

## APLICACIÓN DE LAS TICS'S A LA EDUCACIÓN EN AUTOMÁTICA

### Algunas consideraciones sobre las TIC's y la educación en automática

Dentro de todo el conjunto de las tecnologías de la información y de la comunicación (TIC's), destacan dos herramientas como las más adecuadas para ofrecer un nuevo enfoque en el modelo educativo de la educación superior: los *sistemas hipermedia* como forma de estructurar la información, y las *redes de comunicación de área extendida* como soporte de la información, es decir, la red Internet. La conjunción de los sistemas hipermedias e Internet se cristaliza en el año 1989 cuando Tim Berners-Lee físico que trabajaba en el Laboratorio Europeo de Física de Partículas del CERN propuso el concepto del World Wide Web (WWW) como un nuevo sistema para transferir ideas e investigaciones entre científicos de la comunidad de la física de altas energías. Sin embargo sería un error considerar al WWW como una herramienta diseñada por y para físicos, ya que el Web es uno de los mecanismos más flexibles –probablemente el más flexible– para navegar por Internet y por lo tanto independiente de su dominio de aplicación.

La aparición del WWW entre otras muchas cosas ha producido una auténtica revolución en el campo de la enseñanza de manera que en la actualidad muchas materias están siendo reevaluadas en términos de sus propios métodos, técnicas y filosofías. Obviamente las disciplinas que utilizan como un medio para su enseñanza la simulación por computador y el desarrollo de prácticas de laboratorio, entre las cuales se encuentra en una posición predominante la Automática, no han sido una excepción a este fenómeno todavía en un estado emergente.

Dentro de este esquema uno de los conceptos más atractivo que ha surgido con un impulso arrollador en los últimos años ha sido el de la “simulación basada en el WWW” que permite plantear nuevos paradigmas de enseñanza distribuida y remota. La simulación basada en el WWW constituye, dentro del extenso campo de la simulación, un nuevo paradigma que está surgiendo con fuerza desde hace 10 años debido a la explosión de las nuevas tecnologías de la información y de las comunicaciones. Cabe considerarla como “*una convergencia de metodologías y aplicaciones de simulación por computador dentro del WWW*”. Otro factor común a las simulaciones basadas en Web, derivado de su propia naturaleza, es que se sustentan en la arquitectura cliente-servidor como medio para transmitir la información al cliente desde una ubicación remota. Esta información puede estar compuesta por el propio programa de simulación que se transmite al cliente para ejecutarse dentro de su navegador WWW, o por los resultados de la simulación efectuados bien en el cliente o en el servidor para su posterior análisis.

De forma más concreta se puede definir la simulación basada en Web como *el empleo de los recursos y tecnologías ofertados por el WWW para la interacción con herramientas de simulación localizadas tanto en el lado del cliente como en el del servidor*. Por lo tanto, la característica común de todas las aplicaciones aglutinadas bajo este tópico es que recurren a los navegadores WWW como soporte para las interfaces gráficas que conectan al usuario con la simulación. Es importante observar que la transmisión explícita de un software de simulación desde un servidor al ordenador del cliente y su ejecución como una aplicación independiente del navegador no se enmarca dentro de esta categoría de simulación: el navegador WWW siempre tiene que tomar parte activa en el proceso de simulación, bien como mero interfaz gráfico o, adicionalmente, como contenedor del motor numérico de simulación. Con frecuencia a estas simulaciones basadas en Web se las denominan *laboratorios virtuales*. El adjetivo *virtual* tiene aquí la connotación, en contraposición con *real*, de algo que se simula y con lo cual se puede interaccionar de forma local o remota a través de Internet utilizando un navegador web.

En muchas situaciones estos laboratorios virtuales se consideran más que suficientes para la creación de sistemas de apoyo al aprendizaje de materias dotadas de una componente práctica no muy fuerte. Sin embargo la enseñanza de la automática o de alguna otra disciplina con gran contenido experimental, requiere de algo más, de un elemento que permita al estudiante poner en práctica todos los conocimientos que vaya adquiriendo a lo largo del estudio de la materia. Este papel en las enseñanzas tradicionales lo ha desempeñado el *laboratorio de prácticas* el cual, inexorablemente, requiere de la presencia física del estudiante para poder manipular los sistemas de control y las plantas existentes en un entorno controlado bajo la supervisión directa del profesor. Por consiguiente, trasladando este entorno práctico a la enseñanza vía Web, el elemento necesario para abordar la

realización de prácticas sobre automática es la existencia de un sistema consistente en un *laboratorio virtual* y/o *de telepresencia accesible a través de una red basada en protocolos TCP/IP que permita al alumno practicar de una forma lo más similar posible a como si estuviese en las dependencias del laboratorio, dándole la posibilidad de manejar las simulaciones o interactuar con las plantas reales*. Este es el objetivo de los *laboratorios remotos* o *teleoperados* a través de Internet y es donde cabe centrar uno de los objetivos actuales de la aplicación de las TIC's en el campo concreto de la educación en automática.

En este contexto nuestra comunidad académica ha sido especialmente sensible a estas nuevas iniciativas. Así EDCOM (<http://www.griffith.edu.au/centre/icsl/edcom/>) que es el Comité Técnico sobre Educación en Control de IFAC promovió y auspició el desarrollo de una serie de *workshops* con el título genérico *Internet Based Control Education* de los que ya se han celebrado con notable éxito dos, uno en Madrid en diciembre de 2001 y otro en Grenoble en septiembre del año pasado (<http://ibce.lag.ensieg.inpg.fr/index.php>). Existe la voluntad por parte de EDCOM de continuar esta serie de eventos en el futuro ya que se han revelado como un magnífico foro de encuentro para discutir ideas y propuestas innovadoras para la enseñanza de la automática. Además de este *workshop* específico EDCOM organiza con carácter trianual el Simposio *Advances in Control Education* que gira sobre el mundo de la educación en control donde obviamente los temas de laboratorios virtuales y remotos están teniendo un papel muy relevante en los últimos eventos celebrados. El próximo ACE que será el 7º de la serie se celebrará en Madrid del 21 al 23 de junio de 2006 (<http://www.dia.uned.es/ace2006/index.html>).

Tampoco este tema ha sido ajeno a las grandes conferencias y congresos relacionados con el control automático tales como *American Control Conference*, *Conférence on Decisión and Control*, *European Control Conference*, *Asian Control Conference* y *World IFAC Congress* donde de manera permanente hay varias sesiones y mesas redondas dedicadas al tema. Merece destacarse en este sentido una apuesta innovadora que se ha puesto en marcha en el próximo congreso conjunto *CDC-ECC05* que se celebrará en Sevilla del 12 al 15 de diciembre de este año (<http://www.esi2.us.es/%7ecdcecc05/>). En este congreso hay un área específica de *sesiones interactivas* que en muchos casos serán presentaciones de marcado carácter educativo.

También las revistas dedicadas a la automática están prestando una atención especial al tema de la educación en automática, destacando en este sentido el *IEEE Control Systems Magazine* (<http://www.ieeeccs.org/PAB/csm/>) que le ha dedicado hace poco más de un número monográfico (octubre de 2004 y febrero de 2005). Incluso revistas de naturaleza mucho más teórica en nuestro campo como *Annual Reviews in Control* y *Automatica* (<http://www.elsevier.com/>) e *IEEE Tran. on Control Systems Technology* (<http://www.ieeeccs.org/PAB/tcst/>) incorporan artículos relacionados con la educación en automática.

Hay sin embargo otras revistas, cuyo objetivo es la educación en ingeniería en un sentido más amplio, que se ocupan de las implicaciones de la enseñanza via Web. Entre estas revistas merecen destacarse entre otras las siguientes:

*IEEE Trans on Education* (<http://www.ewh.ieee.org/soc/es/esinfo.html>),

*The International Journal of Engineering Education* (<http://www.ijee.dit.ie/>),

*Computer Appl. in Eng. Education* (<http://eu.wiley.com/WileyCDA/WileyTitle/productCd-CAE.html>),

*Computers and Education* (<http://www.sciencedirect.com/>),

*Education and Information Technologies* (<http://www.kluweronline.com/issn/1360-2357/>),

*Journal of Engineering Education* (<http://www.asee.org/about/publications/jee/index.cfm>),

*International Journal of Electrical Engineering Education e International Journal of Mechanical Engineering Education* (<http://www.manchesteruniversitypress.co.uk/>),

*European Journal of Engineering Education* (<http://www.tandf.co.uk/journals/titles/03043797.asp>)

*Journal of Chemical Education* (<http://jchemed.chem.wisc.edu/>).

Dentro de todo el conjunto de las tecnologías de la información y de la comunicación (TIC's), destacan dos herramientas como las más adecuadas para ofrecer un nuevo enfoque en el modelo educativo de la educación superior: los *sistemas hipermedia* como forma de estructurar la información, y las *redes de comunicación de área extendida* como soporte de la información, es decir, la red Internet. La conjunción de los sistemas hipermedias e Internet se cristaliza en el año 1989 cuando Tim Berners-Lee físico que trabajaba en el Laboratorio Europeo de Física de Partículas del CERN propuso el concepto del World Wide Web (WWW) como un nuevo sistema para transferir ideas e investigaciones entre científicos de la comunidad de la física de altas energías. Sin embargo sería un error considerar al WWW como una herramienta diseñada por y para físicos, ya que el Web es uno de los mecanismos más flexibles –probablemente el más flexible– para navegar por Internet y por lo tanto independiente de su dominio de aplicación.

La aparición del WWW entre otras muchas cosas ha producido una auténtica revolución en el campo de la enseñanza de manera que en la actualidad muchas materias están siendo reevaluadas en términos de sus propios métodos, técnicas y filosofías. Obviamente las disciplinas que utilizan como un medio para su enseñanza la simulación por computador y el desarrollo de prácticas de laboratorio, entre las cuales se encuentra en una posición predominante la Automática, no han sido una excepción a este fenómeno todavía en un estado emergente.

Dentro de este esquema uno de los conceptos más atractivo que ha surgido con un impulso arrollador en los últimos años ha sido el de la "simulación basada en el WWW" que permite plantear nuevos paradigmas de enseñanza distribuida y remota. La simulación basada en el WWW constituye, dentro del extenso campo de la simulación, un nuevo paradigma que está surgiendo con fuerza desde hace 10 años debido a la explosión de las nuevas tecnologías de la información y de las comunicaciones y, concretamente, del WWW. Cabe considerarla como "una convergencia de metodologías y aplicaciones de simulación por computador dentro del WWW". Otro factor común a las simulaciones basadas en Web, derivado de la propia naturaleza del WWW, es que se sustentan en la arquitectura cliente-servidor como medio para transmitir la información al cliente desde una ubicación remota. Esta información puede estar compuesta por el propio programa de simulación que se transmite al cliente para ejecutarse dentro de su navegador WWW, o por los resultados de la simulación efectuados bien en el cliente o en el servidor para su posterior análisis.

De forma más concreta se puede definir la simulación basada en Web como *el empleo de los recursos y tecnologías ofertados por el World Wide Web para la interacción con herramientas de simulación localizadas tanto en el lado del cliente como en el del servidor*. Por lo tanto, la característica común de todas las aplicaciones aglutinadas bajo este tópico es que recurren a los navegadores WWW como soporte para las interfaces gráficas que conectan al usuario con la simulación. Es importante observar que la transmisión explícita de un software de simulación desde un servidor al ordenador del cliente y su ejecución como una aplicación independiente del navegador no se enmarca dentro de esta categoría de simulación: el navegador WWW siempre tiene que tomar parte activa en el proceso de simulación, bien como mero interfaz gráfico o, adicionalmente, como contenedor del motor numérico de simulación. Con frecuencia a estas simulaciones basadas en Web se las denominan *laboratorios virtuales*. El adjetivo *virtual* tiene aquí la connotación, en contraposición con *real*, de algo que se simula y con lo cual se puede interaccionar de forma local o remota a través de Internet utilizando un navegador web.

En muchas situaciones estos laboratorios virtuales se consideran más que suficientes para la creación de sistemas de apoyo al aprendizaje de materias dotadas de una componente práctica no muy fuerte. Sin embargo la enseñanza de la automática o de alguna otra disciplina con gran contenido experimental, requiere de algo más, de un elemento que permita al estudiante poner en práctica todos los conocimientos que vaya adquiriendo a lo largo del estudio de la materia. Este papel en las enseñanzas tradicionales lo ha desempeñado el *laboratorio de prácticas* el cual, inexorablemente, requiere de la presencia física del estudiante para poder manipular los sistemas de control y las plantas existentes en un entorno controlado bajo la supervisión directa del profesor. Por consiguiente, trasladando este entorno práctico a la enseñanza vía Web, el elemento necesario para abordar la realización de prácticas sobre automática es la existencia de un sistema consistente en un *laboratorio virtual y/o de telepresencia accesible a través de una red basada en protocolos TCP/IP que permita al alumno practicar de una forma lo más similar posible a como si estuviese en las dependencias del laboratorio, dándole la posibilidad de manejar las simulaciones o interactuar con las plantas reales*. Este es el objetivo de los *laboratorios remotos* o *teleoperados* a través de Internet y es donde cabe centrar uno de los objetivos actuales de la aplicación de las TIC's en el campo concreto de la educación en automática.

En este contexto nuestra comunidad académica ha sido especialmente sensible a estas nuevas iniciativas. Así EDCOM (<http://www.griffith.edu.au/centre/icsl/edcom/>) que es el Comité Técnico sobre Educación en Control de IFAC promovió y auspició el desarrollo de una serie de *workshops* con el título genérico *Internet Based Control Education* (IBCE) de los que ya se han celebrado con notable éxito dos, uno en Madrid en diciembre de 2001 y otro en Grenoble en septiembre del año pasado (<http://ibce.lag.ensieg.inpg.fr/index.php>). Existe la voluntad por parte de EDCOM de continuar esta serie de eventos en el futuro ya que se han revelado como un magnífico foro de encuentro para discutir ideas y propuestas innovadoras para la enseñanza de la automática. Además de este workshop específico EDCOM organiza con carácter trianual el *Symposium Advances in Control Education* (ACE) que gira sobre el mundo de la educación en control donde obviamente los temas de laboratorios virtuales y remotos están teniendo un papel muy relevante en los últimos eventos celebrados. El próximo ACE que será el 7º de la serie se celebrará en Madrid del 21 al 23 de junio de 2006 (<http://www.dia.uned.es/ace2006/index.html>).

Tampoco este tema ha sido ajeno a las grandes conferencias y congresos relacionados con el control automático tales como *American Control Conference* (ACC), *Conference on Decision and Control* (CDC), *European Control Conference* (ECC), *Asian Control Conference* (ASC) y *World IFAC Congress* donde de manera permanente hay varias sesiones y mesas redondas dedicadas al tema. Merece destacarse en este sentido una apuesta innovadora que se ha puesto en marcha en el próximo congreso conjunto *CDC-ECC05* que se celebrará en Sevilla del 12 al 15 de diciembre de este año (<http://www.esi2.us.es/%7ecdcecc05/>). En este congreso hay un

área específica de *sesiones interactivas* que en muchos casos serán presentaciones de marcado carácter educativo.

También las revistas dedicadas a la automática están prestando una atención especial al tema de la educación en automática, destacando en este sentido el *IEEE Control Systems Magazine* (<http://www.ieeecss.org/PAB/csm/>) que le ha dedicado hace poco más de un número monográfico (octubre de 2004 y febrero de 2005). Incluso revistas de naturaleza mucho más teórica en nuestro campo como *Annual Reviews in Control y Automatica* (<http://www.elsevier.com/>) e *IEEE Transactions on Control Systems Technology* (<http://www.ieeecss.org/PAB/tcst/>) incorporan artículos relacionados con la educación en automática.

### **Sobre este número especial**

Una gran parte de los trabajos que se presentan en este número tienen que ver con el desarrollo de laboratorios remotos para la realización de prácticas de automática y en este sentido las soluciones planteadas son bastante parecidas. La configuración de todos los laboratorios remotos de hoy día siguen la arquitectura cliente-servidor, con el lazo de realimentación cerrado en el lado del cliente. Así desde el servidor sólo se pueden modificar parámetros y/o cargar nuevas estrategias de control. Tampoco debe sorprender que desde el punto de vista software la gran mayoría adopte los entornos de Matlab/Simulink que se han convertido en un estándar de facto en este tipo de laboratorios.

El primer trabajo *El péndulo invertido un desafío para el control no lineal* está realizado por los profesores J. Aracil y F. Gordillo de la Universidad de Sevilla. Ambos autores han venido trabajando muy activamente sobre el problema del péndulo invertido durante estos últimos años y en este artículo que debe considerarse un tutorial del problema plantean de forma muy clara y didáctica el por qué del enorme interés que ha suscitado este tema en la comunidad académica del control y que no es otro que el estudio de estrategias de control que aborden el problema considerando desde el principio el carácter no lineal del sistema. La búsqueda de soluciones que contemplen conjuntamente la estabilización del péndulo en su posición invertida con el denominado problema del “swing up” utilizando una única estrategia de control es un problema abierto al que se le ha dedicado una considerable atención durante los últimos años. Los autores lo han abordado con una técnica original, de gran sentido físico como es la inyección y amortiguamiento de energía sobre el sistema en función del estado en el que se encuentra el péndulo.

El trabajo *Simulación y control de procesos físicos de forma remota* corresponde a las experiencias de un grupo de la UPV que viene trabajando muy activamente en el desarrollo de laboratorios remotos. Una idea interesante que se incluye en el trabajo es el concepto de proceso virtual, que no es nada más que un conjunto de programas que permiten la simulación animada de los sistemas físicos bajo control remoto. Es en definitiva una integración de un laboratorio virtual con un laboratorio remoto.

*Laboratorio de automática vía Internet (LAVI)* ha sido llevado a cabo en la Universidad Pontificia Bolivariana de Medellín. Describe con detalle una arquitectura clásica cliente servidor (LAVI) para el desarrollo de un laboratorio remoto. El sistema cuenta con facilidades para establecer un diálogo con el usuario e incorpora un sistema administrador de bases de datos, MySQL para controlar el proceso de verificación de los estudiantes que acceden al sistema.

El grupo de Automática de la Universidad de León expone sus experiencias de los últimos años en *Laboratorio remoto para la enseñanza de la automática en la Universidad de León (España)*. Lo interesante del laboratorio presentado es que toda la instrumentación asociada con los laboratorios remotos es de carácter industrial. Se han incorporado en este laboratorio no sólo equipos diseñados específicamente para él sino que también se han integrado otros no pensados en un principio para ser accedidos de forma remota.

G. T. McKee y A. J. Gatward de la Universidad de Reading (UK) presentan una perspectiva del trabajo que han venido realizando estos últimos años sobre *Escenarios online para robots: diseño y utilización*. Se describe el entorno de diseño *Digger Arena*, que ha sido concebido como una plataforma hardware-software para el diseño de sistemas robóticos controlados de forma remota y que involucran una manipulación guiada mediante visión por computador. La finalidad del sistema es fundamentalmente didáctica.

En el siguiente artículo *Plataforma de ensayo remoto de controladores basados en autómatas finitos* se describe parcialmente la maqueta desarrollada en el Instituto de Organización y Control de Sistemas Industriales (IOC) de la UPC que ha sido concebida para la realización de prácticas experimentales de automática de forma remota. La exposición del trabajo se centra en el entorno desarrollado en el área de programación de controladores lógicos programables (PLCs) mediante máquinas de estado.

*RECOLAB: Laboratorio remoto de control utilizando Matlab y Simulink*, es una arquitectura general aplicable a la ejecución remota en tiempo real vía Internet de controladores sobre procesos físicos que ha sido implementada en Matlab/Simulink por el grupo de Automática de la Universidad Miguel Hernández. La motivación principal es la limitada disponibilidad de sistemas físicos reales en los laboratorios para realizar prácticas en cursos de

ingeniería de control. En el trabajo se presentan algunos ejemplos que muestran la viabilidad y aplicabilidad de la arquitectura propuesta.

En el trabajo *Herramientas para el estudio de robots de cinemática paralela: simulador y prototipo experimental* sus autores de la Universidad Pública de Navarra abordan el diseño y desarrollo de un simulador gráfico y un prototipo de robot paralelo a escala de laboratorio que permite a un coste moderado y de forma muy efectiva y flexible aplicarlo en la enseñanza de materias tales como cinemática y dinámica de robots paralelos y en cursos de control multivariable y no lineal. El prototipo está inspirado en el robot industrial paralelo Hermes.

El artículo *Laboratorio virtual para la enseñanza de control climático de invernaderos* presenta un laboratorio virtual para la enseñanza del control climático de invernaderos. Este trabajo al que se le concedió el Premio Prodel "Prácticas de laboratorio para la enseñanza de la automática" de la convocatoria 2004 ha sido realizado por el grupo de Automática y Robótica de la Universidad de Almería. La herramienta que ha sido desarrollada utilizando Easy Java Simulations (*Ejs*) aporta un modelo completo de un invernadero con un conjunto de controladores específicos, todo ello accesible a través de una interfaz gráfica estructurada. De esta forma se permite a los alumnos poner en práctica los conocimientos teóricos adquiridos en clase sin restricciones espacio-temporales.

Finalmente Francisco Candelas y José Sánchez de las Universidades de Alicante y UNED han preparado una relación muy completa y pormenorizada de sitios webs y recursos didácticos basados en Internet para el apoyo a la enseñanza en materias docentes incluidas en el Área de Ingeniería de Sistemas y Automática. Estamos seguros que estas referencias y enlaces serán de utilidad para muchos de nosotros en nuestra tarea docente.

*Redactores invitados:*

Sebastián Dormido Bencomo  
Fernando Torres Medina