

Informe final de ejecución del proyecto Innovación Docente realizado durante el curso académico 2011-2012 en el Departamento de Informática de la Facultad de Ciencias financiado mediante la convocatoria de 2011 de Ayudas de la Universidad de Salamanca para los Proyecto Estratégicos de Formación y Mejora Docente.

ID11/150

Herramienta para el aprendizaje visual y dinámico de estructuras de datos

Miembros del Equipo de Trabajo:

María José Polo Martín

Ángeles María Moreno Montero

Iván Álvarez Navia

Susana Álvarez Rosado

Belén Curto Diego

Vidal Moreno Rodilla

José Rafael García Bermejo Giner

Francisco Javier Blanco Rodríguez

Departamento de Informática y Automática.
Facultad de Ciencias de la Universidad de Salamanca.
Plaza de los Caídos S/N, 37008

El objetivo principal de este proyecto es la obtención de una herramienta visual y dinámica que ayude a comprender las estructuras de datos que se estudian en las asignaturas de Estructuras de Datos y Algoritmos. Estas asignaturas se enmarcan en la materia de Programación en el Grado de Ingeniería Informática.

Introducción

En este proyecto se ha diseñado y desarrollado un software educativo para apoyar el aprendizaje de Estructuras de Datos mediante técnicas de visualización. Se trata de una aplicación que ayuda al estudiante en el estudio y comprensión de las Estructuras de Datos y sus algoritmos de manipulación. Para ello permite trabajar con gran cantidad de estructuras de datos, desde las básicas, como pilas y colas, hasta las más complejas, como árboles y grafos, reforzando aquellas partes de los algoritmos que se ha detectado representan mayor dificultad para el estudiante.

Contexto de desarrollo

Desde que se implantaron los estudios de Ingeniería Informática en la Universidad de Salamanca, el aprendizaje de los algoritmos que manipulan las estructuras de datos ha planteado ciertas dificultades a los estudiantes. Entre los puntos más vulnerables destaca la gran cantidad de algoritmos que requiere el estudio de estructuras de datos complejas [7], [2], [1], [8], como árboles y grafos. Algunos de ellos, aun siendo sencillos, como los recorridos en árboles binarios, presentan la dificultad de la recursividad. Este concepto, que el estudiante conoce de primer curso, sigue planteando problemas en la resolución de algoritmos que manipulan árboles binarios.

La forma clásica de explicar estos algoritmos es mediante sencillos ejemplos gráficos que se proporcionan al estudiante en forma de material de apoyo a las asignaturas. Estos ejemplos no suelen presentar problemas ni en el momento de la explicación ni en su estudio posterior. Sin embargo, si se pide al estudiante que aplique el algoritmo estudiado a ejemplos más complejos comienza a tener problemas en su aplicación y no tiene la seguridad absoluta de aplicarlo bien, y por tanto, de haberlo entendido. La dificultad es aún mayor si el estudiante debe implementar nuevas funcionalidades, incluso siendo pequeñas variaciones de los algoritmos expuestos en clase. Esta dificultad viene dada por la incertidumbre que plantea al estudiante no tener la seguridad de entender correctamente el algoritmo básico.

Con la herramienta desarrollada se pretende mejorar la enseñanza en este tipo de materias a través de la comprensión de conceptos y algoritmos de una forma más dinámica, pues permite el seguimiento en la ejecución de un algoritmo, la generación de ejemplos y su solución. La herramienta permite interactuar con la mayoría de las estructuras de datos que se estudian en las asignaturas (pilas, colas, árboles, montículos binarios y grafos), aunque estará principalmente indicada en la asignatura Estructuras de Datos y Algoritmos II en la que se presentan las estructuras más complejas (árboles, montículos binarios y grafos). Por cada estructura estudiada la herramienta permite la realización de diferentes actividades:

- Estudio de ejemplos proporcionados por el profesor
- Posibilidad de generar ejemplos específicos por parte del estudiante y ejemplos aleatorios automáticos

- Posibilidad de guardar, modificar y recuperar los ejemplos generados para su posterior visualización y estudio
- Análisis por parte del estudiante de los ejemplos generados mediante la ejecución paso a paso de todos los algoritmos estudiados en clase
- Verificación de la comprensión de los algoritmos aplicados a los ejemplos: el resultado final que proporcione la aplicación es correcto y permite verificar los resultados esperados por el estudiante.

Se ha creado, por tanto, una herramienta que sirve no solo de apoyo en las exposiciones del profesor, sino también en el trabajo autónomo del estudiante, permitiéndole afianzar los conceptos básicos y comprender de forma paulatina y racional características más complejas. La herramienta permite estudiar diferentes estructuras de datos y algoritmos sin necesidad de haberlos implementado y ayuda en el proceso de estudio de los mismos mediante la generación de ejemplos y su representación gráfica.

Descripción de la aplicación

En el desarrollo de la aplicación se ha seguido el Proceso Unificado [4] y se ha utilizado el lenguaje de modelado UML [5]. La arquitectura del sistema está formada por diferentes subsistemas claramente diferenciados, lo cual favorece la futura extensibilidad y mejoras de la aplicación.

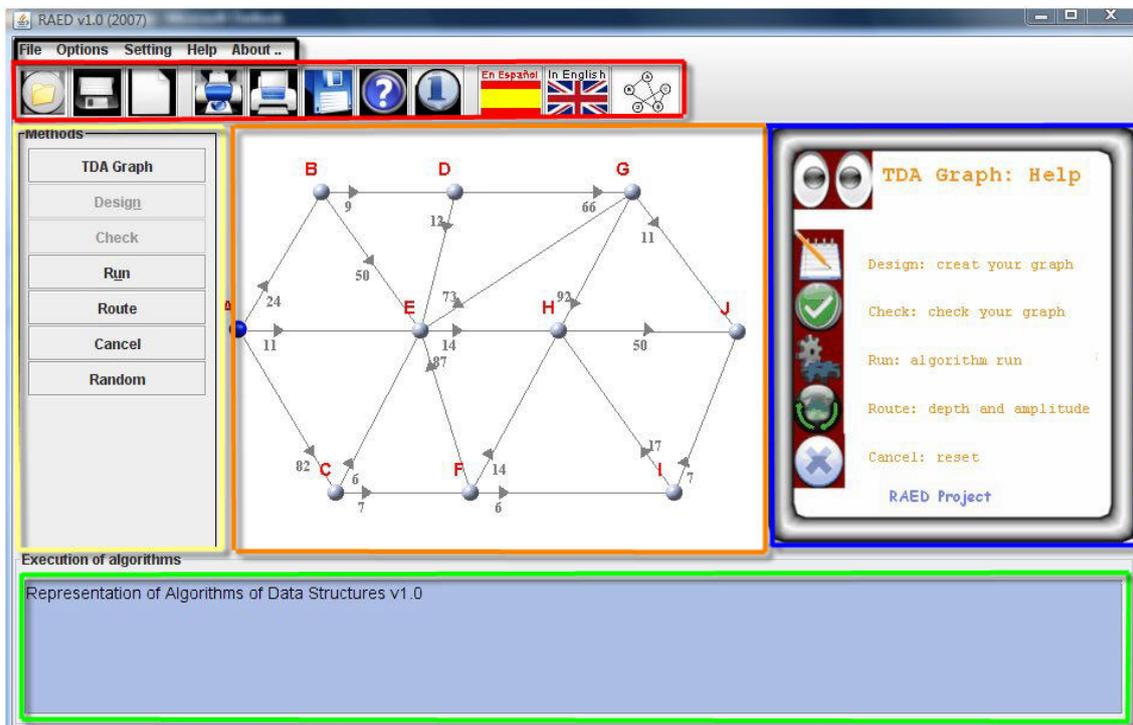


Figura 1: Interfaz en inglés de un grafo

Al tratarse de una aplicación gráfica e interactiva uno de los aspectos más importante es el diseño de la interfaz y de la interacción con el usuario. En la figura 1 aparecen marcadas en diferentes colores las partes en que ha sido dividida la interfaz. La de color

negro es la clásica zona de los menús. La zona en rojo es la barra de herramientas que contiene tareas como abrir, guardar, nuevo, imprimir, cambiar el idioma, etc. La zona en amarillo es un conjunto de botones que representan las operaciones que se pueden realizar sobre la estructura de datos que se esté estudiando en cada momento. La zona en naranja es el área gráfica donde se dibujan las estructuras de datos. La zona en azul celeste es un panel de información con ayuda sobre la estructura de datos. En la zona de color verde se muestra en modo texto los pasos de la ejecución y otros datos relevantes del algoritmo.

La ventana principal es ligeramente distinta para cada estructura de datos, cambiando en los botones del panel izquierdo, ya que éstos reflejan las operaciones que el usuario puede realizar sobre la estructura de datos.

En cuanto a la interacción con el usuario cabe destacar, además de los clásicos menús y barras de herramientas, el uso de menús contextuales, barras de desplazamiento y en especial la zona central de edición. En esta zona existe la posibilidad de insertar, borrar, mover los iconos que representan las diferentes estructuras, así como asignar pesos a las aristas (por ejemplo, en los grafos) con simples movimientos del ratón sobre las aristas del grafo.

La interfaz es además traducible de manera inmediata (basta con editar ficheros XML) a cualquier lengua. Actualmente está disponible en español e inglés.



Figura 2: Estructuras de datos gestionadas

La figura 2 presenta las cinco estructuras de datos gestionadas por la aplicación: pilas, colas, árboles, montículos binarios, y grafos. Las funcionalidades comunes que la aplicación proporciona en todas las estructuras son la generación de ejemplos (bien de forma aleatoria o ejemplos contruidos por el usuario) y su almacenamiento y recuperación. Las pilas y las colas son estructuras de datos sencillas que, aunque no presentan gran dificultad en su aprendizaje, se incluyen en la aplicación debido a que sirven de apoyo para el estudio de estructuras de datos más avanzadas, como puede ser

el grafo. Sobre estas estructuras básicas están implementadas las operaciones típicas: insertar, eliminar, anular, extraer elemento y verificar si la estructura está vacía.

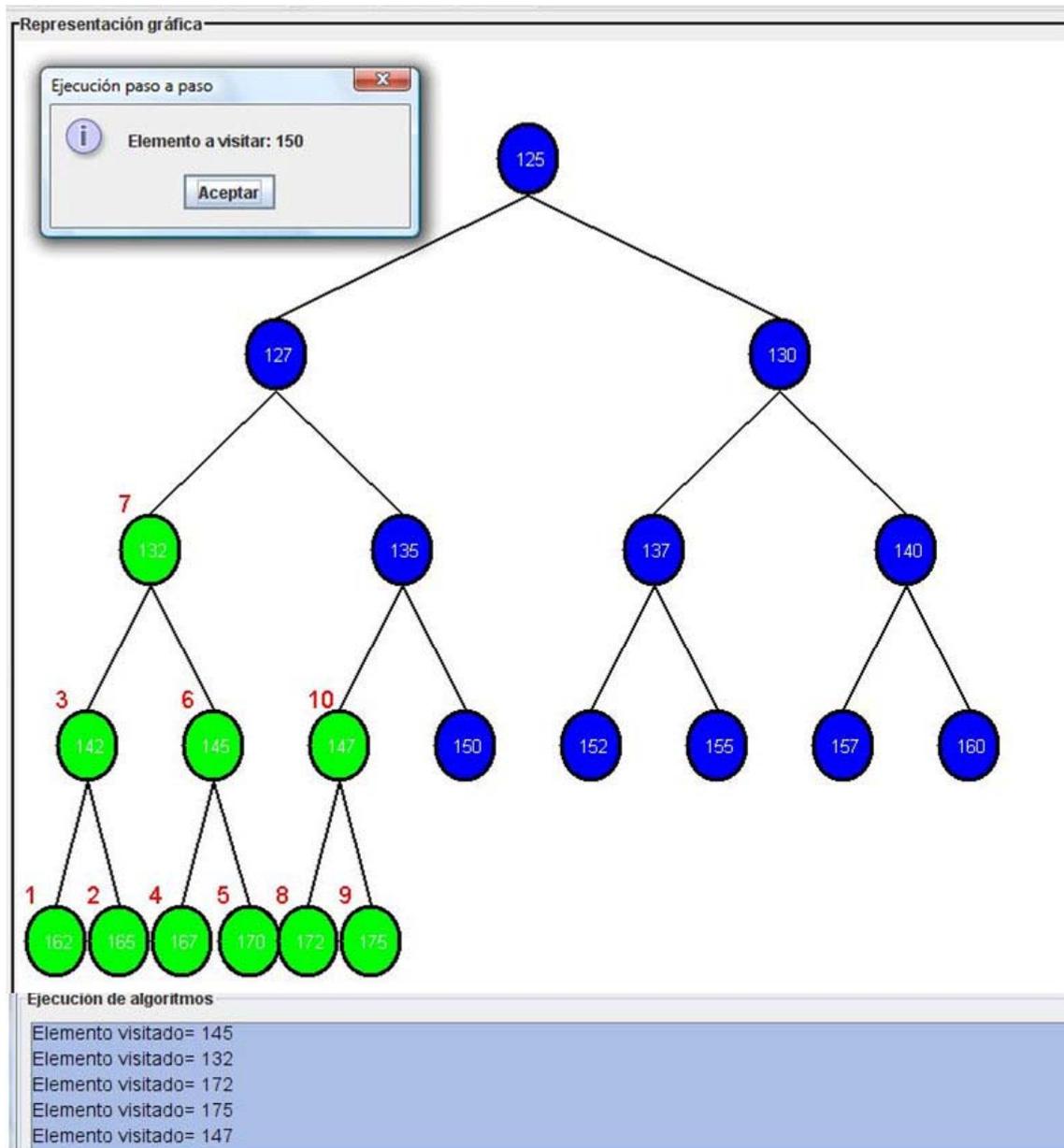


Figura 3: Recorrido en preorden de un árbol binario

Respecto a la estructura de tipo árbol la aplicación permite elegir entre tres tipos de árboles: árboles binarios, árboles binarios de búsqueda y árboles equilibrados. Aunque algunas operaciones están disponibles para todos los tipos de árboles, se destacan los recorridos en árboles binarios tanto en profundidad (preorden, en orden y postorden) como en amplitud; y las operaciones de inserción, eliminación y búsqueda en árboles binarios de búsqueda y árboles equilibrados.

La figura 3 muestra un ejemplo de árbol binario generado aleatoriamente por la aplicación y un paso en el proceso del recorrido en Preorden del mismo. Puede observarse como la herramienta ayuda en el proceso educativo mediante la generación

de árboles complejos (hasta cinco niveles), el seguimiento paso a paso en la ejecución del algoritmo tanto de forma textual como gráfica (los nodos del árbol van cambiando de color y etiquetándose con el orden del recorrido a medida que estos se encuentran en él). Además existe la posibilidad de guardar el árbol generado, para poder aplicarle de nuevo éste u otro de los algoritmos que la aplicación implementa para este tipo de estructura.

Sobre montículos binarios están implementadas las operaciones básicas de insertar y eliminar el elemento mínimo, que aplican los típicos filtrados ascendente y descendente de los algoritmos que manipulan montículos, y algunas operaciones más como la ordenación por montículo, o las operaciones que permiten decrementar o incrementar la clave de un nodo conservando las propiedades del montículo.

Como estructura más genérica la aplicación permite también trabajar con grafos. Una vez construido un grafo, el estudiante podrá recorrerlo en amplitud y en profundidad, realizar la ordenación topológica de sus vértices y observar el camino mínimo desde un vértice al resto de los vértices del grafo.

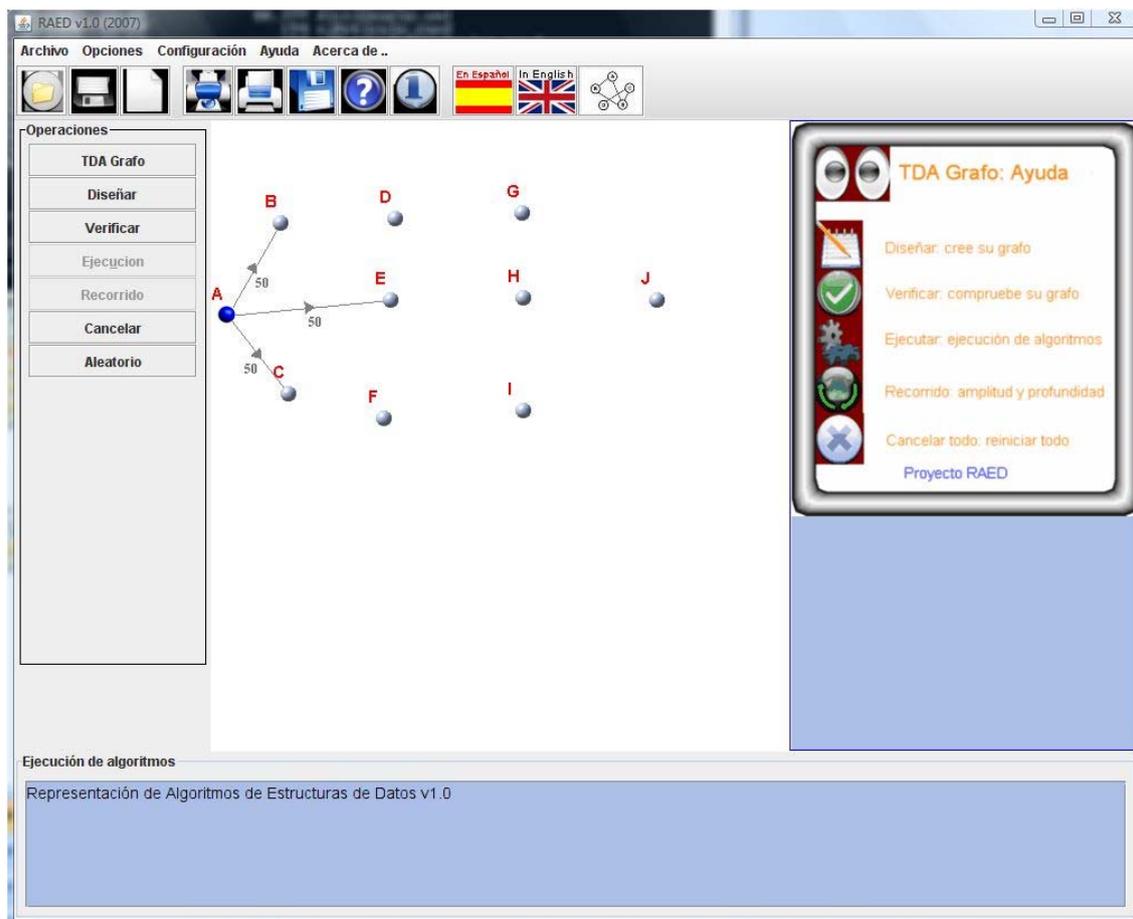


Figura 4: Interfaz en español de la construcción de un grafo

Como ejemplo de funcionalidad de la aplicación se muestran algunos pasos tanto en la construcción de un grafo como en la ejecución de uno de los algoritmos típicos con

grafos: cálculo del camino de coste mínimo en grafos ponderados (algoritmo de Dijkstra [3]).

La figura 4 muestra la construcción de un ejemplo de grafo por el usuario de la aplicación. La herramienta permite mediante el ratón generar de forma sencilla los vértices y las aristas del grafo. De forma predeterminada, el peso de las aristas toma un valor de 50, pero este puede modificarse fácilmente sin más que desplazar la flecha del arco hacia un nodo u otro con la ayuda del ratón. También es posible reubicar los vértices y aristas del grafo con el ratón y la ayuda de las teclas de *Ctrl* y *Alt*. Con esta funcionalidad se ha obtenido el grafo final que se muestra en la figura 1.

En la figura 5 se muestran algunos pasos de la aplicación del algoritmo de Dijkstra al grafo generado previamente. Puede observarse, en la parte derecha de la interfaz como va cambiando el directorio o tabla de vértices, que es parte de la forma de representar un grafo en memoria y como el estudiante puede ir viendo la modificación de esta tabla a medida que el algoritmo se ejecuta. Además los vértices del grafo se van coloreando al ser visitados.

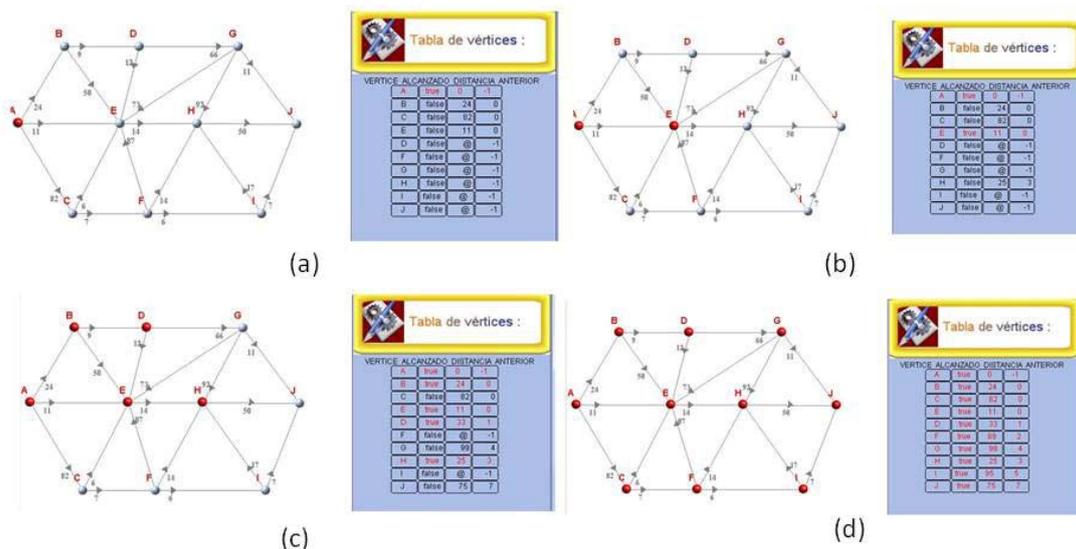


Figura 5: Ejecución paso a paso

Validación de la herramienta

La herramienta se ha presentado en las clases de la asignatura Estructuras de Datos II del Grado en Ingeniería Informática en el curso 2011-2012, asignatura que se imparte en el segundo cuatrimestre.

Para la evaluación del uso de la herramienta y su incidencia en el aprendizaje de la asignatura se ha diseñado un test con 18 cuestiones. Estas cuestiones se agrupan en 4 apartados considerados como fundamentales para evaluar una herramienta de visualización, como son: disponibilidad, facilidad de uso, relevancia del contenido y mejoras. En el anexo puede consultarse el test completo.

El bloque 1 (cuestiones 1 a 4) engloba aspectos de uso, disponibilidad y facilidad de instalación. Las dos primeras cuestiones evalúan la utilización de la herramienta en los dos ámbitos principales de apoyo (clases prácticas o estudio personal del estudiante). Las otras dos están relacionadas con la disponibilidad y facilidad para obtener e instalar la herramienta.

En el bloque 2 (cuestiones 5 a 8) se tratan cuestiones relacionadas con la utilización de la herramienta en cuanto a interfaz y facilidad de uso. También de estimar el tiempo que el usuario necesita para empezar a utilizar la herramienta y de evaluar su grado de satisfacción. Se incluye además aquí una cuestión sobre fiabilidad que permitirá estimar hasta qué punto el estudiante se siente seguro con los resultados que la herramienta le aporta.

El bloque 3 (cuestiones 9 a 15) trata de un grupo de cuestiones directamente relacionadas con los algoritmos que se presentan en la asignatura y permitirán evaluar en qué medida los estudiantes perciben cómo contribuye la herramienta a la comprensión de estos. Este es el bloque más amplio pues es el relacionado directamente con los conceptos que la herramienta trata de reforzar.

El último bloque (cuestiones 16 a 18) se dedica a mejoras y consideraciones generales. Las tres primeras para evaluar la herramienta en cuanto a mejoras, aporte general en el estudio de la asignatura y a su uso por parte del profesor en las clases. En este bloque se añaden dos preguntas de texto libre para conocer la opinión general sobre la herramienta y las propuestas de mejoras.

Conclusiones

Aunque todavía no se han podido analizar los resultados obtenidos en la encuesta realizada en este curso académico, se dispone de los resultados obtenidos con un primer prototipo de la aplicación que se presentó a los estudiantes de Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas el curso anterior. Estos resultados se presentaron en las Primeras Jornadas de Innovación Didáctica Universitaria de la Universidad de Salamanca [6]. Su análisis nos ha permitido concluir que la herramienta es considerada útil para el aprendizaje visual de los algoritmos siendo despreciable el tiempo invertido en su manejo e instalación. Aunque se es consciente de que se necesita disponer de más información para obtener una valoración más rigurosa de la herramienta, este primer análisis es netamente favorable a su utilización tanto en las clases prácticas como en el trabajo personal del estudiante y ha sido bien acogida por los usuarios (estudiantes y profesores).

Referencias

- [1] A. V. Aho, J. E. Hopcroft, and J. Ullman. Estructuras de datos y algoritmos. Addison-Wesley Iberoamericana, 1988.
- [2] O. Cairó and S. Guardati. Estructuras de datos. McGraw-Hill, 2006.
- [3] E. W. Dijkstra. A note on two problems in connection with graphs. *Numeriche Mathematics*, 1:269-171, October 1959.

- [4] I. Jacobson, J. Rumbaugh, and G. Booch. El Proceso Unificado de desarrollo de software. Addison Wesley, 2000.
- [5] I.J. James Rumbaugh and G. Booch. El Lenguaje Unificado de Modelado. Manual de Referencia. Addison Wesley, 2000.
- [6] Polo Martín, M.J.; Moreno Montero, A.M.; Iglesias Alonso, C. Experiencias en el uso de Técnicas de Visualización en el aprendizaje de Estructuras de Datos. Primeras Jornadas de Innovación Docente en la Universidad de Salamanca, pg. 276. Noviembre, 2011.
- [7] M. Weiss. Estructuras de datos y algoritmos. Pearson Education, 1995.
- [8] N. Wirth. Algoritmos y estructuras de datos=Programas. Ediciones del Castillo, 1980.

ANEXO

CUESTIONARIO UTILIZADO PARA VALORAR LA UTILIZACIÓN DE LA HERRAMIENTA DISEÑADA EN EL APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA POR PARTE DE LOS ESTUDIANTES

ENCUESTA APLICACIÓN RAED

(<http://raed.usal.es>)

1.- ¿La has utilizado en las clases prácticas?

- (A) Si
 - (B) No
 - (C) No sé
 - (D)
-

- (A) Si
 - (B) No
 - (C) No sé
 - (D)
-

2.- ¿La has utilizado en tus horas de estudio?

- (A) Si
 - (B) No
 - (C) No sé
 - (D)
-

7.- ¿Estás satisfecho con el uso de la herramienta?

- (A) Si
 - (B) No
 - (C) No sé
 - (D)
-

3.- ¿Es fácil de obtener?

- (A) Si
 - (B) No
 - (C) No sé
 - (D)
-

8.- ¿Aproximadamente cuánto tiempo (horas) ha dedicado al aprendizaje de la interfaz de la herramienta?

- (A) 0-1
 - (B) 1-2
 - (C) 2-3
 - (D) Más de 3
-

4.- ¿Es fácil de instalar?

- (A) Si
 - (B) No
 - (C) No sé
 - (D)
-

9.- ¿Aproximadamente cuánto tiempo ha dedicado al uso de la herramienta?

- (A) 0-2
 - (B) 2-10
 - (C) Más de 10
 - (D)
-

5.- ¿Es fácil de utilizar?

- (A) Si
 - (B) No
 - (C) No sé
 - (D)
-

10.- Aproximadamente cuántos ejercicios ha realizado con ella?

- (A) 1-5
 - (B) 5-10
 - (C) 10-20
 - (D) Más de 20
-

6.- ¿Es fiable?

11.- ¿Cómo ha contribuido el uso de la herramienta en el aprendizaje de árboles binarios?

- (A) Nada
 - (B) Poco
 - (C) Mucho
 - (D) Muchísimo
-

12.- ¿Cómo ha contribuido el uso de la herramienta en el aprendizaje de árboles binarios de búsqueda?

- (A) Nada
 - (B) Poco
 - (C) Mucho
 - (D) Muchísimo
-

13.- ¿Cómo ha contribuido el uso de la herramienta en el aprendizaje de árboles balanceados?

- (A) Nada
 - (B) Poco
 - (C) Mucho
 - (D) Muchísimo
-

14.- ¿Cómo ha contribuido el uso de la herramienta en el aprendizaje de montículos binarios?

- (A) Nada
 - (B) Poco
 - (C) Mucho
 - (D) Muchísimo
-

15.- ¿Cómo ha contribuido el uso de la herramienta en el aprendizaje de grafos?

- (A) Nada

(B) Poco

(C) Mucho

(D) Muchísimo

16.- ¿Cuál de ellos necesita mejorar?

- (A) árboles binarios
 - (B) árboles binarios de búsqueda
 - (C) árboles balanceados
 - (D) montículos binarios
 - (E) Grafos
-

17.- De forma general ¿considero que ha contribuido a la mejora del aprendizaje?

- (A) Nada
 - (B) Poco
 - (C) Mucho
 - (D) Muchísimo
-

18.- ¿Crees que el profesor debería utilizarla en sus clases?

- (A) Si
 - (B) No
 - (C) No sé
-

Describa brevemente su opinión sobre la herramienta

Sugiera alguna mejora