

# Laboratorio Virtual de Sistemas Digitales

Javier E. Soto Vargas\* y José Nelson Pérez Castillo\*\*

## Resumen

En este artículo se describe el desarrollo de un Laboratorio Virtual de Sistemas Digitales para estudiantes, que hace posible aprender al interactuar con una serie de simulaciones funcionales y un banco de problemas. Las simulaciones abarcan los circuitos digitales básicos, tanto combinacionales con compuertas lógicas, sumadores, multiplexores, decodificadores y comparadores, como los secuenciales con *flip flops*, contadores y registros, además de las técnicas para obtener y reducir funciones booleanas, utilizando términos mínimos/máximos y mapas de Karnaugh. También está disponible una nutrida base de datos de problemas, la cual abarca temas como sistemas numéricos, álgebra booleana, lógica combinacional/ secuencial, Ecaes (Exámenes de Calidad de la Educación Superior en Colombia), microcontroladores y muchos otros. El estudiante tiene la posibilidad de buscar los problemas a manera de información o probar sus conocimientos resolviendo cuestionarios personalizados, recibiendo de inmediato los resultados, con las opciones adicionales de

enviárselos a sí mismo por correo electrónico o a un tercero (por ejemplo, un profesor). Los profesores tendrán todas las opciones del estudiante y adicionalmente algunas otras, como insertar, editar, borrar problemas y mirar estadísticas detalladas de utilización del laboratorio, tanto de su funcionamiento como de las acciones realizadas por parte de los estudiantes.

**Palabras claves:** laboratorio virtual, sistemas digitales, simulaciones.

## Abstract

This paper describes the development of a Digital Systems Virtual Lab oriented to students, which makes possible to learn by interacting with functional simulations and a bank of problems. The simulations contain basic digital circuits of two types, combinational, such as logic gates, adders, multiplexers, decoders and comparers; and sequential, using flip flops, counters and registers. In addition, the simulations involve techniques to obtain and reduce Boolean functions, using minimum and maximum terms and Karnaugh's maps. The Digital Systems Virtual Lab has also a humungous data base of problems, with topics as: numeric systems, Boolean algebra, combinational and sequential logic, Ecaes, (exams to evaluate quality of the superior education at Colombia), and microcontrollers among others. There is the possibility for the student to find the problems as an informational method or as an evaluating method, by taking personalized questionnaires. Results can be sent immediately by electronic mail to the student or to another person, e.g. the professor. In addition to the mentioned options that students can perform, which professors can also use, professors will have the opportunity to insert, edit and delete problems, review detailed statistics of lab usage, such as lab functionality and students development.

**Key words:** Virtual Lab, Digital Systems, Simulations.

## INTRODUCCIÓN

Los laboratorios en ingeniería constituyen una parte fundamental para la formación de los estudiantes de esta profesión. Es aquí donde el estudiante confronta la teoría vista en un aula de clase con experimentos y prácticas físicas en el laboratorio, reforzando así el conocimiento en el área de estudio. El mundo virtual, tras la interacción con un computador, no puede remplazar el alcance de lo aprendido mediante una práctica física o presencial, pero puede aportar significativamente a la conceptualización teórica del área de estudio. Mediante esta técnica se puede, incluso, superar algunas de las limitaciones que puede tener el estudiante para la ejecución de prácticas complejas o extensas en el laboratorio.

Los laboratorios virtuales (LV) comenzaron a desarrollarse en el Centro de Investigación Académica de la Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica en 1997, como un proyecto de formación a distancia para estudiantes de bajos recursos. Años después ya existían algunos proyectos académicos y comerciales en distintas partes del mundo. Debido a su gran acogida en la comunidad académica, hoy en día el número de aplicaciones con laboratorios virtuales es muy amplio, basándose principalmente en las áreas de física, química y biología. Con la visión de las carreras de ingeniería, estas áreas hacen parte del ciclo básico o formativo del estudiante. Las búsquedas sobre estos laboratorios virtuales que

\* Ingeniero electrónico de la Escuela Colombiana de Ingeniería. Director de Ecibot, Grupo de Robótica de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

jsoto@escuelaing.edu.co. Página web y enlace al laboratorio virtual: <http://electronica.escuelaing.edu.co/~jsoto/>

\*\* Ingeniero de sistemas de la Universidad Distrital. Especialista en SIG, teledetección y cartografía de la Universidad de Alcalá de Henares. Magister en teleinformática de la Universidad Distrital y doctor en informática de la Universidad de Oviedo. Director del grupo Gicoce.

nelsonp@udistrital.edu.co  
Grupo de investigación: Gicoce (Grupo Internacional de Investigación en Informática, Comunicaciones y Gestión del Conocimiento).



abarquen el ciclo básico profesional, como electrónica analógica y digital, es casi nulo, centrando su desarrollo en *software* costoso producido por grandes compañías en el tema, los cuales se elaboran para diseños complejos y no específicamente para aportar en los conocimientos básicos necesarios en la formación del estudiante.

### LABORATORIO VIRTUAL

Los laboratorios virtuales son ambientes simulados por computador que permiten continuar aprendiendo fuera de un salón de clases. Un laboratorio virtual se puede describir como una pequeña aplicación interactiva compuesta de componentes de multimedia y texto para desplegar un ambiente particular de manera virtual o simulada. Un típico LV consistiría en un conjunto de acciones predefinidas para que el usuario o estudiante realice, aprendiendo, una tarea específica. Las simulaciones pueden estar en forma de un *applet* de Java, páginas web dinámicas utilizando JSP y *Servlets*, un taller de actividades o de muchos modos posibles, pero el propósito básico es permitir a los estudiantes observar una demostración visual, mediante un ambiente simulado, de un concepto científico utilizando un *software* y a menudo de una manera animada. Adicionalmente, un estudiante puede tener la oportunidad de manipular una o más variables relacionadas con el concepto, siendo testigo de los cambios y resultados.

### Los laboratorios virtuales hoy

Las búsquedas en internet indican que el número de proyectos con el nombre de "Laboratorio virtual" ha aumentado considerablemente y pueden ir desde simple contenido de texto y figuras en una página HTML, hasta laboratorios más avanzados con sonido e imágenes realistas y aplicaciones en 3D.

Un gran número de estas aplicaciones son de carácter académico que se desarrollan en las áreas de física, química y biología, de las cuales la mayoría son simulaciones escritas en Java mediante *applets*. Éstos se pueden trabajar en línea sin necesidad de descargar *software* adicional al equipo. Otras de carácter comercial, como "The Digital Frog", que es un *software* animado que posibilita ver de cerca la anatomía de

la rana, le permite al estudiante hacer disecciones de la misma<sup>1</sup>. Este tipo de sitios normalmente sólo dejan descargar al PC versiones limitadas de demostración para su ejecución.

Los laboratorios virtuales comenzaron a desarrollarse en el Centro de Investigación Académica de la Universidad Estatal a Distancia de Costa Rica en 1997, como un proyecto de formación a distancia para estudiantes de bajos recursos.

En algunos casos, los laboratorios virtuales pueden considerarse como *softwares* que producen grandes empresas, teniendo la capacidad de simular diversos dispositivos electrónicos. Estos programas no trabajan en línea y se deben instalar en el computador, y aunque algunos proveen licencias educativas o de evaluación gratuitas, otros son costosos y salen del

presupuesto de los estudiantes.

Es importante destacar que en las consultas realizadas en internet no existen laboratorios virtuales o ambientes web dedicados al estudio o la enseñanza de los sistemas digitales. El único sitio donde se encontró una simulación funcional en forma de *applet* fue en el Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Johns Hopkins, donde se permite elaborar un pequeño circuito digital a base de compuertas lógicas con máximo cuatro entradas y máximo cuatro salidas.

Así mismo, se encuentran programas que permiten reducir funciones booleanas utilizando mapas de Karnaugh, como el KarnaughMap 1.2<sup>2</sup>, el cual sólo permite trabajar con mapas de cuatro variables sin condiciones de no importa. El "Karnaugh Minimizar 2.0"<sup>3</sup>, que en su versión gratuita sólo permite trabajar con cuatro variables y condiciones de no importa, en su versión completa provee funciones adicionales y tiene un costo de US\$20. También está el "Karno 1.0"<sup>4</sup>, que maneja cuatro variables y condiciones de no importa. Todos este *software* es ampliamente superado por la simulación del mapa de Karnaugh, aplicación diseñada en este proyecto puesto que trabaja un máximo de seis variables, condiciones de no importa, permite variar los nombres de las entradas y salidas para mostrar la función reducida como la necesita el usuario, una interfaz gráfica más amigable para el usuario, se puede trabajar de manera gratuita y no requiere descargar *software* adicional al equipo.

En las búsquedas efectuadas, no se encontraron ambientes donde los estudiantes interactúen con un banco de preguntas relacionadas con los sistemas digitales y tengan la posibilidad de probar sus conocimientos respondiendo pre-

En algunos casos, los laboratorios virtuales pueden considerarse como *softwares* que producen grandes empresas, teniendo la capacidad de simular diversos dispositivos electrónicos.



guntas y verificando sus resultados en línea.

### Cuándo y por qué usar laboratorios virtuales

Si se tiene un concepto negativo de los “laboratorios virtuales” (o simulaciones), es porque éstos no son capaces de remplazar a la vida real o las prácticas presenciales realizadas en laboratorios con elementos físicos tangibles. Esto es cierto, pero si el laboratorio real no es posible o conveniente, el laboratorio virtual es bueno como sustituto o al menos para entrenamiento antes de realizar prácticas que en algunos casos pueden resultar peligrosas, especialmente si se cuenta con simuladores mecánicos, simuladores con componentes químicos, simuladores de componentes electrónicos o de realidad virtual en lugar de una simple pantalla de computador. Como hacen automáticamente algunos cálculos matemáticos rutinarios liberan tiempo para comprender los conceptos básicos en cuestión, y como presentan los cambios de manera gráfica facilitan el aprendizaje.

De mi experiencia como educador puedo decir que los estudiantes apropian mejor la teoría vista en un salón de clases cuando existen prácticas físicas de laboratorio o simulaciones en computador que demuestren la funcionalidad de los circuitos lógicos digitales (campo en el que me desempeño). Infortunadamente, no existe el tiempo suficiente para implementar, en forma física o mediante *software* de simulación, todos los circuitos expuestos en clase, motivo por el cual desarrollé simulaciones que demuestren el funcionamiento básico de los componentes digitales fundamentales como uno de los objetivos principales de este trabajo.

### ENSEÑANZA PROBLÉMICA

Resulta trascendental que la enseñanza sea capaz de proporcionarles a los

estudiantes la posibilidad de aprender a aprender. En la enseñanza tradicional se busca, esencialmente, la formación de un pensamiento empírico; el alumno al aprender es un receptor pasivo y el docente al enseñar es activo, el conocimiento se asimila por repetición, se ofrece como verdades absolutas y generalmente no hay suficiente vínculo con la realidad.

Mirza I. Majmutov desarrolló y sistematizó un sistema didáctico en las décadas de los sesenta y setenta al que llamó “enseñanza problémica”. Con este sistema criticó la enseñanza tradicional, al expresar que ésta le ofrece al alumno, por lo general, los conocimientos ya elaborados, asignándole un papel pasivo de simple receptor de conocimientos que después debe repetir, sin comprender plenamente cómo fue el proceso de búsqueda y construcción teórica que llevó a esos conocimientos. En su sistema, Majmutov parte de concebir al alumno como un ente activo, por lo que debe realizar una activi-

dad para apropiarse del conocimiento y con ello desarrollar su intelecto. Planea que es importante que el alumno, junto con el conocimiento, asimile los métodos y procedimientos que utilizó el científico en el desarrollo de la ciencia.

El objetivo en su sistema es hacer transitar al alumno (de manera abreviada) por caminos similares a los que recorrió el científico para llegar a sus conclusiones. En este tránsito el estudiante no sólo se apropia del conocimiento sino de la lógica de la ciencia en cuestión, en la solución de un problema determinado; para ello parte de no brindar el conocimiento ya fabricado, sino que se centra en reflejar las contradicciones del fenómeno estudiado en forma de problema y crea una situación problémica, con el fin de que el estudiante se sienta motivado a darle solución y se apropie del conocimiento y de los métodos del pensamiento científico.

Existen diversos puntos de vista sobre la enseñanza problémica que vale

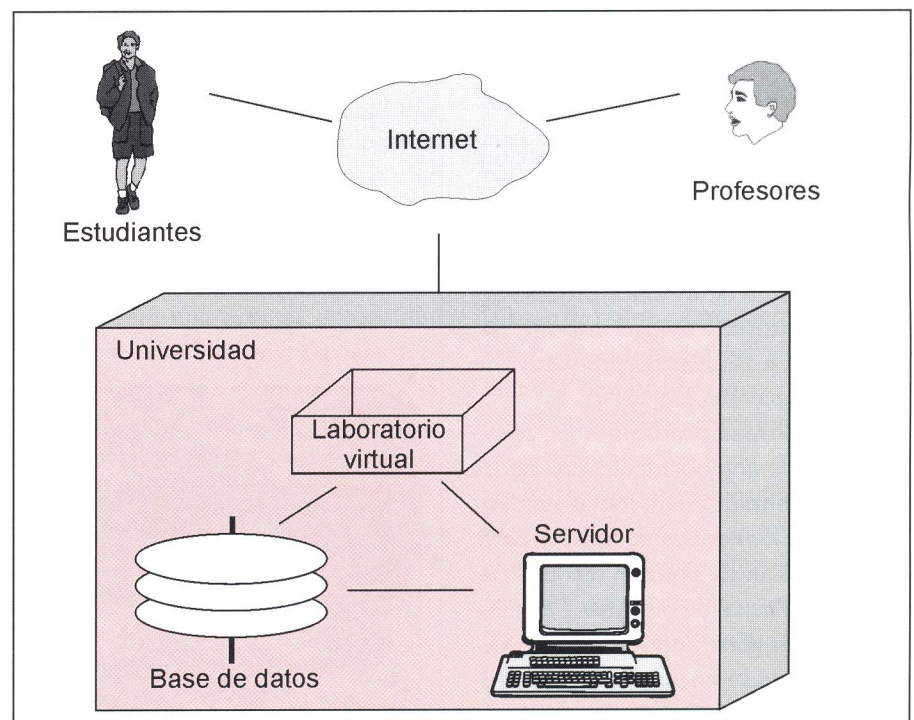


Figura 1. Descripción general.



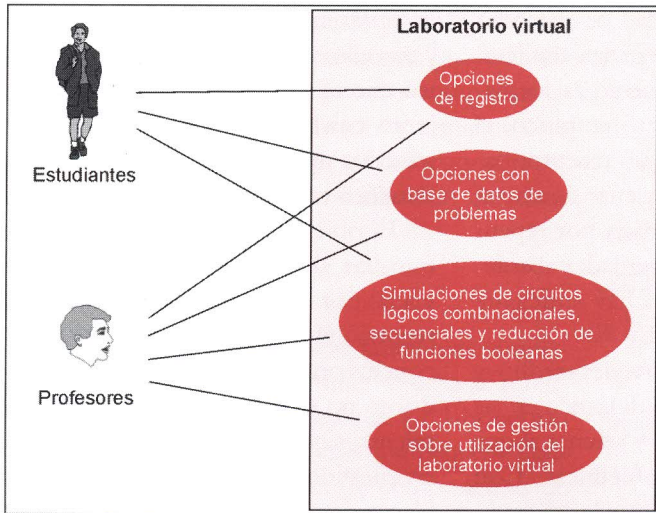


Figura 2. Actividades.

la pena revisar. Guevos integra varios factores al plantear que "... consiste en que en el proceso de solución creadora por los estudiantes de problemas se produce la asimilación creadora de los conocimientos y habilidades, de las experiencias acumuladas por la sociedad, además de la formación de una personalidad activa, altamente desarrollada y consciente"<sup>5</sup>.

Por tanto, su esencia consiste en que los alumnos no asimilen el contenido en forma preparada sino que, mediante la búsqueda activa, logren desarrollar sólidos conocimientos que constituyan un sistema generalizado, que sea asimilado de modo tal que les permita su utilización en la práctica.

Como se puede apreciar, existen muchas definiciones de enseñanza problémica. Algunos autores consideran que es un sistema, otros la definen como conjunto de acciones, proceso del conocimiento o actividad docente encaminada a la asimilación productiva de los conocimientos.

La enseñanza problémica es, como se mencionó anteriormente, una de las vías más utilizadas para lograr una asimilación de los conocimientos por parte de los estudiantes. Por esta razón el Laboratorio Virtual de Sistemas Digitales trabajará una parte importante de su desarrollo, basado en un banco de problemas almacenados en una base de datos, para que los estudiantes interactúen con ellos, fortaleciendo sus cono-

cimientos teóricos sobre diversos temas de la lógica digital. Los problemas en el sistema se expondrán o trabajarán con base en cinco tipos diferentes de preguntas: preguntas de selección múltiple con única respuesta, preguntas de selección múltiple con múltiple respuesta, preguntas abiertas (problemas), preguntas de análisis de relación, preguntas de falso y verdadero. Algunos de estos tipos de preguntas son los utilizados en los Ecaes pensando, como una de las múltiples opciones, en una autopreparación por parte de los estudiantes para dicha evaluación.

### DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA

El Laboratorio Virtual de Sistemas Digitales (LVSD) es un sistema remoto que permite a los estudiantes continuar aprendiendo los conceptos básicos de sistemas digitales fuera de un salón de clases, cuando y donde lo deseen.

En la figura 1 se muestra la estructura básica del sistema, en la que cabe señalar varios puntos importantes. Los usuarios del sistema (profesores y estudiantes) sólo necesitarán una conexión a internet para acceder a las aplicaciones; esta, por sus características propias, es independiente del tiempo y del espacio (o lugar geográfico). La universidad será la encargada de proveer los recursos mínimos para que la aplicación se pueda ejecutar adecuadamente. Estos recursos son muy comunes hoy en día, incluso se pueden instalar herramientas gratuitas para su funcionamiento, como es el caso del sistema operativo Linux y gran cantidad de *software* de código libre. Entre las herramientas requeridas

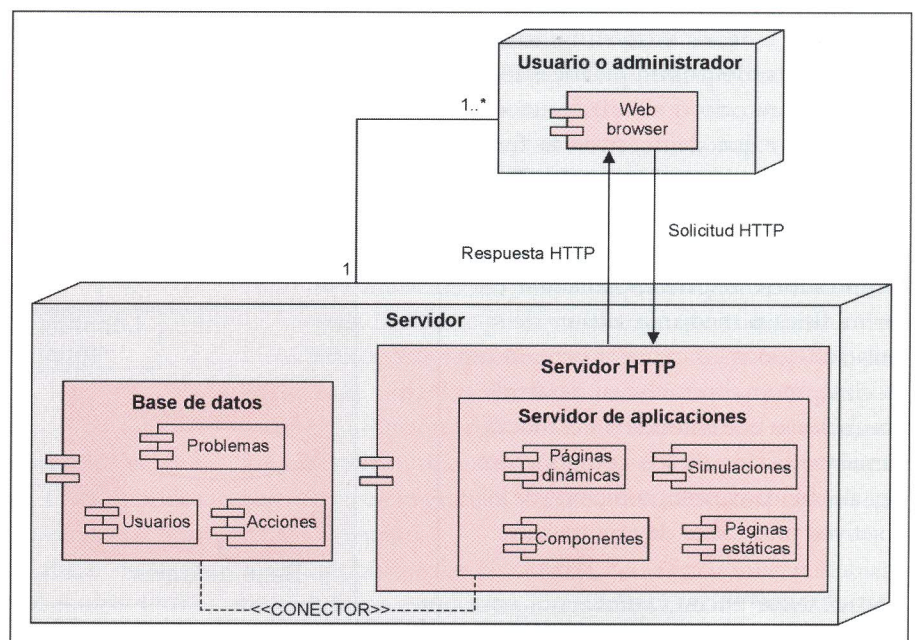


Figura 3. Arquitectura.



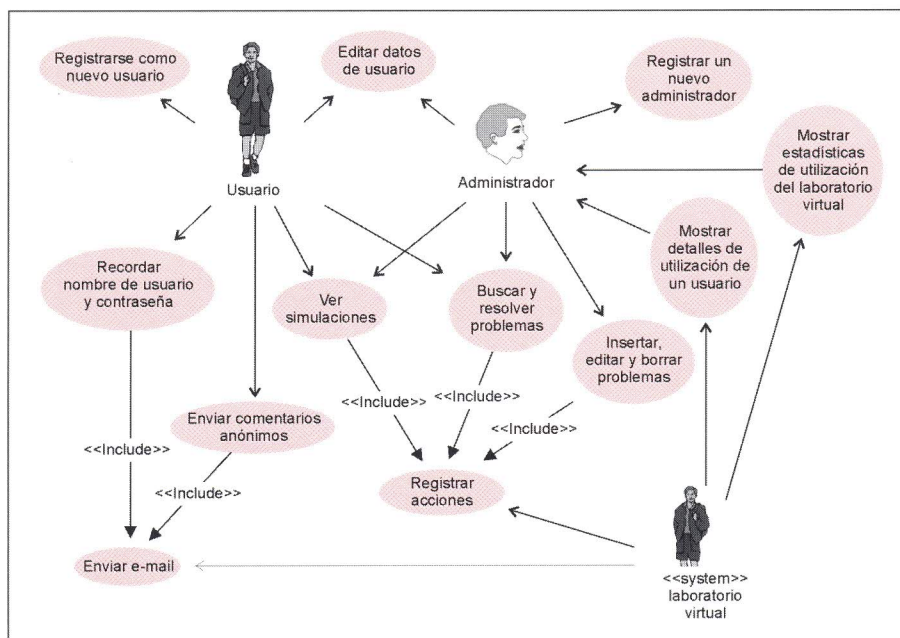


Figura 4. Casos de uso.

están un servidor donde se puedan instalar las aplicaciones del laboratorio virtual y una base de datos que permita la persistencia de información necesaria para la aplicación.

En la figura 2 se presenta el diagrama general de actividades de un estudiante y un profesor (actores) en el sistema, cada uno de los cuales tendrá interacción con el laboratorio virtual, como se indica en los casos de uso de dicha figura.

### ARQUITECTURA GENERAL DEL SISTEMA

La aplicación del laboratorio virtual es un *software* remoto de consulta, motivo por el cual es distribuido. Consiste básicamente en un cliente, navegador de internet, y un servidor que además de presentar la interfaz gráfica desde la que los usuarios (o administradores) trabajarán, se encarga de manejar las aplicaciones disponibles.

Como se puede observar en la figura 3, el sistema se divide físicamente en dos clases de máquinas diferentes. Por un lado tendríamos el “sistema cliente”, en el cual tiene que estar ins-

talado por lo menos un navegador de internet o *Web browser*, que accede al sistema a través de una interfaz gráfica vía web, bajo el protocolo HTTP. Por otro lado tenemos el sistema más importante, el servidor, que estará compuesto por un servidor web, como Apache, y un servidor de aplicaciones, como por ejemplo Tomcat, donde se encuentra toda la lógica de trabajo de la aplicación, desplegando la interfaz web de administración y acceso a las diferentes aplicaciones disponibles.

El último componente del sistema servidor será una base de datos, utilizada para todas las tareas de persistencia de información necesaria. La información que hay que almacenar y manipular en la base de datos comprende principalmente los datos de los usuarios registrados, los problemas o preguntas y las acciones realizadas por los usuarios.

### DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

Como se ha mencionado, el sistema desarrollado es una herramienta para que los estudiantes de sistemas digitales

interactúen con módulos de simulación y problemas de los temas básicos de esta área. Adicionalmente, el sistema genera informes de su uso y de la utilización específica de cada usuario.

En la figura 4 se muestran en detalle los casos de uso del sistema. Se puede apreciar que existen dos tipos de usuarios, diferenciados únicamente por razones de seguridad, puesto que habrá unos usuarios que tendrán acceso total al sistema (administradores), mientras que otros sólo tendrán acceso a algunos recursos (usuarios). Cabe destacar que hay un actor, correspondiente al sistema, denominado “laboratorio virtual”, el cual ejecuta acciones no perceptibles para el usuario ni para el administrador, que vale la pena tener en cuenta en este diagrama.

Existen varios casos de uso relacionados con las opciones de registro en el sistema; estas actividades implican el poder registrar un nuevo usuario o un nuevo administrador, además de poder editar sus datos en caso de requerirse. Estos casos de uso son necesarios, puesto que existe otro caso de uso que permite mostrar los detalles de utilización de un usuario en el sistema, lo cual es posible con el registro y la autenticación de un usuario al ingresar al sistema.

Los usuarios y administradores del sistema tendrán diversas opciones con la base de datos de problemas. De este modo, mientras que un usuario solo tiene la opción de buscar y resolver problemas, el administrador, además de las opciones ya mencionadas, también tendrá la opción de insertar, editar y borrar problemas. Cada una de las acciones realizadas se almacenará en la base de datos y la podrá revisar un administrador cuando éste lo considere necesario.

En la figura 5 se presenta un ejemplo de la búsqueda de un problema, la cual se puede llevar a cabo teniendo en



cuenta el tipo de pregunta o el tema relacionado con el problema. Una vez escogido este ítem se pueden visualizar diferentes opciones, discriminándolos por el número de referencia, por un rango de números de referencia, todos los problemas disponibles o un número aleatorio de ellos. Se puede apreciar la funcionalidad adicional de presentar gráficas en los problemas, si hubiere necesidad de éstas.

Una de las principales herramientas son las simulaciones funcionales disponibles, las cuales pueden ser de reducción de funciones booleanas, de circuitos lógicos combinacionales o de circuitos lógicos secuenciales, disponibles tanto para el administrador como para el usuario. Al igual que con los problemas, las visitas realizadas a las simulaciones quedarán registradas en la base de datos, lo cual nos dará, entre otras cosas, estadísticas de utilización que indicarán las preferencias de los usuarios en el sistema.

En la tabla 1 se registran las simulaciones disponibles en el Laboratorio Virtual de Sistemas Digitales, las cuales se desarrollaron mediante *applets* de Java insertados en páginas JSP. En la figura 6 se muestra como ejemplo la presentación gráfica de la simulación del mapa de Karnaugh, presentada directamente mediante un navegador de internet.

Normalmente, todas las acciones que se realizan en el sistema deben quedar registradas; de aquí, el caso de

15- La función equivalente implementada por el circuito de la figura corresponde a

A.  $F = A \text{ nor } B$   
 B.  $F = A \text{ nand } B$   
 C.  $F = A \text{ xor } B$   
 D.  $F = (((A \text{ nand } B) \text{ nand } A) \text{ nand } B)$   
 E.  $F = A \text{ xnor } B$

Respuesta: C

Tipo de problema: ECAES

Referencia: ECAES 2003 - ICFES - Ingeniería Electrónica - Ejercicio 49

Haga click [aquí](#) para volver al menú principal.

Figura 5. Vista de una búsqueda.

uso “registrar acciones”, el cual lo emplean diversos componentes de la aplicación. Gracias a estas acciones registradas se pueden generar informes al administrador por medio de los casos de uso “mostrar detalles de utilización de un usuario” y “mostrar estadísticas de utilización del laboratorio virtual”.

Los casos de uso como “recordar nombre de usuario y contraseña” y “enviar comentarios anónimos” pueden utilizarlos tanto un usuario normal como un administrador (aunque por conveniencia no se muestre la conexión en el dibujo), pues su funcionalidad es suficientemente clara con los nombres

expuestos. Estos casos de uso, junto con alguno de los aplicativos del sistema, utilizarán un componente adicional que se encargará de enviar correos electrónicos con las respuestas de las solicitudes hechas, según el caso.

Para la implementación del sistema se generaron alrededor de 102 páginas JSP y algunos *Servlets*, los cuales se modelaron en su totalidad mediante diagramas de secuencia de UML. Esto permitió tener un claro desarrollo de la secuencia de actividades que debería llevar un usuario para cumplir con los casos de uso ya descritos. Al igual que las páginas JSP, que permiten navegar por el sistema, fue necesario implementar algunos componentes adicionales (Java Beans), transparentes para los usuarios, que dan la funcionalidad requerida por el sistema.

Para las simulaciones funcionales se diseñaron una serie de objetos organizados sistemáticamente para su utilización, según fuera necesario. Cada una de las simulaciones se implementó mediante *applets* de Java, los cuales tienen ventajas significativas frente a pá-

Tabla 1  
Simulaciones

Circuitos lógicos combinacionales	Circuitos lógicos secuenciales	Reducción de funciones booleanas
Compuertas lógicas	Flip Flop R-S	Términos mínimos y máximos Mapa de Karnaugh
Sumador completo	Flip Flop D	
Sumador paralelo	Flip Flop T	
Mux 4x1	Flip Flop J-K	
Mux 8x1	Contador binario	
Comparador de magnitud	Contador up/down	
Demux/Decodificador	Contador con carga en paralelo	
	Registro con carga en paralelo	
	Registro de desplazamiento	



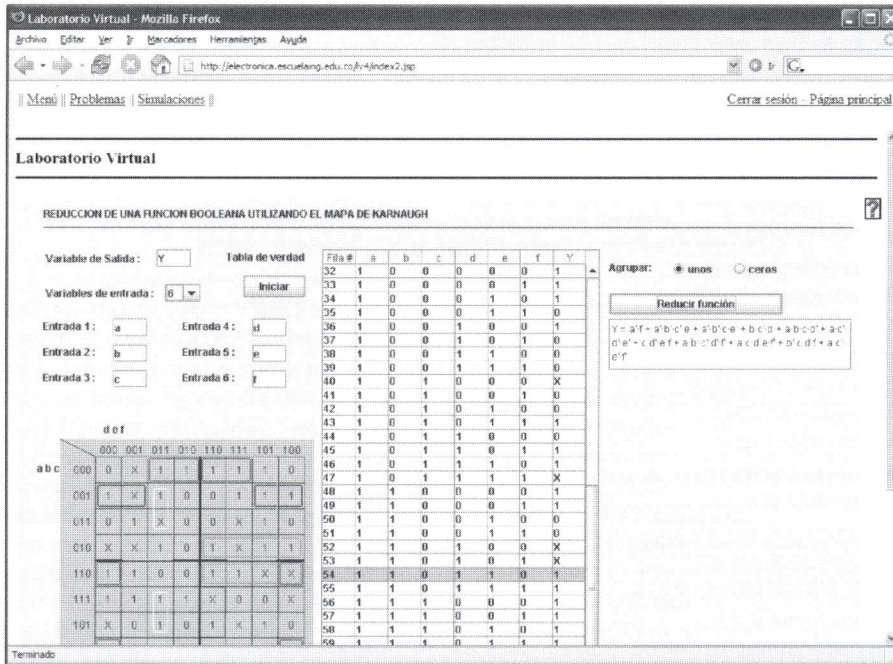


Figura 6. Vista de la simulación del mapa de Karnaugh.

ginas estáticas en HTML o dinámicas con JSP.

Los *applets* permiten mayor flexibilidad de diseño, puesto que es más fácil ubicar y manipular botones, tablas, cuadros de texto, dibujos, botones de selección (CheckBox o RadioButton) y otras herramientas en un área determinada, merced a la versatilidad del lenguaje Java. Las páginas HTML no prestan esta facilidad.

La reutilización de objetos permite una gran diversidad de soluciones, gracias al gran conjunto de clases del kit de desarrollo Java que se esté trabajando y de los objetos creados para la aplicación. Como Java es un lenguaje orientado a objetos, permite la reutilización de los objetos o componentes creados, lo cual es posible si se hace un buen diseño de *software*, permitiendo la escalabilidad para crear sistemas más complejos. Por ejemplo, para la simulación de “compuertas lógicas” se crearon objetos de cada una de las compuertas, los cuales se reutilizaron en

otros componentes, tales como multiplexores, contadores y registros, entre otros.

**ESTADÍSTICAS DE UTILIZACIÓN DEL SISTEMA**

Para la fecha de la última revisión de este artículo, antes de su publicación, y con aproximadamente un año de

Con aproximadamente un año de funcionamiento al servicio de estudiantes de sistemas electrónicos digitales 1 y 2 de la Escuela Colombiana de Ingeniería, había 5.241 visitas a la aplicación del laboratorio virtual.

funcionamiento al servicio de estudiantes de sistemas electrónicos digitales 1 y 2 de la Escuela Colombiana de Ingeniería, había 5.241 visitas a la aplicación del laboratorio virtual (<http://electronica.escuelaing.edu.co/lv4/>). En las figuras 7 y 8 se muestran algunas de las estadísticas generadas por el sistema. En la primera de estas figuras se registran los porcentajes de utilización sobre las aplicaciones de la base de datos de problemas, donde se puede apreciar que los estudiantes tienen una gran tendencia a mirar los problemas de la base de datos, mientras que en la sección de “Resolver problemas” sólo la mitad de los estudiantes completan el proceso de autoevaluación iniciado. En la otra figura se muestran los porcentajes de utilización de las simulaciones, donde se puede observar una gran preferencia por las simulaciones orientadas a reducción de funciones booleanas, especialmente a la simulación del mapa de Karnaugh, convirtiéndose en la aplicación más visitada del laboratorio virtual.

**REFERENCIAS**

1. Web de “The Digital Frog” <http://digitalfrog.com>.
2. Web de Karnaugh Map: <http://www.puz.com/sw/karnaugh/>.
3. Web de Karnaugh Minimizar: <http://karnaugh.shuriksoft.com/>.
4. Web de Karno 1.0: <http://www.geocities.com/ResearchTriangle/2608/Karnaugh.html>.
5. Guevos, A. I. (1973). *Los aspectos psicológicos de la síntesis de la enseñanza problémica y programada*. Moscú: Znanie.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Brown, Simon *et al.* (2001). *Professional JSP*, 2<sup>nd</sup> ed. Canadá: Wrox Press, 1195 pp.
- Coward, Danny (2005). *Java™ Servlet API Specification Version 2.3*. Sun Microsystems, septiembre 17. 901 San Antonio Road, Palo Alto, California, 94303, USA.



Ministerio de Educación Nacional, República de Colombia, Icfes y Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (Acofi). (2003). Exámenes de Calidad de la Educación Superior (Ecaes).

Deitel, Harvey M. y Deitel, Paul J. (2004). *Cómo programar en Java*, 5ª ed. México: Pearson Education, 1325 pp.

Documentación y manual en línea de MySQL: <http://dev.mysql.com/doc/>.

Dunn, Ivan. (2002). Apache/Tomcat: Installation and Configuration. The Open University, October. <URL:<http://mcs.open.ac.uk/jtrg/Presentations/IvanDunn/Apache-Tomcat-pres.pdf>>.

Floyd, Thomas L. (2000). *Fundamentos de sistemas digitales*, 7ª ed. España: Prentice Hall, 1127 pp.

Froufe, Agustín. (2003). *Java2: Manual de usuario y tutorial*, 3ª ed. México: Alfa-omega, 771 pp.

Hamza, Khalid; Alhalabi, Bassem; Petrie, Maria y Marcovitz, David. Remote Labs: An innovative leap in the world of distance education. Center for Innovative Distance Education Technologies, CSE Dept. Florida Atlantic University, Boca Raton FL 33431, USA. Education Department Loyola College In Maryland, Baltimore, MD 21210.

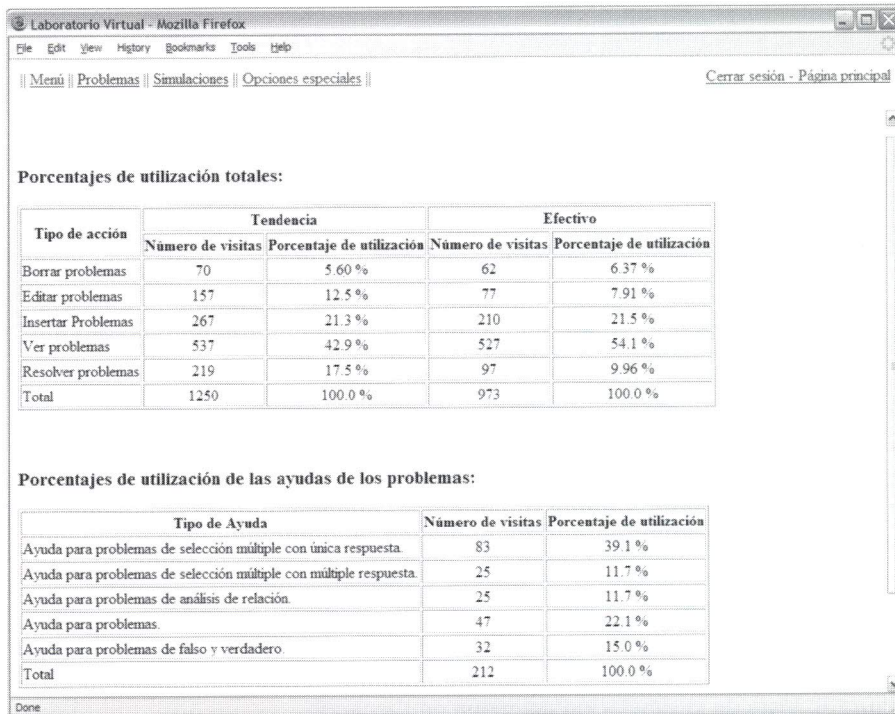


Figura 7. Estadísticas de utilización de problemas.

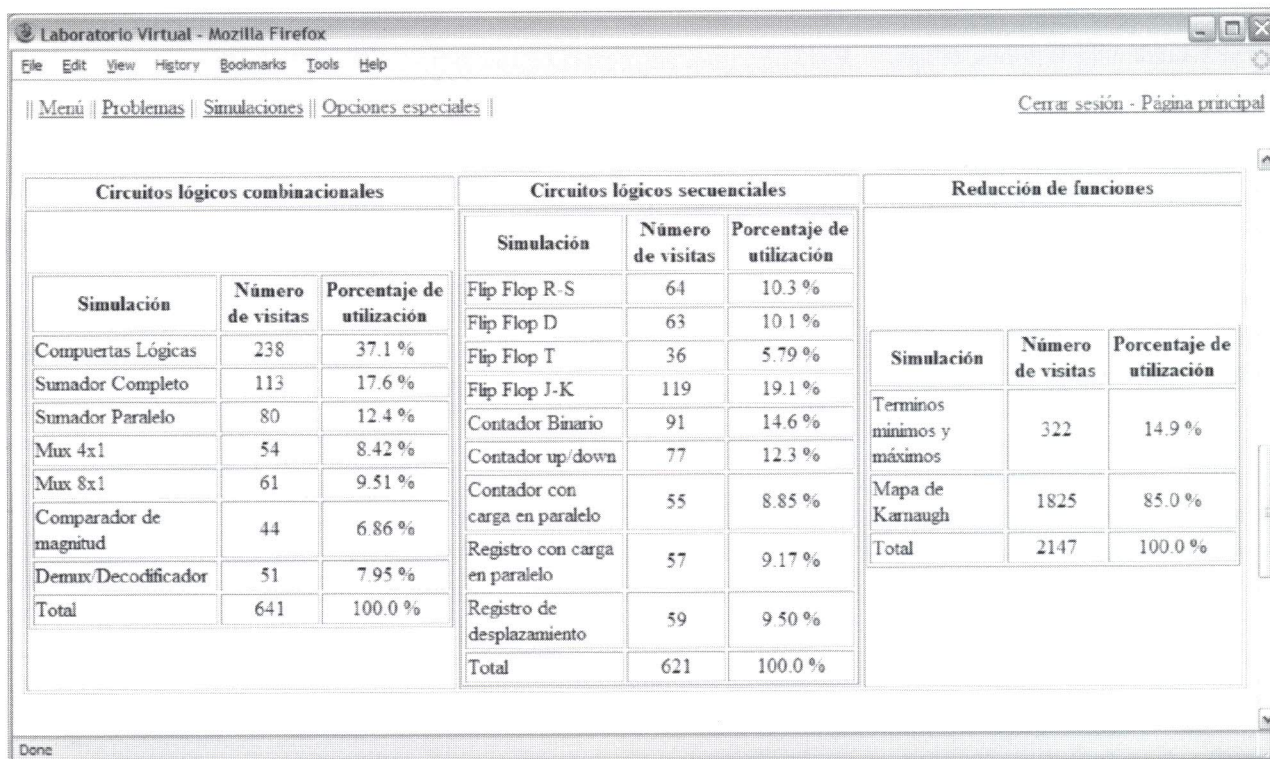


Figura 8. Estadísticas de utilización de las simulaciones.



Larman, Craig (2003). *UML y patrones: una introducción al análisis y diseño orientado a objetos y al proceso unificado*, 2ª ed. Madrid, España: Prentice Hall, 590 pp.

M. Morris, Mano (1982). *Lógica digital y diseño de computadores*, México: Prentice Hall, 636 pp.

Majmutov, Mirza I. (1983). *La enseñanza problémica*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación.

Mehta, Shailesh (2002). Virtual Labs for software training. India: eLearning Journal, GurukulOnline Learning Solutions, junio. <URL:<http://www.gurukulonline.co.in>>.

Monge-Nájera, Julián; Rivas Rossi, Marta y Méndez Estrada, Víctor Hugo. La evolución de los laboratorios virtuales durante una experiencia de seis años con estudiantes a distancia. Centro para el Mejoramiento de los Procesos Académicos (Cempa), Uned. Apdo. 474-2050 San Pedro, M.O. San José, Costa Rica. Fax (506) 2249216, [jmonge@uned.ac.cr](mailto:jmonge@uned.ac.cr), [mrivas@uned.ac.cr](mailto:mrivas@uned.ac.cr), [vmendez@uned.ac.cr](mailto:vmendez@uned.ac.cr).

Mungaray Lagarda, Ana Marcela (2005). Sujetos virtuales de conocimiento: los retos de la información en el hipertexto. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, vol. 7 (1), <URL:<http://redie.uabc.mx/vol7no1/contenido-lagarda.html>>.

Ortiz Ocaña, Alexander Luis. Análisis de la enseñanza problémica desde una dimensión técnico - profesional. Universidad Pedagógica "José de la Luz y Caballero". Holguín. <URL:<http://www.monografias.com>>.

Página de referencia de la especificación JSP. <http://java.sun.com/products/jsp/>.

Página oficial de Java de Sun Microsystems. <http://java.sun.com/>. Palos, Juan Antonio. Servlets y JSP. Autor-Traductor, versión original en <URL:<http://www.java.sun.com>>.

Pellegrini-Lopard, Eduardo (ed.) (2001). *JavaServer Pages Specification: Version 1.2*. Sun Microsystems, agosto 27, 901 San Antonio Road, Palo Alto CA 94303 USA.

Peterson, Rune y Anderson van Limbeek, Carina (2002). Design of a virtual classroom: The 34th Annual Conference of the International Visual Literacy Association, Breckenridge, Colorado, USA, October 1 - 5.

Romance, Nancy; Hsu, Sam; Hamza, M. Khalid y Alhalabi, Bassem. Virtual Labs vs. Remote Labs: Between Myth and Reality. Center for Distance Education Technologies (CDET) CSE. Dept., Florida Atlantic University 777 Glades Road, Boca Raton, Florida, 33431.

Serna Ruiz, Antonio y García Gil, José Vicente (2000). *Lógica digital y microprogramable: desarrollo de productos electrónicos*. España: Paraninfo - Thompson, 277 pp.

Varela Fernández, Gervasio (2004). Plataforma para la monitorización y gestión remota de sistemas. Facultad de Informática, Departamento de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones: Universidad de La Coruña, 118 pp.

Wakerly, John F. (2001). *Diseño digital: principios y prácticas*, 3ª ed. México: Pearson Education, 946 pp.

Wikipedia, la enciclopedia libre. <http://es.wikipedia.org>.

## DIRECCIONES WEB

<http://www.editlib.org/>.

(EditLib) Librería digital sobre Tecnologías de la Información y la Educación.

<http://www.aace.org/>.

(AACE - Association for the Advancement of Computing in Education).

<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4070002/index.html> >> Ambiente de aprendizaje, Universidad Nacional, sede Manizales.

<http://www.unilibre.edu.co/facultades/Contaduria/Webcontaduria/> >> Laboratorio Virtual Universidad Libre, Bogotá.

<http://tesla.cuao.edu.co/proyectos/labsim/> >> Sitio web Software LabSim, Universidad Autónoma de Occidente.

<http://www.numerica.com.co/cae-lab/es/informacion/default.php> >> Laboratorio Virtual CAE, NUMERICA LTDA., ANSYS INC. y MINDESARROLLO.

<http://ohm.utp.edu.co/paginas/docencia/labinstrem/> >> Laboratorio de acceso remoto para la enseñanza de instrumentación electrónica, Universidad Tecnológica de Pereira.

<http://www.unillanos.edu.co/tour/index.htm> >> Recorrido virtual por las sedes de la Universidad de los Llanos.

<http://www.colombiaprende.edu.co/html/mediateca/1607/article-73438.html> >> Laboratorio virtual de Química, Portal Colombia Aprende.

<http://psi.univalle.edu.co/investigacion/investigacion.htm> >> Laboratorio virtual de Informática Industrial, Universidad del Valle.

<http://www.ugr.es/~campus/notas/junio02/26-laboratorio.htm> >> Laboratorio virtual, Universidad de Granada.

<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/default.htm> >> Curso interactivo de física, Universidad del País Vasco.

<http://micro.magnet.fsu.edu/index.html> >> Laboratorio virtual de microscopios ópticos, Florida State University.

<http://www.colorado.edu/physics/2000/index.pl> >> Laboratorio virtual de física, University of Colorado at Boulder.

<http://www.falstad.com/mathphysics.html> >> Applet de Java para estudiar conceptos de matemática, física e ingeniería, página oficial de Paul Falstad.

<http://jersey.uoregon.edu/> >> Applet de Java sobre astrofísica, energía y ambiente, termodinámica, mecánica y otras, Universidad de Oregon.

<http://www.jhu.edu/~virtlab/virtlab.html> >> Laboratorio virtual de ciencias, Johns Hopkins University.

<http://learn.arc.nasa.gov/vlab/manual.html> >> Microscopio electrónico de exploración, Nasa.

<http://www.dcc.uchile.cl/~psalinas/uml/casosuso.html> >> Tutorial de UML. Departamento de Ciencias de la computación, Universidad de Chile.

<http://www.creangel.com/uml/secuencia.php#> >> UML - Diagramas de secuencia, CREANGEL