

**CEDI 2007**  
II CONGRESO ESPAÑOL  
DE INFORMÁTICA  
Nuevos retos  
científicos y tecnológicos  
en Ingeniería Informática  
**ZARAGOZA SPAIN**  
DEL 11 AL 14 DE SEPTIEMBRE

---



**V JORNADAS DE ENSEÑANZA  
A TRAVÉS DE INTERNET/WEB DE  
LA INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA  
EIWISA'2007 (CEA)**

**EDITORES**

Fernando Torres Medina  
Óscar Reinoso García

**ORGANIZADAS POR**

Comité Español de Automática de la Internacional Federation of  
Automatic Control (CEA)

**THOMSON**  
—★—™



**ACTAS DE LAS V JORNADAS DE ENSEÑANZA A TRAVÉS DE INTERNET/WEB  
DE LA INGENIERÍA DE SISTEMAS Y AUTOMÁTICA EIWISA'2007**

No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier otro medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros medios, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.

Derechos reservados ©2007 respecto a la primera edición en español, por LOS AUTORES  
Derechos reservados ©2007 International Thomson Editores Spain, S.A.

Magallanes, 25; 28015 Madrid  
ESPAÑA  
Teléfono 91 4463350  
Fax: 91 4456218  
clientes@parainfo.es

ISBN: 978-84-9732-603-2

Depósito legal: M-

Maquetación: Los Autores

Coordinación del proyecto: @LIBROTEX

Portada: Estudio Dixi

Impresión y encuadernación: FER Fotocomposición, S. A.

IMPRESO EN ESPAÑA-PRINTED IN SPAIN

# Presidente del simposio:

Fernando Torres Medina  
Catedrático de Universidad de Ingeniería de Sistemas y Automática-  
Universidad de Alicante

# Comité de programa:

- Sebastián Dormido, Universidad Nacional de Educación a Distancia
- Luis Basañez, Universidad Politécnica de Cataluña
- Alfonso García Cerezo, Universidad de Málaga
- Ramón Galán, Universidad Politécnica de Madrid
- Óscar Reinoso, Universidad Miguel Hernández de Elche
- Manuel Berenguer, Universidad de Almería
- Francisco Andrés Candelas Herías, Universidad de Alicante
- Manuel Domínguez, Universidad de León
- Antonio Grau, Universidad Politécnica de Cataluña



# Presentación

## **Ámbito y objetivos**

Las primeras jornadas EIWISA tuvieron lugar en la Universidad Politécnica de Valencia, las segundas en la Universidad Nacional de Educación a Distancia, las terceras en la Universidad de Alicante. Las IV Jornadas EIWISA ya se enmarcaron dentro del CEDI'05 celebrado en Granada. Con la celebración del CEDI'07, se celebrará la quinta edición de las mismas.

En todas las celebradas se pudo apreciar el alto grado de inquietud que despertaban las nuevas tecnologías de la información en el campo de la Ingeniería de Sistemas y Automática, el buen nivel en que se encontraba la docencia española en relación con estos temas, el deseo generalizado, tanto de mantener foros abiertos de debate, como de la integración de las tecnologías de la información y la innovación tecnológica al ámbito del proceso enseñanza-aprendizaje en general. Aunque las Jornadas están centradas fundamentalmente en las aplicaciones de innovación tecnológico-educativa en el campo de la Ingeniería de Sistemas y Automática, las aportaciones esperadas en las mismas están abiertas a otros campos de conocimiento, en especial, aquellos relacionados con el ámbito de la ingeniería.

## **Temas de interés (“topics”)**

Entre los temas que tienen cabida dentro de este simposio se encuentran los relacionados con:

- Cursos basados en el WWW.
- Laboratorios virtuales basados en el WWW.
- Teleoperación de sistemas físicos y laboratorios.
- Instrumentación virtual.
- Desarrollos software aplicables a la docencia.
- Intercambio de experiencias sobre laboratorios.
- Redes de laboratorios virtuales.
- Herramientas aptas para la aplicación de las nuevas tecnologías a la docencia.

vi V Jornadas de Enseñanza a través de Internet/Web de la Ingeniería de Sistemas y Automática

- Metodologías docentes aplicables a la enseñanza tanto presencial como no presencial, o semipresencial.
- Experiencias de incorporación de innovación tecnológico-educativa en la enseñanza universitaria.
- Simulaciones interactivas.

# Índice General

Propuesta / experiencia de adaptación al Espacio Europeo de Educación Superior basado en un sistema b-learning .....	1
Almudena García Manso, Pilar Moreno Díaz, Jesús Sánchez Allende <i>Universidad Alfonso X el Sabio</i>	
M Laboratorio Remoto para Materias de Ingeniería de Control .....	9
Antoni Grau, Yolanda Bolea, Juan Gámiz, Joan Domingo y Herminio Martínez <i>Universitat Politècnica de Catalunya</i>	
Laboratorio remoto para prácticas de control en tiempo real .....	17
Arantxa Aguilar Pérez, Jesús M. Gómez de Gabriel, Alfonso García Cerezo <i>Universidad de Málaga</i>	
Desarrollo de laboratorios virtuales con aplicación a la enseñanza del control usando Modelica .....	23
Carla Martín-Villalba, Alfonso Urquía y Sebastián Dormido <i>UNED</i>	
Control Remoto de modelos de robots Lego utilizando tecnologías abiertas basadas en Java .....	29
Esteban Gutiérrez Mlot, Juan A. Holgado Terriza, Alberto Márquez Alcoba <i>CERN, Universidad de Granada, NEORIS Corporate R&amp;D</i>	
Aplicación de una plataforma remota de experimentación marina para la obtención de modelos de maniobra de un buque .....	35
Francisco J. Velasco, Elías Revestido, E. López, E. Moyano <i>Universidad de Cantabria, Universidad del País Vasco</i>	
Desarrollo de un sistema de detección de intrusiones y de un simulador de ataques como apoyo a la formación práctica en Seguridad Informática .....	41
Gabriel Díaz Orueta, Heliodoro Menéndez Alegre, María del Rosario Suárez Fernández <i>UNED, Universidad de Oviedo</i>	
Diseño y construcción de una maqueta domótica controlable a través de microcontroladores Java .....	47
Jaime Viúdez Aivar, Juan A. Holgado Terriza <i>Universidad de Granada</i>	
Visualización de sinópticos dinámicos en JavaRegula .....	53
Jesús María Zamarreño Cosme, Oscar Santos Pinto <i>Universidad de Valladolid</i>	

Laboratorio Virtual para las asignaturas de Ingeniería de Sistemas y Automática en Ingeniería Electrónica .....	57
José A. López-Orozco, Bonifacio Andrés-Toro	
<i>Universidad Complutense de Madrid</i>	
Desarrollo de un entorno de experimentación basado en web para estudios de ingeniería: un caso práctico .....	63
J. L. Guzmán, M. Berenguel, F. Rodríguez, H. Vargas, J. Sánchez, S. Dormido	
<i>Universidad de Almería, UNED</i>	
D Laboratorio de control en tiempo real vía Internet usando herramientas open source.....	71
J. Jugo, I. Sagastabeitia, V. Etxebarria	
<i>Universidad del País Vasco</i>	
Prácticas de robótica móvil a través de Internet .....	77
Luis Payá, Arturo Gil, Óscar Reinoso, David Úbeda	
<i>Universidad Miguel Hernández de Elche</i>	
Acceso Remoto a Laboratorios basados en Matlab. Aplicación al Control Borroso de un Motor de Corriente Continua.....	85
M. Vallés, J. L. Díez, J. L. Navarro, A. Valera	
<i>Universidad Politécnica de Valencia</i>	
Laboratorio Virtual para la supervisión y control de maquetas de procesos industriales.....	91
Miguel Damas, Héctor Pomares, Ricardo Quislan, M <sup>a</sup> Victoria Roldán	
<i>Universidad de Granada</i>	
Fichas interactivas para el aprendizaje de la teoría de sistemas lineales.....	97
Josep Fabregas Cornellà, Arnau Doria Cerezo, Ramon Costa Castelló	
<i>Universitat Politècnica de Catalunya</i>	
Ciclope Stars, el observatorio astronómico libre .....	103
Raquel Cedazo, Diego López, Francisco M. Sánchez, José M. Sebastián y Zúñiga	
<i>Universidad Politécnica de Madrid</i>	
Herramientas interactivas para la enseñanza de robótica.....	109
Carlos A. Jara, Francisco A. Candelas, Fernando Torres	
<i>Universidad de Alicante</i>	
Herramienta Polimedia para la Enseñanza Virtual de la Informática Industrial .....	117
Montse Beneyto, Houcine Hassan, Carlos Domínguez, J. Miguel Martínez, Angel Perles, José Albaladejo	
<i>Universidad Politécnica de Valencia</i>	

Análisis, desarrollo y publicación de laboratorios virtuales y remotos para la enseñanza de la automática.....	123
S. Dormido, J. Sánchez, H. Vargas, S. Dormido-Canto, R. Dormido, N. Duro, G. Fariás, M <sup>a</sup> . A. Canto, F. Esquembre <i>UNED, Universidad de Murcia</i>	
Comunicación síncrona de simulaciones interactivas desarrolladas con Easy Java Simulations .....	129
Carlos A. Jara, Francisco A. Candelas, Fernando Torres, Francisco Esquembre, Sebastián Dormido <i>Universidad de Alicante, Universidad de Murcia, UNED</i>	
Integración de sistemas físicos externos en Laboratorio Remoto .....	137
Manuel Domínguez, Juan José Fuertes, Perfecto Reguera <i>Universidad de León</i>	
Internet Visualization of PLCs Programs .....	145
Ramón Piedrafita Moreno, Víctor Larraga Egido, José Luis Villarroel Salcedo <i>Universidad de Zaragoza</i>	
Laboratorio virtual para el aprendizaje del control térmico en edificios .....	153
M. Guinaldo, B. Pérez-Lancho, E. Sanz <i>Universidad de Salamanca</i>	

viii V Jornadas de Enseñanza a través de Internet/Web de la Ingeniería de Sistemas y Automática

Análisis, desarrollo y publicación de laboratorios virtuales y remotos para la enseñanza de la automática.....	123
S. Dormido, J. Sánchez, H. Vargas, S. Dormido-Canto, R. Dormido, N. Duro, G. Fariás, M <sup>a</sup> . A. Canto, F. Esquembre <i>UNED, Universidad de Murcia</i>	
Comunicación síncrona de simulaciones interactivas desarrolladas con Easy Java Simulations .....	129
Carlos A. Jara, Francisco A. Candelas, Fernando Torres, Francisco Esquembre, Sebastián Dormido <i>Universidad de Alicante, Universidad de Murcia, UNED</i>	
Integración de sistemas físicos externos en Laboratorio Remoto .....	137
Manuel Domínguez, Juan José Fuertes, Perfecto Reguera <i>Universidad de León</i>	
Internet Visualization of PLCs Programs .....	145
Ramón Piedrafita Moreno, Víctor Larraga Egido, José Luis Villarroel Salcedo <i>Universidad de Zaragoza</i>	
Laboratorio virtual para el aprendizaje del control térmico en edificios .....	153
M. Guinaldo, B. Pérez-Lancho, E. Sanz <i>Universidad de Salamanca</i>	

# Prácticas de robótica móvil a través de Internet

Luis Payá

Dept. de Ingeniería de  
Sistemas Industriales  
Univ. Miguel Hernández  
03202 Elche (Alicante)  
[lpaya@umh.es](mailto:lpaya@umh.es)

Arturo Gil

Dept. de Ingeniería de  
Sistemas Industriales  
Univ. Miguel Hernández  
03202 Elche (Alicante)  
[arturo.gil@umh.es](mailto:arturo.gil@umh.es)

Oscar Reinoso

Dept. de Ingeniería de  
Sistemas Industriales  
Univ. Miguel Hernández  
03202 Elche (Alicante)  
[o.reinoso@umh.es](mailto:o.reinoso@umh.es)

David Úbeda

Dept. de Ingeniería de  
Sistemas Industriales  
Univ. Miguel Hernández  
03202 Elche (Alicante)  
[ubeda@umh.es](mailto:ubeda@umh.es)

## Resumen

En este trabajo se presenta una plataforma distribuida que permite a los alumnos de asignaturas de robótica acceder a los robots móviles disponibles en el laboratorio a través de Internet. Mediante esta herramienta, se crea un entorno remoto en el que se pueden llevar a cabo diferentes experimentos sobre varios equipos con un horario totalmente flexible. Para ello se ha creado una plataforma de comunicación única que permite el acceso a los diferentes robots disponibles de forma transparente al usuario. Asimismo, se presentan las prácticas propuestas mediante las cuales los alumnos se familiarizan con diversos conceptos relativos a la robótica móvil y a la visión artificial.

## 1. Motivación

Los sistemas basados en Internet aplicados a la educación están cada vez más presentes en la sociedad actual. Factores como la disminución del coste de hardware, software y servicios de comunicación, mayor acceso a los ordenadores por parte de la población en general, interfaces de usuario cada vez más agradables e intuitivas y mayor motivación por parte de los estudiantes para hacer uso de estos recursos [11] ayudan a que cada vez se pueda sacar más provecho de las ventajas que ofrece este tipo de educación a distancia.

En el caso de los estudios de ingeniería, la formación experimental juega un papel crucial. Los equipos necesarios son, habitualmente, muy costosos, lo cual limita el número de equipos disponibles y condiciona fuertemente el contenido de las clases prácticas. En este sentido, el uso de técnicas basadas en Internet supone diversas ventajas. Los estudiantes pueden acceder a los laboratorios en un horario totalmente libre, desde

su propia casa, y disponiendo del tiempo que cada uno requiera para alcanzar los objetivos de cada sesión práctica. Asimismo, los estudiantes pueden acceder individualmente a los equipos, independiente del número disponible de ellos. Incluso se podría utilizar un sistema de evaluación online que permita al estudiante conocer los resultados de su evaluación en tiempo real, y al profesor tener en cuenta no sólo los resultados finales, sino el trabajo y la evolución del alumno a lo largo de las prácticas.

Este trabajo presenta una plataforma desarrollada con el objetivo de que los alumnos puedan hacer uso de los robots móviles disponibles en el laboratorio a través de Internet, posibilitando la realización de prácticas de robótica móvil con las ventajas que se han comentado. Dentro del área de educación en control, Cassini et al. [1] presentan un laboratorio remoto para control en automática que permite al usuario diseñar un controlador por medio del entorno MATLAB/Simulink y testarlo a través de una interfaz. Pastor et al. [7] muestran una estructura que permite laboratorios Web centrados en el aprendizaje de sistemas de control. RECOLAB [4] es otro laboratorio remoto similar en el cual se utiliza un servomotor para testar el control diseñado por los alumnos en un entorno remoto. También han sido desarrollados diversos laboratorios remotos aplicados a tareas de robótica. Thamma et al. [12] describen una arquitectura cliente/servidor para el control remoto de un robot manipulador a través de cualquier navegador web. [3] presenta la arquitectura VROBOT, que crea un entorno virtual para realizar prácticas con robots manipuladores. Khamis et al. [5] han desarrollado la arquitectura 'Developer' para la teleoperación y control del robot móvil B21r. Carusi [2] presenta un laboratorio remoto que permite el control de un robot móvil Lego a través de un navegador Web. El alumno puede diseñar diversos reguladores

usando un entorno MATLAB/Simulink orientados a la planificación de trayectorias y testarlos sobre un robot real. Siegwart y Saucy [10] presentan y discuten varias aplicaciones que manejan robots móviles a través de Internet en EPFL, en Lausanne.

El resto del artículo se estructura del siguiente modo. A continuación se presenta la arquitectura global de la plataforma desarrollada para posibilitar los flujos de comunicación necesarios. En la sección 3 se comentan los conceptos que se pretende que los alumnos estudien durante la realización de las prácticas y por último, se realiza una valoración de los resultados obtenidos, desde el punto de vista del estudiante y se exponen las conclusiones del trabajo.

## 2. Arquitectura del sistema

El sistema de comunicaciones que se presenta a continuación ha sido diseñado con el objetivo de hacer más sencillo y estandarizar el acceso a los servicios que provee cada robot. De la misma manera, la arquitectura admite la inclusión de nuevos agentes móviles, sin tener que modificar de ningún modo la estructura global.

### 2.1. Agentes Móviles

Se cuenta con un grupo heterogéneo de robots móviles con distintas habilidades sensoriales y arquitecturas internas. El sistema de comunicaciones que se ha diseñado consigue acceder a los servicios proporcionados por robots diferentes de forma estándar y transparente para el programador, lo cual constituye el aspecto novedoso de la plataforma propuesta. Así, a la hora de programar una aplicación para el manejo de un robot en concreto, el alumno no debe preocuparse del funcionamiento interno de cada robot, permitiendo además comunicación entre robots para posibilitar la realización de tareas de forma cooperativa [9]. En concreto, se dispone de tres modelos diferentes de robots móviles:

- **Robots WifiBot:** Cuentan con una cámara color DCS 900 y dos sensores infrarrojos de distancia. A bordo, están equipados con un procesador x86 AMD a 20 MHz encargado de controlar sus 4 motores independientes. Además, se ha instalado un PC a bordo, con procesador

pentium III funcionando con sistema operativo Linux. Estos robots se comunican con el exterior mediante una comunicación WIFI 802.11b/g.

- **Robot B21r:** Dispone de una gran cantidad de sensores de proximidad: 48 sensores sonar, 24 sensores de infrarrojos y un sensor de proximidad láser. Además, dispone de un sistema de visión estéreo. El robot B21r cuenta con dos PC a bordo, ambos funcionando bajo sistema operativo Linux. En consecuencia, tiene una gran capacidad de computación, permitiendo realizar algoritmos de visión estereoscópica a bordo. La comunicación con el exterior se realiza mediante un enlace inalámbrico Ethernet. Por otra parte, las librerías de comunicación con el robot están basadas en el estándar CORBA 2.0.
- **Robots EyeBot:** Estos robots funcionan con un Microcontrolador Motorola 68332 a 25 MHz y cuentan con 1 MB de memoria RAM. Pueden capturar imágenes en color mediante una cámara, con la que pueden extraer una visión simplificada del entorno. También pueden obtener medidas de distancia utilizando dos sensores infrarrojos. Estos robots se comunican utilizando transceivers de Radiometrix (BIM). Precisan de un PC que realice la función de router para su comunicación.

En las prácticas se utilizan principalmente los robots WifiBot, debido a su tamaño y capacidad de procesamiento a bordo.

### 2.2. Arquitectura de red

La comunicación entre los robots móviles de características heterogéneas ha precisado el diseño de una arquitectura de red que integre diferentes tecnologías de comunicación. Se estructura principalmente en dos subredes:

- 1) Red cableada Fast Ethernet a la que se conectan los computadores.
- 2) Red WIFI 802.11b/g que comunica los robots de tipo medio (iRobot B21r, y WifiBot).

### 2.3. Protocolos de comunicación

La comunicación entre los diferentes elementos del sistema está basado en la arquitectura CORBA

[6]. En la figura 1 se muestra un esquema del funcionamiento del sistema. Los elementos principales de la red de comunicaciones se detallan a continuación:

**Servidores a bordo de los robots:** A bordo de cada robot, se ejecutan los servidores que acceden directamente al hardware de los robots (cámaras, sensores, motores... etc). Estos servidores proporcionan una serie de servicios, que se implementan mediante interfaces CORBA. En concreto, cada interfaz está implementada mediante un objeto de C++, que accede a los sensores del robot o comanda sus movimientos. El estándar CORBA permite acceder a cada servicio a través de una cadena de texto llamada IOR (*Inter-operable Object Reference*). En la actualidad, se han implementado las siguientes interfaces:

- Interfaz RobotBasics: Implementa los comandos de movimiento básicos (avanza, retrocede, gira...), que pueden ser realizados por todos los robots.
- Interfaz IRSensor: Proporciona los datos de sensores infrarrojos en los Wifibot.
- Interfaz Camera: Permite a un cliente obtener imágenes de la cámara del robot.
- Interfaz StereoCamera: Se ejecuta en aquellos robots que están dotados de una cámara estéreo.
- Interfaz LaserServer: Ofrece datos de un sensor de distancia láser.

**Servidor de identidad y ejecución:** Se ejecuta en un PC conectado a la red. La dirección IP de dicho PC es conocida por todos los elementos del sistema y es el único dato que es necesario configurar para establecer las comunicaciones en el sistema. Este servidor tiene dos funciones principales. La primera consiste en mantener un listado de todos los robots que se encuentran activos en el sistema y qué interfaces ofrece cada uno de ellos. En concreto, para cada robot, el servidor de identidad y ejecución almacena una cadena de texto que identifica al robot (Wifi1, Wifi2 p. e.), junto con una lista de los servicios que proporciona (cámara, sensores sonar, sensores infrarrojos...etc) almacenando también una cadena de texto y una cadena IOR para cada uno de ellos. La segunda función principal es ofrecer

un control de acceso de las aplicaciones cliente a los robots. Dada la naturaleza de la aplicación, un único cliente debe acceder al robot para comandarlo, debiendo quedar el resto de aplicaciones clientes a la espera. Además, una única aplicación cliente no debe acaparar la ejecución indefinidamente. Este problema se ha resuelto de la siguiente manera: Cuando una aplicación cliente desea acceder a un robot, el servidor de ejecución comprueba que está libre y le devuelve las referencias IOR de las interfaces que solicite. A continuación, nuevas peticiones de otros clientes serán puestas en espera. Transcurrido cierto tiempo (10 min en la implementación actual), el servidor de ejecución envía una orden al servidor del robot para reiniciar los servidores a bordo y le da control sobre el robot a la siguiente aplicación cliente que lo solicita.

**Aplicaciones cliente:** Las aplicaciones cliente se ejecutan en varios PC que funcionan bajo Linux Debian. Estos PC's deben estar correctamente configurados y deben disponer de librerías especiales instaladas, que se requieren para el procesamiento de los datos recibidos de los robots así como para establecer correctamente las comunicaciones. Los alumnos se conectan a los PC Linux de forma remota desde un PC Windows, utilizando el software X-Win32.

## 2.4. Flujo de comunicaciones

El primer elemento que debe estar activo en el sistema es el servidor de identidad y ejecución. A continuación se deben activar los servidores a bordo de los robots. Cuando un servidor se activa, publica el nombre del robot y las interfaces que implementa (junto con sus IOR correspondientes) en el servidor de identidad y ejecución. Los diferentes robots en el sistema se guardan en entradas distintas en el servidor de identidad y ejecución. Cuando una aplicación cliente desea acceder a los servicios de un robot, entonces realiza una petición al servidor de identidad y ejecución, indicando el nombre simbólico del robot y una cadena con las interfaces a las que debe acceder. Si el robot se encuentra disponible, el servidor de ejecución le devuelve las referencias a las interfaces que implementa el robot. A partir de ese momento, la comunicación

se realiza bidireccionalmente entre la aplicación cliente y el servidor a bordo del robot. Típicamente, la aplicación cliente envía peticiones de captura de datos de los sensores y comandos de movimiento de los motores.

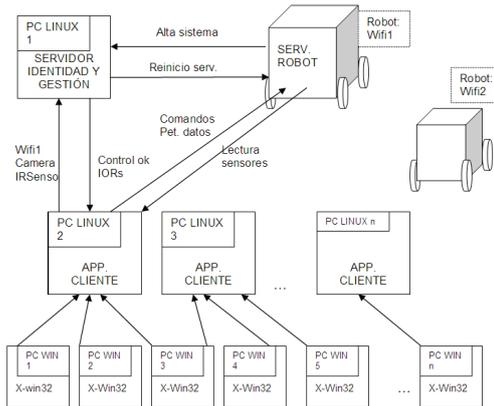


Figura 1. Flujo de comunicaciones.

### 3. Prácticas a desarrollar

Los servicios descritos en los apartados anteriores han permitido diseñar un nuevo conjunto de prácticas y experimentos a realizar por parte de los alumnos de la titulación de Ingeniería Industrial en la Universidad Miguel Hernández de Elche. En concreto, y dentro de la asignatura optativa de 4º curso "Control de Robots y Sistemas Sensoriales", se han venido utilizando durante el último curso académico este tipo de servicios, lo que ha posibilitado la realización de varias prácticas a distancia por parte de los alumnos.

Para el acceso a las prácticas vía Internet, el alumno únicamente debe registrarse y validarse dentro de la base de datos de que dispone para darle permiso de acceso. Una vez validado, el alumno puede realizar las sesiones de prácticas disponibles.

Actualmente se encuentran disponibles cuatro tipos de prácticas distintas, que abarcan distintos campos de conocimiento dentro de la robótica móvil. En una primera sesión introductoria presencial, se proporciona al alumno la información necesaria sobre los robots disponibles

y los servicios de que dispone cada robot. Asimismo, se ponen a su disposición diversas plantillas y ejemplos que muestran el formato de utilización de los métodos implementados (lectura de sensores, captura de imágenes y control del robot). Asimismo, durante esta sesión se implementa un algoritmo sencillo, consistente en generar una trayectoria en línea recta del robot, girando a la derecha cuando encuentre un obstáculo. Este ejemplo permite al alumno introducirse en el manejo del equipo, creación del programa, descarga, compilación, etc.

#### 3.1. Control reactivo del robot mediante coordinación competitiva

El alumno debe implementar un programa con el objetivo de mover el robot desde un punto inicial hasta un punto final, evitando varios obstáculos durante el recorrido hasta el destino, utilizando las lecturas de los infrarrojos. En todo momento, se trata de que el alumno haga que el robot se mueva en línea recta hacia el punto destino, girando cuando encuentra un obstáculo hacia el lado que esté más distante de dicho obstáculo y volviendo posteriormente a orientarse hacia el destino una vez superado el obstáculo. Para ello, se utilizará exclusivamente información de la odometría. De este modo, se pretende que el alumno resuelva el problema mediante un control reactivo del robot utilizando dos comportamientos que se activan o no en función de la lectura de los infrarrojos: *Ir a destino* y *Evitar Obstáculo*. La idea es que el problema se resuelva utilizando un problema de coordinación competitivo, en el que únicamente un comportamiento se encuentra activo en cada instante.

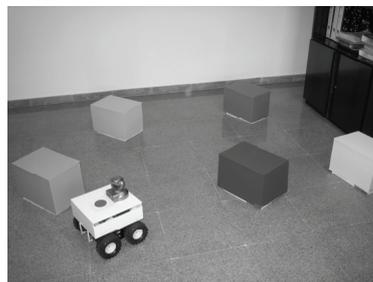


Figura 2. Circuito con obstáculos de la práctica 1.

### 3.2. Comparación odometría – posición real

El objetivo de la segunda sesión de prácticas consiste en comparar los datos de trayectoria proporcionados por la odometría con la trayectoria real del robot. En la anterior práctica, los alumnos habrán comprobado la imprecisión de la odometría y la acumulación de error que supone si en ningún momento se toma una referencia externa. El objetivo de la segunda sesión consiste en resolver el mismo problema de la práctica anterior, pero para calcular la orientación necesaria hacia el punto destino, se utilizará la información proporcionada por una cámara situada en el techo y enfocando hacia el suelo. Sobre el robot se coloca una marca consistente en un círculo de color rojo, de modo que el objetivo del comportamiento *Ir a destino* será, en cada instante, extraer la posición del robot y proporcionar la acción de control que lo haga tender al destino (cuando esté activo el comportamiento *Ir a destino*).

### 3.3. Control reactivo mediante coordinación cooperativa

Dentro del entorno se encuentra una plantilla formada por cinco puntos negros situados en los vértices y en el centro de un cuadrado. Se trata de que el alumno consiga que el robot se mueva sobre si mismo hasta que localice dicha plantilla a partir del sistema de visión embarcado y en ese momento tienda hacia ella situándose a cierta posición relativa y orientación respecto a la misma.

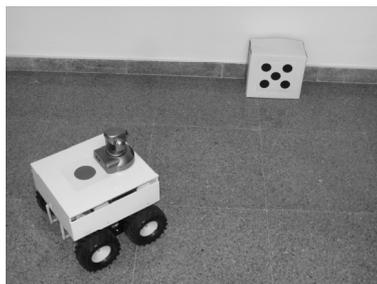


Figura 3. Robot y plantilla utilizados para la práctica 2.

Se propone al alumno que resuelva el problema utilizando una arquitectura de control reactiva mediante un mecanismo de coordinación cooperativo entre los siguientes comportamientos: *Ir a destino*, *Evitar obstáculos* y *Buscar referencia*. Una futura ampliación de esta práctica consistiría en realizar un seguimiento de robots, en el que los alumnos mueven manualmente uno de los robots, que lleva una marca en su parte posterior y otro robot debe realizar un seguimiento del primero. Este problema implicaría un estudio de los retardos que se producen durante el control del robot.

### 3.4. Creación de una base de datos visual del entorno.

La última práctica disponible hasta el momento consiste en la creación, por parte del alumno, de una base de datos con imágenes desde varios puntos del entorno, comprimiendo esta información por medio de PCA. Posteriormente, se debe realizar una localización topológica dentro del entorno, proyectando la imagen actual en la base y comprobando cual de las almacenadas en la base de datos es la más cercana. Esta práctica se plantea como optativa.

## 4. Resultados alcanzados

La realización de prácticas a distancia permite que los alumnos puedan realizar este tipo de experimentos en cualquier momento del día y cualquier día que los dispositivos físicos se encuentren operativos, incluyendo los fines de semana, sin atender a un horario previamente planificado a principios de curso. Cabe decir que se dispone de varios robots que pueden ser utilizados simultáneamente. La interferencia de uno sobre los demás se resuelve al considerarlos como obstáculos móviles. La velocidad de avance de los robots está limitada para evitar posibles daños por colisiones y asimismo, se ha implementado un hilo de seguridad que hace que el robot se detenga cuando se encuentra muy cerca de un obstáculo.

En el gráfico de la figura 4 se observan los datos acerca del número de horas promedio por sesión dedicado por parte de los alumnos en cada una de las cuatro prácticas diseñadas y

configuradas. Teniendo en cuenta que la duración media de estas prácticas de haberse realizado en el laboratorio, hubiera sido de 2 horas para cada una de las dos primeras prácticas y de 4 horas para cada una de las dos últimas, se observa como el valor promedio del número de horas es muy superior utilizando el sistema remoto. Esto se justifica dado que los alumnos se encuentran más predispuestos a la realización de las prácticas sin atender en demasía al tiempo que le dedican.

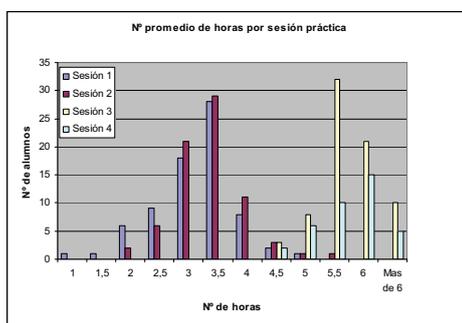


Figura 4. Número promedio de horas dedicadas por los alumnos a cada práctica.

El gráfico de la figura 5 muestra el número de sesiones de conexión que han realizado los alumnos para completar cada práctica. Esto permite evidenciar que los alumnos (en promedio) prefieren realizar la práctica en diferentes intervalos de tiempo en lugar de dedicar un único lapso de tiempo muy largo. Obviamente, estos datos pueden verse alterados en función del número de conexiones realizadas a la vez, dado que el sistema limita el tiempo de acceso al usuario en estas condiciones.

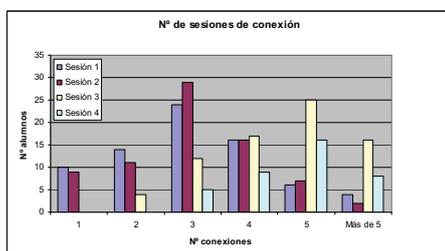


Figura 5. Número de sesiones de conexión realizadas por los alumnos en cada práctica.

Si bien no es posible constatar a largo plazo la ventaja de realizar prácticas a distancia por parte de los alumnos dado que únicamente se dispone de datos acerca del último curso académico, sí que se observa una mayor predisposición por parte de los alumnos para la realización de las prácticas docentes. Además, las encuestas periódicas realizadas a los estudiantes muestran la alta predisposición por parte de los alumnos a la realización de este tipo de prácticas a distancia.

Asimismo, la plataforma implementada ha sido utilizada en una tarea de mantenimiento de formaciones en un equipo de varios robots WiFiBot, basándose en comportamientos. Para esta tarea, que implica colaboración entre robots, la plataforma ha resultado altamente eficiente, proporcionando muy buenos resultados [9].

## 5. Conclusiones

En este trabajo se ha presentado una plataforma distribuida que permite comunicación con y entre los miembros de un equipo heterogéneo de robots móviles, de forma remota, a través de Internet. Gracias a los servidores implementados, el usuario puede manejar todos los robots de forma transparente, utilizando los mismos métodos. Gracias a esta plataforma, se posibilita la realización de prácticas de robótica móviles a través de Internet de modo que el alumno es capaz de conocer el funcionamiento de los sensores básicos en robótica móvil y las estrategias básicas de control de un robot. Los estudiantes pueden probar los algoritmos que diseñan sobre equipos reales y pueden acceder a todos los servicios que ofrecen los robots, aprovechando además todas las ventajas que tiene la educación a través de Internet.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido subvencionado por el Ministerio de Educación y Ciencia a través del proyecto DPI2004-07433-C02-01, "Herramientas de Teleoperación Colaborativa. Aplicación al Control Cooperativo de Robots", y por el proyecto PCT-G54016977-2005, "Robots Cooperativos para la vigilancia e inspección de edificios e instalaciones industriales".

## Referencias

- [1] Casini, M., Prattichizzo, D., Vicino, A. The automatic control telelab: a user-friendly interface for distance learning, *IEEE Transactions on Education*: 46(2), 252-257, 2003.
- [2] Carusi, F., Casini, M., Prattichizzo, D., Vicino, A. Distance learning in robotics and automation by remote control of lego mobile robots. *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*. Nueva Orleans, 2004.
- [3] Demetriou, A.G., Lambert, A.H. Virtual environments for robotics education: an extensible object-orientation platform. *IEEE Robotics and Automation Magazine*. 12(4), 75-91, 2006.
- [4] Jiménez, L.M., Puerto, R., Reinoso, O., Fernández, C., Ñeco, R. RECOLAB: Laboratorio remoto de control utilizando Matlab y Simulink, *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial*: 2(2), 64-72, 2005.
- [5] Khamis, A., Rivero, D.M., Rodríguez, F., Salichs, M. Pattern-based architecture for building mobile robotics remote laboratories, *Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 3, 3284-3289, Taipei, Taiwán, 2003.
- [6] OMG, Object Management Group. Common Object Request Broker: Architecture and Specification. Revision 2.0, 1995.
- [7] Pastor, R., Sánchez, J., Dormido, S. A XML Framework for the Development of Web-based Laboratories focused on Control Systems Education, *International Journal of Engineering Education*: 19(3), 445-454, 2003.
- [8] Payá, L., Gil, A., Reinoso, O., Riera, L., Jiménez, L.M. Distributed platform for the control of the WiFiBot robot through Internet, *7º IFAC Symposium on Advances in Control Education*, 2006.
- [9] Payá, L., Juliá, M., Reinoso, O., Gil, A., Jiménez, L.M. Behaviour-based multi-robot formations using computer vision, *International Conference of Visualization, Imaging and Image Processing*, 488-493, Mallorca, 2006.
- [10] Siegwart, R., Saucy, P. Interacting mobile robots on the Web. *Workshop Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Detroit, USA, 1999.
- [11] Stafford, R.F. Understanding motivations for Internet use in distance education, *IEEE Transactions on Education*: 49(2), 301-306, 2005.
- [12] Thamma, R., Huang, L.H., Lou, S.J., Diez, C.R. Controlling robot through Internet using Java, *J. Industrial Technology*: 20(3), 25-33, 2004.