etc.) está al 60%, aunque su nivel de programación está al 80%.

### 4.1 Objetivo y contenido temático

EL objetivo general del curso indica que al término de éste el alumno deberá manejar las propiedades de los números reales y el concepto de la derivada; deducir y aplicar las técnicas de derivación, demostrar y aplicar los principales resultados que provienen del concepto de la derivada, y resolver problemas geométricos y físicos empleando las propiedades, técnicas y principales resultados del cálculo diferencial. La duración de esta asignatura es de un semestre. La Tabla 1 presenta los temas que se cubren durante el curso en el cual se basa el trabajo realizado.

**Tabla 1.** Contenido de la asignatura Cálculo Diferencial.

| Tema                                 | Objetivo  |
|--------------------------------------|---|
| 1. Los números reales                | Demostrar algunas de las propiedades del sistema de números reales basándose en los axiomas de cuerpo y orden.  |
| 2. Funciones reales de variable real | Utilizar las principales propiedades de las funciones reales de variable real como herramienta en la resolución de algunos problemas con modelaje matemático. |
| 3. Límites y                         | Utilizar el concepto de límite y sus propiedades para definir y   |

|  |   |
|--|---|
| continuidad  | demostrar algunas propiedades de funciones continuas.   |
| 4. Derivación de funciones reales de variable real | Utilizar el concepto de derivada de una función real para demostrar algunas de sus fórmulas principales     |
| 5. Teoremas de derivación                          | Demostrar las principales propiedades de la derivada y explicará la diferencia entre derivada y diferencial |
| 6. Aplicaciones de la derivada                     | Utilizar el concepto de derivada y algunos de sus teoremas en la resolución de problemas diversos           |

## 4.2 Actividades de Aprendizaje

A lo largo del curso se realizan diversas actividades, se han seleccionado algunas de las que se consideran más relevantes y son las siguientes:

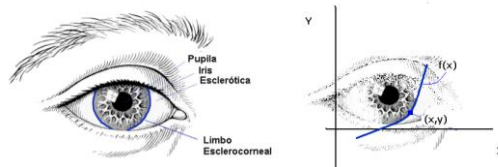
- Proyección de una animación (simulación) y de un video (realidad) en los que se realiza una cirugía ocular con rayos láser.
- Investigación por los alumnos sobre los procedimientos que se siguen en una operación ocular realizada con rayos láser.
- Análisis del papel que tiene el profesional de las ciencias de la computación en el desarrollo de tecnología para la salud, la industria, el comercio, etc.
- Definición de los proyectos que se desarrollarán durante el curso: “Zoom Inteligente” y “Corte Automatizado”.
- Impartición de cursos de programación en los lenguajes Matlab y NXT-G.
- Construcción progresiva de los sistemas, mediante el desarrollo de diferentes algoritmos y cuyo sustento radica en el cálculo diferencial.
- Exposiciones de los conceptos básicos y ejemplos de soluciones a problemas reales, usando el lenguaje Matlab y los robots LEGO.
- Realización en clase de ejercicios teóricos y/o prácticos, usando el lenguaje Matlab y robots LEGO.

## 4.3 Descripción de los Proyectos del curso

El objetivo de realizar un proyecto durante el curso consiste en llevar a la práctica los conceptos teóricos abordados durante el mismo. En el proyecto propuesto se relaciona a las ciencias computacionales con las ciencias de la salud, con la finalidad de abrir el camino hacia el análisis y la reflexión acerca del grado de responsabilidad que tiene el profesional que desarrolla tecnología cuando ésta será empleada en procesos que requieren de la máxima precisión posible. Al realizar la simulación de una cirugía ocular hecha con rayos láser para corregir defectos visuales se requiere realizar un cálculo muy preciso pues un mínimo error en la ruta de corte ocasionaría un defecto no corregido en la visión del paciente. Lo anterior no es tan fácil de apreciar cuando se trabaja con video juegos, páginas Web, robots, etc., en actividades donde pocas veces se requiere realizar un cálculo tan preciso como el de una cirugía.

El procedimiento conocido como Técnica de LASIK [22] es una cirugía ocular con rayos láser que corrige defectos refractivos y consiste en levantar un colgajo corneal de 1/3 de espesor de la córnea, con ayuda de un microqueratomo automático encargado de realizar el corte. Específicamente el corte se realiza sobre el limbo

esclerocorneal (ver Fig. 1) y se aplica el rayo láser en el lecho corneal, remodelando así la cornea y cambiando su curvatura para corregir defectos de refracción, tales como miopía, hipermetropía y astigmatismo. Para finalizar, se repone el colgajo corneal en su lugar sin necesidad de puntos de sutura, pues al ser tejido vivo la cicatrización ocurre de manera natural.

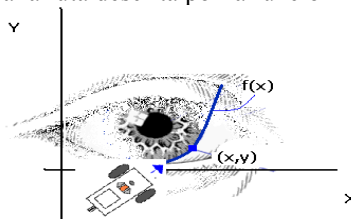


**Fig. 1.** En el ojo humano (*izquierda*) se observan la *Esclerótica* y el *Limbo Esclerocorneal*. Los puntos de corte  $(x, y)$  están definidos por una función  $f(x)$ .

De este procedimiento quirúrgico se desprenden los proyectos que consisten en realizar una simulación, el primero de un acercamiento virtual de una lupa de aumento y el segundo de un corte que se realiza en el ojo empleando rayos láser, ambos creados utilizando el lenguaje de programación Matlab y los robots LEGO.

**Zoom Inteligente.** En el modelo matemático que corresponde a la operación quirúrgica se representa el limbo esclero-corneal con una función  $f(x)$ . Debido a que se requiere de un control preciso sobre esta función, por medio de Matlab se desarrolla un sistema de acercamiento alrededor de un punto específico  $(x, y)$  que se encuentra sobre  $f(x)$  de tal forma que para cualquier movimiento de la coordenada  $y$ , el sistema nos indique qué distancia se requiere mover en la coordenada  $x$  con el fin de permanecer lo más cerca posible de la ruta descrita por la función  $f(x)$ .

**Corte Automatizado.** Como se especificó anteriormente, la función  $f(x)$  representa la línea del limbo esclerocorneal que en la cirugía real recibe un corte de  $1/3$  de espesor de la córnea por medio del microqueratomo que será representado por el robot. Se requiere desarrollar un sistema que siga de manera automática una trayectoria  $f(x)$ , lo cual se realiza mediante la programación en NXT-G para controlar al robot LEGO quien seguirá la ruta descrita por la función  $f(x)$ . Ver Fig. 2.



**Fig. 2.** La trayectoria definida por la función  $f(x)$  es recorrida por el robot LEGO NXT.

#### 4.4 Ejercicios Teórico-Prácticos

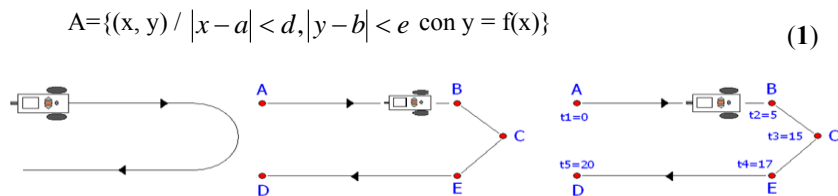
Los ejercicios teórico-prácticos forman una parte fundamental para el éxito del curso pues permiten que el estudiante valore la utilidad de los conocimientos adquiridos durante las clases teóricas para poder resolver problemas reales, además de que cada uno de ellos constituye una parte fundamental para el desarrollo del proyecto.

En la Tabla 2 se enlistan algunos de los ejercicios, se indica cuál es el proyecto para el que es útil el ejercicio y el tema de la asignatura que se cubre con el mismo.

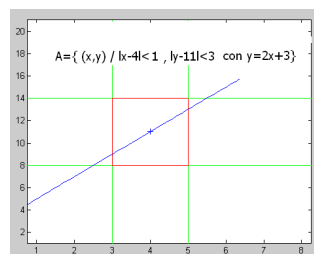
**Tabla 2.** Ejercicios realizados durante el curso y tema al que corresponden.

| Ejercicio   | Tema |
|---|------|
| 1. Elaborar un programa en Matlab que proporcione una aproximación con 20 decimales de precisión, de los números dados. Ej: $\pi$ , potencias racionales.   | 1    |
| 2. Utilizar las propiedades gráficas de Matlab para resolver desigualdades.   | 1    |
| 3. Utilizar las propiedades gráficas de Matlab para determinar el dominio y la imagen de las funciones dadas.   | 2    |
| 4. Animar las funciones paramétricas dadas empleando el software Matlab.  | 2    |
| 5. Desarrollar un programa, empleando el lenguaje NXT-G, para que el robot LEGO realice cada una de las tareas ilustradas en la Fig. 3, además de construir la función de posición y la función distancia-tiempo y animarlas en Matlab. | 3    |
| 6. Elaborar un programa en Matlab que permita graficar los conjuntos representados en (1), donde el usuario determinará los valores de $a$ , $b$ , $d$ , $e$ y $f(x)$ . Un ejemplo de gráfica se muestra en la Fig. 4.                  | 3    |
| 7. Desarrollar un programa en el lenguaje NXT-G para que el robot LEGO realice cada una de las tareas descritas en la Fig. 5 (a).   | 3    |
| 8. Utilizando las trayectorias programadas en la sección de funciones paramétricas, calcular la velocidad media y la aceleración media para distintos momentos.   | 4    |
| 9. Desarrollar un programa con el lenguaje NXT-G para hacer que el robot LEGO realice cada una de las tareas ilustradas en la Fig. 5 (b).   | 4    |

La ecuación y figuras de los ejercicios listados en la Tabla 2 son las siguientes:



**Fig. 3.** Tres trayectorias recorridas por el robot LEGO NXT. En la tercera, el recorrido inicia en el punto A donde  $T1=0$  representa el tiempo inicial del recorrido.  $T2 = 5$  indica que el segundo punto B se debe tocar después de 5 segundos,  $T3 = 15$  el tercer punto C en 15 segundos, etc.



**Fig. 4.** Gráfica realizada en Matlab para los valores  $a=4$ ,  $b=1$ ,  $d=1$ ,  $e=3$  y  $f(x)=2x+3$ .

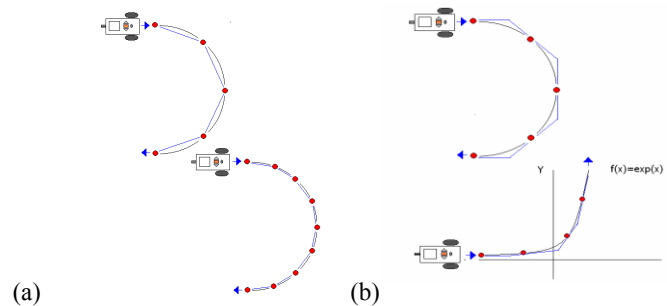


Fig. 5. Ejemplos de trayectorias recorridas por el robot LEGO NXT.

#### 4.5 Evaluación

Para la evaluación del curso se consideraron las siguientes actividades: Ejercicios teóricos (ET, 10 pts.), ejercicios teórico-prácticos (EP, 15 pts.), programas de computación, incluido el proyecto final (P, 15 pts.), cuatro exámenes parciales (EX, 60 pts.) y el examen final, que sólo presentan aquellos alumnos que no reúnen 80 puntos o más con las actividades anteriores.

Dado que la solución de los ejercicios teórico-prácticos, así como el desarrollo del proyecto dependen de un dominio total de los conceptos fundamentales de la asignatura, el peso total que reúnen ambos aspectos es del 30%. Esto permitió que los alumnos no renuncien a la carga extra que implica el desarrollo del proyecto.

Para la calificación final del curso se la considera Calificación C obtenida al sumar ET, EP, P y EX. Si  $C \geq 80$ , entonces  $CF = C$ . De lo contrario, se aplica una ponderación del 60% para C y 40% para el examen final.

### 5 Ejemplos de ejercicios y proyectos

Para el desarrollo del **Zoom inteligente** los alumnos elaboraron un programa en Matlab que es capaz de graficar el conjunto representado en la ecuación (1), donde el usuario proporciona los valores para a, b, e y  $f(x)$ . La solución de este ejercicio se refiere, como se comentó antes, al acercamiento alrededor de un punto específico (x, y) que se encuentra sobre  $f(x)$  de tal forma que cualquier movimiento en el eje Y no provoque un desenfoque en el eje X. Por razones obvias es necesario un control preciso del limbo esclerocorneal que es representado por  $f(x)$ . Durante las clases, se hizo especial énfasis en los polinomios ya que estos pueden aproximar a cualquier función infinitamente diferenciable. En la Fig. 6 se presenta el desarrollo matemático y parte del programa del alumno José Estrella Ojeda, para un polinomio de grado 3.

Con respecto al **Corte automatizado** se desarrolló un programa en el lenguaje NXT-G para que el robot LEGO NXT siga de manera automática una trayectoria  $f(x)$  de tal forma que su recorrido sea tangencial a la función. Nuevamente,  $f(x)$  representa al limbo esclerocorneal y el robot LEGO simula el microqueratomo. La Fig. 7 ilustra el desarrollo matemático y el programa del alumno Guillermo Cemé, para seguir una trayectoria circular.

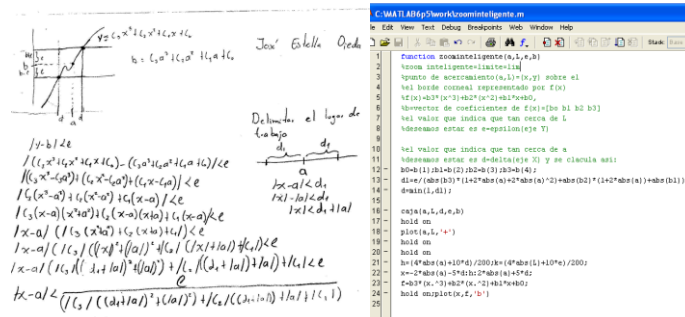


Fig. 6. Análisis y programa realizados por un alumno para el proyecto del Zoom inteligente.

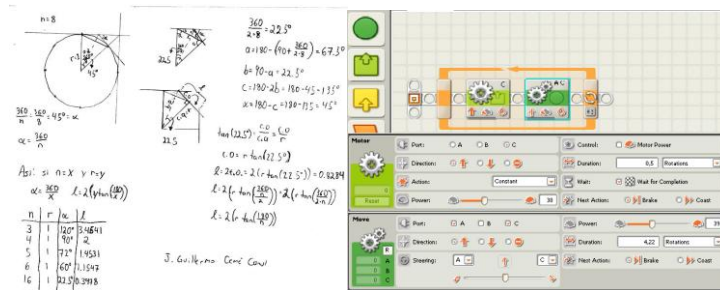


Fig. 7. Análisis matemático realizado previo a la codificación y vista del programa para el proyecto del Corte automatizado codificado en NXT-G para LEGO.

## 6 Impacto en el Proceso de Enseñanza-Aprendizaje

A través de todas las actividades realizadas por los estudiantes y el profesor durante el curso se obtienen los siguientes beneficios en el estudiante:

- Valora la utilidad de sus conocimientos adquiridos en clase, así como la responsabilidad inherente al uso adecuado de tales conocimientos.
- Se introduce de manera natural en el manejo de conceptos teóricos del cálculo diferencial, tras la necesidad de emplearlos para dar solución a un problema real.
- Tiene la oportunidad de visualizar una de las opciones para desempeñarse en su futuro quehacer profesional y puede apreciar la relación existente entre las diferentes disciplinas de la ciencia para poder realizar el desarrollo de un proyecto en particular.
- Se eleva su calidad de aprendizaje pues permanece motivado durante todo el curso, en parte por la construcción de un robot autónomo y la posibilidad de controlar su funcionamiento a través de la programación.
- Despierta un interés por la investigación y la búsqueda de soluciones que generen nuevo conocimiento.
- Desarrolla actitudes como: honestidad, respeto, creatividad y responsabilidad.

En cuanto al profesor, renueva su compromiso por estar actualizado y el grado de satisfacción del profesor respecto al proceso enseñanza aprendizaje es mucho mayor.

Algunos problemas que pueden ser considerados desventajas y se presentaron durante la impartición del curso fueron los siguientes:

- El tiempo para cubrir la totalidad del contenido de la asignatura aumenta considerablemente debido a los mini cursos de Matlab y robótica con LEGO que el alumno tomó dentro de la asignatura de cálculo diferencial.
- Los alumnos tienen una mayor carga de trabajo, debido a los cursos extras y por el proyecto que tienen que desarrollar.
- El profesor requiere invertir tiempo en investigar técnicas de enseñanza, tecnología y las competencias profesionales del futuro egresado.

## 7 Conclusiones y Trabajo Futuro

Se ha demostrado que la utilización de las tecnologías de información y comunicación (TIC) empleadas como una herramienta adicional para la docencia, mejoran la atención del estudiante y, también, la productividad del maestro. Pero el uso de la tecnología en la educación no se limita sólo a las TIC, ahora ya se pueden incorporar en el salón de clases elementos como robots, cámaras digitales, lenguajes de programación o circuitos eléctricos. Éstas tecnologías junto con técnicas dinámicas de enseñanza permiten activar procesos cognitivos en el alumno, lo cual propicia un aprendizaje significativo, debido a que cuando se construye un laboratorio simulado, es posible aumentar el conocimiento mediante la aplicación de procesos similares al método científico: formulando hipótesis sobre un fenómeno y poniendo a prueba estas hipótesis mediante experimentos, toda esta experiencia será el cimiento para los futuros desarrolladores de ciencia y tecnología.

La experiencia descrita ha sido muy productiva. Sin embargo se podría mejorar en algunos aspectos, tales como:

- Impartir los cursos de Matlab y Robótica con LEGO dentro del curso propedéutico obligatorio que toman los alumnos de primer ingreso, así no sería necesario ocupar el tiempo establecido para cubrir el contenido de la asignatura.
- Tener un abanico más amplio de ejemplos de problemas reales en los cuales se puedan desarrollar proyectos que involucren el cálculo y la tecnología. De esta manera el grado de interés sería mayor y podrían ajustarse un poco más a los intereses particulares de más alumnos.
- Elaborar un guión de trabajo de todo el curso, y que el alumno lleve una bitácora de las actividades que va realizando para que sea consciente de sus logros. Sería una manera de introducirlos en la metodología de la investigación.

Actualmente se está trabajando en la utilización de robots, software matemático y la estrategia de enseñanza aprendizaje basado en proyectos en asignaturas del corte instrumental o básico, tales como Cálculo Vectorial, Probabilidad, Estadística Inferencial, etc, pues se ha constatado que utilizando los ejemplos adecuados se consiguen óptimos resultados. En un futuro próximo se pretende extrapolar esta experiencia a cursos de nivel medio-superior, donde sería muy sencillo y productivo, sobre todo en asignaturas como cálculo, geometría, física, trigonometría entre otras.

Por otra parte, se continuará utilizando el software computacional Matlab, además de cámaras digitales y la estrategia de enseñanza denominada aprendizaje basado en proyectos para impartir la asignatura de cálculo integral.

## Referencias

1. Dájer, A., Barrera, M., Aguilar, Z., Escoffíé E., Góngora, E., Pinto, J., Castro M., González P., Cortés V.: Modelo educativo y académico. UADY, México (2000)
2. McMaster University, <http://www.chemeng.mcmaster.ca/pbl/pbl.htm>
3. Universidad de Aalborg, <http://adm.aau.dk/faktekn/aalborg/engelsk/index.html>.
4. Thomas J.: A Review of Research on Project-Based Learning. Tesis Doctoral, Buck Institute for Education. California (2000)
5. Woods D., Felder R., Garcia A., Stice J.: The future of engineering education III. Developing Critical Skills. Chem. Engr. Educ., 34, 108--117 (2000)
6. Barg M., Fekete A., Greening T., Hollands O., Kay J., Kingston J.: Problem-based learning for foundation computer science courses. Comp. Sci. Educ. 10:2, 109--128 (2000)
7. Hung D.: Situated cognition and problem-based learning: Implications for learning and instruction with technology. Interactive Learning Research. 13:4, 393--414 (2002)
8. Noguez J., Espinosa E.: Using a Portfolio for the Didactical Technique Project Oriented Learning in some Computer Systems Subjects at ITESM-CCM. 47th World Assembly: Teacher Education and the Achievement Agenda, Amsterdam (2002)
9. Druin A., Hendler J.: Robots for kids: Exploring new technologies for learning. Academic Press. San Diego, CA (2000)
10. Chiou A.: Teaching technology using educational robotics. In: Proc. 2nd International Conference on Autonomous Robots and Agents, pp. 13--15. New Zealand (2004)
11. Doswell J., Mosley P.: An innovative approach to teaching robotics. In Proc. 6th IEEE Int. Conf. on Advanced Learning Technologies, pp. 1121--1122. Kerkrade, Netherlands (2006)
12. Gawthrop P., McGookin E.: A Lego-based control experiment, IEEE Cont. Sys. Mag., 24:5, pp 43--56 (2004)
13. Gawthrop P., McGookin E.: Using Lego in control education. In Proc. 7th IFAC Symp. Advances in Control Education, pp. 31--38. Madrid, Spain (2006)
14. Aliane N., Bemposta S., Fernández J., Egado V.: Una experiencia práctica de aprendizaje basado en proyecto en una asignatura de robótica. Actas de las XIII Jornadas de Enseñanza universitaria de la Informática, pp. 139--144. Madrid, España (2007)
15. Miglino O., Autop H., Cardaci M.: Robotics as an Educational Tool. In Journal of Interactive Learning Research 10:1, 25-48 (1999)
16. Hung, D.: Situated cognition and problem-based learning: Implications for learning and instruction with technology. Interactive Learning Research, 13:4, pp. 393--414, (2002)
17. Piguet Y., Mondada F., Siegwart R.: Hands-on mechatronics: Problem-based learning for mechatronics. In Proc. IEEE Inter. Conf. on Rob. Autom. Washington D.C., USA, (2002)
18. Mingyang G.: A Case to do empirical study using educational project, Journal of Issues in Informing Science and Information Technology, 1:1, pp. 509--520, (2004)
19. Spong M.: Project based control education. In Proc. 7th IFAC Symp. Advances in Control Education, pp. 40--47. Madrid, Spain, (2006)
20. Eduteka, En pro de los computadores, <http://www.edutaka.org/ProComputadores.php>
21. Eduteka, <http://www.eduteka.org/SeisElementos.php>
22. Servicio Oftalmológico Láser Méx., <http://www.ofthalmologialaser.com.mx/SobreLasik.htm>