

Una propuesta docente para la asignatura Heurísticas en el marco de la Inteligencia Artificial

J. Marcos Moreno-Vega, José A. Moreno Pérez

Dpto. de Estadística, Investigación Operativa y Computación
Centro Superior de Informática
Universidad de La Laguna
e-mail: jmmoreno@ull.es

Resumen

El plan de estudios de la Ingeniería Técnica en Informática de Gestión de la Universidad de la Laguna contempla la asignatura optativa Heurísticas. A pesar de que actualmente esta asignatura está adscrita al área de Estadística e Investigación Operativa, es intención del Departamento de Estadística, Investigación Operativa y Computación asignarla al área de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial en la revisión de los planes de estudio que se está llevando a cabo. Además, se pretenden modificar los descriptores para dar cabida a otras técnicas heurísticas no contempladas o que puedan surgir en el futuro. Todo ello adaptando, tanto los objetivos, contenidos y metodología, como la coordinación entre asignaturas, desde el área de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial. Presentamos aquí una propuesta docente en la que se describen todos los elementos anteriores.

1 Introducción

La palabra *Heurística* proviene del griego *Heuriskein* que puede traducirse por encontrar, descubrir, hallar. Así, la definición que de heurística da la Enciclopedia Salvat [2] es

arte de inventar o descubrir hechos valiéndose de hipótesis o principios que, aun no siendo verdaderos, estimulan la investigación.

No es de extrañar, por tanto, que las diferentes nociones que se tienen de este término involucren esta idea. Por ejemplo, en Inteligencia

Artificial se suele interpretar que *heurístico* es el calificativo apropiado para las técnicas o procedimientos que, empleando conocimiento acerca de un problema, tratan de buscarle solución usando una cantidad de recursos razonable. Por otra parte, en los problemas de optimización de Investigación Operativa, el término heurístico se aplica, en contraposición a exacto, a un procedimiento de solución que no puede garantizar la optimalidad o factibilidad de la solución que aporta. Una de las definiciones más usuales en Investigación Operativa establece que *una heurística es una técnica que encuentra soluciones buenas (casi óptimas) con un coste computacional razonable, pero que no es capaz, en muchos casos, de garantizar ni la factibilidad, ni la optimalidad, ni establecer lo cerca de la optimalidad que está una solución factible particular* [3].

A pesar de las diferencias que pueden existir, no cabe duda de la importancia que tiene lo heurístico en ambos campos. Así se refleja, por ejemplo, en muchas definiciones alternativas de la Inteligencia Artificial como la que aparece en el texto de Rich y Knight [4] según la cual la Inteligencia Artificial es *el estudio de técnicas de resolución de problemas exponenciales complicados en tiempo polinomial mediante el uso de conocimiento sobre el campo de aplicación del problema*. En el mismo sentido, cabe destacar el interés creciente por el estudio y aplicación de procedimientos heurísticos en Investigación Operativa, pasando de ser considerados pobres herramientas a instrumentos fundamentales y, en muchos casos, imprescindibles para la resolución práctica de un problema.

2 Contexto

El plan de estudios de la Ingeniería Técnica en Informática de Gestión de la Universidad de la Laguna contempla la asignatura optativa *Heurísticas*, con descriptores: Recristalización Simulada, Búsqueda Tabú, Algoritmos Genéticos, Métodos Multiarranque, Relajación Lagrangiana y Evaluación de Heurísticas. A pesar de que actualmente esta asignatura está adscrita al área de Estadística e Investigación Operativa, es intención del Departamento de Estadística, Investigación Operativa y Computación asignarla al área de Ciencia de la Computación e Inteligencia Artificial en la revisión de los planes de estudio que se está llevando a cabo. Además, se pretende modificar los descriptores para dar cabida a otras técnicas heurísticas no contempladas o que puedan surgir en el futuro.

La asignatura se ofertará, por primera vez a los alumnos, en el curso 1998/1999 (en el primer cuatrimestre de tercer curso), por lo que la experiencia docente previa relativa a la impartición de temas relacionados con heurísticas se encuentra en la asignatura Inteligencia Artificial e Ingeniería del Conocimiento (Troncal en el primer curso de la Ingeniería en Informática) y en algunos cursos de doctorado. No obstante, parte de la labor investigadora de los autores sí se ha centrando en el estudio y aplicación de procedimientos heurísticos para la resolución de problemas de optimización.

Algunas de las asignaturas del plan de estudios con las que la asignatura *Heurísticas* puede, y debe en muchos casos, interactuar se encuentran a continuación:

- *Grafos y Algoritmos*: Obligatoria del segundo cuatrimestre del primer curso.
- *Estadística I*: Troncal del primer cuatrimestre del segundo curso.
- *Estadística II*: Optativa del segundo cuatrimestre del segundo curso.
- *Programación Matemática*: Obligatoria del segundo cuatrimestre del segundo curso.
- *Análisis de Decisiones*: Optativa del primer cuatrimestre del tercer curso.
- *Introducción a la Inteligencia Artificial*: Obligatoria del segundo cuatrimestre del

tercer curso.

- *Trabajos Académicamente Dirigidos o Prácticas en Empresas*: Optativa.

Las cuatro primeras anteceden en el tiempo a la asignatura *Heurísticas* y, por tanto, utilizaremos parte de los conocimientos adquiridos para desarrollar la docencia de nuestra asignatura. Así, y con el objeto de disponer de un conjunto concreto de tareas en las que la interpretación como un problema de búsqueda se pueda realizar directamente, sin ambigüedades, pero que sea lo suficientemente amplio como para reflejar los distintos aspectos importantes, consideraremos, entre otros, los problemas de optimización combinatoria. Entre éstos, algunos de los que mejor se adaptan a las heurísticas de búsqueda son los de la Teoría de Grafos (localización, rutas, flujos, diseño de redes, cubrimiento). Notar también que muchos de los problemas que surgen cotidianamente en la Empresa o la Industria pertenecen a este conjunto. El alumno está familiarizado con la mayor parte de estos problemas ya que en las asignaturas Grafos y Algoritmos y Programación Matemática se estudian en detalle. Por otra parte, las asignaturas de Estadística habrán transmitido a los alumnos las nociones básicas necesarias para analizar, teórica y experimentalmente, los procedimientos heurísticos.

Análisis de Decisiones es una asignatura que coincide en el tiempo con *Heurísticas* por lo que la interacción entre ambas se hace más difícil. Sin embargo, y con una apropiada coordinación¹, será conveniente analizar la aplicación de las heurísticas estudiadas para resolver problemas de decisión. Con esto pretendemos que el alumno obtenga una visión amplia de las posibles aplicaciones de los procedimientos heurísticos. Notar, sin embargo, que las dos asignaturas son optativas, por lo que es muy probable que pocos alumnos cursen ambas. En cualquier caso, ésto no invalida nuestro propósito y sólo supondrá un cambio en su profundización.

La asignatura Introducción a la Inteligencia Artificial, con descriptores Juegos, Aprendizaje y Sistemas Expertos, se imparte después que *Heurísticas* y, por tanto, ésta puede tra-

¹El segundo autor será el encargado de impartir la asignatura Análisis de Decisiones durante el curso 1998-1999

tar tópicos relacionados con aquella. En particular, conceptos relacionados con aprendizaje como aquellos que se derivan del estudio de la *Optimización a través de Colonias de Hormigas* (Ant Colony System).

El plan de estudios contempla la realización optativa por parte del alumno de Trabajos Académicamente Dirigidos o Prácticas en Empresas por un máximo de 9 créditos. Esta asignatura es particularmente importante pues, según la modalidad escogida para el desarrollo de la misma, permite que el alumno se inicie en la investigación o tenga un primer contacto con la problemática de la Empresa. En esta asignatura se puede abordar el estudio de un problema particular, o la resolución práctica de un problema planteado desde la empresa, a través de procedimientos heurísticos.

Señalar, no obstante, que todo lo anterior está fuertemente condicionado por el carácter optativo de la asignatura Heurísticas.

Como se mencionaba anteriormente, tenemos la intención de modificar los descriptores de la asignatura para dar cabida a nuevas heurísticas no contempladas. Nuestra propuesta de descriptores es: *Métodos constructivos, Métodos de búsqueda por entornos, Algoritmos evolutivos, Nuevas heurísticas.*

3 Objetivos

Los objetivos que nos planteamos pueden clasificarse como específicos o propios de la asignatura y genéricos o comunes. Así, para los primeros, pretendemos que, al finalizar el curso, los alumnos sean capaces de:

- Analizar y extraer la información necesaria de un problema para formalizarlo adecuadamente.
- Resolver dicho problema empleando conocimiento heurístico.
- Comparar desde una actitud crítica los diferentes métodos empleados para resolver un problema.
- Implementar adecuadamente los procedimientos anteriores.
- Valorar la importancia que tienen los métodos heurísticos como herramientas ef-

cientes para resolver una gran diversidad de problemas.

Asimismo, para los objetivos genéricos o comunes, se persigue:

- Fomentar que los alumnos indaguen y profundicen en cualquier campo del saber.
- Inculcar las actitudes que favorecen el trabajo en grupo.
- Favorecer en los alumnos la capacidad de exponer sus opiniones.

4 Contenidos

La asignatura Heurísticas tiene asignada una docencia de 6 créditos, distribuidos en 4.5 créditos teóricos y 1.5 créditos prácticos. Dada la limitación que suponen los actuales descriptores de la asignatura, proponemos para el curso 1998/1999, el siguiente programa para la misma.

1. Introducción.
 - (a) Heurística: concepto, clasificación y propiedades.
 - (b) Problemas.
2. Búsquedas Locales.
 - (a) Descripción.
 - (b) Solución (estado) inicial.
 - (c) Estructuras de entorno (movimientos).
 - (d) Muestreos en el entorno (estrategias).
 - (e) Ventajas e inconvenientes.
3. Recristalización Simulada.
 - (a) Descripción.
 - (b) Planes de enfriamiento.
 - (c) Aplicaciones.
4. Métodos Multiarranque.
 - (a) Descripción.
 - (b) Reglas de parada.
 - (c) Aplicaciones.
5. Búsqueda Tabú.
 - (a) Descripción.

- (b) Tipos de memoria.
 - (c) Criterios de aspiración.
 - (d) Aplicaciones.
6. Búsqueda por Entornos Variables.
- (a) Descripción.
 - (b) Estructuras de entorno.
 - (c) Aplicaciones.
7. Algoritmos Genéticos.
- (a) Descripción.
 - (b) Codificaciones y operadores.
 - (c) Teorema del Esquema.
 - (d) Aplicaciones.
8. Optimización a través de Colonias de Hormigas.
- (a) Descripción.
 - (b) Evaluaciones heurísticas.
 - (c) Aplicaciones.
9. Relajación Lagrangiana y Evaluación de Heurísticas.
- (a) Cotas inferiores.
 - (b) Análisis experimental.

En el primer tema se introduce la noción de heurística, se analiza el papel que juega en Inteligencia Artificial y en Investigación Operativa y se resalta la necesidad de emplear procedimientos heurísticos. Además se consideran los principales campos de aplicación de las técnicas para aclarar la diversa terminología empleada al describir las heurísticas. A continuación se dedica un tema al estudio de las Búsquedas Locales, ya que muchos de los procedimientos heurísticos que han aparecido en la literatura pueden verse como alternativas al importante problema de la optimalidad local. Los cuatro siguientes temas recogen algunas de las propuestas realizadas para intentar paliar el anterior problema. El elemento común a todos estos procedimientos es el empleo de una única solución en cada iteración del algoritmo. En los temas 7 y 8 se estudian procedimientos que manejan, en cada iteración, la información que proporciona un conjunto de soluciones del problema. Una característica importante de ambos procedimientos es que imitan

el comportamiento de determinadas especies o colonias de animales para resolver el problema planteado. Suponen, por tanto, el empleo de un tipo de inteligencia presente en la Naturaleza. El último tema está dedicado a la Evaluación de Heurísticas, bien empleando cotas inferiores (Relajación Lagrangiana), o bien realizando estudios experimentales.

5 Metodología

La metodología que se pretende seguir, para la consecución de los objetivos, se concreta en la exposición, por parte del profesor, de los elementos e ideas que subyacen en los procedimientos heurísticos. Esta exposición se hará 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 mostrarán ejemplos en los que se indicará la particular implementación que se ha hecho de los algoritmos estudiados. Los ejemplos deben ser lo más variado posible 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 heurísticas. Las exposiciones se realizarán 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 comenzará indicando que el propósito del mismo es dotar de memoria a la búsqueda, se plantearán los beneficios que ello puede aportar y luego se mostrará la forma en que se podría implementar. A continuación, y desde una implementación básica para un problema estándar, como puede ser el del Viajante de Comercio, se solicitará a los alumnos que propongan mejoras y adaptaciones para otros problemas.

5.1 Prácticas

El Departamento de Estadística, Investigación Operativa y Computación ha homogeneizado la normativa aplicable a las clases prácticas que imparte y, así, establece que

- los alumnos deben recibir, semanalmente, la docencia práctica contemplada en el plan

de estudios;

- los grupos prácticos están formados por 15 alumnos;
- los alumnos deben tener calificadas como aptas al menos el 75% de las prácticas para superar la parte práctica de la asignatura;
- la calificación obtenida en las prácticas supondrá, según el criterio de cada profesor, hasta el 20% de la nota final.

Compartimos la casi totalidad de las normas anteriores, pero creemos que la primera puede ser muy rígida en su aplicación. No obstante, y dado que los alumnos están familiarizados con lenguajes de programación como PASCAL o C y con problemas de Teoría de Grafos, en las prácticas semanales se abordará la implementación de los procedimientos (o de parte de ellos) descritos en las clases teóricas. De esta forma, en cada clase práctica se corregirá la tarea práctica de la clase anterior y se fijará la siguiente.

Para fomentar la comprensión integrada de las diferentes heurísticas y su aplicación a los problemas que, con relativa y creciente facilidad, aparecen en la industria y la empresa, se crearán grupos de 3 o 4 alumnos que deben abordar la resolución de uno de tales problemas. Cada grupo se encargará de todo el proceso. Así, y desde algunas referencias suministradas por el profesor, recopilarán información adicional sobre el problema, distribuirán el trabajo, analizarán la información obtenida, propondrán procedimientos heurísticos de solución, analizarán los resultados obtenidos y expondrán el trabajo realizado.

Este trabajo en grupo, aparte del propósito enunciado al comienzo del párrafo anterior, persigue alcanzar los objetivos genéricos enunciados en la sección 3.

5.2 Material Didáctico

Uno de los grandes inconvenientes de la enseñanza universitaria es la necesidad de tomar apuntes, dado que, en general, no se dispone de un libro de texto. Sin embargo, esta tarea tiene un aspecto positivo: acostumbra al alumno a realizar un esfuerzo de síntesis y organización de contenidos. Por su parte, el disponer de un libro de texto conlleva el riesgo de que el alumno adopte una actitud pasiva y, en algunos casos,

ausente. Por ello, se optará por facilitar a los alumnos unos esquemas que incluyan los conceptos fundamentales, así como las referencias bibliográficas y las cuestiones que motiven una posterior profundización.

Como *una imagen vale más que mil palabras*, es fundamental contar con medios que permitan exponer, de forma gráfica, los elementos y el desarrollo de los procedimientos heurísticos motivo de estudio. Para ello el Centro Superior de Informática posee un cañón de proyección a disposición de los profesores para que impartan la docencia que tienen asignada.

Otros materiales complementarios que se usarán son: artículos científicos, libros y transparencias. Por último, señalar que, tal como se ha hecho este curso con otras asignaturas, se empleará el correo electrónico para resolver muchas de las dudas de los alumnos. Pensamos que este tipo de medios cobrará cada vez mayor importancia y en tal sentido queremos ampliar su utilización (páginas web, foros de discusión,...).

6 Evaluación

Evaluar es el proceso que permite identificar y obtener información que facilita emitir un juicio sobre la asimilación de los objetivos fijados y los conocimientos adquiridos. Es preciso evitar que la evaluación, a diferencia de lo que ocurre en demasiadas ocasiones, suponga una selección de alumnos en lugar de proporcionarles la ayuda necesaria para que desarrollen todas sus capacidades. Por ello, la evaluación constará de dos aspectos fundamentales: la evaluación del aprendizaje de los alumnos y la evaluación de la actividad docente.

6.1 Evaluación de los alumnos

Las fases del proceso evaluador de los alumnos serán las siguientes:

- *Evaluación inicial:* Esta evaluación tiene por finalidad conocer el grado de conocimientos previos necesarios para el correcto aprendizaje de los contenidos que se desarrollan en esta asignatura. Estos conocimientos previos o prerrequisitos son: problemas en grafos, cálculo de probabilidades e inferencia estadística.

- *Evaluación continua o formativa:* Esta evaluación debe entenderse como un proceso sistemático de análisis y valoración de los resultados del aprendizaje. Realizaremos esta evaluación basándonos en los trabajos y actividades realizados por el alumno en las clases teóricas y prácticas. Los resultados de este tipo de evaluación constituyen la base permanente para la programación de actividades, y también para establecer las actividades y procedimientos más adecuados para salvar las dificultades que puedan producirse en los aprendizajes inmediatos, a fin de evitar fallos y lagunas en aprendizajes posteriores.
- *Evaluación sumativa o final:* Esta evaluación se centra en los momentos finales del proceso. Debe mostrar el grado de consecución de los objetivos e incluirá el examen escrito.

6.2 Autoevaluación

Aparte de las fases anteriores, en las que el profesor evalúa al alumno, también es importante que el alumno se evalúe a sí mismo, haciéndole participe del proceso evaluador. Para ello se formularán cuestiones como

1. ¿Estás de acuerdo con la metodología que se ha seguido en clase?
2. ¿Compartes la valoración que el profesor hace de tí?
3. ¿Estás satisfecho con lo que has aprendido?
4. ¿Consideras que el nivel conseguido es aceptable?
5. ¿Te parece que tiene utilidad lo aprendido?

Esta autoevaluación del alumno lleva implícita una evaluación del profesor y de la actividad docente, con lo que se le dá al alumno la oportunidad de señalar posibles fallos o deficiencias de estos elementos del proceso educativo. Esto último es particularmente importante ya que existe un creciente convencimiento de la necesidad de evaluar la actividad docente para conseguir que la Universidad cumpla, adecuadamente, con su función en la sociedad [1].

Con respecto al porcentaje que aporta cada uno de los factores mencionados en la nota final del alumno, señalar que, a modo indicativo, éstos son: prácticas, 10%, trabajo práctico, 30%, examen teórico escrito 60%. Las practicas se evaluarán atendiendo a criterios como: presentación, eficiencia, eficacia y robustez del procedimiento propuesto, claridad del informe que debe acompañar a la implementación y exposición.

7 Actividades Complementarias

Entre las actividades que facilitan la comprensión global de los contenidos se encuentran la organización de seminarios y conferencias. Por ello, en los últimos años se han organizado este tipo de actividades en el Departamento de Estadística, Investigación Operativa y Computación. Se ha contado con la participación, entre otros, de los profesores Manuel Laguna, José Luis González Velarde, Adenso Díaz y Nenad Mladenović. Todos ellos son especialistas en el estudio teórico y aplicación práctica de procedimientos heurísticos de solución. Creemos que estas actividades, aparte del beneficio que supone para la labor investigadora de los miembros del grupo, son útiles para los alumnos. Por tanto, pretendemos organizar, siempre que sea posible, este tipo de actividades.

Otras actividades recomendables son la búsqueda en Internet de información complementaria a la suministrada por el profesor y la inclusión en listas de distribución relacionadas con heurísticas.

Referencias

- [1] **Comisión técnica de evaluación de la calidad docente.** *Evaluación y mejora de la calidad docente en la Universidad de La Laguna*, Servicio de Publicaciones de la Universidad de La Laguna, 1996
- [2] **Salvat Editores SA.** *Enciclopedia Salvat*, 1997 ISBN: 84-345-9707-1
- [3] **Colin R. Reeves.** *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*. Blackwell Scientific Publications, 1993

- [4] **E. Rich, K. Knight.** *Inteligencia Artificial*. McGraw Hill, 1994