

Un proyecto interdepartamental de promoción de herramientas tecnológicas en ingeniería. El caso del sistema *Mathematica*

An inter-departmental project promoting technological tools in engineering. The case of the *Mathematica* system

Susana Nieto, Higinio Ramos
sni@usal.es, higra@usal.es

Departamento de Matemática Aplicada
Escuela Politécnica Superior de Zamora, Universidad de Salamanca
Zamora, España

Resumen- Se presenta una propuesta de promoción del uso del sistema *Mathematica* (un programa comercial de Cálculo Simbólico de gran potencia y con excelentes capacidades gráficas) entre los profesores y estudiantes de titulaciones de Grado en Ingeniería en la Escuela Politécnica Superior de Zamora. Se pretende aprovechar todas las posibilidades de la licencia de campus proporcionada por la Universidad de Salamanca para toda la comunidad universitaria, que consideramos que está siendo infra-utilizada, especialmente por los estudiantes. El proyecto incluye iniciativas dirigidas tanto a los profesores como a los alumnos en un total de 21 asignaturas de seis titulaciones de ingeniería. Entre las actividades que se han llevado a cabo se encuentran la formación de una comunidad inter-departamental de usuarios y desarrolladores, la oferta de cursos gratuitos de formación para el profesorado, la difusión de aplicaciones del *Mathematica* en diversos campos de las matemáticas y la ingeniería a través de congresos y publicaciones, prácticas en el Aula de Informática en las asignaturas implicadas, propuesta de trabajos aplicados con uso de *Mathematica*, dirección de Trabajos Fin de Grado basados en *Mathematica*, etc.

Palabras clave: sistema *Mathematica*, herramientas tecnológicas, formación de los ingenieros.

Abstract- A proposal to promote the use of the *Mathematica* system (a commercial program of symbolic calculation of great power and with excellent graphical capabilities) between teachers and engineering students at the Higher Polytechnic School of Zamora is presented. This proposal aims at taking advantage of all the possibilities given by the campus license provided by the University of Salamanca for the entire university community, which in our opinion is being underused, particularly by students. The project includes initiatives aimed at both teachers and students in a total of 21 academic subjects from six Engineering Degrees. Among the activities that have been carried out it can be mentioned the formation of an inter-departmental community of users and developers, the offering of free training courses for teachers, the dissemination of *Mathematica* applications in various fields of mathematics and engineering through publications and presentations at conferences, practices in the computer classroom for the involved academic subjects, the proposal of applied academic works using *Mathematica*, the mentoring of End-of-Degree projects based on *Mathematica*, etc.

Keywords: sistema *Mathematica*, technological tools, engineering education.

1. INTRODUCCIÓN

El uso de elementos tecnológicos como apoyo a la docencia está firmemente establecido en las titulaciones universitarias actuales como respuesta a las innovaciones tecnológicas en el campo laboral y social (García-Peñalvo, Colomo-Palacios, & Lytras, 2012). Este aspecto es más evidente si se trata de titulaciones del campo de la Ingeniería, en las que el entrenamiento de los estudiantes en el uso y/o en el desarrollo de herramientas tecnológicas es una de sus razones de ser (Duderstadt, 2007). Por ello, es importante incorporar herramientas útiles dentro de la docencia de estas titulaciones, como un modo de preparar a los futuros graduados para su desempeño profesional (García-Peñalvo, & Colomo-Palacios, 2015).

La Universidad de Salamanca, en la que se ha llevado a cabo esta propuesta, no es ajena a este desarrollo, y emplea parte de sus recursos en mantener las oportunas licencias de software solicitadas por las diversas Facultades y Escuelas Politécnicas. En el caso del campo de las matemáticas y la estadística, por ejemplo, la Universidad gestiona licencias de programas específicos como MatLAB, SPSS y *Mathematica*, que es el caso que nos ocupa. La licencia del programa *Mathematica* (<https://www.wolfram.com/Mathematica/>) es muy amplia, una licencia "campus" que permite el uso de este programa por parte de toda la comunidad universitaria. Esta licencia incluye de forma específica a los alumnos, que disponen de una licencia anual (renovable mientras sean estudiantes de la Universidad) para que puedan instalar el programa en sus ordenadores personales, y no solo utilizarlo en las Aulas de Informática. En el campus de la Escuela Politécnica Superior de Zamora en el que se ha llevado a cabo este proyecto, el programa *Mathematica* está de hecho instalado en la totalidad de las aulas, tanto de informática como docentes, y también lo está en la mayoría de las Aulas de Informática de los demás campus de la Universidad de Salamanca que imparten titulaciones de Ciencias y Tecnología.

Sin embargo, en nuestra opinión esta licencia tan amplia está claramente infrutilizada y no se le está sacando todo el provecho posible, no solo por parte de los estudiantes, sino también por parte del profesorado de las áreas de Ciencias y Tecnología. Muchas veces se aduce una falta de conocimiento de las instrucciones básicas de los programas, pero en este caso el potencial didáctico de *Mathematica* ha evolucionado de forma muy evidente en las últimas versiones, permitiendo su uso incluso por personas que no tienen nociones de sus comandos básicos, puesto que responde a cuestiones realizadas en lenguaje “natural”. Los proyectos desarrollados por Wolfram Research, como el repositorio de datos contrastados Wolfram Alpha (<https://www.wolframalpha.com/>) y el repositorio de simulaciones dinámicas Wolfram Demonstrations Project (<http://demonstrations.wolfram.com/>) suponen además unas ayudas muy completas y adecuadas para la docencia en cualquier área, tanto de Ciencias e Ingeniería como de Ciencias Sociales.

Por estos motivos, los autores, que tienen una amplia experiencia previa en el uso de *Mathematica* con fines docentes e investigadores (por ejemplo, en Ramos y Nieto 2014; Nieto y Ramos, 2016a, 2016b), promovieron un proyecto para difundir el uso de este programa en todas las titulaciones de la Escuela Politécnica Superior de Zamora y por extensión, en las titulaciones de Ciencias e Ingeniería de la Universidad de Salamanca. Para ello, el enfoque más efectivo resultó ser interdepartamental, reclutando a profesores no solo de las áreas de Matemática Aplicada, sino de otras áreas de Ingeniería o Ciencias donde los profesores tuvieran una cierta experiencia, bien por motivos docentes o de investigación, en algún uso del *Mathematica*.

En este trabajo se presenta la generación de este proyecto interdepartamental, la implantación en la Escuela Politécnica Superior de Zamora de la Universidad de Salamanca durante el curso 2016-2017 y los resultados obtenidos de las diferentes iniciativas que lo componen, tanto desde el punto de vista de los profesores intervenientes en las actividades, como desde el punto de vista del trabajo realizado con los alumnos de las diferentes titulaciones de ingeniería que se imparten en el centro.

2. CONTEXTO

El programa *Mathematica* o sistema *Mathematica*, es un potente software que integra entre otras funcionalidades la computación numérica y simbólica, y ofrece una herramienta interactiva de cálculo y un potente lenguaje de programación. Una de sus principales características es su gran capacidad gráfica (Trott, 2004) que permite visualizar multitud de curvas, superficies, gráficos primitivos, funciones vectoriales, simulaciones, etc., no sólo en un contexto matemático, sino también en otros campos como la ingeniería, geografía, química, economía, etcétera. De hecho, su creador Stephen Wolfram, lo concibió a principio de los años ochenta como un programa destinado para el uso de físicos e ingenieros (Wolfram, 1991). Tiene además un claro valor añadido para los profesores de asignaturas de ciencias, matemáticas e ingenierías por su indudable componente didáctica, cada vez más desarrollada en las versiones recientes. Esta vocación didáctica hace que *Mathematica* incluya en su interface

sugerencias de escritura, la función de auto-completar para los comandos, el uso de símbolos matemáticos “tipo aula” para facilitar la transcripción, asistentes matemáticos específicos, sugerencias de sintaxis, explicación por pantalla de los distintos comandos, ayuda on-line y off-line, glosarios de comandos con ejemplos de aplicación, desarrollo paso a paso de ciertas operaciones, etc., lo que facilita enormemente su uso incluso por personas con poca o ninguna experiencia en su manejo.

Los autores, profesores del área de Matemática Aplicada de la Universidad de Salamanca, cuentan con una dilatada experiencia en la docencia de las matemáticas con la ayuda del sistema *Mathematica*, que está incorporado a la docencia de las asignaturas del área desde hace más de veinte años en sus sucesivas versiones y actualizaciones. La Universidad de Salamanca viene gestionando también desde hace muchos años, una licencia que a su vez ha ido evolucionando, desde las licencias más primitivas, limitadas y que no estaban operativas fuera de los cursos académicos, hasta la licencia actual de tipo “campus” que permite que *Mathematica* sea utilizado de forma genérica por toda la comunidad universitaria, y que pueda ser instalado sin limitaciones en todas las aulas de Informática, aulas de docencia y ordenadores de sobremesa, y para diferentes sistemas operativos. Esta amplia licencia incluye también su uso por parte de los estudiantes, que solo deben solicitar por correo una clave que les permite instalar el programa en sus ordenadores personales (no conectados a la red de la Universidad) y que puede ser renovada anualmente mientras sigan siendo alumnos de la Universidad.

La labor docente de los profesores del Departamento de Matemática Aplicada durante estos años se ha apoyado en la generación de diversas prácticas en el Aula de Informática que permiten ilustrar de forma didáctica muchos de los contenidos de Cálculo, Álgebra, Ecuaciones Diferenciales, Matemática Discreta, etc., incluidos en los temarios de matemáticas de las titulaciones de ingeniería. Esta labor, sin embargo, ha sido durante mucho tiempo una tarea individual, en la que cada profesor abordaba de forma personal la generación del material utilizado en las clases.

Las recientes modificaciones de *Mathematica* en las últimas versiones (sobre todo a partir de la versión 8), han dotado al programa de una mayor versatilidad, así como de una gran facilidad de manejo. Así, por ejemplo, se han ampliado de forma evidente todos los sistemas de ayuda al usuario, incluyendo ayudas on-line y off-line; sugerencias de escritura con función de auto-completado para las instrucciones propias del programa; indicaciones sobre la sintaxis correcta de los comandos; inclusión en las paletas de símbolos matemáticos “tipo aula”, en las que diferentes elementos matemáticos como las integrales, matrices, derivadas, etc., aparecen con la notación propia de la escritura manual; códigos de colores para la escritura, incluyendo la indicación del código activo en cada nivel; mensajes de error por pantalla, etc. Una de las últimas incorporaciones ha sido la escritura en formato libre (“*free form*”), en la que el propio *Mathematica* interpreta las peticiones que el usuario realiza en lenguaje natural (en inglés), traduciéndolas a lenguaje propio de *Mathematica* y proporcionando una respuesta con diferentes niveles de complejidad y profundidad, a petición del usuario.

Otros de los proyectos de utilidad para el docente y también para los estudiantes de las titulaciones universitarias, y en

particular de las ingenierías, es el gran caudal de conocimientos recogidos en la iniciativa Wolfram Alpha, que se presenta como una gran base de datos contrastados, en los que los estudiantes y también los docentes pueden encontrar multitud de datos sobre todo tipo de áreas de conocimiento. Se incluyen aquí datos históricos, literarios, geográficos y sociales, además de datos científicos de todos los campos. Este “súper-repositorio” está además accesible para todo el público en la página web <https://www.wolframalpha.com>, además de estar integrado dentro del propio programa *Mathematica*.

Sin embargo, gran parte de esta oferta y de la gran versatilidad y potencia que ofrece *Mathematica* permanece desconocida e infroutilizada para sus potenciales usuarios. El uso que los propios docentes “expertos” hacemos en el aula se limita a sus opciones más básicas, y no se ha generado una comunidad de usuarios que pueda beneficiarse de la experiencia mutua en el caso de los docentes. En el caso de los estudiantes, la mayoría no están bien informados de sus opciones de acceso abierto a toda la numerosa información que está a su alcance, y desconocen las múltiples posibilidades de aplicación no solo en temas matemáticos, sino en muy diversos campos de la ingeniería.

De este diagnóstico de la situación y dentro del contexto concreto de la Escuela Politécnica Superior de Zamora surgió esta iniciativa, que pretende sembrar las bases de la comunidad de usuarios de *Mathematica* dentro de nuestro Centro, con un doble objetivo:

- En el caso de los docentes, promover el uso conjunto del programa, creando una masa crítica que nos permita beneficiarnos de la experiencia acumulada por los usuarios más avanzados y generar nuevas aplicaciones de utilidad tanto en la docencia como en la investigación.
- En el caso de los estudiantes, formar e informar a las sucesivas cohortes de estudiantes de ingeniería del Centro de las ventajas y oportunidades de utilización que tienen a su disposición, para que aprovechen el caudal de información y todas las herramientas que tienen a su alcance. El uso del programa *Mathematica* puede resultarles de gran utilidad tanto como apoyo para las asignaturas de la titulación que estén cursando, como para su desarrollo profesional o investigador, una vez se hayan graduado.

3. DESCRIPCIÓN

El formato escogido para la generación de este proyecto fue mediante un Proyecto de Innovación Docente, que es una de las iniciativas promovidas por la Universidad de Salamanca para canalizar de forma institucional las diversas iniciativas de innovación propuestas por docentes de forma individual o por equipos de trabajo.

Cronológicamente, en primer lugar se realizó una reunión exploratoria con los docentes que en algún momento habían manifestado de forma individual utilizar *Mathematica* en diferentes aspectos de su docencia o su investigación. En esta primera convocatoria, realizada de forma personal, a los posibles docentes participantes en el proyecto, se les sugirió que animasen a otros posibles compañeros que pudieran estar interesados y que no eran conocidos por los impulsores del Proyecto. En este primer paso se pretendía empezar a formar

la comunidad de usuarios y desarrolladores que pudieran salir beneficiados de la iniciativa.

En segundo lugar, se proyectaron una serie de reuniones en la que se determinaron las posibles líneas de actuación en función de los intereses de los participantes y de su posible aplicación a las asignaturas impartidas por estos profesores. Se propusieron diferentes actividades para implicar a los estudiantes en el uso de *Mathematica* durante el curso 2016-2017, entre la cuales podemos destacar las siguientes:

- El uso de demostraciones basadas en *Mathematica* y en su sistema de simulación dinámica para ilustrar conceptos en el aula.
- La participación de los estudiantes en prácticas regladas, al menos durante una hora semanal, en las asignaturas de contenido matemático impartidas por los profesores del Área de Matemática Aplicada en todas las titulaciones del Centro.
- La sugerencia de uso de funciones específicas de *Mathematica* para la resolución de trabajos y proyectos realizados por los estudiantes en las diversas asignaturas.
- La dirección de Trabajos Fin de Grado con aplicaciones concretas de *Mathematica*
- La difusión en el aula por parte de los profesores, de la información sobre el tipo de licencia accesible a los estudiantes y las ventajas de uso que les reporta en sus ordenadores personales.

También se determinaron actuaciones dirigidas al resto de los profesores del Centro que podían resultar beneficiados de la iniciativa. Con ese fin, se pusieron en marcha las siguientes actividades:

- Generación a través del Instituto Universitario de Ciencias de la Educación y del programa de Formación del Profesorado, dependiente del Vicerrectorado de Docencia, de un curso específico de *Mathematica para profesores de Ingenierías*, dentro del sub-programa de Formación en Centros. Esta formación, de carácter gratuito y voluntario, se realiza en temporada no docente y está abierta a todo el profesorado de la Universidad.
- Puesta en contacto con las Coordinaciones de Titulaciones del Centro para la difusión de las actividades y de la formación propuesta por los canales institucionales de comunicación entre profesores de cada titulación.
- Generación de material básico sobre las principales funciones de *Mathematica* para su distribución entre los profesores interesados, con especial incidencia en sus aplicaciones a casos de ingeniería.

Por último, con el objeto de obtener información sobre el impacto que esta iniciativa ha tenido sobre los alumnos, se han estudiado las respuestas de un grupo de ellos (los estudiantes de la titulación de Grado en Ingeniería Informática en Sistemas de Información) a una encuesta anónima de opinión sobre las prácticas realizadas en la asignatura, y sobre su utilidad e interés para la compresión de la materia.

4. RESULTADOS

Con las iniciativas anteriormente descritas, se han conseguido una serie de resultados satisfactorios.

En primer lugar se ha conseguido la generación en el Centro de una pequeña comunidad de profesores usuarios de *Mathematica* que se han unido al proyecto, y que está formada en este momento por un total de nueve profesores, pertenecientes a las áreas de Matemática Aplicada, Ingeniería Mecánica, Física Aplicada y Máquinas y Motores Térmicos. Esta variedad de áreas permite ampliar en gran medida los enfoques dados a las aplicaciones del *Mathematica* que han llegado a los estudiantes, pues ya no se trata solo de la resolución de problemas puramente matemáticos (como ocurriría en gran medida si solo participasen profesores del área de Matemática Aplicada) sino que se muestra su uso en aplicaciones en campos concretos de la ingeniería. Esta amplitud de campos de aplicación hace que el *Mathematica* sea percibido por los estudiantes como una herramienta de mayor utilidad y aplicación.

En segundo lugar, esta comunidad inicial se ha visto enriquecida con la incorporación de algunos de los profesores de otras titulaciones e incluso de otros centros que acudieron al curso de formación intensivo descrito anteriormente, y que han manifestado su interés por el uso del programa. Esperamos que nos lleve en el futuro a ampliar la comunidad de desarrolladores y usuarios en la Universidad.

El curso de formación se llevó a cabo en el mes de mayo de 2016, con un relativo éxito de convocatoria en el que participaron diecisésis profesores. Acudieron diversos profesores del Centro, de diferentes áreas y titulaciones, y también profesores de otras Facultades y Escuelas Politécnicas situadas en otras localidades, lo que demuestra su interés por parte de la comunidad docente. En dicho curso, además, han surgido nuevas aplicaciones sugeridas por los participantes que no estaban contempladas en el proyecto inicial. Es nuestra intención realizar ediciones posteriores de este curso en éste y otros Centros e incluso trasladarlo a otras localidades en las que la Universidad de Salamanca tiene centros dedicados a titulaciones de Ingeniería.

Desde el punto de vista de la difusión y la investigación, los autores han seguido presentando a la comunidad docente e investigadora algunos programas propios para aumentar la usabilidad y utilidad del *Mathematica* en diversos campos. De este trabajo han surgido a lo largo del curso 2016-2017 un total de 5 trabajos basados en *Mathematica* que se han presentado en diversos congresos, simposios y reuniones científicas nacionales e internacionales (por ejemplo, Ramos y Nieto 2016, 2017; Nieto y Ramos, 2017). También se ha generado material específico para el curso de formación impartido a los profesores, que está disponible para todos ellos mediante un curso abierto en STUDIUM (la plataforma virtual de la Universidad de Salamanca, basada en Moodle).

Desde el punto de vista de los alumnos, las actividades propuestas han dado lugar a los siguientes resultados:

- Se han visto implicadas en el proyecto un total de 21 asignaturas correspondientes a la totalidad de las seis titulaciones de Grado en Ingeniería que se imparten en el Centro.

- Se han realizado prácticas con *Mathematica* en las Aulas de Informática, de forma reglada y con una frecuencia semanal, en un total de 7 asignaturas de 4 de las titulaciones de ingeniería implicadas.
- En el resto de las asignaturas, se han realizado prácticas de forma no reglada, para ilustrar conceptos, aplicaciones o casos particulares. Este es el caso, por ejemplo, de las prácticas sobre Teoría de Mecanismos y Cálculo y Diseño de Máquinas, de la titulación de Ingeniería Mecánica, donde se utiliza *Mathematica* para realizar estudios de fatiga, estudios mecánicos de uniones atornilladas, el cálculo estático y dinámico de diversos mecanismos (mecanismos 4R, bielas y manivelas, etc.). También, dentro del área de Máquinas y Motores Térmicos se ha utilizado *Mathematica* para la determinación de propiedades termodinámicas de las sustancias, realizar balances energéticos y de entropía, en el análisis de motores volumétricos y turbinas, en el estudio de los sistemas de refrigeración y bomba de calor, etc.
- Esperamos que esta difusión del uso del programa *Mathematica* entre los alumnos incremente en el futuro el número de matriculados en una asignatura optativa que se ofrece en cuarto curso sobre el uso del programa *Mathematica* en Ingeniería.
- Se ha promovido la utilización de *Mathematica* como herramienta básica para la resolución de trabajos propuestos en varias de las asignaturas implicadas. Un ejemplo de los trabajos propuestos se muestra en la figura 1:

MATEMÁTICA APLICADA II. ARQUITECTURA TÉCNICA- E.P.S. ZAMORA (USAL)

PROPUESTO 3- DIAGONALIZACIÓN

CURSO 2016-2017. FECHA MÁXIMA DE ENTREGA: 07-03-2017

Datos personales (Grupos de 1 o 2 personas):
Nombre y DNI:
Nombre y DNI:

Bibliografía y referencias utilizadas:
.....
.....
.....

EXPONENCIAL DE UNA MATRIZ DIAGONALIZABLE

1) Dada una matriz cuadrada que sea diagonalizable, indicar cómo se podrá utilizar la diagonalización para calcular la exponencial de dicha matriz.

2) Aplicar la técnica descrita anteriormente para calcular la matriz exponencial e^A siendo:

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 9 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}$$

NOTA: Se puede comprobar el resultado obtenido utilizando el comando de *Mathematica*
MatrixExp[matriz]

Figura 1: ejemplo de trabajo propuesto con uso de *Mathematica*

- En el presente curso, se han desarrollado tres Trabajos de Fin de Grado realizados con el apoyo de *Mathematica*, siendo los títulos de los mismos “*Autómatas de Wolfram*”, “*Métodos numéricos para la aproximación de raíces múltiples de ecuaciones no lineales*” y “*La variable Gamma en teoría de colas y confiabilidad de productos y sistemas*”, donde la programación de los distintos algoritmos se ha llevado a cabo mediante el programa *Mathematica*.

Finalmente, está en proyecto la edición y publicación de un libro de texto con ejemplos de aplicación del *Mathematica* a diversos casos prácticos de Ingeniería, lo que ampliará la difusión del uso del programa.

En lo que se refiere a los resultados de la encuesta anónima de opinión cumplimentada por los alumnos, se trataba de un cuestionario corto de 5 preguntas sobre las prácticas realizadas en la asignatura de Matemática Discreta y Lógica, de primer curso del Grado en Ingeniería Informática en Sistemas de Información. La encuesta se completa on-line, utilizando XXXXXXXX, al finalizar el cuatrimestre y después de haber realizado todas las prácticas correspondientes a esa asignatura. Las cinco cuestiones incluidas en encuesta se muestran en la figura 2:

Encuesta sobre evaluación continua

1 * Consideras que las prácticas de ordenador que has realizado:

- Son de mucha utilidad para entender mejor los temas
- Son interesantes pero no ayudan mucho a entender mejor los temas
- No resultan de utilidad ni de interés

2 * Consideras que la evaluación de las prácticas de ordenador:

- Está bien así, puntuando por realizarlas en el aula y entregarlas
- Habría que evaluarlas mediante un examen
- No habría que evaluarlas, solo hacerlas pero sin puntuarlas

3 * La práctica de ordenador que te ha resultado más interesante es:

- Lógica de proposiciones
- Lógica de predicados
- Álgebra de Boole
- Teoría de números
- Congruencia y aritmética modular
- Recursión y combinatoria
- Grafos I
- Grafos II y árboles
- Autómatas celulares
- Todas son interesantes
- Ninguna me interesa

4 * La práctica de ordenador que te ha resultado menos interesante es:

- Lógica de proposiciones
- Lógica de predicados
- Álgebra de Boole
- Teoría de números
- Congruencia y aritmética modular
- Recursión y combinatoria
- Grafos I
- Grafos II y árboles
- Autómatas celulares
- Todas, ninguna me interesa
- Ninguna, todas son interesantes

5 * Comentarios sobre las prácticas de ordenador y/o sugerencias para mejorarlas

Formato

Figura 2: encuesta anónima realizada por los alumnos

Como se puede observar, se trata de una encuesta que contiene tanto cuestiones cerradas, en la que los alumnos deben seleccionar una o más respuestas, como de cuestiones abiertas, en la que pueden realizar los comentarios que consideren oportunos sobre las prácticas realizadas.

La primera pregunta del cuestionario es la que nos puede dar más información sobre el posible impacto directo que ha tenido la realización de las prácticas sobre la compresión de la materia impartida en la asignatura. Los resultados de esta cuestión se muestran en la figura 3:

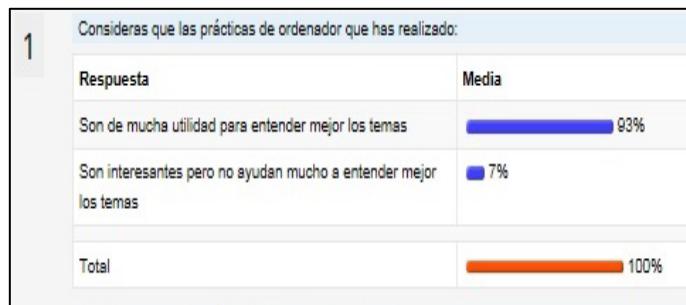


Figura 3: respuesta anónima de los estudiantes a la cuestión 1

Podemos ver como el 93% de los estudiantes consideran que las prácticas son útiles para entender mejor los temas. Un 7% las considera solamente interesantes, y no hay ningún estudiante que las considere ni útiles ni interesantes. A nuestro entender, este resultado indica claramente que estos estudiantes se sienten motivados para realizar las prácticas, que las encuentran interesantes y que la inmensa mayoría ha aumentado su compresión de los temas vistos en la asignatura gracias a las prácticas de ordenador realizadas en el aula.

La segunda cuestión está referida a la evaluación de dichas prácticas: los alumnos debían realizarlas en la hora asignada y entregarlas en ese momento, se puntuaba su labor personal, y no se realizaba ningún examen posterior. Entre las respuestas posibles, se incluía la posibilidad de solamente hacer las prácticas, pero sin que influyesen en la evaluación. Las respuestas a esta cuestión se muestran en la figura 4:

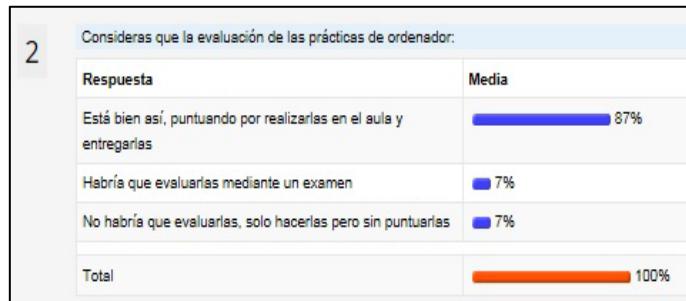


Figura 4: respuesta anónima de los estudiantes a la cuestión 2

En este caso, el 87% de los alumnos consideran que el método de evaluación, que valora el trabajo realizado en el aula de informática, es el adecuado. Es interesante que solo un 7% de los alumnos optarían por hacer las prácticas sin evaluarlas: a nuestro entender, estos resultados se deben a que los estudiantes quieren tener algún tipo de valoración positiva por el trabajo añadido que realizan cuando cumplimentan las prácticas.

Por último, podemos analizar la respuesta a la cuestión abierta. Los alumnos en general dejaron la cuestión en blanco, pero se realizaron algunos comentarios de interés, que mostramos en la figura 5:

Comentarios sobre las prácticas de ordenador y/o sugerencias para mejoras	
Respuesta	
.	
Nada en especial	
Las prácticas son interesantes aunque se debería de reducir, en cierto tipo de casos, algunos ejercicios. Ya que resultan repetitivos (realizar 8 veces el mismo apartado).	
las prácticas han estado todas muy bien.	
Están muy bien porque gracias a la práctica se puede entender mejor la materia :)	

Figura 5: respuestas anónimas de los estudiantes a la cuestión 5

En general los comentarios anónimos realizados por los estudiantes son elogiosos: destacan que “*las prácticas han estado todas muy bien*”, que “*las prácticas son interesantes (...)*” y “*Están muy bien porque gracias a la práctica se puede entender mejor la materia*”, lo cual desde nuestro punto de vista es un éxito. Eso sí, destacan que “*se debería de reducir, en cierto tipo de casos, algunos ejercicios. Ya que resultan repetitivos*”, lo cual es de interés para el diseño de las futuras prácticas en cursos sucesivos.

5. CONCLUSIONES

Desde este proyecto, se ha intentado paliar el escaso uso y aprovechamiento de las opciones que presenta la amplia licencia del programa *Mathematica*, que está disponible para toda la comunidad universitaria de la Universidad de Salamanca. Esta difusión permite especialmente a los alumnos de las titulaciones de Ciencias e Ingeniería, que generalmente no pueden acceder de forma individual a un programa de pago, utilizar las facilidades de instalación proporcionadas por la licencia “campus” para utilizar este programa de Cálculo Simbólico como una herramienta útil en sus estudios y también en su desarrollo profesional.

La amplitud de comandos y de campos de aplicación, así como la facilidad de uso incluso por personas no expertas hace de *Mathematica* una gran ayuda para la docencia y la investigación en el campo de las Ciencias y la Ingeniería. Esta iniciativa ha conseguido crear una pequeña comunidad de usuarios y desarrolladores de programas propios basados en *Mathematica* que permiten generar una masa crítica que beneficie a todos del trabajo del resto de miembros del grupo, y permita generar nuevas iniciativas que ayuden a extraer todas las posibilidades de uso de este potente programa.

Esta difusión ha sido posible mediante un acercamiento inter-departamental, en el que se ha contado con la colaboración de profesores de diversas áreas de conocimiento relacionadas con las Ciencias y la Ingeniería. Esta amplitud permite además llegar de forma más motivadora a los alumnos, que pueden ver las capacidades de aplicación del *Mathematica* en campos de conocimiento muy diferentes, y no solo como una herramienta propia de las asignaturas de contenido matemático.

Para los alumnos implicados en esta iniciativa, la realización de las prácticas ha resultado, en una abrumadora mayoría, útil para entender mejor la asignatura y las han encontrado interesantes, tal y como se desprende de sus respuestas en una encuesta anónima sobre la inclusión del *Mathematica* como parte de las actividades realizadas en las asignaturas. Han valorado muy positivamente estas prácticas, tanto en las cuestiones cerradas como en los comentarios

abiertos que han realizado de forma espontánea. Eso sí, desean tener una valoración de la labor que realizan, que les supone un trabajo añadido a las tareas habituales, y han sugerido que las actividades a realizar en dichas prácticas no resulten repetitivas, sino que les aporten compresión sobre los contenidos de la asignatura.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la financiación del presente Proyecto a la Universidad de Salamanca mediante el Proyecto de Innovación Docente ID2016/190. Asimismo, al MINECO-FEDER, Proyecto EDU2015-64524-P.

REFERENCIAS

- Duderstadt, J. J. (2007). Engineering for a changing road, a roadmap to the future of engineering practice, research, and education.
- García-Peña, F. J., & Colomo Palacios, R. (2015). Innovative teaching methods in Engineering. *Journal of Universal Computer Science*, vol. 18, no. 1 (2012), 1-4
- García-Peña, F. J., Colomo-Palacios, R., & Lytras, M. D. (2012). Outcomes of international research projects on technology applied to education.
- Nieto, S & Ramos, H. (2016a). Uso de un Programa de Cálculo Simbólico para Reforzar las Habilidades Espaciales de los Estudiantes de Ingeniería. *VAEP-RITA*, 4 (2), pp. 57-64.
- Nieto, S. & Ramos, H. (2016b). Construcción de funciones booleanas extendidas a partir de tablas de verdad utilizando el programa *Mathematica*. *Actas del XVIII Simposio Internacional de Informática Educativa (SIIIE 2016)*, pp. 97-102.
- Nieto, S. & Ramos, H. (2017). Representación interactiva de rectas y planos y sus posiciones relativas en el espacio afín utilizando *Mathematica*. *Congreso Iberoamericano de Educación Matemática, VIII CIBEM*
- Ramos, H. & Nieto, S. (2014) Visualización de funciones de dos variables mediante el programa *Mathematica* (explorando las posibilidades pedagógicas del programa más allá de lo evidente). *Sistemas y Tecnologías de Información. Actas de la 9ª Conferencia Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información*, Vol. I, pp. 1021-1026
- Ramos, H. & Nieto, S. (2016). Dynamic visualization of the relative position of straight lines on the plane using *Mathematica*. *ProceedingsTEEM'16*, pp. 831-838.
- Ramos, H. & Nieto, S. (2017). Representaciones gráficas y resolución de ecuaciones y sistemas no lineales por métodos numéricos: dos aspectos complementarios. Aplicación en el caso del sistema *Mathematica*. *Congreso Iberoamericano de Educación Matemática, VIII CIBEM*.
- Trott, M. (2004). *The Mathematica guidebook for graphics*. Vol. I. Springer.
- Wolfram, S. (1991) *Mathematica. A system for doing mathematics by computer*, Addison Wesley Publishing Company, Redwood City