

Propuestas para la asignación de Créditos Europeos en la docencia de Metaheurísticas

José A. Moreno Pérez, J. Marcos Moreno Vega

Resumen— El sistema europeo de créditos en las titulaciones universitarias obliga a una asignación de créditos en la docencia ha partir de medidas de la cantidad de trabajo del estudiante. Con este propósito es necesario establecer no sólo la docencia a impartir sino medir el tiempo empleado por los alumnos en asimilar los conceptos, realizar los ejercicios y completar la experiencia necesaria para alcanzar los objetivos formativos propuestos. Basados en la experiencia en asignaturas de heurísticas se realizan una serie de propuestas concretas para la asignación de créditos a la docencia en Metaheurísticas.

Palabras clave— Metaheurísticas, Docencia, Créditos Europeos

I. INTRODUCCIÓN

El elemento clave de la convergencia hacia el *Espacio Europeo de Educación Superior* es el *Sistema Europeo del Crédito*. La principal novedad para España y otros países de la Unión Europea es la concepción del crédito en referencia al trabajo del alumno y no a la actividad docente del profesorado. Para elaborar los planes de estudios de las titulaciones universitarias que permitan la transferencia clara con los demás países de la Unión Europea es necesario realizar una asignación real y ajustada de los nuevos créditos a las distintas asignaturas. Esta tarea debe realizarse teniendo en cuenta multitud de factores: metodología empleada para impartir la docencia, sistema de evaluación aplicado y recursos docentes disponibles, entre otros. Proponemos una particular asignación de créditos para la docencia en Metaheurísticas basada en nuestra experiencia docente.

La siguiente sección describe la información disponible actualmente sobre las medidas que van adoptando las instancias educativas para articular la aplicación del sistema de créditos europeos. En la tercera sección se exponen los aspectos fundamentales de la docencia en Metaheurísticas que determinan nuestra asignación de créditos europeos. En la cuarta sección describen los recursos docentes que permiten desarrollar la docencia. La quinta sección recoge explícitamente la asignación de créditos propuesta para la docencia

Dpto. de E.I.O. y Computación, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, Universidad de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife E-mail: jamoreno@ull.es, jmmoreno@ull.es

en Metaheurísticas. El trabajo finaliza con unas breves conclusiones.

II. EL CRÉDITO EUROPEO

El gobierno español ha comenzado a adoptar medidas encaminadas a la construcción del *Espacio Europeo de Educación Superior*. Una de las primeras es el real Decreto 1125/2003 (BOE num. 224 de 18 de Septiembre de 2003, 34355-34356) por el que se establece el sistema europeo de créditos en las titulaciones universitarias. Tal y como se indica en le preámbulo del citado real decreto, *La adopción de este sistema constituye una reformulación conceptual de la organización del currículo de la educación superior mediante su adaptación a los nuevos modelos de formación centrados en el trabajo del estudiante. Esta medida del haber académico comporta un nuevo modelo educativo que ha de orientar las programaciones y las metodologías docentes centrándolas en el aprendizaje de los estudiantes, no exclusivamente en las horas lectivas*. En su artículo tercero establece el *Concepto de crédito* en los siguientes términos: *El crédito europeo es la unidad de medida del haber académico que representa la cantidad de trabajo del estudiante para cumplir los objetivos del programa de estudios y que se obtiene por la superación de cada una de las materias que integran los planes de estudios de las diversas enseñanzas conducentes a la obtención de títulos universitarios de carácter oficial y validez en todo el territorio nacional. En esta unidad de medida se integran las enseñanzas teóricas y prácticas, así como otras actividades académicas dirigidas, con inclusión de las horas de estudio y de trabajo que el estudiante debe realizar para alcanzar los objetivos formativos propios de cada una de las materias del correspondiente plan de estudios*. Desde el punto de vista práctico establece en su artículo 4, que *El número mínimo de horas, por crédito, será de 25, y el número máximo, de 30* y que *En la asignación de créditos a cada una de las materias que configuren el plan de estudios se computará el número de horas de trabajo requeridas para la adquisición por los estudiantes de los conocimientos, capacidades y destrezas correspondientes. En esta asignación deberán estar comprendidas las horas correspon-*

dientes a las clases lectivas, teóricas o prácticas, las horas de estudio, las dedicadas a la realización de seminarios, trabajos, prácticas o proyectos, y las exigidas para la preparación y realización de los exámenes y pruebas de evaluación.

La asignación de créditos para el diseño de titulaciones, tal como recojen la Dra. Raffaella Pagani, asesora para la Convergencia Universitaria Europea (ECTS Counsellor & Diploma Supplement Promoter) en las *líneas de actuación* [12], *obliga a una profunda reflexión sobre el diseño de las titulaciones en cuanto a contenidos y métodos docentes. Esta asignación de créditos depende de múltiples factores, como la duración del curso académico, las horas lectivas, la dedicación del estudiante y, los más importantes, el área de estudio de cada titulación, el nivel de la misma y los objetivos propuestos. Se recomienda la adopción desde la totalidad o desde máximos, donde realmente el crédito se traza desde el aprendizaje. Este proceso requiere conocer los resultados esperados en la formación (teórica y práctica) del estudiante de cada asignatura. El cálculo debe considerar: el número de horas presenciales por cada asignatura, el número de horas invertidas para la preparación necesaria antes y después de cada clase, y el número de horas invertidas en el trabajo independiente del alumno. Este trabajo independiente incluye: recogida y selección de materiales de estudio, lectura y asimilación de los materiales, preparación de exámenes orales y/o escritos, redacción de un trabajo y trabajo independiente de laboratorio. Uno de los puntos importantes a tener en cuenta es la diferencia que existe entre clases teóricas y prácticas. El esfuerzo que debe realizar un estudiante es muy distinto para asimilar los conocimientos en cada caso y dependerá siempre del área de estudio. La asignación de créditos debe ser siempre un proceso: propuesto por las autoridades académicas, meditado y consensuado con los profesores, comprobado con los alumnos (mediante cuestionarios y evaluaciones) y revisado periódicamente para evaluar y corregir eventuales incorrecciones.*

El segundo borrador del real decreto por el que se establece la estructura de las enseñanzas universitarias señala en 180 o 240 el número de créditos totales de las enseñanzas conducentes a la obtención de los títulos oficiales de grado. De éstos, entre el 60 y el 75 por ciento corresponderán a los contenidos formativos comunes fijados por las directrices generales propias correspondientes a cada título, que serán establecidas por el gobierno a través del correspondiente real decreto. El resto corresponderá a materias determinadas discrecionalmente por cada universidad que po-

drán ser obligatorias, optativas o de libre elección. Para cada una de las materias que compongan el plan de estudios, las universidades deberán indicar sus objetivos formativos, los conocimientos, aptitudes y destrezas a adquirir, la descripción de sus contenidos y el número de créditos asignados.

En el presente trabajo, avalados por la experiencia de los últimos años en la docencia de asignaturas sobre metaheurísticas, realizamos propuestas para llevar a cabo esta asignación de créditos.

III. DOCENCIA EN MATEHEURÍSTICAS

La docencia en Metaheurísticas puede incluirse tanto en asignaturas obligatorias como optativas. Las asignaturas optativas pueden ser específicamente de metaheurísticas o asignaturas de otra denominación que las pudiera incluir.

El plan de estudios de la Ingeniería Técnica en Informática de Gestión de la Universidad de la Laguna vigente en la actualidad contempla la asignatura optativa *Heurísticas*. En sus descriptores se incluyen algunas de las metaheurísticas más importantes. La asignatura se ofertó por primera vez en el curso 1998/1999 (en el primer cuatrimestre de tercer curso). Desde entonces ha tenido buena aceptación entre los alumnos.

A. Objetivos Formativos

Los objetivos planteados para una asignatura pueden clasificarse en genéricos o comunes y específicos o propios de la asignatura o materia a impartir. Así, entre los primeros, se incluyen:

1. Fomentar que los alumnos indaguen y profundicen en cualquier campo del saber.
2. Inculcar las actitudes que favorecen el trabajo en grupo.
3. Favorecer en los alumnos la capacidad de exponer sus opiniones.
4. Iniciar a los alumnos en la investigación.

Con los objetivos específicos de la docencia en Metaheurísticas se pretende que los alumnos adquieran los *conocimientos, aptitudes y destrezas* que les permitan:

1. Analizar y extraer la información necesaria de un problema para formalizarlo adecuadamente.
2. Resolver dicho problema empleando conocimiento heurístico.
3. Comparar desde una actitud crítica los diferentes métodos empleados para resolver un problema.

B. La metodología

La *metodología* a seguir, para la consecución de estos objetivos, se concreta en la exposición,

por parte del profesor, de los elementos e ideas que subyacen en los procedimientos heurísticos. Esta exposición ha de hacerse desde lo general a lo particular, y no al revés, para evitar que los alumnos se pierden en la *selva de detalles* que toda buena implementación de una heurística conlleva. Además, se han de mostrar ejemplos en los que se indiquen la particular implementación de los algoritmos estudiados. Los ejemplos han de ser variados para que el alumno no restrinja su capacidad de asimilación a un ejemplo particular y para que obtenga una visión amplia del campo de aplicación de las metaheurísticas. Nosotros usamos problemas de localización, de rutas (TSP), de corte y empaquetado, de clasificación, etc. Las exposiciones se han de realizar procurando que los alumnos participen con sus dudas e ideas sobre como podrían adaptarse y mejorarse los procedimientos propuestos a otros problemas.

Más específicamente, en un tema particular, como puede ser el de la *Búsqueda Tabú*, se debe comenzar indicando que el propósito del mismo es dotar de memoria a la búsqueda, a continuación se plantean los beneficios que ello puede aportar y luego se muestra la forma en que se puede implementar. A continuación, y desde una implementación básica para un problema estándar, como puede ser el del Viajante de Comercio, se solicita a los alumnos que propongan mejoras y adaptaciones para otros problemas.

C. Contenidos

La selección de contenidos debe hacerse teniendo en cuenta la necesidad de cubrir lo más ampliamente posible toda la gama de metaheurísticas relevantes. Esta selección, sin embargo, está condicionada por la existencia de material didáctico apropiado para realizar el aprendizaje con eficiencia. A partir de una visión global del campo de las metaheurísticas [9], la selección de las que se toman como fundamentales para conducir las labores de aprendizaje admite distintas posibilidades. Una selección bastante exhaustiva daría lugar a los contenidos que se enumeran en la tabla I.

D. Evaluación

El análisis que hace la *European University Association* [3] sobre el papel de las universidades europeas, resalta la importancia de la *investigación como parte integral de la educación superior* y establece que *Los titulados universitarios de todos los niveles deben haber tenido contacto con un entorno investigador y una formación basada en la investigación con el objeto de poder satisfacer las necesidades de Europa como sociedad del*

TABLA I
PROPUESTA DE CONTENIDOS

-
1. Introducción
 - Problemas: formulación, ejemplos, representación de soluciones, estructuras de entorno.
 - Heurísticas: ventajas, inconvenientes, clasificación.
 2. Metaheurísticas de Búsqueda por Entornos
 - Búsquedas por entornos.
 - GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedures)
 - Métodos Multiarranque.
 - Recocido Simulado
 - Búsquedas por Entornos Variables.
 3. Uso de Memoria
 - Búsqueda Tabu
 4. Algoritmos Evolutivos
 - Algoritmos Genéticos.
 - Búsqueda Dispersa.
 - Colonias de Hormigas.
 5. Evaluación de Heurísticas
 - Métodos estadísticos
 - Acotaciones
-

conocimiento. Las Metaheurísticas son un tópico especialmente apropiado para iniciar y poner en contacto a los alumnos con la investigación.

Proponemos basar la evaluación de los estudiantes en la realización de un trabajo práctico completo. Para ello se crean grupos de 3 o 4 alumnos que deben abordar todas las fases de la resolución de un problema, distribuyéndose el trabajo autónomamente. Para fomentar la comprensión integrada de las diferentes metaheurísticas y su aplicación, cada grupo se encarga, a partir de algunas breves referencias suministradas por el profesor, de recopilar información adicional sobre el problema, analizar la información obtenida, proponer razonadamente los procedimientos heurísticos de solución apropiados, analizar los resultados obtenidos y exponer el trabajo realizado. El proceso que deben seguir los alumnos para confeccionar el trabajo práctico sigue las pautas propias de los trabajos de investigación de nuestro campo.

Este trabajo en grupo, aparte de sus ventajas en la consecución de los objetivos específicos, permite alcanzar los objetivos genéricos anteriormente enunciados. Durante la exposición del

resto de los grupos, se valorará que los alumnos intervengan en el turno de preguntas planteando cuestiones sobre aspectos no descritos convenientemente y formulando posibles mejoras a las implementaciones realizadas.

Los tres elementos a tener en cuenta al valorar el *Trabajo Práctico* realizado son: el informe, la implementación y la exposición.

1. *El Informe.*

El informe contendrá, al menos, apartados dedicados a describir el problema, realizar una revisión bibliográfica, describir los procedimientos implementados, relatar la experiencia computacional desarrollada y enumerar las conclusiones obtenidas. La experiencia computacional se compone de dos partes. En la primera se ajustan convenientemente los parámetros de cada metaheurística. En la segunda se comparan entre sí todas las heurísticas implementadas.

2. *La Implementación.*

El estudio sobre el problema asignado y las metaheurísticas propuestas se plasman en un programa que lo resuelva empleando los recursos computacionales adecuados.

3. *La Exposición.*

Al finalizar el periodo dedicado a la docencia en metaheurísticas cada grupo ha de exponer en clase el trabajo realizado. Todos los miembros del grupo deben intervenir en la exposición. La duración de la exposición debe incluir una parte importante (alrededor del 25%) a un turno de preguntas donde debe intervenir el resto de grupos.

Este procedimiento de evaluación se ha venido aplicando con éxito en la asignatura *Heurísticas* del plan vigente. La evaluación del trabajo se debe realizar atendiendo a los tres elementos que lo constituyen: la implementación de los procedimientos, la exposición y el informe. Algunas de las variables a valorar en cada uno de los elementos son:

1. *Informe.* Claridad y concreción en su elaboración, amplitud en la revisión bibliográfica, justificación razonada de las metaheurísticas seleccionadas y argumentación de las conclusiones obtenidas, valorando especialmente, el empleo de técnicas adecuadas para el análisis y obtención de conclusiones.

2. *Implementación.* Claridad, sencillez, eficacia, eficiencia, robustez y amigabilidad de los procedimientos, haciendo incidencia en las pautas marcadas desde la Ingeniería del Software.

3. *Exposición.* Claridad, capacidad de síntesis, medios empleados, con especial atención a la concreción en lo expuesto y en las respuestas dadas a las preguntas formuladas.

Además durante la exposición por parte de cada uno de los grupos, para el resto de los alumnos, se valora que intervengan en el turno de preguntas planteando cuestiones sobre aspectos no descritos convenientemente y proponiendo con precisión posibles mejoras a las implementaciones realizadas.

IV. RECURSOS DOCENTES

Uno de los grandes inconvenientes tradicionales de la enseñanza universitaria es la necesidad de que los alumnos tengan que tomar apuntes, dado que, en general, no se utiliza un libro de texto concreto. Sin embargo, esta tarea tiene un aspecto positivo que hay que aprovechar: acostumbra al alumno a realizar un esfuerzo de síntesis y organización de contenidos. Además, disponer de un libro de texto muy ajustado a los contenidos conlleva el riesgo de que el alumno adopte una actitud pasiva y, en algunos casos, ausente. El dilema *usar o no usar un libro de texto* debe resolverse teniendo en cuenta las características de la docencia y el nivel en el que se imparte. En los primeros cursos y en aquellas asignaturas cuyo contenido sirve de base a otras posteriores puede ser conveniente ajustarse a uno o varios libros de texto, pero no así en temáticas de un nivel más alto que corresponden a herramientas y aplicaciones actuales y en continuo desarrollo.

Por ello, optamos por facilitar a los alumnos algunos temas bien elaborados, que incluyen la descripción de algunas heurísticas, junto a ejemplos de implementaciones concretas, pero empleamos otros ejemplos o variantes para impartir la docencia. De esta forma, los alumnos están obligados a tomar notas y organizar la información que reciben, tanto en clase como en las fuentes que se les indica.

En los últimos años han sido publicados diversos trabajos que vienen a paliar la escasez de textos existentes hace una década. En particular, *Optimización Heurística y Redes Neuronales*, coordinado por el profesor Adenso Díaz [2], el libro de texto *Heurísticas en Optimización* [11], cuyos capítulos se han utilizado como los temas ya elaborados que se suministran a los alumnos, y el reciente número monográfico de la revista *Inteligencia Artificial* [10], que incluye artículos dedicados a las principales metaheurísticas

escritos por destacados investigadores (algunos de ellos son los creadores de la correspondiente metaheurística). Estas fuentes se ven complementadas con otros libros recientes escritos en inglés que son concebidos, no como una colección de artículos, sino como una serie de capítulos dedicados a los aspectos más relevantes de las metaheurísticas [5]. Además, existen textos relevantes dedicados completamente a una metaheurística, como, por ejemplo, los libros sobre Búsqueda Tabú [4] y Búsqueda Dispersa [7].

Otros materiales complementarios como artículos científicos, documentos de trabajo, transparencias de diversas conferencias, enlaces a sitios web, deben estar accesibles a los alumnos. Este tipo de material y toda la información relativa a la asignatura de *Heurísticas* que se ha venido impartiendo en la Universidad de La Laguna se encuentra disponible en la página web: webpages.ull.es/users/jmmoreno/Heurísticas.htm

A. Material didáctico

Desde las primeras experiencias docentes con la asignatura *Heurísticas*, se destacaron algunas dificultades de aprendizaje en relación con ciertos conceptos difíciles de comprender por parte de los alumnos. Entre las mayores dificultades específicas encontradas se hallan las siguientes.

a) la imposibilidad de comprender correctamente el funcionamiento de algunas técnicas heurísticas, ya que éstas se basan en sucesos aleatorios o dependen de los valores que toman ciertos parámetros. Son comunes afirmaciones del tipo *no puedo seguir una traza de este procedimiento, porque cada vez que lo ejecuto obtengo resultados diferentes*, o cuestiones como *¿cuál es la influencia que este parámetro tiene en el comportamiento de la metaheurística?*;

b) la tendencia de muchas implementaciones a funcionar como cajas negras, sin posibilidad de conocer, en modo paso a paso, el funcionamiento de las técnicas consideradas;

c) el escaso tiempo que se puede dedicar a un alumno en clase teórica o práctica. El grado de asimilación de conceptos varía de un alumno a otro, pero es muy difícil realizar una enseñanza personalizada con el moderado número de alumnos que cursan la asignatura.

Por ello, se planteó la necesidad de diseñar e implementar herramientas de apoyo a la enseñanza de técnicas heurísticas que faciliten la asimilación de conceptos difíciles en un con-

texto práctico y en un entorno gráfico. Para ello se ha aprovechado la asignatura troncal *Proyecto*, con una carga de 15 créditos, que incluye el actual plan de estudios de la Ingeniería en Informática de la Universidad de La Laguna. En esta asignatura se han dirigido diversos proyectos relacionados con las *Metaheurísticas* que han proporcionado herramientas útiles en la docencia. Algunos de los proyectos desarrollados son los siguientes:

1. *Visual TSP Solver* [8]:

Se desarrolló la aplicación *Visual TSP Solver* (VTSPS) que se describirá posteriormente. Se trata de una herramienta docente que pretende facilitar la labor de aprendizaje en algunos aspectos de las metaheurísticas.

2. *Librerías en C++ para el diseño de Heurísticas* [6]:

Se desarrolló un conjunto de librerías en C++ orientado a objetos que facilitan la labor de diseño e implementación de heurísticas.

3. *Metaheurísticas de Búsqueda: Recursos en la Web y aplicación al Strip Packing Problem* [1]:

El proyecto se estructura en tres partes. La primera se dedica al diseño de un Tutorial Web sobre Métodos Heurísticos, la segunda trata sobre el portal oficial de las Búsquedas por Entorno Variable (*Variable Neighborhood Search (VNS)*) y en la tercera se aborda la resolución del *Strip Packing Problem* por medio de metaheurísticas.

La herramienta producida en el primero de los proyectos anteriores ha sido utilizada con éxito para apoyar la docencia en la asignatura *Heurísticas*. Otro recurso, aún en fase de desarrollo, que facilitará la docencia en *Metaheurísticas* es un *Tutorial web* sobre esta materia. A continuación se describen las principales características de estas herramientas.

B. *Visual TSP Solver*

La herramienta permite simular el comportamiento de diferentes metaheurísticas de tal forma que podemos desarrollar y controlar sus comportamientos aplicados al Problema del Viajante de Comercio.

Las metaheurísticas incluidas en VTSPS son Búsquedas Aleatorias, Búsquedas Locales, Multiarranque, Recocido Simulado, Algoritmos Genéticos, Búsqueda Tabú, Búsqueda por Entornos Variables y Colonias de Hormigas. El problema considerado como base para las diferentes implementaciones es el Problema del Via-

jante de Comercio.

Al ejecutar VTSPS, lo primero que observa el usuario es que la pantalla queda dividida en tres espacios claramente diferenciados. En el primero de ellos se encuentran menús desplegados, el segundo consta de una barra de botones y el tercero, que actúa como área de trabajo, se reserva como espacio para mostrar resultados o recibir datos por teclado. Estos elementos poseen diferentes funciones.

En los menús desplegados de la página principal se encuentran las diversas opciones del programa agrupadas en diferentes categorías que son las siguientes.

Fichero: incluye operaciones clásicas sobre ficheros como cargar datos de un problema desde fichero, almacenar los datos de un problema o importar y exportar a varios formatos;

Solución inicial: se enumeran diferentes posibilidades que existen para construir soluciones de partida desde las que realizar la búsqueda;

Operaciones: recoge los movimientos que pueden aplicarse a la solución actual;

Metaheurística: permite activar las diferentes estrategias heurísticas: búsquedas aleatorias, búsquedas locales, multistart, recocido simulado, algoritmos genéticos, búsqueda tabú, búsqueda por entornos variables y colonias de hormigas;

Notación: ofrece las diversas posibilidades asociadas al cambio de representación de la solución;

Cruces: permite efectuar, paso a paso, varios de los operadores de cruce para el Problema del Viajante de Comercio;

Ver: recoge diferentes opciones que tratan con la visualización mediante una representación gráfica de las soluciones, del problema o de las metaheurísticas;

Opciones: muestra opciones genéricas como selección de directorios de trabajo o modo paso a paso en la ejecución.

Un menú especialmente importante es el denominado *metaheurística*. En él se incluyen las diversas metaheurísticas que, por medio de nuevos menús desplegados, pueden ser apropiadamente parametrizadas. Así, se pueden seleccionar el mecanismo mediante el cual se generan las soluciones iniciales, la estructura de entorno usada, el tipo de muestreo en este entorno o el criterio de parada. La barra de botones incluye las operaciones que con mayor frecuencia se realizan. La inclusión de estas operaciones en la barra permite que se realicen de una forma más rápida y cómoda.

El área de trabajo posee varias solapas: grafo, ciudades, distancias, histórico, datos y comparativas. Cuando se activa la solapa *grafo*, la pan-

talla funciona como una pizarra en la que es posible escribir un problema del TSP. Posee para ello opciones de escritura, borrado, desplazamiento, zoom, rotación y bloqueo. El resto de las solapas contienen la siguiente información: *ciudades*, muestra una lista con las coordenadas de los nodos del problema; *distancias*, muestra la matriz de distancia entre nodos del problema actual; *histórico*, refleja nuestras operaciones y el resultado de las mismas; *datos*, guarda los resultados de mejora de todas las metaheurísticas ejecutadas hasta el momento; *comparativas*, muestra en una única gráfica los resultados almacenados en la solapa datos.

C. Tutorial web

Uno de los objetivos estratégicos de la educación actual es el uso de nuevas tecnologías en la docencia. Actualmente la gran mayoría de las asignaturas que se imparten en las universidades españolas disponen de página web en la que se encuentra información sobre la misma: temario, horario de clases, objetivos docentes, método de evaluación, listado de problemas y prácticas, etc. Conscientes de la importancia que la innovación tiene sobre la calidad de la docencia universitaria, nos hemos planteado como objetivo diseñar un tutorial web sobre Metaheurísticas. Este proyecto cuenta con el respaldo del Vicerrectorado de Calidad Docente y Nuevos Estudios de la Universidad de La Laguna.

El proyecto de innovación docente *Tutorial Web sobre Métodos Heurísticos de Resolución de Problemas* tiene como objetivo principal diseñar e implementar un Tutorial Web que recoja, para cada una de las metaheurísticas contempladas, una descripción, ejemplos, aplicaciones implementadas y enlaces de interés. De esta forma, el alumno dispondrá en todo momento de la información y recursos necesarios para trabajar los objetivos que se pretenden alcanzar en el tópico de las Metaheurísticas. De especial relevancia son los ejemplos que acompañarán a cada metaheurística. Se diseñarán ejemplos gráficos representativos del funcionamiento y comportamiento de estas técnicas.

Se dispone de la primera versión del tutorial que incluye algunos temas. Próximamente se espera contar con la versión definitiva del tutorial que incluirá la totalidad de los temas, así como actividades de autoevaluación, ejemplos, foro de discusión, lista de distribución, etc. Es decir, dispondrá de todos los elementos que las aplicaciones basadas en la web permiten. Estos elementos servirán para que el aprendizaje de estas técnicas sea significativo.

TABLA II
PROPUESTA DE CRÉDITOS EUROPEOS PARA LA DOCENCIA DE METAHEURÍSTICAS

Tema	Horas teóricas	Horas prácticas	Trabajo del alumno
Problemas	3	2	6
Heurística	3	-	2
Búsquedas por entornos	3	1	4
GRASP	3	1	6
Métodos Multiarranque	3	1	4
Recocido Simulado	3	1	4
VNS	3	1	6
Búsqueda Tabú	3	1	6
Búsqueda Dispersa	6	2	8
Algoritmos Genéticos	6	2	8
Colonias de Hormigas	6	2	8
Evaluación de heurísticas	3	1	6
Redacción del informe	-	-	24
Preparación de la exposición	-	-	10
TOTAL	48	12	120

V. ASIGNACIÓN DE CRÉDITOS

La propuesta de asignación de créditos para la docencia en Metaheurísticas se realiza teniendo en cuenta los siguientes factores.

1. *La distribución actual de la carga lectiva de la asignatura Heurísticas.*

La carga lectiva de la asignatura *Heurísticas* es actualmente de 6 créditos repartidos en 4,5 créditos teóricos y 1,5 créditos prácticos. Se propone mantener el número de horas de docencia por parte del profesor, lo que implica 45 horas de docencia teórica y 15 de docencia práctica.

2. *La concepción de la metaheurística.*

El tiempo que dedican los alumnos a la comprensión e implementación de las metaheurísticas es diferente. De la experiencia acumulada durante los años en que se ha impartido la asignatura, se deduce que los alumnos dedican más tiempo a la comprensión de algunos conceptos o a la implementación de algunos procedimientos o metaheurísticas. Este es el caso de las metaheurísticas que emplean conjuntos de soluciones.

3. *La complejidad de la metaheurística.*

Aunque también influye en el factor anterior, se debe tener en cuenta el hecho de que el nivel de complejidad de las metaheurísticas no es el mismo. Así, por ejemplo, algunos diseños básicos de los Métodos Multiarranque se obtienen añadiendo una o varias líneas de código a la implementación de una Búsqueda Local, mientras que para implemen-

tar una Búsqueda Dispersa se deben diseñar nuevos procedimientos no usados anteriormente.

4. *Las estructuras de datos.*

También requiere un esfuerzo considerable por parte de los alumnos determinar que estructuras de datos deben usar. Cuando esta cuestión está solucionada el proceso de aprendizaje se concentra más rápidamente en la metaheurística.

5. *Preparación para la evaluación.*

Dado que la evaluación de la asignatura se realiza a través del trabajo práctico, debe considerarse el diferente esfuerzo que los alumnos realizan en cada una de las tres partes de que consta: implementación, informe y exposición. El trabajo de implementación de los procedimientos se realiza de forma paralela a la impartición de las prácticas. Se ha observado que los alumnos emplean más del doble de tiempo en redactar el informe que en prepararse para la presentación del mismo. La preparación del informe y de la presentación del trabajo práctico se ha estimado en términos medios en 34 horas, repartidas en 24 horas para la redacción del informe y 10 horas para la preparación de la exposición en clase.

La propuesta concreta de asignación de créditos europeos (expresados en horas semanales y totales en el cuatrimestre) para la docencia en *Metaheurísticas* se muestra en la tabla II. Para cada tema se muestran las horas teóricas, prácticas y de trabajo del alumno. Las horas teóricas y prácticas por semana se corresponden con la situación existente para la asignatura *Heurísti-*

cas del plan de estudios en vigor. Las horas de trabajo del alumno por tema se han estimado atendiendo a los factores 2, 3 y 4 anteriores. En este trabajo del alumno se contempla la búsqueda de bibliografía complementaria a la suministrada por el profesor y la implementación de las correspondientes metaheurísticas.

Obviamente, se trata de datos estimados que pueden variar de un alumno a otro, pero esto será una dificultad general de todo el proceso de implantación del sistema de créditos europeos basados en medir el trabajo del alumno.

A. Conclusiones

La adaptación al sistema de créditos europeos de la docencia en Metaheurísticas precisa contar con herramientas docentes que permitan conducir el aprendizaje hacia los objetivos de formación de forma eficiente. Además de las horas de docencia teórica y práctica es necesario evaluar el esfuerzo que le supone a un alumno documentarse para realizar las prácticas, desarrollar los ejercicios que le permitan cimentar los conocimientos adquiridos y prepararse adecuadamente para superar las evaluaciones (e incluso realizarlas). Para este fin es importante contar con las herramientas como las descritas en este trabajo y la experiencia proporcionada por su aplicación.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a los alumnos de la asignatura *Heurísticas* de los cursos 98-99, 99-00, 00-01, 01-02 y 02-03 las sugerencias y críticas que nos han hecho en estos años. Sus comentarios y dudas han servido para mejorar nuestra labor docente. Algunos de estos alumnos, para los que el agradecimiento tiene un carácter especial, han colaborado en la mejora de los recursos docentes (herramientas informáticas, tutoriales, ...) con el trabajo realizado en los correspondientes Proyectos Fin de Carrera que son referenciados en este trabajo.

El trabajo de los autores ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología a través del proyecto TIC2002-04242-C03-01. Los fondos de este proyecto son, en un 70 %, fondos FEDER.

REFERENCIAS

- [1] J.D. Beltrán Cano, J.E. Calderón Benito y R. Jorge Cabrera, *Metaheurísticas de Búsqueda: Recursos en la Web y aplicación al Strip Packing Problem*. Proyecto fin de carrera, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, Universidad de La Laguna, 2003
- [2] A. Díaz, F. Glover, H.M. Ghaziri and J.L. González, M. Laguna, P. Moscato y F.T. Tseng, *Optimización Heurística y Redes Neuronales*. Paraninfo, 1996.
- [3] European University Association, *Después de Berlín. El papel de las universidades hasta 2010 y más allá*,

Leuven, 4 de Julio de 2003. Disponible en la dirección <http://www.unige.ch/eua/>

- [4] F. Glover y M. Laguna, *Tabu Search*. Kluwer, 1997.
- [5] F. Glover y G. Kochenberger, *Handbook of Metaheuristics*, Kluwer, 2003.
- [6] J.L. González Ávila, *Librerías en C++ para el diseño de Heurísticas*. Proyecto fin de carrera, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, Universidad de La Laguna, 2003.
- [7] M. Laguna y R. Martí, *Scatter Search Methodology and Implementations in C*, Kluwer, 2002.
- [8] F.J. Martínez García, *Visual TSP Solver*, Proyecto fin de carrera, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Informática, Universidad de La Laguna, 2000.
- [9] B. Melián Batista, J. Marcos Moreno Vega y José A. Moreno Pérez *Metaheurísticas: una visión global*. Inteligencia Artificial. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial 2003. 19 (2) 7-28.
- [10] J.A. Moreno Pérez y J.M. Moreno Vega (eds.) *Monoografía sobre Metaheurísticas*. Inteligencia Artificial. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial 2003. 19 (2).
- [11] J.M. Moreno Vega y J.A. Moreno Pérez, *Heurísticas en Optimización*, Colección Textos Universitarios, Consejería de Educación, Cultura y Deportes, 2000.
- [12] R. Pagani Balletti *Convergencia con Europa: Líneas de actuación I Congreso de Universidades de Gaceta Universitaria, Salamanca 27-29 de Noviembre de 2002*. Disponible en la dirección <http://www.u11.es/docencia/crediteouropeo>