

UNA HERRAMIENTA PARA EL ESTUDIO DE ESTRUCTURAS DE DATOS Y ALGORITMOS

Clara Segura - Isabel Pita

csegura@sip.ucm.es - ipandreu@sip.ucm.es

Departamento de Sistemas Informáticos y Programación - UCM

Agradecimientos: Este trabajo está financiado por el Proyecto de Innovación y Mejora de Calidad Docente «Aprendizaje Interactivo de Estructuras de Datos y Esquemas Algorítmicos» (062PCD122E). Ha sido posible gracias a los alumnos de la Facultad de Informática de la UCM que bajo nuestra dirección han desarrollado la herramienta y las animaciones: Proyecto Visualización y Animación de Estructuras de Datos y Algoritmos (04/05): Laura Gutiérrez, Esther Rico, Carmen Torrano; Proyecto Extensión de una herramienta para visualizar estructuras de datos y algoritmos (05/06): Eduardo de la Iglesia, Gonzalo Moreno, Cristina Rubert; Proyecto Sistema multiusuario para la gestión universitaria vía Web, incluyendo el desarrollo de un interfaz para el diseño de aplicación de datos visuales (05/06): Roberto Carras, Antonio José López, José Javier Crespo. Agradecemos también a los profesores del departamento Ricardo Peña y Alberto Verdejo por habernos proporcionado los datos referentes a sus alumnos, y a la alumna Marta Texidor por su ayuda con el Campus Virtual.

Presentamos una herramienta informática para la visualización interactiva de estructuras de datos y esquemas algorítmicos. Durante el presente curso hemos evaluado la parte de la herramienta dedicada a las estructuras de datos. Las distintas partes de la herramienta pretenden transmitir a los alumnos la separación entre especificación e implementación de una estructura de datos, así como proporcionar ejemplos de utilización de dichas estructuras. La evaluación de la herramienta se ha llevado a cabo mediante tests gestionados desde el Campus Virtual de la Universidad Complutense de Madrid. Presentamos los resultados obtenidos a partir de una experiencia en la que se proporcionó acceso libre a la herramienta para todos los alumnos.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de las estructuras de datos y de los esquemas algorítmicos resulta a la vez esencial y complejo para los alumnos de las titulaciones de informática. En este artículo se presenta una herramienta informática que pretende facilitar la comprensión de estos temas mediante la visualización y la interacción con el usuario. La herramienta persigue además fomentar el trabajo continuado y personal de los alumnos a lo largo del curso académico en un contexto en el que la convergencia con el proceso de Bolonia implica la utilización de nuevos métodos educativos centrados en el estudiante.

La herramienta se ha puesto a disposición de los alumnos de la asignatura de Estructuras de Datos y de la Información de 2.º curso de la Facultad de Informática de la Universidad Complutense de Madrid (UCM) a través del Campus Virtual. En particular pueden acceder a ella los estudiantes de los tres grupos de Ingeniería en Informática y un grupo de Ingeniería Técnica de Gestión. Durante este curso, por tanto, solamente hemos evaluado la parte de la herramienta dedicada al estudio de las estructuras de datos.

A los alumnos de estas asignaturas se les ha proporcionado una guía para aprender algunos de los tipos de datos que forman parte de la asignatura utilizando la herramienta. Junto

con estos enunciados se ha proporcionado en algunos casos animaciones realizadas con el programa flash que ilustran aplicaciones concretas de los tipos de datos. Pretendemos que estas animaciones formen parte de la herramienta y por ello ya las hemos incluido en las prácticas voluntarias.

Posteriormente los alumnos pueden comprobar su nivel de conocimientos y mejorarlo mediante la realización de una serie de tests gestionados desde el Campus Virtual. El desarrollo de la capacidad de abstracción y de resolución de nuevos problemas requiere el ejercicio del razonamiento individual y la realización de numerosos ejercicios. Estos tests fomentan este trabajo individual fundamental para la asimilación y afianzamiento de los conceptos.

La realización de los tests es completamente voluntaria y su único fin es ayudar a los alumnos en el estudio. Adicionalmente los alumnos han contestado a una batería de preguntas sobre la utilidad de la herramienta, también disponibles en el Campus Virtual. La herramienta, las animaciones y los tests están en español de forma que los estudiantes no consideren el lenguaje como un obstáculo añadido en el proceso de aprendizaje.

En este artículo nos centraremos en el desarrollo de la herramienta y sus posibilidades educativas, presentando además los resultados obtenidos a partir de la experiencia. En la sección 2 describiremos brevemente la herramienta y en la sección 3 las animaciones. En la sección 4 presentamos los resultados obtenidos y finalmente en la sección 5 concluimos.

2. DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA INTERACTIVA

2.1. USO DE LA HERRAMIENTA

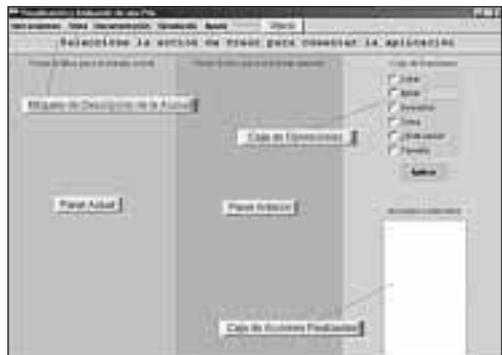
Los alumnos pueden acceder a la herramienta a través del Campus Virtual de la UCM (<https://www.ucm.es/info/uatd/cv0506/index.php>). Por el momento se ejecuta en entornos con sistema operativo Windows y máquina virtual de Java JDK1.3 (o superior), pero se pretende generar una versión multiplataforma.

Al iniciarse la aplicación el usuario selecciona el área en que está interesado: estructuras de datos o esquemas algorítmicos. Nosotros nos centraremos en las estructuras de datos:



A continuación, el alumno debe elegir la estructura concreta que desea utilizar. En este momento la herramienta cuenta con los tipos de datos: pilas, colas, árboles binarios de búsqueda, árboles AVL, colas de prioridad, tablas ordenadas y tablas dispersas.

Al seleccionar un tipo de datos, por ejemplo las pilas, obtenemos una pantalla donde se muestra el comportamiento de la estructura:



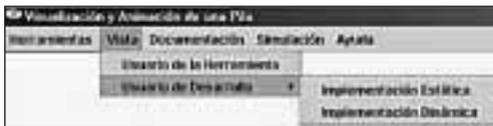
La pantalla se encuentra dividida en cuatro partes:

- El Panel Gráfico para el **estado actual**: representando el estado actual de la estructura después de realizar la última acción.
- El Panel gráfico para el **estado anterior**: que representa el estado de la estructura antes de realizar la última acción.
- Una caja de texto donde se muestran las **acciones ejecutadas**, y una caja de funciones donde se pueden seleccionar los **métodos** del tipo de datos.

- En la parte superior una etiqueta que comunica el **resultado** de las acciones que se van realizando.

El usuario puede seleccionar la opción de *Simulación*, en cuyo caso se ejecutarán sin interacción posterior una serie de acciones provistas en un fichero de texto. Dicho fichero puede ser modificado por el usuario si lo desea. Si, por el contrario, el usuario desea ejecutar sus propias acciones de una en una, debe empezar por crear una estructura vacía. Ésta puede ser de varios tipos de datos proporcionados por la herramienta como números enteros o cadenas de caracteres. A continuación puede ejecutar las distintas operaciones sobre la estructura e introducir los datos de la misma de forma interactiva.

Al tiempo que va creando la estructura puede seleccionar la «Vista» que desea del tipo de datos: bien una visión abstracta del mismo a nivel de especificación (*Vista de Usuario*) o bien el estado de la estructura utilizada en la implementación del tipo (*Vista de Implementación*):



En la vista de usuario se visualiza el comportamiento de la estructura de manera independiente de la implementación. Por ejemplo, la vista de usuario del tipo abstracto de datos pila tiene el siguiente aspecto:



En la vista de implementación se muestra cómo se almacenan de manera concreta los datos de la estructura. Por ejemplo, en el caso de las pilas se proporcionan las dos implementaciones más utilizadas: una implementación estática por medio de un vector y otra dinámica con una lista enlazada simple:



Con ello se pretende que el alumno asimile un concepto fundamental del curso: la diferencia entre la descripción del comportamiento de la estructura proporcionada por la especificación y la implementación de la misma en un lenguaje concreto de programación.

Adicionalmente las animaciones flash, que describiremos más adelante proporcionan, entre otras cosas, ejemplos de la utilización de la estructura de datos para resolver determinados problemas. De esta forma quedan cubiertos los tres aspectos fundamentales de la asignatura: comportamiento, implementación y utilización de los tipos de datos.

La herramienta cuenta también con documentación sobre las estructuras de datos. Se puede consultar tanto la especificación algebraica como su implementación en el lenguaje Java y los costes de dicha implementación:



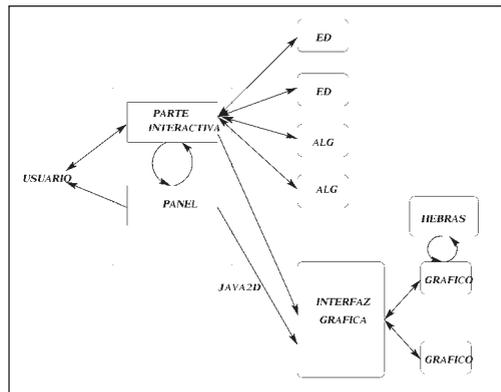
Hemos mostrado aquí las pilas como ejemplo representativo, pero la herramienta también muestra [7,8]:

- El comportamiento de las **colas** y dos implementaciones de las mismas: estática y dinámica.
- El comportamiento de los **árboles binarios de búsqueda** y dos implementaciones: una estática sobre un vector, con la que los estudiantes son conscientes de que, a menos que los árboles sean semi-completos, se desperdicia memoria, y la implementación dinámica habitual.
- Los **árboles AVL** incluyendo la visualización de las rotaciones.
- El comportamiento de las **colas de prioridad** y su implementación **usando montículos binarios** sobre un vector. Los flotamientos y hundimientos están animados.
- El comportamiento de las **tablas ordenadas** y su implementación utilizando árboles binarios de búsqueda.
- El comportamiento de las **tablas dispersas** y dos implementaciones de las mismas: abiertas y cerradas.

2.2. IMPLEMENTACIÓN DE LA HERRAMIENTA

La herramienta fue inicialmente implementada en el curso 2004-05 por un grupo de la asignatura *Sistemas Informáticos* (de 5.º curso de Ingeniería Informática) dirigido por Clara Segura y ha sido mejorada y ampliada por otro grupo en el curso 2005-06.

La herramienta ha sido implementada en Java y diseñada de manera modular, de forma que la introducción de nuevas estructuras de datos (y algoritmos) sea lo más sencilla posible para el programador. Se compone de tres módulos principales: la **interfaz**, el **paquete gráfico** y el **paquete de implementación**:



El usuario se comunica con la herramienta a través de la interfaz, la cual consta de una parte interactiva y otra parte denominada **panel** donde se visualiza la animación de las estructuras de datos y algoritmos. La parte interactiva, en función de las operaciones aplicadas por el usuario, invoca a la parte de implementación de la estructura de datos (o algoritmo) correspondiente y también al panel para que muestre o pinte el resultado de la acción. El panel se encarga de la comunicación con el paquete gráfico, en el que se han desarrollado los distintos gráficos que se le muestran al usuario, así como las animaciones, controladas mediante hebras de Java.

De esta forma, cada parte es responsable de una tarea: el paquete gráfico solamente dibuja y anima, el paquete de implementación efectúa las operaciones sobre la estructura y la interfaz permite la comunicación entre estas dos partes y con el usuario.

3. ANIMACIONES DE OPERACIONES SOBRE TIPOS ABSTRACTOS DE DATOS

Las animaciones flash han sido realizadas por otro grupo de Sistemas Informáticos diri-

gido por Isabel Pita durante el curso 2005-06. Nos ofrecen la posibilidad de ver gráficamente la utilización de las estructuras de datos para resolver un determinado problema [4-6]. Se han realizado tres tipos de animaciones:

1. Implementación de algoritmos que utilizan estructuras de datos, como, por ejemplo, un algoritmo que obtiene una expresión en forma infija a partir de una expresión de manera postfija.
2. Implementación de operaciones sobre las estructuras de datos, como, por ejemplo, el algoritmo de Dijkstra para el cálculo de caminos mínimos en un grafo.
3. Tutoriales sobre el comportamiento de las estructuras y de algunas de sus operaciones. Disponemos de tutoriales sobre pilas, colas, árboles binarios de búsqueda, árboles rojinegros y colas de prioridad.

Las animaciones complementan a la herramienta ofreciendo las nociones teóricas en los tutoriales y mostrando la ejecución de operaciones y algoritmos. Cuando es posible, dentro de las limitaciones de la pantalla, se muestra en la parte izquierda de la pantalla el algoritmo que se está ejecutando mientras en la parte derecha se ejecuta la animación.

Veamos, por ejemplo, un fotograma de la animación que transforma expresiones en forma infija en expresiones en forma postfija:



Al ir avanzando la animación, los distintos símbolos de la expresión se desplazan a la pila o a la secuencia de salida, según determine el algoritmo.

La mayoría de los algoritmos se han escrito en pseudocódigo de forma independiente de cualquier lenguaje de programación concreto. Los datos de entrada de los algoritmos se han seleccionado de manera que se cubran la mayor cantidad de casos posibles. Además las animaciones ejecutan los algoritmos en detalle, instrucción a instrucción, mostrando el resultado de las expresiones booleanas que controlan el flujo de control.

La ejecución de las animaciones se controla mediante diferentes botones. Podemos parar la ejecución con el botón *pausa* para analizar más detenidamente una parte del algoritmo; continuar con la ejecución mediante el botón *ejecutar*; finalizar la ejecución del algoritmo pulsando sobre el botón *parar*; y avanzar a la secuencia siguiente o volver a la secuencia anterior con los botones de rebobinado.



Mostramos como ejemplo dos fotogramas del algoritmo de Prim para calcular el árbol de recubrimiento mínimo de un grafo. Se proporcionó a los alumnos esta animación junto con otra del algoritmo de Kruskal. En [9] se pueden encontrar otras animaciones.

En cuanto a los tutoriales, se estructuran mediante una explicación inicial del tipo de datos o de la operación que se va a realizar. Por ejemplo, en la animación de los árboles rojinegros se explican inicialmente las condiciones de equilibrio que deben cumplir los árboles, y a continuación las diferentes rotaciones que deben aplicarse si al realizar una inserción el árbol deja de estar equilibrado. Por último, se muestra un ejemplo de uso del algoritmo. En algunos tutoriales se dispone también de la posibilidad de cambiar de las explicaciones teóricas a ejemplos de aplicación, y viceversa, como se puede apreciar en los siguientes fotogramas del tutorial de árboles rojinegros:



4. ESTUDIO Y RESULTADOS OBTENIDOS

Como hemos mencionado anteriormente, la herramienta se ha puesto a disposición de los alumnos de la asignatura *Estructuras de Datos y de la Información* de la Facultad de Informática de la UCM a través del *Campus Virtual*. Está accesible para los tres grupos de la titulación de *Ingeniería en Informática* y para un grupo de la titulación de *Ingeniero Técnico en Informática de Gestión*, lo que supone un total de 486 alumnos.

4.1. DISEÑO DEL ESTUDIO

Hemos llevado a cabo dos estudios distintos:

- Una experiencia **no controlada**: los estudiantes han tenido acceso al Campus Virtual y han participado voluntariamente en la experiencia descargándose y usando la herramienta, así como respondiendo a diferentes tipos de tests.
- Una experiencia **controlada**: dos grupos de estudiantes han contestado a un test en un entorno controlado desde el punto de vista del tiempo y del acceso al material educativo.

En este artículo describiremos la experiencia no controlada, ya que ha sido ésta la gestionada desde el Campus Virtual.

Como se ha mencionado antes, en la experiencia no controlada los alumnos han podido acceder libremente al Campus Virtual sin restricción de tiempo (excepto la fecha final de entrega de los tests al final de curso) o material (transparencias, la herramienta, bibliografía), y han contestado a varios tests.

Para cada una de las siguientes estructuras de datos se ha proporcionado un test de evaluación de los conocimientos sobre la estructura: pilas, colas, árboles binarios de búsqueda, árboles equilibrados (AVL y rojinegros) y colas de prioridad. Las tablas no se han incluido en la experiencia por haber sido desarrolladas recientemente. Los alumnos se han servi-

do de estos tests para verificar sus avances en la comprensión de los distintos conceptos. Las preguntas se estructuran en tres bloques: comportamiento de la estructura, implementación de la estructura y uso del tipo de datos por un algoritmo.

Las preguntas sobre el **comportamiento** del tipo de datos cubren desde el resultado de realizar una secuencia de acciones sobre la estructura, la cual puede ser ejecutada en la herramienta, hasta preguntas sobre la definición de nuevas operaciones sobre el tipo, las cuales requieren haber comprendido correctamente el tipo de datos estudiado.

Las preguntas sobre **implementación** de las estructuras se concentran en aspectos como el coste de las operaciones y la comparación entre distintas implementaciones del mismo tipo de datos vistas en clase, y también con otras propuestas en el test.

Por último, se analiza en profundidad un algoritmo típico que **utilice** el tipo de datos en estudio, realizándose preguntas sobre el comportamiento de la estructura en el algoritmo, y aspectos concretos de la implementación.

La resolución de los tests por parte de los alumnos ha sido controlada por el Campus Virtual. Se recomendó a los alumnos que utilizaran la herramienta y las animaciones para estudiar el tipo de datos y que a continuación resolvieran el test para comprobar sus conocimientos. Sin embargo, si lo encontraban necesario podían volver a consultar el material. Finalizado el plazo de entrega, los alumnos pueden acceder a su calificación y a la corrección del test a través del Campus Virtual.

Cada test consta aproximadamente de 24 preguntas, repartidas uniformemente entre el estudio del comportamiento, la implementación y la aplicación seleccionada, excepto en el test sobre AVL y árboles rojinegros que solamente se concentra en la implementación, ya que se presentan como implementaciones eficientes de los árboles binarios de búsqueda. Algunas preguntas tienen dos respuestas posibles, formuladas como cierto o falso, mientras que otras pueden llegar a tener hasta ocho alternativas posibles, como ocurre, por ejemplo,

con algunas preguntas relativas a los costes de los algoritmos. Después de cada pregunta el alumno nos ha indicado el material que ha utilizado para contestarla o si no ha necesitado ninguno para hacerlo. Esta información se obtiene de forma integrada con el test de conocimientos sin considerar estas preguntas en la puntuación final.

Adicionalmente, se han realizado tests sobre la utilidad de la herramienta para cada una de las estructuras de datos, en los que los alumnos manifiestan el tiempo dedicado al estudio de la estructura, el dedicado a la realización del test, el material que han utilizado para estudiar la estructura y el que les ha parecido más interesante. El objetivo de estos tests es obtener la impresión de los alumnos sobre la ayuda proporcionada por la herramienta en el estudio de las estructuras de datos, así como sus preferencias en el estudio.

4.2. CASOS DE ESTUDIO

Mostramos a modo de ejemplo algunas de las preguntas (sobre comportamiento, implementación y aplicación) del test sobre pilas; los otros tests son similares:





4.3. RESULTADOS OBTENIDOS

La participación de los alumnos ha cambiado a lo largo del curso. El porcentaje de respuestas correctas en cada test (omitimos las cifras de las colas por ser bastante similares a las pilas) ha sido el siguiente: 67,5% (pilas, 77 alumnos), 71,7% (árboles binarios de búsqueda [abbs], 31), 64% (árboles AVL y rojinegros, 18), 77,1% (colas de prioridad/montículos, 22 alumnos). Entre el 90 y el 100% de los alumnos respondieron los tests después de haberse explicado en clase la estructura correspondiente, excepto en el caso de los árboles rojinegros, los cuales tuvieron que estudiar por su cuenta usando el tutorial animado. Ésta es la razón de la menor participación de los alumnos en dicho test.

Antes de responder a las preguntas de los tests han dedicado la siguiente distribución (en porcentajes) de tiempos de estudio:

	Pilas	Abbs	AVL/Rojinegros	Montículos
0-15 min.	27%	0%	0%	0%
15-30 min.	21,6%	16,7%	16,7%	16,7%
30-60 min.	27%	16,7%	50%	33,3%
> 60 min.	24,3%	66,7%	16,7%	50%

Como era de esperar, los alumnos han dedicado una mayor cantidad de tiempo a los árboles binarios de búsqueda y a los montículos por su mayor complejidad respecto de las pilas. En el caso de los árboles equilibrados no necesitaron mucho más tiempo adicional para comprender nuevas implementaciones una vez conocían los conceptos básicos de los árboles.

Con respecto al material utilizado para estudiar las estructuras de datos, mostramos una tabla (de porcentajes) para cada aspecto: comportamiento, implementación y aplicación de la estructura de datos. Además, en la tabla de implementación mostramos de forma separada los árboles AVL y los árboles rojinegros, porque estos últimos no se explicaron en clase.

Podemos observar que el uso de la herramienta (simulación, ejecución de casos y ayuda) es mayor con las estructuras de datos que revisten mayor dificultad para el alumno. Sin embargo, el material de clase (fundamentalmente transparencias) sigue siendo uno de los materiales más utilizados. Por otra parte, los alumnos consideran la herramienta mucho

Comportamiento									
	Pilas			Árboles de búsqueda			Montículos		
	usado	más usado	interesante	usado	más usado	interesante	usado	más usado	interesante
ninguno	10,8	2,7	2,7	0	0	0	0	0	0
simulación herramienta	56,8	37,8	5,4	75	33,3	25	66,7	33,3	66,7
ejec. casos herramienta	24,3	18,9	5,4	58,3	25	50	50	16,7	33,3
ayuda herramienta	13,5	5,4	8,1	16,7	8,3	0	33,3	0	16,7
material clase	70,3	51,4	78,4	91,7	58,3	33,3	100	66,7	33,3
bibliografía	35,1	29,7	27	50	25	16,7	50	33,3	16,7

Implementación									
	Pilas			Árboles de búsqueda			Montículos		
	usado	más usado	interesante	usado	más usado	interesante	usado	más usado	interesante
ninguno	2,7	2,7	0	0	0	0	0	0	0
sim./anim.	18,9	2,7	21,6	41,7	33,3	33,3	16,7	16,7	16,7
ejec. casos	8,1	2,7	8,1	16,7	16,7	25	16,7	16,7	16,7
ayuda	13,5	8,1	10,8	8,3	8,3	8,3	16,7	16,7	16,7
material clase	86,5	75,7	75,7	100	83,3	50	100	83,3	66,7
bibliog.	37,8	21,6	32,4	41,7	25	8,3	50	16,7	33,3

	AVL			Rojinegros		
	usado	más usado	interesante	usado	más usado	interesante
ninguno	0	0	0	3,1	3,1	3,1
sim./anim.	50	33,3	16,7	66,7¹	66,7	50
ejec. casos	50	33,3	33,3	–	–	–
ayuda	33,3	16,7	16,7	–	–	–
material clase	83,3	33,3	66,7	–	–	–
bibliog.	33,3	0	16,7	33,3	0	16,7

¹ Estos resultados corresponden al tutorial.

más interesante para las estructuras más complicadas.

Con respecto a la implementación, los mejores resultados se obtienen en los árboles AVL y rojinegros. Esto quiere decir que la herramienta ayuda a los alumnos a visualizar las

rotaciones en estos árboles equilibrados. En el resto de las estructuras han utilizado preferentemente las transparencias de clase o la bibliografía de la asignatura [1,2,3].

Con respecto a la aplicación de los tipos de datos, prefieren el material de clase a la

Aplicación									
	Pilas			Árboles de búsqueda			Montículos		
	usado	más usado	interesante	usado	más usado	interesante	usado	más usado	interesante
ninguno	5,4	8,1	8,1	8,3	8,3	0	0	0	0
animación	16,2	8,1	21,6	–	–	–	–	–	–
ejec. casos herramienta	29,7	10,8	18,9	41,7	16,7	41,7	33,3	33,3	33,3
ayuda herramienta	5,4	5,4	8,1	0	0	0	16,7	16,7	16,7
material clase	56,8	51,4	43,2	50	41,7	25	83,3	83,3	66,7
bibliografía	27	27	27	33,3	33,3	33,3	50	16,7	16,7

	Comportamiento			Implementación					Aplicación		
	Pila	Abb.	Mont.	Pila	Abb	AVL	Roji.	Mont.	Pila	Abb	Mont.
Sin ayuda	75,2	56	60,2	74	33,7	52,3	48,7	71,1	66,9	66,1	49,1
Herram./anim.	6,9	18,8	11,4	5,6	33,5	22,7	14,1	1,1	5,9	0	0
Transpas./biblio.	12,7	20,5	29,5	12,1	24,8	22,7	7,3	25	16,9	21	40
Otros	6,1	10	3,4	4,3	3,6	5,1	18,4	3	6,8	11,3	6,4

herramienta. La razón es que no proporcionamos animaciones de las dos aplicaciones por las que se pregunta en los tests de árboles y montículos: treesort y heapsort. Aun así utilizan la ejecución de casos en la herramienta casi tanto como el material de clase y de hecho lo consideran más interesante.

Después de responder a cada pregunta de los tests, los alumnos respondían también a la pregunta de si necesitaron ayuda adicional para poder contestarla. En la anterior tabla (también de porcentajes) mostramos los resultados.

La mayoría de los alumnos no necesitaron ayuda adicional para responder las preguntas sobre el **comportamiento** de los tipos de datos. En el caso de los árboles binarios de búsqueda y de las colas de prioridad parece que existían más dudas, pero las resolvieron con las transparencias o la bibliografía.

La situación es la misma en el caso de la **implementación** de pilas y montículos, pero no en el caso de los árboles. En particular para los árboles binarios de búsqueda y los AVLs usaron la herramienta tanto como el material de clase, lo que significa que la visualización de las operaciones, como eliminaciones y rotaciones, les resulta útil. En los árboles rojinegros utilizaron «otro material» algo más que el tutorial animado. Presumiblemente, ese otro material podría tratarse del consejo de algún compañero.

En las preguntas sobre la **aplicación** de nuevo la mayoría de los alumnos no necesitaron ayuda adicional con las pilas (notación infija a postfija) ni con los árboles binarios de búsqueda (treesort), pero sí con los montículos (heapsort). En tal caso utilizaron las transparencias. La razón es que las preguntas se centran en invariantes del algoritmo, que evi-

dentemente no se pueden obtener a partir de la ejecución de ejemplos.

A partir de toda esta información, podemos decir que aunque sólo un pequeño porcentaje de alumnos han participado en la experiencia, aquellos que lo han hecho consideran la herramienta un material interesante y lo han utilizado como complemento al resto del material disponible, incluyendo las explicaciones en clase. La herramienta ha resultado especialmente útil para visualizar las operaciones «más complejas».

Algunos de los comentarios de los alumnos sobre la herramienta han sido los siguientes:

- Permítame decir que estos tests me parecen una idea extraordinaria para comunicarse con el alumno. Una iniciativa sorprendente y que agradezco.
- Creo que la herramienta está muy bien y será de gran ayuda.
- La herramienta me ha parecido muy correcta en su concepción y uso; no cambiaría nada. Me ha gustado tal y como es.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

El Campus Virtual nos ha proporcionado un entorno integrado en el que los alumnos han accedido a la información relativa a la asignatura, a la herramienta informática y han tenido la posibilidad de realizar tests cuyos resultados han podido obtener de forma automática. Aquí se describe una experiencia no controlada en la que se ha dado prioridad al hecho de que todos los alumnos pudieran hacer uso de la herramienta, y beneficiarse tanto de su uso como de los tests. En lugar de restringir el

tiempo y el material utilizado, los alumnos han respondido además a unos tests de evaluación de la herramienta.

En nuestra opinión, la experiencia ha resultado positiva para aquellos que han decidido participar, aunque nos hubiera gustado que el número de voluntarios hubiera sido superior. Confirmamos que la herramienta es material complementario a las explicaciones de clase y las transparencias, facilitando la visualización de algunas operaciones sobre las estructuras de datos.

El siguiente curso continuaremos utilizando la herramienta, no solamente en la asignatura de *Estructuras de Datos y de la Información*, sino también en la asignatura de *Metodología y Tecnología de la Programación*, en la que podremos evaluar la parte dedicada a esquemas algorítmicos (programación dinámica, divide y vencerás, devorador, ramificación y poda). Adicionalmente se ofrecerán dos proyectos más de Sistemas Informáticos para mejorar y extender la herramienta.

BIBLIOGRAFÍA

1. PEÑA MARÍ, R. (2005): *Diseño de programas. Formalismo y abstracción*. Ed. Pearson Educación, tercera edición.
2. MARTÍ OLIET, N.; ORTEGA MALLÉN, Y., y VERDEJO LÓPEZ, J. A. (2003): *Estructuras de datos y métodos algorítmicos. Ejercicios resueltos*. Prentice Hall.
3. WEISS, M. A. (2000): *Estructuras de datos en Java*. Addison Wesley.
4. FLEISCHER, R., y KUCERA, L. (2001): *Algorithm Animation for Teaching*. Software Visualization, pp. 113-128.
5. BROWN, M. H., y HERSHBERGER, J. (1992): *Color and Sound in Algorithm Animation*. *JCOMPUTER* 25(12): 52-63.
6. KEHOE, C.; STASKO, J., y TAYLOR, A. (2001): *Rethinking the evaluation of algorithm animations as learning aids: an observational study*. *International Journal of HumanComputer Studies*, 54(2): 265-284, 2001.
7. GUTIÉRREZ, L.; RICO, E., y TORRANO, C. (2005): *Visualización y Animación de Estructuras de Datos y Algoritmos*. Proyecto de Sistemas Informáticos, Facultad de Informática, UCM.
8. DE LA IGLESIA, E.; MORENO, G., y RUBERT, C. (2006): *Extensión de una herramienta para visualizar estructuras de datos y algoritmos*. Proyecto de Sistemas Informáticos, Facultad de Informática, UCM.
9. CARRASCO, R.; LÓPEZ, A. J., y CRESPO, J. J. (2006): *Sistema multiusuario para la gestión universitaria vía Web, incluyendo el desarrollo de un interfaz para el diseño de aplicación de datos visuales*. Proyecto de Sistemas Informáticos, Facultad de Informática, UCM.