

Universidad Nacional de Educación a Distancia
Departamento de Informática y Automática



Resumen de la Tesis Doctoral

Entorno Integral Basado en Web para la Educación en Ingeniería de Control

Héctor Vargas Oyarzún

Ingeniero en Electrónica
por la Universidad de La Frontera - Chile

Presentada en la

E.T.S. de Ingeniería Informática
Universidad Nacional de Educación a Distancia

MADRID, 2010

Departamento	Informática y Automática
Facultad	E.T.S. de Ingeniería Informática
Título de la Tesis	Entorno Integral Basado en Web para la Educación en Ingeniería de Control
Autor	Héctor Vargas Oyarzún
Titulación	Ingeniero en Electrónica Universidad de La Frontera - Chile
Directores	Dr. Sebastián Dormido Bencomo Dr. José Sánchez Moreno

Índice general

1	Resumen en Castellano	1
	Resumen	1
	1.1. Introducción	2
	1.2. Objetivos	6
	1.3. Estructura de la tesis	8
	1.4. Publicaciones, Premios y Proyectos	9
2	Conclusiones	15
	Generales	15
	2.1. Conclusiones Específicas	16
	2.2. Líneas futuras de trabajo	18
	Bibliografía	21

Resumen en Castellano

Resumen

Este capítulo introduce los objetivos generales de la presente tesis doctoral. Primero, se realiza una breve revisión de la utilización de las tecnologías basadas en Internet en los nuevos paradigmas de *enseñanza/aprendizaje*. A continuación, se abordan los desafíos a los que hay que enfrentarse cuando se intentan aplicar estos nuevos paradigmas de enseñanza en las ciencias y en las ingenierías. Específicamente, se presenta el *paradigma de educación flexible* en el contexto de la *experimentación remota* y se analizan los pasos dados en este trabajo para la aplicación de las ideas subyacentes a este paradigma en la implementación de un completo sistema de experimentación remota a través de Internet con fines pedagógicos.

Por otra parte, se describen los objetivos y estructura de la tesis. Estas secciones proporcionan una comprensión rápida de las principales metas perseguidas en este trabajo junto a una breve descripción de cada capítulo.

Finalmente, se presentan los resultados obtenidos durante el proceso de desarrollo de la tesis (publicaciones más destacadas y premios obtenidos) y se mencionan los proyectos de investigación que han permitido su financiación.

1.1 Introducción

Internet es, hoy en día, lo primero que viene a la mente cuando un estudiante, profesor o persona en general desea averiguar algo en relación a algún tema específico. A los aspectos positivos que conlleva el uso de los computadores en las aulas se añade el correspondiente al hecho de compartir recursos y conocimiento dentro de una sociedad cada vez más globalizada que precisa de mecanismos más flexibles para la interacción y la colaboración. En este sentido, la evolución de Internet ha cambiado drásticamente el horizonte de la enseñanza (Riva 2001, Bourne et al. 2005, Rosen 2007, Anderson 2007, Hu & Bao 2008). Lo que alguna vez se llamó “educación a distancia” ahora se considera “educación en-línea” en donde la metodología de enseñanza/aprendizaje se basa en el aprovechamiento de las características de Internet (conectado a cualquier hora y desde cualquier sitio) para la realización de las actividades educativas.

Un ejemplo cercano de la aplicación de este nuevo modelo de enseñanza es la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED). La institución cuenta con el mayor número de estudiantes en relación a otras universidades españolas debido, principalmente, a que el modelo de educación a distancia permite capturar a estudiantes que no pueden seguir el sistema tradicional de enseñanza pero que, sin embargo, desean obtener un nuevo grado o simplemente, mejorar sus habilidades profesionales sin cambiar su estilo de vida. Actualmente, es posible encontrar un amplio conjunto de universidades con presencia en Internet, tanto a nivel nacional como internacional, que confirman la viabilidad y la importancia de la *enseñanza/aprendizaje asistida por computador a través de Internet* (OUA 2009, London-External 2009, UDIMA 2009, OU 2009, UNED 2009, Open-UA 2009, UNAD 2009, UOC 2009).

La implementación del modelo de aprendizaje a distancia no es una tarea fácil cuando el ámbito de aplicación son materias experimentales pertenecientes a las ciencias y a la ingeniería (Williams 2007). Además del material impreso/multimedia y otros tipos de recursos que se requieren para transmitir los aspectos teóricos de materias de estas características, se deberían incluir los llamados *laboratorios*

de prácticas. Esto es particularmente cierto en la enseñanza de la ingeniería de control, un campo inherentemente interdisciplinario en que las matemáticas juegan un rol fundamental y donde los avances se llevan a cabo mediante una mezcla de matemáticas, modelado, computación y experimentación (Fleming 1989, Dormido 2004, Åström 2006). En este contexto, los estudiantes deberían, entre otras tareas pedagógicas: entender el modelo científico subyacente del fenómeno físico en estudio, comprender sus limitaciones (es decir, en que aspectos el modelo refleja el comportamiento real del sistema y en que aspectos es sólo una aproximación) y aprender cómo manipular los parámetros del modelo para sintonizar la conducta del sistema real.

Crear un entorno educacional basado en Web que sea efectivo para cualquier disciplina ingenieril debería cubrir tres aspectos técnicos fundamentales: el conceptual, el interpretativo y el operacional. En este sentido, estos tres aspectos deberían proporcionar al estudiante la oportunidad de ser un actor activo en todo el proceso de aprendizaje (Dormido et al. 2005a).

Educación flexible en ingeniería

El potencial de las aplicaciones experimentales basadas en el Web como herramienta de apoyo pedagógico en la enseñanza/aprendizaje de la ingeniería de control se ha presentado y contrastado en muchos trabajos (Hahn & Spong 2000, Cefalo et al. 2003, Casini et al. 2004, Valera et al. 2005, Eikaas et al. 2006, Gómez & García 2007). De hecho, en la última década varias instituciones académicas han utilizado el WWW para transferir sus cursos y actividades experimentales hacia un contexto distribuido. Sin embargo, la mayor parte de los desarrollos se centran en los aspectos técnicos que tienen relación con el diseño y construcción de las aplicaciones Web que permiten realizar las actividades prácticas a través de Internet (laboratorios virtuales y remotos), sin considerar el contexto social de interacción y colaboración existente en un laboratorio de prácticas tradicional (Nguyen 2007). Específicamente, el contacto directo con los profesores y la interacción con los compañeros de clase son un recurso valioso que puede verse mermado (o incluso, no existir) cuando las actividades prácticas se llevan a cabo

mediante laboratorios basados en el Web. Esto sugiere la posibilidad de incluir estos requerimientos cuando se piense en el diseño, desarrollo y puesta en ejecución de un entorno experimental basado en el Web como el que aquí se presenta.

Experimentación remota y aprendizaje flexible

El paradigma del aprendizaje flexible se presenta como una solución apropiada para abordar el aprendizaje en línea de los estudiantes en ingeniería (Kazmer & Haythornthwaite 2005). En (Gillet et al. 2005), tal paradigma se analiza por los autores desde tres perspectivas distintas: la *pedagógica*, la *técnica* y la *organizacional*. Desde un punto de vista pedagógico, la educación flexible proporciona un acceso extendido a los recursos de aprendizaje. Como consecuencia de ello, aumenta la libertad de los estudiantes para organizar sus tareas de aprendizaje y promueve la participación, autonomía y colaboración entre los actores implicados (profesores, tutores y estudiantes).

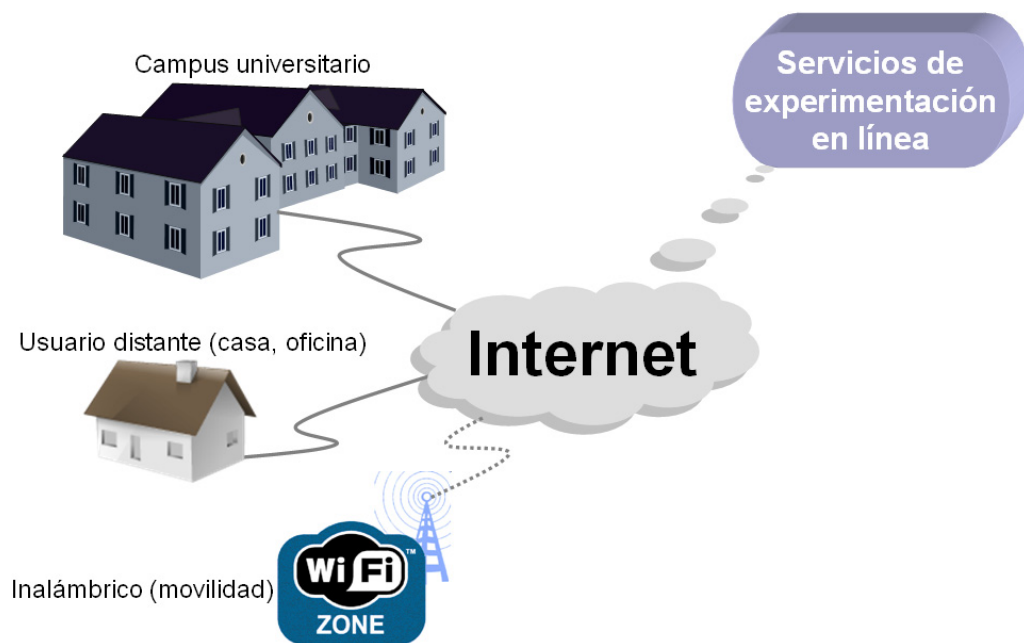


Figura 1.1: Paradigma de educación flexible.

La Figura 1.1 muestra esta idea de accesibilidad extendida. Un estudiante podría seguir sus tareas de laboratorio a cualquier hora y en cualquier lugar, por ejemplo, desde el campus universitario, desde casa o desde cualquier sitio que disponga de una conexión a Internet.

Desde un punto de vista técnico, aprendizaje flexible significa una explotación adecuada de la información, de los dispositivos de comunicación e infraestructuras, especialmente Internet, y de los servicios derivados de su uso. Finalmente, desde una perspectiva organizacional, el paradigma de aprendizaje flexible confía en programas de estudio renovados y las relaciones de investigación, trabajo y colaboración. Estos lazos se manifiestan como consecuencia del aumento del contacto entre investigadores de diferentes instituciones académicas gracias al uso de las infraestructuras de red.

Así pues, el paradigma de aprendizaje flexible define y aclara un conjunto de aspectos claves a considerar. De todos los aspectos presentados es, sin embargo, el análisis pedagógico el que debería ser el primero en analizarse ya que, una vez aclarada la metodología de enseñanza, y fijados los recursos de aprendizaje y los objetivos, probablemente los aspectos técnicos y organizacionales serán un resultado de la correcta aplicación de este primer punto.

Durante los últimos años, el Departamento de Informática y Automática de la UNED ha realizado un trabajo destacado en el análisis, diseño, desarrollo y explotación de los laboratorios virtuales y remotos para la enseñanza del control automático (Aranda et al. 1998, Sánchez 2000, Sánchez et al. 2002, Dormido 2004, Sánchez et al. 2004, Pastor et al. 2005, Dormido et al. 2005a, Sánchez et al. 2005, Duro et al. 2008). No obstante, pese a todo este esfuerzo de investigación, todavía no existía un entorno que permitiera proporcionar servicios regulares de experimentación remota a través de Internet a sus estudiantes, con todo lo que ello implica. *Esta tesis pretende dar un paso más en esta dirección al implementar un completo entorno integral basado en el Web para la realización de experiencias prácticas en control automático.*

Por otra parte, el desarrollo de un sistema de experimentación remota con fines pedagógicos habitualmente se aborda mediante la mezcla de tecnologías basadas en el Web y de agentes de software (Salzmann & Gillet 2008, 2007). De esta manera, la mayor parte de los desarrollos propuestos son soluciones personalizadas y, por tanto, su concepción, la selección de las herramientas software y la arquitectura global del sistema no son sencillos dada la gran variedad de

herramientas software existentes hoy en día. *En relación a este aspecto, el trabajo de esta tesis proporciona un marco de trabajo estructurado para el desarrollo de sistemas de experimentación remota basado en tres herramientas software especialmente adecuadas para ello: Easy Java Simulations (Ejs 2009a), LabVIEW (LabVIEW 2009a) y eMersion (eMersion 2009).*

Dado que la UNED es una universidad de educación a distancia, la introducción de este tipo de metodología de educación ha sido una pieza clave para cubrir las necesidades de aquellos estudiantes que deben conjugar la vida laboral y la académica. En este contexto, capturar la percepción de los estudiantes respecto al sistema desarrollado es primordial a fin de realizar mejoras e incluir nuevas funcionalidades. *Esta memoria también realiza una evaluación del entorno de experimentación remota desarrollado y proporciona algunas pautas y reflexiones respecto al uso del sistema y el trabajo futuro basado en esta información.*

1.2 Objetivos

El **primer objetivo** de este trabajo es proporcionar los fundamentos básicos para el diseño y desarrollo de entornos de experimentación basados en el Web que permitan realizar prácticas de laboratorio a través de Internet. La finalidad que se pretende es proponer un marco de trabajo estructurado para la creación de estos entornos Web para la educación en ingeniería de control que tome en cuenta tanto los aspectos técnicos como pedagógicos en su desarrollo.

El **segundo objetivo** perseguido en esta disertación es diseñar y desarrollar un nuevo mecanismo para la creación de laboratorios virtuales y remotos orientados a la educación en control. El enfoque propuesto se basa en el uso de dos herramientas software especialmente seleccionadas para este propósito: *Easy Java Simulations* y *LabVIEW*. Este objetivo está fuertemente motivado por la idea de hacer más fácil la tarea de creación de laboratorios virtuales y remotos accesibles a través de la Web a nuevos desarrolladores y/o educadores que deseen recurrir a este nuevo paradigma de enseñanza/aprendizaje.

El **tercer objetivo** de esta tesis es crear, paso a paso, un conjunto de laboratorios virtuales y remotos de control siguiendo el enfoque de desarrollo propuesto en el segundo objetivo. Tres equipos didácticos localizados en el Laboratorio de Control Automático de la UNED se utilizarán para describir el mecanismo propuesto: un sistema de tres tanques acoplados, un sistema de control de temperatura y un motor de corriente continua. Los prototipos desarrollados demostrarán la validez del nuevo enfoque.

El **cuarto objetivo** es analizar, diseñar e implementar las características que un entorno de aprendizaje flexible debería cumplir para sostener una comunidad de prácticas en línea. La motivación que sostiene este objetivo es cubrir los recursos Web adicionales necesarios para apoyar efectivamente el proceso de aprendizaje. La implementación final de este objetivo se basa en eMersion, un entorno colaborativo basado en el Web especialmente diseñado para organizar, apoyar y mantener las actividades prácticas a través de Internet.

El **quinto objetivo** de este trabajo es desarrollar un sistema automático de reservas para organizar el acceso de los usuarios a los recursos físicos del laboratorio remoto. Un factor común en la mayoría de las instituciones académicas es la insuficiencia de equipos de laboratorio que permitan atender la demanda de estudiantes debido a que el costo de los mismos no permite en muchos casos contar con más de una unidad. De esta manera, la motivación detrás de este objetivo es crear un sistema automático de reservas que permita la gestión controlada del acceso de los estudiantes a los sistemas reales, optimizando de esta manera el uso de los recursos disponibles.

Finalmente, el **sexto objetivo** de esta memoria es realizar una evaluación del entorno de experimentación desarrollado para conocer la percepción que tienen los estudiantes respecto al uso del sistema. Se han llevado a cabo dos experiencias piloto con el fin de analizar el impacto positivo y negativo que esta nueva forma de realizar las experiencias prácticas tiene en la comunidad de estudiantes.

1.3 Estructura de la tesis

Este trabajo de tesis se ha estructurado en nueve capítulos y tres apéndices, cuyo contenido se describe a continuación de forma resumida:

Capítulo 2. Se presenta y discute el escenario típico de aplicación de un sistema de experimentación remota con fines pedagógicos. En particular, se presenta el enfoque seguido en esta disertación para el análisis, diseño y desarrollo de estos entornos y su aplicación a la realización de laboratorios de prácticas en ingeniería a través de Internet.

Capítulo 3. Se propone una metodología para la implementación de laboratorios virtuales y remotos. En este contexto, el capítulo describe el enfoque JiL Server, un marco de trabajo estructurado desarrollado para facilitar la creación de laboratorios basados en el Web mediante el uso combinado de Easy Java Simulations y LabVIEW.

Capítulo 4. Se presenta el desarrollo de algunos laboratorios virtuales y remotos de control ilustrando la metodología propuesta en el Capítulo 3. En los Apéndices A y B se da información adicional del hardware, modelado y control de los equipos de laboratorio utilizados en este trabajo.

Capítulo 5. Se discuten algunos modelos de enseñanza que ayudan a sostener y apoyar el proceso de aprendizaje de estudiantes cuando las experiencias prácticas se llevan a cabo desde la distancia. Finalmente, se presenta y describe en detalle la herramienta de software utilizada para la publicación de los laboratorios remotos, eMersion. Más información respecto a su uso se puede obtener en el Apéndice C.

Capítulo 6. Se presenta el análisis, diseño y desarrollo de un *Sistema Automático de Reservas* que ayuda a organizar y optimizar el uso de los recursos físicos localizados en el laboratorio.

El Capítulo 7 analiza la integración de esta herramienta en el entorno de experimentación remota eMersion.

Capítulo 7. Se aborda la integración de las capas de experimentación y aprendizaje del enfoque de desarrollo propuesto en el Capítulo 2. Todas las componentes Web descritas en los capítulos previos se reúnen en este capítulo para obtener el entorno de experimentación remota para la educación en ingeniería que constituye el objetivo fundamental de este trabajo.

Capítulo 8. Se presenta una evaluación del sistema de experimentación. En particular, se analizan dos experiencias reales llevadas a cabo con alumnos con el fin de evaluar la utilidad del entorno como herramienta de enseñanza: la experiencia piloto UNED y el proyecto AutomatL@bs. Se discuten los resultados obtenidos de estas evaluaciones.

Capítulo 9. Se presentan las conclusiones del trabajo de investigación y algunas posibles líneas futuras de investigación.

1.4 Publicaciones, Premios y Proyectos

Artículos en revistas

1. H. Vargas, J. Sánchez, S. Dormido, C.A. Jara, F. Candelas, F. Torres. “Docencia en Automática: Aplicación de las TIC a la realización de actividades prácticas a través de Internet”. *Revista Iberoamericana de Automática e Informática Industrial (RIAI)*. Vol. 7, Nr. 1, pp. 35-45. Enero 2010.
2. H. Vargas, J. Sánchez, Ch. Salzmán, F. Esquembre, D. Gillet, S. Dormido (2009). “Web-enabled Remote Scientific Environments”. *Computing in Science and Engineering*. vol. 11, no. 3, pp. 34-46.
3. H. Vargas, J. Sánchez, N. Duro, R. Dormido, S. Dormido-Canto, G. Farias, S. Dormido, F. Esquembre, Ch. Salzmán, D. Gillet (2008). “A systematic two-layer approach to develop Web-based experimentation environments for control engineering education”. *Intelligent Automation and Soft Computing*. vol. 14, no. 4, pp. 505-524.

4. R. Dormido, H. Vargas, N. Duro, J. Sánchez, S. Dormido-Canto, G. Farías, F. Esquembre, S. Dormido (2008). “Development of a Collaborative Web-Based Control Laboratory for Automation Technicians: The Three-Tank System”. *IEEE Trans on Education*. vol. 51, pp. 35-44.
5. N. Duro, R. Dormido, H. Vargas, S. Dormido-Canto, J. Sánchez, G. Farias, S. Dormido (2008). “An Integrated virtual and remote control lab: the three-tank system as a case study”. *Computing in Science and Engineering*. vol. 10, pp. 50-59.
6. J. L. Guzmán, H. Vargas, J. Sánchez, M. Berenguel, S. Dormido, F. Rodríguez (2007). “Education Research in Engineering Studies: Interactivity, Virtual and Remote Labs”. ISBN: 1-60021-829-6. *Capítulo del libro “Distance Education Research Trends”, Nova Science Publisher*. pp. 131-167.
7. S. Dormido, H. Vargas, J. Sánchez, R. Dormido, N. Duro, S. Dormido-Canto, F. Morilla, M. A. Canto, G. Farias (2009). “Compartiendo recursos de experimentación a través de Internet: la experiencia Automatl@bs”. *Capítulo del libro “La UNED ante el EEES: Redes de investigación en innovación docente 2006/2007”, Editorial UNED*.

Artículos en conferencias

1. H. Vargas, Ch. Salzmann, D. Gillet, S. Dormido. “Remote Experimentation Mashup”. *8th IFAC Symposium on Advances in Control Education*. Kumamoto (Japón), Octubre 2009.
2. M. Guinaldo, H. Vargas, J. Sánchez, E. Sanz, S. Dormido. “Web-based Control Laboratory: The Ball and Beam System”. *8th IFAC Symposium on Advances in Control Education*. Kumamoto (Japón), Octubre 2009.
3. L. Díaz, G. Ramos, H. Vargas, R. Costa. “A Virtual/Remote Laboratory to illustrate the Internal Model Principle for periodical signals”. *8th IFAC Symposium on Advances in Control Education*. Kumamoto (Japón), Octubre 2009.

4. H. Vargas, J. Sánchez y S. Dormido. “Experimentación Remota en Automática: Nuevos Entornos Basados en la Web 2.0”. *XXX Jornadas de Automática*. Valladolid (España), Septiembre 2009.
5. H. Vargas, J. Sánchez y S. Dormido. “The Spanish university network of web-based laboratories for control engineering education: The AutomatL@bs project”. *European Control Conference ECC 2009*. Budapest (Hungría), Agosto 2009.
6. H. Vargas, J. Sánchez y S. Dormido (2008). “Proyecto AutomatLabs: Red Interuniversitaria de Laboratorios de Control Automático a través de Internet”. *XIII Latin American Congress on Automatic Control (CLCA)*. Mérida (Venezuela), November 2008.
7. G. Farias, S. Dormido, F. Esquembre, H. Vargas, S. Dormido-Canto (2008). “Laboratorio Virtual para la Enseñanza de Técnicas de Reconocimiento de Patrones”. *XIII Latin American Congress on Automatic Control (CLCA)*. Mérida (Venezuela), November 2008.
8. H. Vargas, J. Sánchez, S. Dormido. “Acceso Extendido a Recursos de Experimentación a través de Internet: La Experiencia AutomatL@bs”. *XXIX Jornadas de Automática*. Tarragona (España), Septiembre 2008.
9. S. Dormido, J. Sánchez, H. Vargas, S. Dormido-Canto, R. Dormido, N. Duro, G. Farias, M. A. Canto y F. Esquembre (2007). “Análisis desarrollo y publicación de laboratorios virtuales y remotos para la enseñanza de la automática”. *II Congreso Español de Informática (CEDI)*, Zaragoza (Spain).
10. J. L. Guzmán, M. Berenguel, F. Rodríguez, H. Vargas, J. Sánchez, S. Dormido (2007). “Desarrollo de un entorno de experimentación basado en web para estudios de ingeniería: un caso práctico”. *II Congreso Español de Informática (CEDI)*, Zaragoza (Spain).
11. S. Dormido, J. Sánchez, F. Esquembre, H. Vargas, S. Dormido-Canto, R. Dormido, N. Duro, G. Farías, Ma. A. Canto (2007). “The development of

- web-based virtual laboratories using Easy Java Simulations (Ejs)”. *International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation Rev07*, Oporto (Portugal).
12. J. Sánchez, H. Vargas, S. Dormido (2007). “Web-based learning resources for vocational training on Control and measurements systems: The AutoTECH Project”. *European Control Conference (ECC)*, Kos (Greece).
 13. H. Vargas, R. Dormido, N. Duro, J. Sánchez, G. Farías, S. Dormido, M. Canto, and F. Esquembre (2006). “Heatflow: Un laboratorio basado en Web usando Easy Java Simulations y LabVIEW para el entrenamiento en técnicas de automatización”. *XII Latin American Congress on Automatic Control (CLCA)*. Salvador de Bahía (Brasil).
 14. G. Farías, F. Esquembre, J. Sánchez, S. Dormido, H. Vargas, S. Dormido-Canto, R. Dormido, N. Duro, and M. Canto (2006). “Desarrollo de laboratorios virtuales, interactivos y remotos utilizando Easy Java Simulations y Modelos Simulink”. *XII Latin American Congress on Automatic Control (CLCA)*. Salvador de Bahía (Brasil).
 15. H. Vargas, J. Sánchez, R. Dormido, G. Farías, and S. Dormido (2006). “Desarrollo de laboratorios virtuales y remotos usando Easy Java Simulations and LabVIEW. El sistema Heatflow como un caso de estudio”. *XXVII Jornadas de Automática*. Almería (Spain).
 16. J. Sánchez, H. Vargas, S. Dormido (2006). “Recursos de Aprendizaje basados en el Web para la formación ocupacional en sistemas de Regulación y Control”. *XXVII Jornadas de Automática*. Almería (Spain).
 17. H. Vargas, G. Farías, S. Dormido, and J. Sánchez (2006). “Web-based learning resources for automation technicians vocational training: illustrated with a Heatflow and liquid level laboratory”. *7th IFAC Symposium on Advances in Control Education (ACE)*. Madrid (Spain).
 18. N. Duro, R. Dormido, H. Vargas, S. Dormido, J. Sánchez, and R. Pastor (2005). “The Three Tank System: A Remote and Virtual Control Labora-

tory using Easy Java Simulations”. *44th IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference (CDC-ECC)*. Sevilla (Spain).

19. N. Duro, R. Dormido, H. Vargas, S. Dormido, J. Sánchez (2005). “El sistema de tres tanques. Un laboratorio virtual y remoto usando Easy Java Simulations”. *I Spanish Congreso on Computer Sciences (CEDI/EIWISA)*. Granada (Spain).

Premios

- PREMIO PRODEL al mejor trabajo sobre *educación en automática* presentado en las XXIX Jornadas de Automática. Tarragona, España. Septiembre 2008. Título del trabajo: *Acceso Extendido a Recursos de Experimentación a Través de Internet: La Experiencia AutomatL@bs*.
- PREMIO DEL CONSEJO SOCIAL Y FUNDACIÓN UNED al mejor proyecto de innovación docente 2008. Madrid, España. Diciembre 2008. Título del Proyecto: *AutomatL@bs - Red de investigación para la innovación docente en Automática mediante laboratorios virtuales y remotos*.
- MENCIÓN DE HONOR en la final del concurso *ciencia en acción* en la modalidad “Ciencia y Tecnología” con el trabajo titulado: *AutomatL@bs: Una red de laboratorios virtuales y remotos para la enseñanza en control automático*. Granada, España. Septiembre de 2009.

Proyectos de investigación

Los resultados obtenidos en el marco de trabajo de esta tesis han sido posibles gracias al apoyo de los siguientes proyectos de investigación:

- *Herramientas interactivas para el modelado, visualización, simulación y control de sistemas híbridos (2004–2006)*. Ministerio Español de Educación y Ciencia, CICYT. Referencia: DPI2004-01804. Universidad Nacional de Educación a Distancia de Madrid, España. Investigador Principal: Prof. Dr. Sebastián Dormido Bencomo.

- *Control de sistemas complejos en logística y producción de bienes y servicios. Acrónimo: COSICOLOGI-CM (2005–2008), IV PRICIT.* Plan Regional de Ciencia y Tecnología de la Comunidad de Madrid. Referencia: S-0505/DPI/0391. Investigador Principal: Prof. Dr. Sebastián Dormido Bencomo.

- *Modelado, simulación y control basado en eventos (2007–2012).* Ministerio Español de Educación y Ciencia, CICYT. Referencia: DPI2007-61068. Universidad Nacional de Educación a Distancia de Madrid, España. Investigador Principal: Prof. Dr. Sebastián Dormido Bencomo.

2

Conclusiones

Generales

La experimentación virtual y remota para la enseñanza del control se puede considerar ya una tecnología madura. Sin embargo, el proceso de transformar un experimento de control en un laboratorio interactivo basado en el Web no es una tarea sencilla. Esta disertación proporciona un enfoque sistemático basado en dos etapas de desarrollo (capas de *experimentación* y *e-learning*) cuya aplicación permite, de forma sencilla, crear y poner en ejecución laboratorios remotos para la enseñanza de temas propios de asignaturas de regulación y control recurriendo a tres herramientas software: *Easy Java Simulations*, *LabVIEW* y *eMersion*. El enfoque propuesto facilita el desarrollo de entornos de experimentación en línea y, también, proporciona un esquema efectivo para conmutar entre simulación y la operación de sistemas reales, lo cual es una característica clave que facilita la realización de las actividades prácticas.

2.1 Conclusiones Específicas

La metodología *JiL Server*, propuesta para el desarrollo de laboratorios basados en el Web (*capa de experimentación*), y las herramientas software que han sido programadas se han aplicado con éxito al desarrollo de los siguientes laboratorios virtuales y remotos para la enseñanza del control automático de procesos:

- Laboratorios virtuales y remotos de un motor de corriente continua, un sistema de control de temperatura y un sistema de tres tanques acoplados del Laboratorio de Control Automático del Departamento de Informática y Automática de la UNED.
- Laboratorio virtual y remoto de un sistema de un tanque con perturbación del Laboratorio de Automática del Departamento de Lenguajes y Computación de la Universidad de Almería (UAL).
- Laboratorio virtual y remoto de un sistema de rotores controlados por campos magnéticos del Departamento de Ingeniería de Sistemas, Automática e Informática Industrial de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC).
- Laboratorio virtual y remoto de una maqueta de cuatro variables, equipo industrial multifuncional diseñado y desarrollado por el Grupo de Automática y Control de la Universidad de León (UNILEON).

El entorno *eMersion* como herramienta de software destinada a la publicación de los laboratorios virtuales y remotos cubre todos los requerimientos de diseño de la *capa de e-learning*. En concreto:

- eMersion intenta mantener los aspectos relacionados con la interacción y colaboración existente en el contexto tradicional de realización de prácticas en un modelo de aprendizaje flexible a través de Internet.
- eMersion articula, organiza y pone a disposición de los alumnos todos los recursos de aprendizaje complementarios al uso de los propios laboratorios

remotos. Documentación general, protocolos de tareas, manuales de instrucciones de interfaz y un completo manual de uso del sistema están disponibles desde el propio entorno. Además, dentro de eMersion el *eJournal* proporciona un espacio compartido en el que los alumnos pueden: guardar resultados de sus actividades prácticas, organizarlas e interactuar y colaborar entre ellos y con sus profesores.

El sistema automático de reservas desarrollado ha sido integrado en eMersion y se ha utilizado con éxito por los estudiantes durante la realización de las actividades prácticas. El diseño de la aplicación propuesta ayuda a optimizar la explotación de los recursos físicos del laboratorio al introducir:

- Un mecanismo simple de reserva de recursos para trabajar sobre los sistemas reales del laboratorio.
- Un módulo sencillo de encriptación y autenticación de usuarios.
- Un mecanismo centralizado que mantiene una copia de seguridad de los registros de reservas.
- Notificaciones vía e-mail de nuevas reservas y/o cancelaciones.

Es indispensable capturar la percepción del estudiante durante su proceso de aprendizaje a la hora de considerar un entorno de experimentación remota como una herramienta valiosa para la enseñanza. Por esta razón, el proceso de evaluación que se presenta en el Capítulo 8 ha permitido obtener información importante en esta dirección. Después del análisis de resultados, se puede decir que el entorno de experimentación remota es una herramienta apreciada por los estudiantes ya que proporciona la autonomía y flexibilidad que ellos demandan a la universidad en la cual se matricularon: una universidad a distancia.

Finalmente, los resultados de la evaluación permiten depurar y mejorar el marco de trabajo en diferentes direcciones. En primer lugar, se incrementará el número y variedad de recursos físicos disponibles al incorporar nuevas universidades en AutomatL@bs. También, se probará realizar implementaciones que permitan a los estudiantes llevar a cabo sus experiencias prácticas usando otros

dispositivos (teléfonos móviles o PDAs) e interfaces de usuario (e-mail, formularios web, interfaces ligeras HTML/Javascript, etc.).

2.2 Líneas futuras de trabajo

Las siguientes dos futuras extensiones de este trabajo se basan en el concepto de “objetos inteligentes” (smart devices) discutida en (Thompson 2005, Salzmann & Gillet 2008, Johnson et al. 2009). Esta idea se puede aplicar directamente en experimentación remota al incrementar la inteligencia de las aplicaciones del lado del servidor, es decir, al extender las capacidades de la aplicación JiL Server con los siguientes objetivos:

- Incluir nuevas funcionalidades en la aplicación JiL Server que permitan mejorar el mantenimiento de los equipos de laboratorio. En este sentido, los administradores podrían beneficiarse de la implementación de mecanismos de notificación automática de fallos vía correo electrónico o mensajes de móvil, seguimiento estadístico de conexiones, notificación de estado, etc.
- Incluir nuevos protocolos de comunicación al esquema JiL Server que permitan que los clientes Web desarrollados con cualquier tecnología puedan controlar los dispositivos de forma remota.

Sería interesante modificar los prototipos de laboratorios virtuales y remotos presentados en el Capítulo 4, en los que la estructura del controlador está ya definida, hacia una estructura más flexible en la que los estudiantes puedan definir la forma del controlador. Un ejemplo que apoya esta línea de trabajo se puede encontrar en (Farias et al. 2009). El objetivo concreto se detalla a continuación:

- Ampliar la funcionalidad de los prototipos de laboratorios virtuales y remotos de control desarrollados en esta tesis incluyendo nuevos algoritmos de control, dando incluso la posibilidad de que el alumno pueda probar su propia implementación. De esta manera, estas prácticas de laboratorio podrían aplicarse a cursos de grados superiores.

Las capacidades de eMersion se pueden mejorar al integrar aplicaciones web externas. Se podrían incorporar dos nuevos módulos con el fin de mejorar la motivación de los estudiantes en la realización de sus actividades prácticas. Estas ideas fueron tomadas desde (Gillet et al. 2005, Salzmann et al. 2008) y los objetivos concretos se detallan a continuación:

- Implementar un nuevo módulo Web en eMersion que permita realizar tareas de análisis y diseño de controladores en línea (actualmente, los alumnos deben utilizar herramientas como Matlab/Simulink o Scilab para desarrollar estas actividades). De esta manera, se completaría el ciclo de instrucción, experimentación, análisis y diseño a través del propio navegador web evitando el uso de aplicaciones de escritorio y/o licencias de pago.
- Desarrollar un módulo Web en eMersion que incorpore herramientas de autoevaluación. De esta manera, los estudiantes podrían revisar su progreso e incluso compararse con el de los demás compañeros del curso. Esto permitiría mejorar la utilidad del sistema al aumentar su usabilidad al inicio de las prácticas, evitando la concentración de su utilización al final del periodo.

Bibliografía

- Anderson, P. (2007), What is Web 2.0? Ideas, technologies and implications for education, Technical report, JISC Technology and Standards Watch. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.108.9995&rep=rep1&type=pdf>.
- Aranda, J., Dormido, S., Morilla, F., Ruipérez, P. & Sánchez, J. (1998), Virtual Control Laboratory for Distance Learning, *in* 'Proceedings of the 2nd II/ITAP Workshop on Distance Learning Conception and Exploitation of the Virtual Laboratory in the Framework of the Virtual Campus, Academical and Industrial Vision (WESIC'98 World Congress)', Girona, Spain.
- Åström, K. J. (2006), Challenges in Control Education, *in* 'Proceedings of the 7th IFAC Symposium on Advances in Control Education (ACE)', Madrid, Spain.
- Bourne, J., Harris, D. & Mayadas, F. (2005), 'On-line Engineering Education: Learning Anywhere, Anytime', *International Journal of Engineering Education* **94**(1), 131–146.
- Casini, M., Prattichizzo, D. & Vicino, A. (2004), 'The Automatic Control Telelab. A Web-based technology for Distance Learning', *IEEE Control Systems Magazine* **24**(3), 36–44.
- Cefalo, M., Lanari, L., Oriolo, G. & Venditelli, M. (2003), The REAL Lab: Remote

- Experiments for Active Learning, in 'Proceedings XLI AICA Annual Congress', Trento, Italia.
- Dormido, S. (2004), 'Control learning: present and future', *Annual Reviews in Control* **28**, 115–136.
- Dormido, S., Canto, S. D., Canto, R. D. & Sánchez, J. (2005a), 'The Role of Interactivity in Control Learning', *The International Journal of Engineering Education: Special Issue on Control Engineering Education* **21**, 1122–1133.
- Duro, N., Dormido, R., Vargas, H., Dormido-Canto, S., Sánchez, J., Farias, G. & Dormido, S. (2008), 'An Integrated Virtual and Remote Control Lab The Three-Tank System as a Case Study', *Computing in Science and Engineering* **10**, 50–59.
- Eikaas, T. I., Foss, B. A., Solbjorg, O. K. & Bjolseth, T. (2006), 'Game-based dynamic simulations supporting technical education and training', *International Journal of Online Engineering* **2**(2).
- Ejs (2009a), *Ejs* wiki Website. <http://www.um.es/fem/EjsWiki/>.
- eMersion (2009), EPFL Website. <http://emersion.epfl.ch/>.
- Farias, G., Keyser, R. D., Dormido, S. & Esquembre, F. (2009), Building Remote Labs Using Easy Java Simulations and Matlab, in 'Proceedings of the 10th European Control Conference', Budapest, Hungary.
- Fleming, W. H. (1989), 'Future directions in control theory: A mathematical perspective', *Society for Industrial and Applied Mathematics* .
- Gillet, D., Nguyen, A. V. & Rekik, Y. (2005), 'Collaborative Web-Based Experimentation in Flexible Engineering Education', *IEEE Transactions on Education* **48**, 696–704.
- Gómez, L. & García, J. (2007), *Advances on remote laboratories and e-learning experiences*, Deusto Publicaciones.

- Hahn, H. H. & Spong, M. W. (2000), Remote Laboratories for Control Education, *in* 'Proceedings of the 39th IEEE Conference on Decision and Control', Sydney, Australia.
- Hu, W. & Bao, A. (2008), Application of Internet-Based Collaboration Model in Engineering Education: A Case Study, *in* 'Proceedings of the 2008 International Conference on Computer Science and Software Engineering', IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, pp. 178–181.
- Johnson, L., Levine, A. & Smith, R. (2009), The Horizon Report 2009 Edition, Technical report, New Media Consortium - EDUCAUSE Learning Initiative. <http://www.nmc.org/publications/2009-horizon-report>.
- Kazmer, M. & Haythornthwaite, C. (2005), 'Multiple perspectives on online learning', *Special issue on online learning communities* **25**(1), 7–11.
- LabVIEW (2009a), Website. <http://www.ni.com/labview>.
- London-External (2009), University of London Website. <http://www.londonexternal.ac.uk/>.
- Nguyen, A. V. (2007), Activity theoretical analysis and design model for Web-based experimentation, *in* 'Proceedings of the International Conference on Human-Computer Interaction', Beijing P.R., China.
- Open-UA (2009), Athabasca University Website. <http://www.open-au.com/>.
- OU (2009), The Open University Website. <http://www.open.ac.uk/>.
- OUA (2009), Open Universities Australia Website. <https://www.open.edu.au/wps/portal>.
- Pastor, R., Martín, C., Sánchez, J. & Dormido, S. (2005), 'Development of an XML-based lab for remote control experiments on a servo motor', *International Journal of Electrical Engineering Education* **42**(2), 173–184.
- Riva, G. (2001), *Learning and Teaching on the World Wide Web*, Academic Press, pp. 131–148.

- Rosen, M. A. (2007), *Innovations 2007: World Innovations in Engineering Education and Research*, International Network for Engineering Education & Research (iNEER), pp. 1–11.
- Salzmann, C. & Gillet, D. (2007), Challenges in Remote Laboratory Sustainability, in ‘Proceedings International Conference on Engineering Education - ICEE’, Coimbra, Portugal.
- Salzmann, C. & Gillet, D. (2008), ‘From on-line experiments to smart devices’, *International Journal of Online Engineering* **4**, 50–54.
- Salzmann, C., Gillet, D., Scott, P. & Quick, K. (2008), Remote lab: online support and awareness analysis, in ‘Proceedings of the 17th IFAC World Congress’, Seoul, Korea.
- Sánchez, J. (2000), Un enfoque metodológico para la enseñanza a distancia de asignaturas experimentales: Análisis, diseño y desarrollo de un Laboratorio Virtual y Remoto para el estudio de la Automática a través de Internet, PhD thesis, Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid, España.
- Sánchez, J., Dormido, S. & Esquembre, F. (2005), ‘The Learning of Control Concepts Using Interactive Tools’, *Computer Applications in Engineering Education* **13**(1), 84–91.
- Sánchez, J., Dormido, S., Pastor, R. & Morilla, F. (2004), ‘A Java/Matlab-Based Environment for Remote Control System Laboratories: Illustrated With an Inverted Pendulum’, *IEEE Trans. on Education* **47**(3), 321–329.
- Sánchez, J., Morilla, F., Dormido, S., Aranda, J. & Ruipérez, P. (2002), ‘Virtual and Remote Control Labs Using Java: A Qualitative Approach’, *IEEE Control Systems Magazine* **22**(2), 8–20.
- Thompson, C. W. (2005), ‘Smart Devices and Soft Controllers’, *IEEE Computer Society* **9**(1), 82–85.
- UDIMA (2009), Distance University of Madrid Website.
<http://www.udima.es/>.

UNAD (2009), Open University of Colombia Website.

<http://www.unad.edu.co/>.

UNED (2009), National University for Distance Education Website.

<http://www.uned.es>.

UOC (2009), Open University of Catalonia Website. <http://iip.uoc.edu/>.

Valera, A., Diez, J. L., Vallés, M. & Albertos, P. (2005), 'Virtual and Remote Control Laboratory Development', *IEEE Control Systems Magazine* **25**(1), 35–39.

Williams, R. (2007), *Innovations 2007: World Innovations in Engineering Education and Research*, International Network for Engineering Education & Research (iNEER), pp. 279–290.