

Experiencias de uso y evaluación de una herramienta de apoyo a la enseñanza de Teoría de Autómatas y Lenguajes Formales

Jesús Gallardo Casero
Departamento de Informática e
Ingeniería de Sistemas
Universidad de Zaragoza
Teruel
jesus.gallardo@unizar.es

José Jesús Castro Sánchez
Departamento de Tecnologías y
Sistemas de Información
Universidad de Castilla-La Mancha
Ciudad Real
josejesus.castro@uclm.es

Raúl Miguel Sabariego
Departamento de Tecnologías y
Sistemas de Información
Universidad de Castilla-La Mancha
Ciudad Real
raul.miguel.sabariego@gmail.com

Resumen

Una materia habitual en los planes de estudios de Ingeniería Informática es la Teoría de Autómatas y Lenguajes Formales. Los alumnos suelen tener problemas a la hora de afrontar la preparación de esta materia, ya que la encuentran muy abstracta y apartada de otras materias que estudian en paralelo. Para facilitar la preparación de esta materia, se desarrolló la herramienta SELFA-Pro, que permite resolver ejercicios de la mayor parte del temario de la materia. En este artículo se presenta la experiencia reciente de uso de la herramienta en un entorno real, tanto en cuanto a estadísticas y su relación con los resultados académicos, como en cuanto a opinión subjetiva de los alumnos.

Abstract

A subject that is usually found in the studies of Computer Science is the Theory of Automata and Formal Languages. Students usually have some problems when facing this subject, as they find it very abstract and distant from other subjects they study at the same time. In order to make easier the preparation of the subject, the SELFA-Pro tool was developed. This tool allows students solving problems of most themes in the subject. In this paper we show some recent experiences of use of this tool in real studies. We include both statistics of use with their possible relationship with academic results and subjective opinion of the students that work with the tool.

Palabras clave

Teoría de Autómatas y Lenguajes Formales, Herramienta on-line, Experiencias de uso.

1. Introducción y motivación

La Teoría de Autómatas y Lenguajes Formales es un campo clásico y multidisciplinar dentro de los planes de estudios de Ingeniería Informática de la mayoría de universidades, tanto en el marco actual como en anteriores regulaciones de los planes de estudios universitarios. Se trata de una materia que provee los fundamentos teóricos de la disciplina de la Ingeniería Informática y ayuda a conocer su potencia y sus limitaciones [8, 9]. Los alumnos que cursan esta materia suelen encontrarse problemas a la hora de afrontarla, por tratarse de una materia que maneja numerosos conceptos que requieren de una gran capacidad de abstracción y que en ocasiones pueden resultarles alejados del resto de materias del plan de estudio, aunque realmente no sea así. Ya desde que se empezó a impartir esta materia, los docentes enseñada se dieron cuenta de que era difícil impartirla y aprenderla, y de que se podían utilizar herramientas pedagógicas para hacerlo más fácil [3].

Con el fin de ayudar a los alumnos a encarar el estudio y la preparación de la materia, y en particular del manejo de los conceptos antes comentados y de sus operaciones y algoritmos asociados, se desarrolló la herramienta SELFA y posteriormente su extensión SELFA-Pro. Esta herramienta incluye la definición de un Lenguaje Específico del Dominio que permite la definición de gramáticas, expresiones regulares, autómatas finitos y autómatas con pila, así como la aplicación de los algoritmos y operaciones que los alumnos van a manejar durante su estudio de la materia. Con respecto a otras herramientas similares que afrontan estos objetivos, SELFA-Pro presenta como uno de sus puntos fuertes el uso de una notación basada en variables para encadenar la aplicación de algoritmos y operaciones, lo cual permite a los estudiantes utilizar una notación similar a la que utilizan en los lenguajes de programación para resol-

ver problemas complejos y experimentar con los resultados obtenidos.

En este artículo se presentan las experiencias de uso de la herramienta SELFA-Pro en una asignatura que cubre la materia descrita. Se analizan el uso real que se ha hecho de la herramienta por parte de los estudiantes, las operaciones que realmente estos emplean, la opinión subjetiva de los estudiantes y la relación de todo ello con los resultados académicos obtenidos en este tiempo. De esta forma, se ha emitido un primer balance de evaluación de la herramienta, obteniendo sus puntos fuertes y débiles y sus posibilidades de mejora de cara a posibles nuevas versiones de la misma.

El resto del artículo se estructura como sigue: en la Sección 2, se realiza una breve descripción de la materia de Teoría de Autómatas y Lenguajes Formales para enmarcar el trabajo. En la Sección 3, se comentan trabajos relacionados con el actual. En la Sección 4, se describe la herramienta SELFA-Pro, tanto desde el punto de vista de su desarrollo como desde su uso para la preparación de la materia. En la Sección 5 se comentan los resultados obtenidos a partir del uso de la herramienta. Finalmente, la Sección 6 incluye las conclusiones obtenidas durante el desarrollo de las experiencias comentadas y las líneas de trabajo futuro a explorar próximamente.

2. La materia de Teoría de Autómatas y Lenguajes Formales

Como ya se ha comentado anteriormente, la materia de Teoría de Autómatas y Lenguajes Formales (TALF) está normalmente presente en los planes de estudios de Ingeniería Informática. Actualmente, esta materia se estudia en ocasiones en asignaturas con el nombre de Teoría de la Computación, para marcar más el carácter de fundamento de las Ciencias de la Computación que se le viene dando en los últimos tiempos, como se observa por ejemplo en el plan de estudios del Grado en Ingeniería Informática de la Universidad de Zaragoza¹. Aun así, la materia tiene también una gran utilidad a la hora de enseñar una serie de conceptos presentes en los temas que desarrollan dichos conceptos teóricos. Por ejemplo, la descripción de lenguajes mediante expresiones regulares, que se utiliza en numerosos ámbitos de la Informática como mecanismo para describir patrones, la definición de autómatas finitos, que permite ejemplificar el uso de máquinas de estados, o la descripción de lenguajes mediante gramáticas y el posterior desarrollo de procesadores de lenguajes para reconocer los lenguajes así descritos.

Con el replanteamiento del mapa de titulaciones que se llevó a cabo en España a partir de la década anterior, la asignatura en la cual se tratan los temas de TALF se ha ubicado en momentos distintos dentro de los planes de estudios. Por poner dos ejemplos, mientras que en la Universidad de Zaragoza la asignatura Teoría de la Computación es considerada de Formación Básica y se ubica en el primer cuatrimestre del segundo curso del Grado, en la Universidad de Castilla-La Mancha la asignatura Teoría de Autómatas y Computación forma parte de la intensificación de Computación y se ubica en el segundo cuatrimestre del tercer curso del Grado. Esta disparidad está en parte provocada por el hecho de que el Libro Blanco sobre el título de Grado en Ingeniería Informática publicado por la ANECA² y que se tomó como referencia inicial para la elaboración de los planes de estudios no hacía referencia expresa a TALF.

Los planes de estudios de las asignaturas de Teoría de Autómatas y Lenguajes Formales o Teoría de Computación suelen estar organizados de la siguiente forma:

- Introducción a los lenguajes formales y las gramáticas. Inicialmente, se definen los conceptos de lenguaje formal, alfabeto y palabra, junto con las operaciones básicas sobre palabras y lenguajes. A continuación, se introduce el concepto de gramática y la clasificación de las mismas según los trabajos de Noam Chomsky.
- Lenguajes y gramáticas regulares. Este bloque trata sobre los lenguajes regulares, las gramáticas que los definen y los mecanismos de descripción y reconocimiento asociados. En concreto, se presentan las expresiones regulares y los autómatas finitos, en sus diversas variantes.
- Lenguajes y gramáticas libres de contexto. Al igual que en el bloque anterior, se trata sobre las distintas formas de trabajar con lenguajes libres de contexto, definiéndolos con gramáticas de dicho tipo y reconociéndolos con autómatas con pila.
- Máquinas de Turing. Se describe el modelo básico de Máquina de Turing, usándolo como puente entre los bloques anteriores, más centrados en el manejo de lenguajes formales, y el posterior, centrado ya en el concepto de computabilidad.
- Introducción a la computabilidad y la complejidad computacional. En este bloque, y utilizando como fundamento lo aprendido acerca de Máquinas de Turing en el bloque anterior, se discute sobre los límites de la computabilidad, se presenta la Tesis de Turing-Church y se tratan aspectos relacionados con la categorización de

¹<https://academico.unizar.es/sites/academico.unizar.es/files/archivos/ofiplan/memorias/grado/ingenieria/infrm.pdf>

²http://www.aneca.es/var/media/150388/libroblanco_jun05_informatica.pdf

problemas según su decidibilidad y según el tiempo de resolución.

Del análisis de los resultados de las encuestas de evaluación de la enseñanza de la Escuela Universitaria Politécnica de Teruel se observa que a los alumnos les cuesta comprender la importancia de esta materia y contextualizarla en la titulación. Y de hecho, en el año 2011 el 100% de los alumnos encuestados estaban en total desacuerdo con la afirmación “Esta asignatura tiene un planteamiento atractivo y supone una experiencia interesante”. Así pues, se hace necesario replantear la enseñanza de esta asignatura y utilizar mecanismos familiares para los alumnos para que así puedan asimilar mejor los conceptos de la asignatura.

3. Trabajos relacionados

Existen numerosas herramientas para el manejo de autómatas finitos que han sido utilizadas o lo están siendo en el ámbito de la docencia sobre Autómatas Finitos y Lenguajes Formales. Muchas de estas herramientas son gráficas, lo cual aunque en principio podría suponer una ventaja, también puede convertirse en una limitación, como comentaremos más adelante.

Una de las herramientas más populares para la docencia de Autómatas y Lenguajes Formales es JFLAP [12]. Es una herramienta gráfica bastante completa que permite trabajar con autómatas finitos, autómatas a pila, máquinas de Turing, gramáticas y expresiones regulares, implementando un buen número de algoritmos sobre esos componentes. Otra herramienta gráfica interesante es THOTH [5], que también permite trabajar con la mayoría de estos elementos de la materia de autómatas y lenguajes formales y está muy orientada al aprendizaje de los algoritmos que implementa. También merece la pena destacar la herramienta descrita en [4], que se desarrolló con un gran énfasis en una interfaz de usuario amigable, pero que se ha especializado en autómatas finitos, y no cubre otros conceptos presentes en la materia. Finalmente, la herramienta PFM_UOC [6] trabaja también sobre autómatas finitos, y permite su representación gráfica a partir de la tabla de transiciones, aunque carece de otras funcionalidades como la simulación del funcionamiento del autómata.

Como antes comentábamos, el hecho de que estas herramientas sean fundamentalmente gráficas tiene sus ventajas de cara a su mayor usabilidad, pero eso puede redundar en problemas en ciertas situaciones en las cuales se pretenda enlazar la ejecución de diversos algoritmos sobre elementos diferentes, como por ejemplo la minimización de autómatas finitos obtenidos a partir de una expresión regular o gramática regular. Por otro lado, existen varios trabajos que

han probado que el uso de notaciones formales y el hecho de asemejar ciertos elementos de tales notaciones a los lenguajes de programación, que es algo ya conocido y trabajado por parte de los alumnos, puede redundar en beneficio del proceso de aprendizaje [10, 11].

Así, otros enfoques para el manejo de autómatas y otras construcciones de TALF se basan en el uso de lenguajes formales. Algunas de esas aproximaciones se basan en el uso de lenguajes notacionales [6, 14]. Estos lenguajes implican definiciones muy rígidas y que pueden ser más difíciles de manejar para alumnos de segundo curso de Grado. Por el contrario, lenguajes más similares a los de alto nivel [2], que tienen notaciones más descriptivas, pueden ser más similares a lo ya conocido por los estudiantes y facilitar el proceso de enseñanza/aprendizaje de TALF.

Considerando todo lo anteriormente, y otros aspectos que algunas de las herramientas ya mencionadas no cubren, como la recopilación de estadísticas para el seguimiento de los alumnos, se desarrolló la herramienta SELFA [1], y posteriormente su extensión SELFA-Pro [13]. En la siguiente sección se va a hablar más en detalle de la herramienta SELFA-Pro, para posteriormente mencionar algunas experiencias de uso y resultados obtenidos en la Sección 5.

4. La herramienta SELFA-Pro

Como se ha comentado ya, SELFA-Pro es la versión actual de la herramienta para el aprendizaje de la materia de TALF, y evolucionó de una versión anterior denominada SELFA. Desde el primer momento del desarrollo de esta herramienta, se buscó como objetivo el disponer de un sistema que aceptase ejercicios de dicha materia y los resolviese, mostrando las soluciones de la manera más clara y sencilla posible de cara al estudiante. Es una herramienta *on line*, de forma que no necesita instalación y es accesible a cualquiera a través de su navegador *web*. Además, SELFA-Pro incluye el registro e identificación de usuarios, de forma que posteriormente se registra la actividad de dichos usuarios en cuanto a número de ejercicios ejecutados de cada tipo, permitiendo así al profesor tener un control personalizado del uso real de la herramienta, así como estadísticas más globales del uso de la misma.

La herramienta trabaja con las construcciones más habituales en TALF, como son las gramáticas, las expresiones regulares, los autómatas finitos y los autómatas con pila. Para cada construcción, se permite el planteamiento y resolución de un buen número de ejercicios, que cubren prácticamente todos los algoritmos y ejercicios que se suelen tratar en las asignaturas que cubren esta materia. En el Cuadro 1 se detallan las operaciones que incluye SELFA-Pro, junto con el nombre que han recibido en la herra-

mienta, que está en inglés. Se han utilizado las abreviaturas ER por expresión regular, GLC por gramática libre de contexto, AFD por autómatas finitos determinista, AFND por autómatas finitos no determinista,

AFND- ϵ por autómatas finitos no determinista con transiciones nulas y AF por autómatas finitos sin especificar el tipo.

Nombre	Descripción
Operaciones sobre expresiones regulares	
alternation	Hacer la unión de dos ER
concatenation	Hacer la concatenación de dos ER
equals	Comprobar que dos ER son equivalentes.
print	Mostrar por pantalla una ER
recognize	Determinar si una cadena forma parte del lenguaje representado por la ER dada
REtoFA	Obtener el AFND- ϵ equivalente a una ER dada
star	Hacer la clausura de Kleene a una ER
Operaciones sobre gramáticas	
CFGtoPDA	Obtener un autómatas con pila que reconozca el mismo lenguaje que una GLC dada
clean	Realizar la limpieza de una gramática, aplicando todos los algoritmos de limpieza
cyk	Determinar si una cadena es derivable a partir del símbolo inicial de la gramática
equals	Comprobar que dos gramáticas son equivalentes
fn	Obtener una gramática equivalente a la dada en Forma Normal de Chomsky
fn	Obtener una gramática equivalente a la dada en Forma Normal de Greibach
nullable	Obtener los no terminales de la gramática que derivan en la cadena vacía
print	Mostrar por pantalla una gramática
reminacc	Eliminar los símbolos de una gramática que sean inaccesibles desde el símbolo inicial
remnongen	Eliminar los símbolos de una gramática que no deriven en cadena de terminales
remnullable	Eliminar las producciones no generativas ($A \rightarrow$ cadena vacía)
remunit	Eliminar las producciones unitarias, es decir aquellas de la forma $A \rightarrow A$
remuseless	Eliminar los símbolos inaccesibles y los que no generan terminales de la gramática
RGtoFA	Obtener el AF que reconoce el lenguaje expresado por medio de una gramática dada
Operaciones sobre autómatas finitos	
complement	Obtener el autómatas que reconoce el lenguaje complemento al reconocido por el AF dado
equals	Comprobar que dos autómatas dados como argumentos reconocen el mismo lenguaje
FAtoFDA	Transformar un AFND- ϵ a AFD
FAtoMDFA	Transformar un AFND- ϵ a un AFD mínimo equivalente
FAtoNDFA	Transformar un AFND a AFND
FAtoRE	Obtener la ER que represente el mismo lenguaje que el que reconoce el autómatas dado
FAtoRG	Obtener la gramática que representa el mismo lenguaje que el que reconoce un AF dado
intersection	Obtener el AF que reconoce el lenguaje intersección de los reconocidos por los AF dados
inverse	Obtener el AF que reconoce el lenguaje inverso del reconocido por el AF dado
print	Mostrar por pantalla un autómatas
union	Obtener el AF que reconoce el lenguaje unión de los reconocidos por los dos AF dados
recognize	Determinar si una cierta cadena es reconocida por un AF
visualrecognize	Determinar si una cierta cadena es reconocida por un AF de manera visual
Operaciones sobre autómatas con pila	
print	Mostrar por pantalla un autómatas con pila
recognize	Determinar si una determinada cadena es reconocida por un autómatas con pila
PDAtoCFG	Obtener la GLC que representa al lenguaje que reconoce un autómatas con pila dado
PDAtoFPDA	Obtener un autómatas con pila que trabaje bajo el criterio de estados finales
PDAtoEPDA	Obtener un autómatas con pila que trabaje bajo el criterio de pila vacía
visualrecognize	Determinar si una cierta cadena es reconocida por un autómatas con pila de manera visual

Cuadro 1. Operaciones en SELFA-Pro

La manera que tiene el usuario de interactuar con la herramienta es mediante textos escritos conforme a un lenguaje específico del dominio que se diseñó para permitir el manejo de las operaciones y construcciones del lenguaje de manera fácil. El lenguaje diseñado tiene similitudes con otros lenguajes existentes en la literatura [2,3], y también con ciertos lenguajes de programación de alto nivel, de forma que no suponga un gran esfuerzo para el usuario el entenderlo y empezar a trabajar con él.

Los textos de entrada a la herramienta incluirán por tanto la definición de construcciones de cualquiera de los cuatro tipos que maneja SELFA-Pro junto a la aplicación de operaciones sobre las construcciones definidas o sobre los resultados de otras operaciones. Los usuarios de la herramienta introducen los textos de entrada escribiéndolos en un área de texto o bien cargando un archivo en el cual se incluya las construcciones y operaciones con las que se desea trabajar. Esto permite, por ejemplo, que el profesor distribuya ejemplos que pueden ser luego ejecutados por los alumnos en sus máquinas.

Uno de los puntos fuertes del lenguaje de entrada de SELFA-Pro es la posibilidad que tiene de encadenar operaciones, utilizando el resultado obtenido al aplicar una operación como entrada de otra operación diferente. Esto se consigue utilizando una sintaxis similar a la que poseen la mayoría de lenguajes de programación de alto nivel para almacenar resultados en variables. En la Figura 1 se puede observar un ejemplo de encadenamiento de operaciones en el propio entorno de la herramienta. En caso de que los usuarios de la herramienta quieran visualizar los resultados intermedios de cada una de las operaciones al encadenar unas con otras, puede utilizarse la operación *print* para visualizar cualquier construcción que maneja la herramienta.

```

O introduzca el texto directamente
-----
regexp expresion( (aa(b*)) )
automaton automata1{
    states q0,q1,q2;
    alphabet a,b;
    initial q0;
    final q2;
    transition{
        q0,a=q1;
        q1,a=q2;
        q2,b=q2;
    }
}
automata2=REtoFA( expresion );
equals( automata1, automata2 );
-----
Aceptar

```

Figura 1. Ejemplo de encadenamiento de operaciones en SELFA-Pro

El lenguaje integrado en la herramienta SELFA-Pro tiene un procesador de lenguaje asociado que forma parte de la herramienta y que se encarga de comprobar la corrección de los textos recibidos como

entrada, así como de cargar las construcciones definidas y lanzar la ejecución de los algoritmos solicitados. El procesador de lenguajes está implementado en Java, y es fácilmente extensible para añadir nueva funcionalidad, como ocurrió al pasar de la versión inicial a la versión SELFA-Pro.

La herramienta está implementada como una herramienta *web* para, como se ha comentado, conseguir que cualquiera la pudiera utilizar al no necesitar instalación. La parte *web* de la herramienta está implementada con PHP y MySQL. Actualmente, la herramienta está disponible en la URL <http://portal.esi.uclm.es/selfa/>.

La herramienta, además de la funcionalidad básica de ejecutar operaciones, incluye una serie de pantallas adicionales para facilitar el trabajo a sus usuarios, como una sección de ayuda, un resumen de la funcionalidad y una serie de ejemplos precargados para mostrar de una manera más clara cómo trabajan los distintos algoritmos implementados.

La propia pantalla de compilación posee también algunas ayudas para que sea más fácil trabajar con la herramienta y para no tener que partir de cero a la hora de escribir los textos. Así, se incluyen una serie de botones que introducen en el cuadro de texto un autómata finito, gramática, autómata con pila o expresión regular de ejemplo, y también unos desplegables que muestran las operaciones disponibles para cada construcción y al hacer clic en una, la escriben en el texto. Todo esto se observa en la Figura 2.



Figura 2. Elementos de ayuda en la pantalla de compilación de SELFA-Pro

Finalmente, cabe también mencionar, aunque ya se hizo con anterioridad, que SELFA-Pro recopila información de uso y posee la capacidad de extraer estadísticas acerca del trabajo de cada usuario, agrupándolos en grupos o en global. En las experiencias de uso que se comentan en la Sección 5 se mostrarán algunos ejemplos de las estadísticas obtenidas por la herramienta.

5. Experiencias y resultados de uso de Selfa-Pro

En esta sección vamos a detallar el uso que se le viene dando a la herramienta SELFA-Pro en el ámbito de la Escuela Universitaria Politécnica de Teruel,

centro de la Universidad de Zaragoza. Como ya se comentó en la Sección 2, la materia de TALF se cubre en la titulación de Grado en Ingeniería Informática de dicha universidad en la asignatura Teoría de la Computación, ubicada en el primer cuatrimestre del segundo curso de la titulación. En esta asignatura se viene utilizando SELFA-Pro desde el inicio de su impartición en el centro mencionado, en el curso 2011/12. En cada curso desde entonces se ha seguido más o menos el mismo procedimiento en cuanto al uso de la herramienta. Así, la manera en la cual SELFA-Pro se integra en la metodología docente y el programa de la asignatura es la siguiente:

- En una sesión de clase celebrada en una de las primeras semanas del cuatrimestre se ha presentado la herramienta y los alumnos han realizado unos primeros ejercicios guiados con ella.
- Posteriormente, durante el curso se ha ido explicando para cada concepto o algoritmo de la asignatura cómo se puede manejar con la herramienta, animando a los estudiantes a que utilicen la herramienta para practicar cada uno de los algoritmos.
- Finalmente, los alumnos terminan la asignatura con el desarrollo de un trabajo en grupo en el cual deben proponer y resolver una serie de ejercicios de la asignatura, ayudándose de SELFA-Pro para ello.

En esta sección vamos a presentar, por un lado, algunas estadísticas de uso de la herramienta durante estos cursos y, por el otro lado, los resultados de un estudio en el cual recogimos la opinión de un grupo de alumnos acerca de la herramienta.

5.1. Estadísticas de uso de SELFA-Pro

Mediante la funcionalidad de recopilación de información y obtención de estadísticas de la herramienta, se ha recopilado dicha información para los cursos 2011/12 a 2014/15. De esta forma, se ha pretendido comprobar si los alumnos realmente están utilizando la herramienta y, dentro de ello, qué opera-

ciones son las más empleadas por ellos. En el Cuadro 2 se muestra la siguiente información: el número total de ejercicios ejecutados por los alumnos, el número medio de ejercicios por alumno (para lo cual se ha tenido en cuenta el número de alumnos presentados a cualquiera de las dos convocatorias de examen) y los ejercicios más utilizados por los estudiantes, junto a dos datos propios de la asignatura: el porcentaje de alumnos que superaron la asignatura en cada curso (en cualquiera de las dos convocatorias) y la nota media de los alumnos de ese curso.

Los resultados mostrados en el Cuadro 2 no nos permiten todavía obtener unas conclusiones potentes acerca de cómo el uso de la herramienta repercute en los resultados académicos de la asignatura. Ahora bien, sí que se puede destacar que el descenso en el uso de la herramienta en el curso 2014/15 ha venido acompañado de un descenso en los resultados académicos de dicho curso. El descenso en el uso en cuanto a ejercicios por alumno lo achacamos al hecho de que en los últimos años se han acumulado un mayor número de alumnos repetidores que normalmente necesitan no tanto un uso continuo de la herramienta para aprender las construcciones de la asignatura como un uso más puntual para resolver ciertos tipos de ejercicios con los que tienen más problemas. En cuanto a la relación con el rendimiento, habrá que seguir analizando en el futuro si los años con un menor uso de la herramienta se corresponden con un descenso en el rendimiento académico, como parecen dar a entender los datos recogidos hasta el momento.

Aparte, en lo que se refiere a las operaciones más utilizadas por los alumnos, se observan bastantes diferencias a lo largo de los cursos. Ahora bien, sí que se observan dos grupos de operaciones que suelen estar entre los más utilizados. Se trata de los algoritmos de limpieza de gramáticas (*remunit*, *remnongen*, *remnull*) y de los algoritmos para alternar entre expresiones regulares y autómatas finitos (*FAtORE*, *REtoFA*).

Curso	Ejercicios	Ejercicios por alumno	Ejercicios más utilizados	% de alumnos aprobados	Nota media
2011/12	1868	169,82	remnongen remunit REtoFA	72,73%	6,44
2012/13	3357	176,68	REtoFA remunit remnull	73,68%	5,77
2013/14	1765	126,07	FAtORE REtoFA visualrecognize (AF)	84,62%	6,02
2014/15	1635	56,38	remunit FAtODFA REtoFA	55,17%	4,43

Cuadro 2. Estadísticas de uso de SELFA-Pro y otros indicadores de la asignatura.

5.2. Estudio práctico

Para recoger la opinión de los alumnos acerca de SELFA-Pro, llevamos a cabo un estudio en el cual varios estudiantes de la asignatura de Teoría de la Computación realizaron una serie de ejercicios tanto a mano como con la herramienta y posteriormente respondieron a una serie de preguntas en un cuestionario. Así, las cuestiones que queríamos aclarar con este estudio eran: si los alumnos encuentran interesante el utilizar una herramienta como SELFA-Pro, qué funcionalidad de SELFA-Pro encuentran más importante los alumnos y si ayuda SELFA-Pro a prepararse y superar una asignatura sobre TALF.

Un total de 20 alumnos de la asignatura de Teoría de la Computación en la E.U. Politécnica de Teruel participaron voluntariamente en el estudio. La tarea que realizaron consistía en determinar si dos lenguajes, uno dado en la forma de un autómatas finito no determinista y otro dado en la forma de una expresión regular, eran equivalentes. Los alumnos tenían que realizar esa tarea tanto a mano como con SELFA-Pro. La resolución del problema implicaba aplicar algoritmos como la obtención del autómatas finito equivalente a la expresión regular, el paso a autómatas finito determinista, la comprobación de la equivalencia entre autómatas, etc.

Los alumnos llevaron a cabo esta tarea de manera individual en una sesión de 90 minutos de duración. Esta sesión se llevó a cabo al final del cuatrimestre, con lo cual los participantes ya habían trabajado con la herramienta y no necesitaron explicaciones adicionales sobre uso. Después de finalizar la actividad, los alumnos contestaron un cuestionario formado por ocho bloques de preguntas. En los primeros tres bloques, los alumnos tenían que valorar de 0 a 5 varias características de SELFA-Pro. En los otros bloques, se trataba de ordenar por importancia percibida varias características de SELFA-Pro. En el Cuadro 3 se muestran los resultados de los primeros bloques del cuestionario.

De los valores obtenidos en estas preguntas podemos obtener algunas primeras conclusiones. Los alumnos otorgaron en general buenas puntuaciones, así que parece que realmente consideran SELFA-Pro útil para los objetivos para los cuales fue diseñada. De hecho, los alumnos mostraron su certeza de que la herramienta les estaba ayudando a aprender la materia. El elemento menos valorado en este bloque fue el referido a la identificación y corrección de errores. Este resultado, junto con el análisis de la realimentación dada por los alumnos de la herramienta, nos lleva a pensar que habría que enriquecer la herramienta por ejemplo con un editor más rico que podría incluir aspectos tales como coloreado de sintaxis o números de línea que permitiesen una mejor interac-

ción a la hora de introducir los textos. En cuanto al uso de la notación basada en variables para encadenar operaciones, este recibe buenas opiniones, lo cual parece validar el enfoque planteado. Si bien es cierto que no está entre los aspectos más valorados, lo cual parece hacer pensar que seguir trabajando en el encadenamiento de operaciones no es un aspecto prioritario en cuanto a mejoras futuras.

Característica	Media	Desviación típica
Presentación de las opciones; claridad de los menús	4,05	0,69
Información sobre ejecución de operaciones y algoritmos	4,35	0,59
Simplicidad al identificar y corregir errores	3,65	0,81
Ayuda disponible	4,00	0,86
Ejemplos prefijados	4,25	0,79
Uso para mostrar autómatas gráficamente	4,70	0,57
Uso para reconocer cadenas visualmente	4,45	0,51
Uso de una notación basada en variables para encadenar operaciones	4,05	0,69
Facilidad de entendimiento y manejo del lenguaje	4,00	0,79
Utilidad para aprender los algoritmos de la materia	4,55	0,51
Utilidad para preparar la materia	4,65	0,59

Cuadro 3. Resultados del primer bloque del cuestionario.

En cuanto al segundo bloque del cuestionario, primero se preguntó a los alumnos acerca de qué grupo de operaciones de las incluidas en la herramienta era más interesante según su opinión, ordenándolas de 1º (más valorado) a 4º (menos valorado), de forma que un número menor reflejaba una mayor valoración. Las más valoradas fueron las operaciones sobre autómatas finitos (media=1,90), seguidas de las operaciones sobre gramáticas (2,10). Estos resultados están en la línea de lo recogido en las estadísticas de uso de la herramienta, donde las operaciones que solían aparecer dentro de las más utilizadas pertenecían a los dos primeros grupos de operaciones.

Dentro de las operaciones sobre autómatas finitos, las más valoradas por los alumnos fueron las que

llevan a cabo transformaciones entre los distintos tipos de autómatas (1,70), como la que obtiene un autómata determinista a partir de otro no determinista y otras similares. En cuanto al grupo de operaciones sobre gramáticas, las que obtienen autómatas a partir de gramáticas regulares fueron las que resultaron ser las más interesantes para los alumnos (2,40), aunque en este caso por un estrecho margen con respecto a otras operaciones de este bloque, como las operaciones de limpieza de gramáticas (2,45).

En lo que se refiere a las operaciones sobre autómatas con pila, aquellas operaciones que transformaban un autómata para que reconociese cadenas por un cierto criterio (estados finales o pila vacía) fueron las más valoradas (1,75). Y finalmente, en el grupo de operaciones sobre expresiones regulares, la obtención de autómatas finitos partiendo de expresiones regulares fue muy bien valorada (1,50). Esto no puede ser una sorpresa, ya que dicha operación se encuentra habitualmente entre las más utilizadas por los alumnos, como se vio con anterioridad. En general, parece haber una correlación entre las operaciones más utilizadas por los alumnos durante el curso y las más valoradas por ellos al recoger su opinión subjetiva. Esto debe llevarnos a pensar que los alumnos están satisfechos con la manera en la cual la herramienta maneja las operaciones que ellos van a manejar en la práctica.

6. Conclusiones y trabajos futuros

En este artículo se han presentado los resultados de varias experiencias de uso con SELFA-Pro, una herramienta para la enseñanza de la materia de Teoría de Autómatas y Lenguajes Formales. Se ha descrito la herramienta y se han presentado estadísticas de uso y los resultados de un estudio realizado con dicha herramienta. De la observación de toda esa forma hemos concluido que la herramienta parece estar cumpliendo satisfactoriamente los objetivos para los cuales fue desarrollada, aunque obviamente hay algunos puntos que pueden ser mejorados.

Como trabajo futuro, se plantea mejorar la herramienta introduciendo un editor de textos más rico. También se está estudiando la posibilidad de desarrollar un editor gráfico de autómatas que pueda generar el texto que luego procese la herramienta, como ayuda a la hora de definir las construcciones con las cuales se quiere operar. En ese sentido, se está considerando la posibilidad de desarrollar ese editor como un *plugin* del entorno de programación Eclipse, conocido por los alumnos y que no debería suponer un obstáculo el utilizar como contenedor para este tipo de editores.

Referencias

- [1] J.J. Castro, E. del Castillo, J. Hortolano, Una herramienta para la enseñanza y aprendizaje de lenguajes formales y teoría de autómatas. XIII Jornadas de la Enseñanza Universitaria de la Informática (JENUI 2007), 379-386, 2007.
- [2] P. Chakraborty. A language for easy and efficient modeling of Turing machines. *Progress in Natural Science*, 17(7): 867-871. 2007.
- [3] P. Chakraborty, P. C. Saxena, C. P. Katti. Fifty years of automata simulation: a review. *ACM Inroads* 2, 4 (December 2011), 59-70. 2011.
- [4] A. Dzib-Tun, C. González, M. García. Una herramienta didáctica interactiva para la enseñanza-aprendizaje de los autómatas finitos deterministas. V Congreso Internacional de Computación y Telecomunicaciones, 32-37, Lima, oct. 2013.
- [5] C. García, A. Arnáiz M., A. Arnáiz G. Enseñanza asistida de teoría de autómatas y lenguajes formales mediante el uso de THOTH. XIII Jornadas de Enseñanza Universitaria de la Informática (JENUI 2007), 425-432, 2007.
- [6] A. Gutiérrez. Estudio y evaluación de una herramienta para representar máquinas de estado finitas. TFM, Máster en Software Libre, Universitat Oberta de Catalunya (UOC), 2013.
- [7] E. F. S Head. ASSIST: A Simple Simulator for State Transition. <http://www.cs.binghamton.edu/~software/ASSIST.html>. 1997.
- [8] J.E. Hopcroft, R. Motwani, J.D. Ullman. Introduction to automata theory, languages and computation. Addison Wesley, 2001.
- [9] D. Kelley. Automata and Formal Languages: An Introduction. Prentice-Hall, 1998.
- [10] J. Rocha. Verificación de autómatas y gramáticas. IX Jornadas de la Enseñanza Universitaria de la Informática (JENUI 2003), 2003.
- [11] J. Rocha. Autómatas de pila y máquinas de Turing estructurados. XI Jornadas de la Enseñanza Universitaria de la Informática (JENUI 2005), 2005.
- [12] S.H. Rodger, T.W. Finley. JFLAP: An Interactive Formal Languages and Automata Package. Jones & Bartlett Publishers, 2006.
- [13] A. Rodríguez, J.J. Castro, E. del Castillo. SELFA-Pro: Añadiendo nuevas entidades y funcionalidades para mejorar la enseñanza y el aprendizaje de TALE. XIV Jornadas de la Enseñanza Universitaria de la Informática (JENUI 2008), 541-548, 2008.
- [14] B.J. Shelburne. Software Projects. www4.wittenberg.edu/academics/mathcomp/bjsdir/software.shtml. 2002.