

USANDO EL ORDENADOR PARA ENTENDER EL ORDENADOR

Alberto J. Molina

Ana V. Medina

Manuel Valencia

José I. Escudero

RESUMEN

En este trabajo se presenta la elaboración de una herramienta de simulación que reproduce el comportamiento de un computador simple. Con ello se pretende mejorar la docencia desde dos puntos de vista: por un lado, desde la vertiente del alumno, al cual se le ofrece la posibilidad de trabajar con esta herramienta, incluso en su propia casa; por otro lado, desde el punto de vista del profesor, al cual le permite desarrollar más claramente y utilizando menos tiempo los conceptos relacionados con este tema. Para probar su bondad se le facilitó a un amplio número de alumnos y se realizó una encuesta para conocer el grado de aceptación.

ABSTRACT

The use of computers can improve teaching quality. In this respect, during recent years numerous programs simulating commercial microprocessors have appeared on the market. These tools, which ease the teaching of the processors, operate on a program in assembler, using the instruction set of the processor in question, and display the results of program execution and the flow of information through the system's elements. This makes the simulators an efficient tool for designing, debugging, and teaching.

Because of this, we consider the use of these tools, in laboratories and even in classrooms, highly beneficial. It can be an important teaching aid, as it represents an alternative teaching method, especially the use of animated graphics which impress students and improve information acquisition. The professor is also benefitted, being able to develop the exposition of the concepts more continuously and in greater detail (a greater number of examples etc.), having more time available. These tools are also advantageous for students, aiding their comprehension of the subject matter. If the students are highly motivated towards the use of these programs, the educative effect increases. We have found this to be the case with computer science students.

INTRODUCCIÓN

En la asignatura de Circuitos y Sistemas Digitales I que se imparte a los alumnos de primer curso de la carrera de Informática se procura que éstos vayan adentrándose en el mundo de los circuitos digitales de manera progresiva. Para ello se comienza con los primeros conocimientos de esta materia lo cual nos lleva a lo que se llama *circuitos combinatoriales*, aquellos en los que el valor obtenido a la salida de los mismos sólo depende del valor de sus entradas en ese mismo instante.

TITULAR DEL PROYECTO: José I. Escudero Fombuena. Dpto. de Tecnología Electrónica. Facultad de Informática y Estadística. Universidad de Sevilla. Avda. Reina Mercedes, s/n. 41012 SEVILLA. Tel.: (95) 4552788.

Un paso posterior consiste en estudiar aquellos circuitos que son capaces de almacenar, de alguna manera, información y por ello los valores de las salidas de estos circuitos dependerán de los valores actuales de las entradas, así como de la sucesión de valores de entradas anteriores al instante actual. Estos circuitos se conocen como *circuitos secuenciales*.

Por último, se dedica una parte de la asignatura a mostrar a los alumnos qué es un *sistema digital* con ello además de dar un paso más en el estudio de los circuitos digitales, nos sirve de ayuda para sacarle partido a todo lo que se ha ido mostrando a lo largo del curso. Esta última parte es básica ya que el alumno comprende la utilidad de los diversos dispositivos estudiados en el curso y, además, conoce la idea básica del concepto "ordenador".

La experiencia docente desarrollada se encuadra dentro del último apartado del párrafo anterior dedicado al conocimiento del ordenador. Y la mejor manera que se puede llevar a cabo es precisamente utilizando las potencialidades del propio ordenador (Usando el ordenador para entender el ordenador). Por ello, se ha ideado una estrategia que permite al alumno, no sólo en el aula y en compañía de profesor, sino también en su propia casa y con su propio ordenador, comprender con mayor facilidad y en menor tiempo las características, modos y maneras de funcionamiento del ordenador simple que como ejemplo de todo lo visto en el curso, se muestra en nuestra asignatura al final del curso académico.

Para ello se ha elaborado una herramienta software que simula el comportamiento de dicho computador, destacando sus aspectos gráficos, en el que se visualiza el recorrido de la información por el interior del computador simple, mostrando el contenido de cada uno de los registros que intervienen en cada momento. El alumno, dentro de un conjunto de instrucciones posibles, puede elaborar su propio programa, de tal manera que pueda ver el comportamiento de cada elemento de ese ordenador simple.

La estrategia seguida ha consistido en facilitarle a los alumnos (más de 250) una copia del mismo tras haber sido mostrado y explicado de forma exhaustiva por el profesor en el aula, para que el alumno practique con el mismo en su propia casa. En el siguiente apartado se muestran las características básicas de la herramienta desarrollada, para a continuación comentar los resultados obtenidos. El último apartado de este trabajo se ha dedicado a detallar las conclusiones obtenidas y comentar las líneas de futuro de este tipo de experiencias didácticas.

1. DESARROLLO DE LA HERRAMIENTA

Durante los últimos años han aparecido en el mercado numerosos programas de simulación de microprocesadores comerciales, que pueden facilitar el aprendizaje de los mismos. Estas herramientas actúan sobre un programa en ensamblador, realizado con las instrucciones del microprocesador en concreto, y muestran el resultado de la ejecución del programa e incluso el flujo de información a través de los elementos del sistema. Esto hace que los simuladores sean una herramienta de trabajo, depuración y enseñanza bastante eficaz.

En este último sentido, creemos conveniente introducir, en la docencia ordinaria, estas herramientas, ya sea en laboratorio o, incluso, en clases magistrales. Esto permitiría una ayuda docente importante (Luque y otros, 1994), puesto que supone una vía alternativa de enseñanza (gráficos animados, que impactan sobre la atención del alumno y mejoran la adquisición del conocimiento). El profesor también se vería beneficiado puesto que, por un lado, desarrolla de forma más continuada la exposición de los conceptos, y por otro, puede invertir más tiempo en ellos (desarrollo de un mayor número de ejemplos, etc.), por el ahorro que supone este medio gráfico.

Por otro lado, es interesante que el alumno disponga de esta herramienta para el estudio, ya que puede ayudarle a la comprensión de los conceptos (Fortet y otros, 1994). Si el alumno, además, se encuentra motivado para el "manejo de estos programas", el efecto educativo se potencia. Este es el caso que nosotros nos encontramos con los alumnos de Informática.

1.1 OBJETIVOS

En asignaturas que estudien microprocesadores comerciales, se podría utilizar alguna de estas herramientas como apoyo docente. Nuestro caso no es tan sencillo. En la asignatura que impartimos, Circuitos y Sistemas Digitales I, correspondiente a 1º de Informática, se comienza por las nociones más básicas de Electrónica Digital, tanto desde el punto de vista combinacional como secuencial, hasta que, al final del curso, se construye un procesador sencillo, con el fin de dar a los alumnos una visión global del concepto de computador, el cual les permite utilizar todos los conceptos estudiados a lo largo del curso. Evidentemente, no existe ningún simulador comercial para este procesador por lo que, si queremos facilitar al alumno una herramienta de este tipo, la tendremos que generar nosotros.

Llegado a este punto, podría plantearse la necesidad de incorporar y desarrollar una herramienta a este nivel, pero pensamos que es interesante por los siguientes motivos: primero introduce a los alumnos de cursos bajos de Informática, al manejo de los simuladores comerciales. En segundo lugar ayuda al desarrollo de las clases magistrales, por ser un apoyo gráfico importante. Y por último se encuentra dentro de la filosofía de enseñanza realizadas en nuestro departamento, en donde se han llevado a cabo otros proyectos docentes (Molina y otros, 1994) y (Parra y otros, 1994) en los que se ha desarrollado un programa que contiene la realización de prácticas, utilizando el simulador VST (proyecto SPAC).

Planteado esto, el simulador a generar debe cumplir con los siguientes objetivos generales

- a) Permitir la entrada de ficheros con el programa en ensamblador y depurar los errores.
- b) Debe permitir una ejecución del programa paso a paso, en caso de que el alumno desee visualizar la evolución de datos por el sistema, o continua, si sólo se quiere evaluar la salida final.
- c) Poder visualizar en todo momento el contenido de los registros del procesador y la memoria
- d) Tener una interfaz amigable que permita un fácil manejo.

1.2. DESCRIPCIÓN FUNCIONAL

La herramienta que se ha desarrollado (Escudero y otros, 1995) pretende reproducir el comportamiento del computador simple que se expone en nuestra asignatura, utilizando básicamente aspectos gráficos que hagan más sencillo la asimilación, por el alumno, de los conceptos implicados. Para ello, al arrancar el programa, éste muestra en pantalla la estructura del computador simple el cual aparece en la *Figura 1*. El alumno puede solicitar información del funcionamiento de cada uno de los componentes del mismo, sólo con situarse (y hacer clic con el ratón) sobre el elemento en cuestión. En la pantalla aparece entonces, a nivel RT (de transferencia entre registros), la descripción completa del comportamiento del elemento elegido.

Una vez conocido el comportamiento del computador simple, también existe la posibilidad de consultar el conjunto de instrucciones que es capaz de llevar a cabo. Para ello, puede mostrarse en pantalla el conjunto de instrucciones que realiza, así como el desarrollo de cada una de ellas al nivel de microinstrucción. El conjunto de instrucciones es muy reducido, dada la simplicidad

de nuestro computador, y en nuestro caso es de dieciséis instrucciones diferentes. Estos son los aspectos informativos que presenta nuestra herramienta, sin embargo, su principal virtud consiste en la posibilidad de diseñar un programa, utilizando esas instrucciones, y visualizar su ejecución.

Para conseguir esto, nuestro programa permite el acceso a un editor de texto sobre el cual escribir el programa que se desee, para a continuación ejecutarlo sobre nuestro computador. Esta ejecución lleva consigo un estudio sintáctico del programa elaborado, el cual emite comentarios relativos a su adecuación o no, y en este caso, cuáles son los errores detectados. Si el programa elaborado es correcto comienza la ejecución.

Esta ejecución se puede llevar a cabo de tres formas distintas. En todas ellas se muestra en pantalla el programa ejecutado, los contenidos de los registros del computador así como el contenido de la memoria del sistema, ver de nuevo la *Figura 1*. La primera de las formas posibles de ejecución se trata de una ejecución completa, en la cual sólo se tiene acceso a los resultados finales del proceso. Este tipo de ejecución es muy apropiado para verificar el comportamiento de un programa determinado.

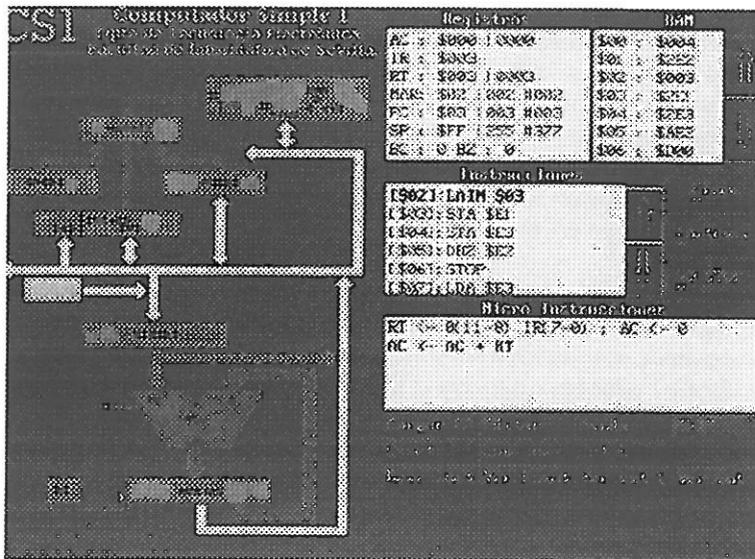


Figura 1: Pantalla que muestra la estructura del computador sencillo utilizado, así como los contenidos de los registros.

Una segunda manera de ejecución es una ejecución a pasos, en la cual se ejecuta una instrucción del programa cada vez, pudiéndose consultar los contenidos de los registros antes descritos en cada paso. Esta forma de ejecución puede ser la más utilizada ya que muestra cómo queda la información sobre el computador, al finalizar la ejecución de cada instrucción del programa.

Por último, la tercera forma de ejecución también se trata de una ejecución paso a paso, aunque en esta ocasión se desarrolla con mucho más detalle, ya que se realiza al nivel de microinstrucción. En ella se muestra la evolución de la información a través del computador simple, remarcando los elementos y buses implicados, con cada ciclo de reloj. En esta ocasión, la ejecución es mucho más lenta que en los casos anteriores, sin embargo, resulta ser la forma de estudio más instructiva de las tres que presentamos, de manera que permite un estudio más detallado de los procesos implicados.

Por ello, el método que hemos seguido en nuestra experiencia docente ha sido utilizar la herramienta software que se describió en el apartado anterior, que se trata de un simulador de un computador sencillo, para la exposición en clase de la materia asociada a esos conceptos, consiguiendo con ello:

- a) Disminuir el tiempo de presentación, o mejor aún, aumentar considerablemente el número de casos analizados.
- b) Mejorar, por parte de los alumnos, la comprensión del sistema simulado.
- c) Solucionar el problema que presenta tener que trabajar con material costoso, ya que se permite el uso de instrumentación virtual.
- d) Obtener un conocimiento del mundo real, sin necesidad de experimentar directamente con él, especialmente cuando el mundo real es mucho más complejo que el que se quiere estudiar.

En esta experiencia, además, se buscaba algo más y por ello se decidió facilitarle una copia del simulador a cada alumno implicado en la experiencia, que al final del estudio ha superado el número de 250 alumnos. Con ello se pretendía, y los resultados así lo han demostrado, que el alumno sea capaz de, una vez conocidos los conceptos explicados en clase por el profesor, con la ayuda de esta herramienta, y aprendidos también el uso del simulador, pudiera profundizar en los conceptos mostrados en su propia casa, creando sus propias estructuras y respondiéndose él mismo sus propias preguntas. Los resultados que se consiguen con esta segunda fase dependerán sobre todo del grado de participación de los alumnos en su domicilio, el cual resulta difícilmente evaluable por el profesor. A la vista de los resultados obtenidos se puede asegurar que el proyecto fue muy bien recibido ampliamente seguido por el alumnado.

3. RESULTADOS

La experiencia docente desempeñada ha obtenido unos resultados realmente satisfactorios. Así se desprende de la encuesta que realizó sobre la experiencia el propio Instituto de Ciencia de la Educación (ICE) de Sevilla. En esa encuesta se le preguntó a los alumnos muy diversas cuestiones sobre el desarrollo de la presente experiencia. La respuesta de los alumnos a cada cuestión se valoraba entre 1 y 5 según el siguiente criterio:

- 1: Totalmente de acuerdo
- 2: De acuerdo
- 3: No sé
- 4: En desacuerdo
- 5: Totalmente en desacuerdo

Con este baremo presente, vamos a comentar las cuestiones más significativas sobre nuestra innovación educativa.

Las dos primeras cuestiones sobre las que llamamos la atención se refieren a si la actividad realizada clarifica los contenidos difíciles de la materia (cuestión 1) y si clarifica la información más confusa (cuestión 2). En la primera de ellas, ver tabla adjunta, obtuvimos un valor medio de 2,06 y en la segunda 1,94, lo cual indica claramente que uno de los principales objetivos que se pretendía se ha conseguido, que consistía en proporcionar una herramienta software que, de forma gráfica, mostrara con claridad el comportamiento interno de nuestro computador sencillo.

Cuando se le consulta al alumno sobre si la actividad relaciona la nueva información o problema con lo que el alumno ha aprendido previamente (cuestión 10) o si usa ideas e información que ya conoce para entender algo nuevo (cuestión 11), su respuesta también es muy positiva, ya que la

media a ambas cuestiones es respectivamente, ver tabla adjunta, de 1,96 y 2,16, lo cual nos indica que de nuevo los alumnos consideran que este aspecto se consigue con la técnica propuesta.

El grado de implicación del alumno en el trabajo se pone de manifiesto en las cuestiones 22 (Esta actividad mejora mi opinión sobre el contenido de la asignatura) y la 23 (Me siento más implicado/a en esta asignatura que si se trabajase de forma más teórica), la puntuación media obtenida ha sido de 2,05 y 2,12 respectivamente. Con ello podemos asegurar que este tipo de experiencias motiva al alumno a una mayor participación en el proceso de aprendizaje, lo cual lleva a unos mejores resultados docentes.

Por último, comentamos dos cuestiones más que valoran el proceso en su conjunto. La primera de ellas está relacionada con lo que piensan los alumnos sobre el interés del profesor en la docencia al realizar este tipo de actividades (cuestión 24). El resultado medio ha sido de 1,69, lo cual nos dice que más de 80% de los encuestados lo creen así. La otra cuestión de valoración general es aquella que pregunta a los alumnos si piensan que la generalización de este tipo de iniciativas mejoraría significativamente la calidad de la docencia universitaria (cuestión 25). La respuesta ha sido la más favorable de toda la encuesta con un valor medio de 1,58. Esto nos indica la gran aceptación, por parte de los alumnos, de este tipo de actividades y que debe ser continuada en el futuro.

Cuestión	Totalmente de acuerdo (1)	De acuerdo (2)	No sé (3)	En desacuerdo (4)	Totalmente en desacuerdo (5)	Valor medio
1	29	74	11	8	3	2,06
2	44	60	8	8	4	1,94
10	46	55	10	5	7	1,96
11	27	64	18	8	4	2,16
22	34	66	10	6	6	2,05
23	38	50	19	8	6	2,12
24	68	37	12	4	3	1,69
25	72	34	12	3	1	1,58

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha presentado una herramienta que permite mejorar los aspectos didácticos en la presentación del concepto de computador en la asignatura de "Circuitos y Sistemas Digitales I" de primer curso de Informática. Esta mejora se presenta desde dos puntos de vista: el alumno al cual le ayuda a comprender más claramente los conceptos implicados y el profesor, al cual se le ofrece la posibilidad de transmitir esos conceptos de forma más rigurosa, amena y en menor tiempo lo cual supone poder presentar mayor número de ejemplos. Además, este tipo de herramientas es útil, no solamente en el aula, sino que presentan también la posibilidad de que el alumno trabaje con ella en su propia casa, dedicándole todo el tiempo que considere oportuno. De esa manera el aprendizaje se lleva a cabo al ritmo que el propio alumno marque.

Además, los resultados obtenidos nos hacen corroborar la idea que inició este tipo de actividad y que los alumnos han ratificado con sus respuestas, ya que, según ellos, estas actividades les aclaran las ideas, les permiten relacionar lo nuevo con lo ya explicado, les motiva y en general mejoran significativamente la calidad de la docencia universitaria.

Por último, es importante resaltar la idea de que sería conveniente crear un nuevo simulador de un computador sencillo, en el cual se amplíe el número de instrucciones posibles a ejecutar así como los modos de direccionamiento, tal como se propuso en los objetivos iniciales. Ese nuevo simulador dispondría de interfaces de conexión con el exterior lo cual permitiría aumentar la potencia y utilidad de la herramienta elaborada.

BIBLIOGRAFÍA

- ESCUADERO, J.I., MOLINA, A.J., MEDINA, A. V., DELGADO, A.L. y FRENICHE, D. (1995) Simulador de un computador sencillo. *Actas de las III Jornadas Universitarias sobre Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas*, 463-467.
- FORTET, P., SÁNCHEZ, T. y CAMPOYR. (1994). Sistema de enseñanza-aprendizaje autocontenido de la Electrónica. *Actas del I Congreso sobre Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica (Madrid)*, 335-337.
- JUEET'95. (1995). *Actas de las III Jornadas Universitarias sobre Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas*.
- LUQUE, J., MEDINA, A. V. y GONZALO, F. (1994). Enseñanza de máquinas de estado mediante ESTELLE. *Actas del II Congreso Iberoamericano de Informática Educativa (Lisboa)*.
- MOLINA, A.J. y GÓMEZ, I. (1994). Aportaciones experimentales en Tecnología de las Comunicaciones. *Actas de las VI Jornadas de Tecnología Electrónica (Las Palmas de Gran Canaria)*.
- PARRA, P.; BAENA, C. y VALENCIA, M. (1994). Sistema de Prácticas Autodidactas sobre CadPC. *Actas de las VI Jornadas de Tecnología Electrónica (Las Palmas de Gran Canaria)*.
- TAAE-96 (1996). *Actas del II Congreso de Tecnologías Aplicadas a la Enseñanza de la Electrónica*