

# Ejercicios de Laboratorio Ambientalizados: Un Recurso Docente para la Sostenibilidad en Materias de Informática Industrial

Antoni Grau y Yolanda Bolea

Dpto. de Ingeniería de Sistemas, Automática e Informática Industrial, Universidad Politécnica de Catalunya, UPC  
e-mail: {antoni.grau, yolanda.bolea}@upc.edu

## Resumen

Desde que la Universidad Politécnica de Cataluña, UPC, aprobó el segundo Plan de Medio Ambiente en 2002, se ha elaborado un Plan de Ambientalización Curricular con el fin de introducir aspectos medioambientales dentro de sus actividades docentes, reconsiderando los contenidos (teóricos, ejercicios, problemas y prácticas) y su didáctica. Para ello se han realizado diferentes acciones tales como la creación de recursos docentes y herramientas para que los profesores tengan un modelo a seguir. Uno de estos recursos es la ambientalización de las prácticas de laboratorio en diferentes áreas de conocimiento impartidas en las escuelas y facultades de la UPC. En este artículo se explican la motivación, los objetivos y la metodología llevada a cabo para elaborar dichas prácticas de laboratorio. Además, en concreto, se describen algunas de estas prácticas, como complemento a la enseñanza de la informática, que los autores han desarrollado.

## 1. Introducción

En las últimas décadas se ha ido abriendo paso la idea de que los problemas ambientales no son sólo problemas de naturaleza sino, sobretodo problemas humanos. La crisis ambiental tiene una dimensión social que empieza a ser reconocida de forma general. Y esto supone la revaloración de una educación que capacite a las personas para abordar los conflictos, imaginar o reconocer salidas profesionales y personales y ponerlas en la práctica, tanto de forma individual como de forma colectiva. Las sociedades, a lo largo de la historia de la humanidad, han tenido una relación muy estrecha con el medio. Una relación de doble sentido: las personas influyen en el entorno y éste condiciona a su vez su modo de vida. Resolver los problemas ambientales (el efecto invernadero, el agujero en la capa de ozono, la desertización, el

agotamiento de recursos, la pobreza, el reparto injusto de la riqueza...) o, mejor aún, prevenirlos, implica la necesidad de ir cambiando cada acción, de manera que se modifiquen los efectos de nuestra actividad individual y colectiva tanto a nivel profesional como personal, para así obtener un nuevo mosaico de fuerzas encaminadas en una dirección distinta: 'la sostenibilidad'. Por tanto, se deben asumir responsabilidades desde todos los ámbitos sociales. Es preciso afrontar el reto de construir un nuevo modelo de sociedad sostenible en lo ambiental y equitativa en lo social. Cuando la degradación del medio empieza a ser entendida como un problema social surge como respuesta la Educación Ambiental [lib06].

Debido a la crisis actual que sufre el Planeta, la educación ambiental se ha consolidado en muchos ámbitos: en las diferentes administraciones, en el sistema educativo (educación infantil, secundaria, bachillerato, estudios de primer, segundo y tercer ciclo), en las asociaciones ciudadanas, etc. En concreto, la Universidad debe ser consecuente (también en educación ambiental) con sus tres funciones sociales: la investigación, la formación y la producción del pensamiento crítico. Es decir, se persigue una sociedad donde los profesionales de diferentes áreas que tienen un papel relevante y decisivo tomen decisiones y realicen acciones que tengan en cuenta el desarrollo sostenible, la calidad de vida y la solidaridad. Por este motivo, la UPC, junto con el gobierno autonómico, ha diseñado el Segundo Plan de Medio Ambiente 2002-2006 [med02], que potencia el proceso de 'ambientalización' integral de la Universidad en diferentes aspectos: 1) ambientalización curricular de las diferentes titulaciones; 2) prestar atención a la formación ambiental del profesorado de nuestras universidades; 3) promover la investigación, cooperación y coordinación entre los departamentos universitarios, las distintas universidades, la universidad y el resto de niveles educativos, la universidad y las empresas, etc.; 4)

desarrollar propuestas para ambientalizar la universidad a través de ecoauditorías, actividades de sensibilización, comisiones para el campus (de movilidad, residuos, zonas verdes, etc.).

En este artículo nos centraremos en el primer punto (ambientalización curricular de planes de estudios). Trataremos, pues, sobre los objetivos, la metodología de la elaboración y la descripción de un proyecto educativo llamado MODEL, Manual Operativo de Diseño de Ejercicios de Laboratorio Ambientalizados.

## 2. Objetivos

El principal objetivo de la ambientalización curricular es conseguir que los profesores incorporen en sus asignaturas las consideraciones sobre sostenibilidad que hacen referencia a las materias que imparten, tanto de una manera formal (explicando estos aspectos en sus clases) como de una manera implícita (transmitiendo a los estudiantes la importancia de ser respetuosos con el medio) [cap97]. En ningún caso se pide a los profesores que sustituyan los conceptos que imparten en pro de añadir conceptos sobre medio ambiente, sino que se desea que estos conocimientos sean integrados dentro de los conocimientos básicos de cada asignatura o materia. De este modo, el alumnado interesado, puede conseguir cursar las asignaturas específicas de las carreras científico-técnicas con unas bases suficientemente sólidas sobre medio ambiente. Los autores de este artículo llevan ya varios años trabajando en la introducción de la educación sostenible dentro de las materias, que podemos llamar, regulares en las carreras científico-técnicas, [gra98][gra02]. Para que los profesores puedan incluir, en la impartición de sus asignaturas, estos conocimientos se han elaborado materiales didácticos sobre aspectos teóricos, [gra06]. Asimismo, se han elaborado también casos prácticos, problemas y ejercicios que complementan los aspectos más teóricos, [gra04]. El proyecto MODEL tiene por objetivo ser un catálogo de prácticas de laboratorio de diferentes materias con el denominador común de la ambientalización de los conocimientos que abarca. Pretende ser un manual destinado a profesores que quieran integrar en sus laboratorios aspectos relacionados con la generación de residuos, ahorro de energía, reciclado y reutilización de materiales diversos, etc.

En este caso, los efectos generados pueden ser más notorios ya que las prácticas de laboratorio constituyen una aproximación a la realidad tecnológica, en las que a menudo hay una importante relación e interacción con la ecología y el desarrollo sostenible.

Por tanto, en el proyecto MODEL se trata de:

- Elaborar una colección de prácticas de laboratorio ambientalizadas de las diferentes áreas: arquitectura, electrónica, agricultura, informática, mecánica, obras públicas, ingeniería química, ingeniería de materiales, entre otras. Dichas prácticas se presentarán tanto en un libro como en un CD para así facilitar lo máximo posible la ayuda a los profesores interesados en el tema.
- Establecer una metodología que ayude a abordar el rediseño de prácticas de laboratorio y que permita hacer más sostenibles prácticas de diferentes áreas de conocimiento que en un principio se desarrollaron sin dar demasiado énfasis a los aspectos medioambientales.

Los autores coordinan, además, la edición del CD, junto con la Oficina de Medio Ambiente de la UPC y el Dpto. de Medio Ambiente de la Generalitat de Catalunya.



Figura 1. Pantalla inicial del CD del proyecto MODEL

## 3. Metodología

La ambientalización de los estudios en el área de la informática no difiere de la ambientalización de cualquier otra materia, ya que no se modifican los conceptos y descriptores básicos de las

asignaturas, sino que se incorporan criterios de sostenibilidad en la teoría, ejercicios, problemas y sesiones prácticas. En esta sección nos centraremos en las principales pautas para poder llevar a cabo unas prácticas de laboratorio ‘para la sostenibilidad’ (es decir, con una aplicación sostenible y/o una solución sostenibilizadora) con la consecuente sensibilización y formación del alumnado. La ambientalización curricular de las asignaturas no es diseñarlas pensando en que los estudiantes serán profesionales en medio ambiente. Se trata, pues, de plantear prácticas similares a las que se suelen hacer pero que tanto por los objetivos, el enunciado o la forma de proceder tengan connotaciones y mejoras ambientales y supongan una sensibilización y/o formación del alumnado. El proyecto MODEL está abierto a todas las áreas de conocimiento tecnológicas ya que de alguna u otra forma suponen un impacto para nuestro entorno.

Se han establecido indicadores comunes que ayuden a evaluar las mejoras conseguidas en aquellas prácticas que se ambientalicen. Los indicadores tienen en cuenta los siguientes aspectos: consumo de recursos y de energía, generación de residuos, reciclado y reutilización de materiales, emisiones de tipos diferentes, ruido e impacto social y económico.

Por razones obvias, a continuación sólo se describen algunas de las prácticas de laboratorio dentro del área de informática, que han desarrollado los autores de este artículo. Estas prácticas se impartirán en los próximos cuatrimestres en la Facultad de Informática de Barcelona (FIB) y la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Barcelona (ETSEIB).

#### 4. Descripción de las prácticas del área de Informática

Son muchas las áreas que cubre la informática, y por este motivo en el proyecto MODEL sólo se recogen por el momento aquellas áreas que son afines a los autores. En este caso se plantean prácticas en: 1) visión por computador, 2) simulación y modelado, 3) robótica; las cuales pueden ser propuestas en diferentes asignaturas. Se han escogido estas prácticas también por su inmediata aplicación industrial y la mejora que puede suponer para el medio natural la aplicación de ciertas técnicas o procesos industriales.

##### 4.1. Práctica 1. Visión por Computador: Identificación de componentes en una placa de circuito impreso para su desensamblado.

**Palabras clave:** Reciclaje, reutilización, recogida selectiva, desensamblado industrial, e-residuos.

**Asignaturas:** Visión por computador, visión artificial.

**Carga de horas:** 8 horas

**Nivel de la práctica:** últimos cursos de las ingenierías superiores y técnicas industrial e informática (de sistemas y de gestión).

##### I. Introducción y objetivos

El número de e-residuos, residuos que provienen de equipos electrónicos, cada día son más numerosos a causa de la creciente demanda y, principalmente del corto ciclo de vida útil a que estos equipos están sometidos por razones comerciales. Los avances tecnológicos hacen que aparezcan nuevos equipos con mejores prestaciones mucho antes de que el equipo anterior esté amortizado, tanto económica como técnicamente. Esto provoca que muchos equipos (ordenadores y equipos informáticos, reproductores de vídeo, DVD y CD, televisores, aparatos de Hi-Fi, entre otros) pasen a agrandar la lista de residuos que se han de gestionar adecuadamente priorizando el reciclaje.

El objetivo principal de la práctica es mostrar a los alumnos que gracias a un proceso automático de visión por computador es posible separar componentes electrónicos que pueden ser reutilizados por aplicaciones posteriores, se pueden reciclar para otros usos o se pueden aislar para ser tratados y eliminar aquellas partes nocivas que no pueden ser tratadas como residuos ordinarios. Para conseguir este objetivo de marcado aspecto ambiental, las imágenes digitales habrán de ser analizadas para localizar e identificar los diferentes componentes que hay sobre una placa de circuito impreso. Estos componentes pueden ser electrónicos, mecánicos y electromecánicos.

##### II. Desarrollo

Para realizar la práctica se usará Matlab<sup>®</sup>, y concretamente la *Image Processing Toolbox* [gon04], a partir de la versión 3.1 (R12.1).

II.1 - Especificaciones de entrada.

Las imágenes de entrada pueden obtenerse de diversas fuentes, en función del *hardware* de que se disponga y del grado de dificultad de la práctica.

Opción 1 – Grado de dificultad bajo. La imagen habrá sido obtenida en un proceso *off-line* con cualquier medio o hasta se puede obtener de Internet. El único requisito es que la imagen esté codificada con algún estándar de imagen reconocido por Matlab.

Opción 2 – Grado de dificultad alto. Si se dispone de una cámara webcam, mediante conexión USB, se puede usar la captura *on-line* a través de la librería *vcapg2.dll*. El siguiente código muestra en una ventana la imagen *on-line* que se recibe desde la cámara vía USB, el cual podrá o no darse al alumno según el nivel que se quiera imprimir.

```
% Modalidad inicialización
clear all;
cardnum=vcapg2;
% usualmente el dispositivo de captura
% de video es el número 1
% Modalidad captura
aa=vcapg2;
% captura la imagen de la cámara
imshow(vcapg2);
waitforbuttonpress;
```

Hace falta preparar un escenario para que la adquisición de las imágenes nos resulte más sencilla así como el primer procesado de la imagen. También hará falta calibrar la cámara con el fin de obtener el valor *pixel/mm* que relaciona una distancia en píxeles con la que se corresponde en milímetros.

## II.2 - Especificaciones de salida.

Como resultado de la práctica se espera una lista de ítems que indicarán la posición relativa de cada componente localizado sobre la placa así como una etiqueta identificativa que indica de qué componente se trata. El formato propuesto es el siguiente:

```
Componente i < $x_{Ci}$ ,  $y_{Ci}$ > <max_radio>
<eje_min_inercia> <id>
```

Para cada componente *i* se da su centro de gravedad sobre el plano X-Y y *max\_radio*, el máximo radio o máxima semi-diagonal según se trate de objetos circulares/elípticos o poliédricos (rectángulo envolvente), respectivamente. También se habrá de calcular el eje de mínima inercia (eje de simetría), suponiendo que la placa está bien alineada con la máxima arista a 0° (en

realidad es fácil hacer esta suposición ya que el alineamiento es mecánico), ver Figura 2. La etiqueta *id* se obtiene de una lista de componentes que forma parte del enunciado de la práctica.

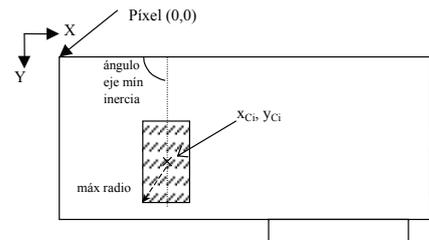


Figura 2. Representación gráfica de los valores de salida

Se aconseja el uso de este formato para la salida de resultados porque hace falta pensar en que el proceso de visión es un paso más en la cadena del desacoplamiento, y a continuación vendría un elemento robótico que habrá de coger el componente mientras se desolda de la placa. Por tanto, la pinza del robot necesita tener el centro de gravedad entre los dos dedos, y además, hace falta saber el radio y el ángulo en el punto más alejado para orientar la pinza y saber la abertura que ha de presentar.

Las coordenadas del centro de gravedad de todos los componentes localizados están expresadas en píxeles y referenciadas en el vértice superior izquierdo de la placa, que corresponde al píxel (0,0).

## II.3. Pasos a seguir.

Aunque la solución a muchos de los problemas de visión artificial no es única, para esta práctica se propone un guión que puede facilitar su resolución:

- Paso 1. Lectura de la imagen.
- Paso 2. Re-escalado de la imagen.
- Paso 3. Detección de los componentes.
- Paso 4. Llenar agujeros.
- Paso 5. Dilatación de la imagen.
- Paso 6. Llenar espacios interiores.
- Paso 7. Eliminar las regiones conectadas en la frontera.
- Paso 8. Suavizar los objetos.
- Paso 9. Cálculo de ciertos momentos para la identificación de los componentes (área, perímetro, compacidad, ejes de inercia...)

## II.4. Aplicación de heurísticas.

Como en muchas aplicaciones donde la visión artificial tiene un papel relevante, se permite el uso de heurísticas para facilitar el proceso de identificación. Unos ejemplos serían que si se detecta un rectángulo justo al lado del límite de la placa, este no puede ser un circuito integrado sino que, con gran probabilidad, será un conector; el componente que se detecte bajo de la placa, con gran probabilidad será el conector del bus (PCI, EISA...) y por tanto ya no hace falta analizar aquella área de la placa. El alumno podrá proponer todas aquellas heurísticas que permitan identificar mejor los componentes localizados en la placa.

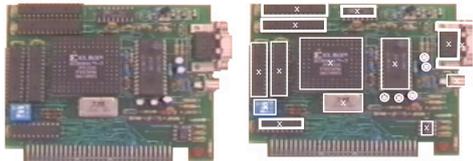


Figura 3. Ejemplo de detección de componentes y dispositivos. Izquierda: imagen de entrada; derecha: componentes segmentados contorneados

#### 4.2. Práctica 2. Simulación y modelado: Modelado de un canal de riego.

**Palabras clave:** Modelado de un canal de lámina libre, sistemas hidráulicos, distribución eficiente del agua, ahorro de agua, mejor producción de cultivos.

**Asignaturas:** Modelado y simulación de sistemas dinámicos, Simulación de sistemas dinámicos.

**Carga de horas:** 16 horas.

**Nivel de la práctica:** Últimos cursos de las ingenierías superiores y técnicas industrial y química.

##### I. Objetivos

El agua es un bien escaso que se ha de gestionar eficazmente. Una de estas utilidades es la agrícola, que absorbe del orden del 80% del consumo de agua en nuestro país. Es en este contexto, donde la gestión de los sistemas de distribución de agua entre la fuente de suministro y los usuarios adquiere gran importancia. Por tanto, en estos últimos años la incorporación de los elementos de control en la distribución del agua ha jugado un papel decisivo en su ahorro. Antes de hacer el análisis, el estudio del comportamiento y el diseño

de control de un sistema real, es conveniente hacer pruebas en un simulador que describa de la mejor manera la dinámica del proceso a controlar, en este caso el movimiento del agua. De esta manera, una vez se han comprobado y verificado diferentes algoritmos de control sobre el simulador, ya se está en condiciones de hacer una elección más adecuada del controlador según unos criterios de control deseados (que dependen de la aplicación), y hacer la implementación en el canal de riego.

El objetivo principal de la práctica es modelar la dinámica de un canal de riego para reproducir la dinámica de este sistema de la manera más precisa posible. Este sistema es de parámetros distribuidos y se puede describir mediante ecuaciones en derivadas parciales no lineales. Estas ecuaciones se resolverán a partir de métodos numéricos.

##### II. Metodología

Para realizar la práctica se usará Matlab<sup>®</sup>, y concretamente la *toolbox Simulink* [dya02] a partir de la versión 4.1 (R12.1), que trata con sistemas no lineales.

###### II.1. Planteamiento del problema.

Se trata de modelar de la manera más precisa posible el movimiento del agua en un tramo de canal de riego con las siguientes características: una longitud  $L = 2$  km, un caudal inicial  $Q_0 = 1$  m<sup>3</sup>/s, una compuerta aguas arriba con un coeficiente de compuerta  $C_{dc} = 0.6$ , un coeficiente de rugosidad de Manning  $n = 0.014$ , sección rectangular de anchura  $B = 2.5$ m, un vertedero aguas abajo de altura  $y_{vert} = 0.7$  m, un coeficiente de vertedero  $C_{dv} = 2.3$  y una pendiente del canal  $I_0 = 5 \cdot 10^{-4}$ .

###### II.2. Descripción del problema

El fenómeno de la propagación en un riego natural está gobernado por las leyes habituales de la hidráulica. Para el modelado más preciso completo y detallado posible de un canal de riego se utilizan las ecuaciones de Saint-Venant [lit03]:

- Ecuación de la conservación de la masa:

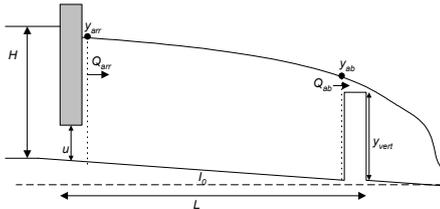
$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

- Ecuación de la conservación de la energía:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial Q^2}{\partial x A} + gA \frac{\partial y}{\partial x} - gA(I_0 - I_f) = 0$$

donde  $Q = Q(x,t)$  es el caudal [m<sup>3</sup>/s],  $y = y(x,t)$  es el nivel [m],  $A = A(x,t)$  es el área mojada [m<sup>2</sup>],  $t$  es

la variable de tiempo [s],  $x$  es la variable espacial [m] medida en la dirección y el sentido del movimiento,  $g$  es la aceleración de la gravedad [ $m/s^2$ ],  $I_0$  es la pendiente del canal,  $I_f$  es la pendiente de fricción.



- Esquema de un canal de riego

La planta a modelar (Figura 4) es un tramo de canal de riego de longitud  $L$  y pendiente  $I_0$ , que aguas arriba dispone de una presa de nivel ( $H$ ) constante con una compuerta de apertura variable  $u$ , y de un vertedero aguas debajo de nivel ( $y_{vert}$ ). Por tanto, las ecuaciones de las condiciones de contorno son

1. la ecuación de la compuerta:

$$Q_{arr} = C_{dc} \sqrt{2g} B u \sqrt{H - y_{arr}}$$

2. la ecuación del vertedero

$$Q_{ab} = C_{dv} B (y_{ab} - y_{vert})^{3/2}$$

donde  $Q_{arr}$  es el caudal aguas arriba,  $Q_{ab}$  es el caudal aguas abajo,  $y_{arr}$  es el nivel aguas arriba,  $y_{ab}$  es el nivel aguas abajo,  $C_{dc}$  es el coeficiente de compuerta,  $C_{dv}$  es el coeficiente del vertedero y  $B$  es la anchura del canal. Como hemos dicho antes, las ecuaciones de Saint-Venant no tienen solución analítica, y entonces se resuelven mediante métodos numéricos como el método de las características, el método de Preissman, etc.

## II. 3. Pasos a seguir.

Paso 1. Modelación del canal de regadío mediante un sistema de ecuaciones de Saint-Venant.

Paso 2. Resolución de este sistema de ecuaciones mediante el método numérico de las características.

Paso 3. Se ha de desarrollar un bloque en *Simulink* mediante una *S-Function*.

Paso 4. Análisis y validación del modelo que representa al sistema real (Figura 5). Este paso nos sirve para verificar que el modelo empleado representa de una manera fiel la dinámica de la planta real y que por tanto nos servirá de simulador para predecir los comportamientos que

tendrá el sistema real delante de diferentes escenarios de trabajo y distintos puntos de operación.

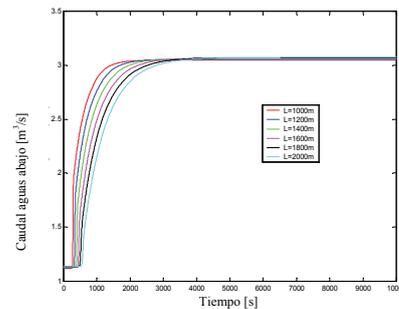


Figura 4. Dinámica del canal de riego estudiado. Caudal aguas abajo en el punto de operación  $u=0.2m$  para diferentes valores de  $L$

## 4.3. Práctica 3. Robótica: Construcción de un robot móvil autónomo ecoeficiente.

**Palabras clave:** ecoeficiencia, materiales reutilizables, reciclaje y reuso.

**Asignaturas:** Robótica, Robótica industrial, Informática Industrial.

**Carga de horas:** 30 horas.

**Nivel de la práctica:** últimos cursos de las ingenierías superiores en industriales, telecomunicaciones e informática, así como en las ingenierías técnicas industriales e ingenierías técnicas en informática de sistemas.

### I. Objetivos

El objetivo principal de la práctica consiste en construir un robot móvil autónomo con capacidad para recorrer su entorno, analizarlo detectando los obstáculos, creando un mapa de navegación y comunicarse bidireccionalmente con otros equipos para la transmisión de ese mapa.

El criterio principal para cubrir los objetivos anteriores es la ecoeficiencia desde todos los puntos de vista. Todos los elementos, desde la selección de los materiales hasta el programa de control, pasando por las baterías, los motores y las etapas sensoriales, deben estar diseñadas para que se puedan reutilizar, reciclar y que impliquen un gasto energético mínimo para el robot. Un criterio secundario es que el robot sea de bajo coste, lo que también implica unas decisiones de diseño determinadas.

## II. Metodología

Los aspectos que intervienen en la construcción de un robot móvil básicamente son:

- Materiales para construir el robot y su diseño.

Es interesante plantear al alumno que elabore una tabla como la que se muestra a continuación, en la cual debe hacer una lista de los materiales con los cuales uno podría construir el robot (plástico, madera, aluminio...), junto con las ventajas e inconvenientes de su uso y su método de elaboración. De esta forma, es importante ver cuales son los materiales más costosos para el medio ambiente y cuales son los más sencillos de reciclar o reutilizar. Después de analizada toda la lista, se debe escoger un material o una combinación de ellos para montar el robot.

Material	Comentario	Ventajas	Inconvenientes

Tabla 1. Lista de materiales a elaborar por el alumno para la construcción del robot

- Parte mecánica: motores, *encoders*, ruedas motrices y directrices.
- Parte eléctrica: etapa de potencia para los motores. Este es un buen momento para hablar del consumo de los motores y de las diferentes fuentes de energía que existen para la generación de electricidad. Estas reflexiones apoyadas de datos fiables ayudan a crear un mapa mental al alumno sobre la necesidad de fuentes de energía renovable frente a las de combustible fósil.
- Parte electrónica:
  - microcontrolador: se suministra a todos los alumnos la placa ESAIL-MicroBot hecha a medida en el departamento, la cual está basada en un microcontrolador 80C552 con un *core* de i8031 de Intel. Se ha escogido esta placa porque dispone de todos los elementos periféricos necesarios. La placa va acompañada de un programa cargador (ESAIL-LoaderBot) que permite la bajada de ejecutables sobre la memoria flash de la placa sin necesidad de sacar la EPROM.
  - sensores: principalmente contactos, infrarrojos, ultrasonidos. Los alumnos deben ver que con sensores de bajo coste es posible diseñar y montar plataformas, sin necesidad de sobredimensionar los equipos.
  - comunicaciones: inalámbricas por radio, o infrarrojos.
- Baterías. Aquí se puede aprovechar para explicar los diferentes tipos de pilas y baterías que existen, así como los elementos que las componen y sus propiedades de consumo, recarga, precio y reciclaje. Que sea el alumno que escoja el modelo que crea más adecuado. Una variante a las pilas recargables para el robot son los paneles solares. Esto obliga al robot a moverse en entornos abiertos, lo que dificulta el aspecto docente (laboratorios cerrados) pero deja la puerta abierta a aquellos alumnos que desean montar el robot fuera de horas lectivas. Existen paneles solares de poco peso y que conectados adecuadamente dan la tensión y corriente eléctricas suficientes para recargar las baterías que mueven el robot. Los montajes con pilas de hidrógeno requieren otro tipo de diseño no válido para esta exposición.
- Programa del microcontrolador: *firmware*. Desarrollo por capas. Rutina de control. El programa que regirá el comportamiento del robot tiene a su vez una gran importancia sobre el impacto en la ecoeficiencia, lo cual debe trasladarse al alumno, rompiendo el tabú de que sólo el hardware gasta: una mala programación puede arruinar un buen diseño mecánico y electrónico. Para que el robot sea ecoeficiente debe, durante su vida útil, ocasionar un gasto mínimo de energía y de sus elementos (mecánicos y electrónicos) mediante el cálculo de la trayectoria óptima, arrancada y paro suaves, consumo de energía mínimo, etc. Para ello se deberá programar el microcontrolador para que se implemente un control óptimo en cuanto al esfuerzo de control. De hecho este control consiste en diseñar un controlador (cálculo de sus parámetros, por ejemplo en el caso del PID se han de sintonizar:  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$ ) que minimice un índice de comportamiento o función de coste ( $J$ ) determinado por el ingeniero de control. En nuestro caso se desea minimizar el consumo de energía en el movimiento del robot; esto se puede representar mediante el diseño de un controlador que minimice una función de coste como

$$J = \int_0^t u(t)^2 dt$$

donde  $u$  es la señal de control, o sea el consumo de energía de los motores.

En la Figura 6 se muestran un par de robots diseñados e implementados mediante criterios ecoeficientes.

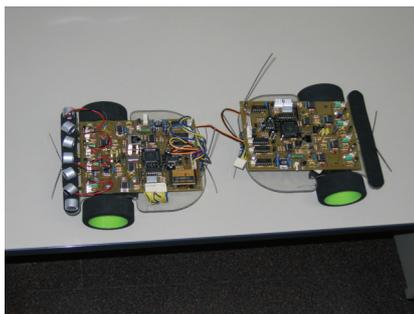


Figura 5. Robots diseñados con criterios ecoeficientes

## 5. Conclusiones

A partir del Segundo Plan de Medio Ambiente, la UPC ha elaborado materiales destinados al profesorado que desee incorporar conceptos, nociones y ejemplos de sostenibilidad sobre la materia que imparte. La última iniciativa de este tipo ha sido elaborar unas prácticas de laboratorio, proyecto MODEL, para aproximar más la tarea de ambientalización de las asignaturas a la realidad tecnológica.

Los resultados que se persiguen son los siguientes:

- Rediseñar prácticas de laboratorio que actualmente se están ejecutando en las universidades, de forma que disminuya su impacto ambiental al mismo tiempo que se incrementa su contenido pedagógico.
- Generar nuevos contenidos para la web *e-Ambit* [url1], que es el espacio virtual de recursos para la ambientalización curricular diseñado por la UPC.
- Generar un efecto diseminador, tanto a nivel interno como externo, de los valores de la sostenibilidad.

La modificación principal que la impartición de dichas prácticas de laboratorio supone es el acercamiento de los alumnos universitarios a aplicaciones tecnológicas reales que requieren una

visión sostenible para que después estos futuros profesionales contribuyan a mejorar el entorno y a prevenir y solucionar los actuales problemas ambientales. Pero cabe decir que los criterios de sostenibilidad que los alumnos van adquiriendo a través de la educación ambiental no sólo son habilidades sino más bien actitudes y valores, y sólo a la larga se demuestra como dichas actitudes se llevan a la práctica en la actividad que desarrollarán estos alumnos (informáticos, después) en su vida laboral (y privada también).

## Referencias

- [cap97] Capdevila, I., *La ambientalización de la Universidad*, Monografías de educación ambiental, 1997.
- [dya02] Dyakonov, V.P., *Simulink 4: Special Handbook*, Piter, 2002.
- [gon04] Gonzalez, Woods, & Eddins, *Digital Image Processing Using MATLAB*, Prentice Hall Ed., 2004.
- [gra98] Grau, A. y García, M.J., “Impacto ambiental de la electrónica”, *Medio ambiente y tecnología*, Ed. Politext, Edicions UPC, 1998.
- [gra02] Grau, A. y Bolea, Y., “Plan de ambientalización curricular”, *Report interno ESAIL-RT-02-02*, (en catalán), UPC, 2002.
- [gra04] Grau, A., Bolea, Y., Gámiz, J., Domingo, J. y Martínez, H., *Casos prácticos de ambientalización curricular*, Material multimedia, Ingeniería de Sistemas y Automática, UPC, 2004.
- [gra06] Grau, A., Bolea, Y., Gámiz, J., Domingo, J. y Martínez, H., *Sostenibilidad y Automática*, Edicions UPC, 2006.
- [lib06] *Libro blanco de la educación ambiental en España*, Ministerio de Medio Ambiente, 2006.
- [lit03] Litrico, X., Fromion, V., Baume, J.-P. and Rijo, M., “Modelling and PI Control of an Irrigation Canal”, *European Control Conference*, Cambridge (UK), 2003.
- [med02] *2º Plan de Medio Ambiente 2002-2006*, Oficina del Plan de Medio Ambiente, UPC.
- [url1] <http://www.biblioteca.upc.es/e-ambit>