

# LA ENSEÑANZA DE LA ASIGNATURA INGENIERIA DEL CONOCIMIENTO EN LA UNIVERSIDAD DE OVIEDO

Secundino López García  
Departamento de Informática  
Universidad de Oviedo en Gijón  
Campus de Viesques s/n. 33271  
E-mail: secun@trasgu.aic.uniovi.es

## RESUMEN

*En esta ponencia se describen los objetivos, los contenidos y la metodología de la enseñanza de la asignatura "Ingeniería del Conocimiento" (IC) en la Universidad de Oviedo. Además, se abordan otros aspectos significativos como la relación con las asignaturas afines, la metodología práctica, la utilización de herramientas y el desarrollo de aplicaciones.*

## 1. Introducción

Como cuestión fundamental, la asignatura subraya la especial dificultad que entraña la adquisición y representación del conocimiento en los dominios en los que el conocimiento experto es habitualmente complejo, disperso, impreciso, poco estructurado e, incluso, ambiguo. La correcta manipulación del conocimiento representado constituye el segundo aspecto fundamental del curso, si bien se incide en señalar que habitualmente esta faceta presenta menos dificultades conceptuales que la primera. En definitiva, pondremos nuestra atención en la generación de bases de conocimiento estructuradas, fiables y consistentes, que sometidas a una adecuada herramienta genérica para la resolución de problemas produzcan sistemas de razonamiento lo más similares posible a los de los expertos humanos.

A partir de los conocimientos adquiridos en la asignatura de Inteligencia Artificial de 4º curso, se profundiza en la metodología de los sistemas basados en el conocimiento, siguiendo todas las etapas desde la identificación del conocimiento y la conversión del mismo al nivel simbólico, hasta la correcta manipulación en el proceso inferencial del conocimiento representado, con el fin de conseguir una guía eminentemente práctica sobre el uso de estos conceptos en la construcción de sistemas expertos.

Se potencia así una orientación de la materia basada en dos pilares fundamentales: Diseño y Construcción. El mensaje central consiste en que la construcción de Sistemas Basados en el Conocimiento no concluye con el análisis y la representación del conocimiento, sino que ha de completarse con otras tareas no menos importantes para un correcto funcionamiento de la aplicación desarrollada. Por esta razón, el alumno deberá afrontar un problema real y ser capaz de identificar cada una de las etapas del proceso, analizarlas y construir un prototipo representativo con una herramienta específica para la gestión de los Sistemas basados en el conocimiento.

## 2. Contenidos y Estructura de la asignatura:

### Programa parte teórica:

- TEMA 1.- Introducción a los Sistemas basados en el conocimiento (SBC)  
Definición  
Diferentes tipos de conocimiento experto  
Ventajas y desventajas de los SBC
- TEMA 2.- Estructura de los SBC  
Componentes y arquitectura del sistema  
Herramientas para el desarrollo de SBC
- TEMA 3.- La lógica como herramienta para la representación del conocimiento  
Lógica de predicados  
Inferencias lógicas  
El PROLOG como herramienta para los SBC
- TEMA 4.- Sistemas de representación del conocimiento  
Sistemas basados en reglas  
Proceso inferencial  
Ventajas y Desventajas  
Análisis de ejemplos  
Objetos
- TEMA 5.- Arquitecturas basadas en el uso de pizarras  
Las fuentes de conocimiento  
La pizarra  
El control  
Ventajas y desventajas del uso de pizarras
- TEMA 6.- Tratamiento de la Incertidumbre y la vaguedad en los Sistema expertos  
Modelos Bayesianos  
Factores de certeza  
Teoría de la Evidencia  
Modelos posibilísticos
- TEMA 7.- Análisis de factibilidad  
Viabilidad de la aplicación  
Disponibilidad de recursos
- TEMA 8.- Adquisición del conocimiento  
Estrategias para la adquisición del conocimiento  
Adquisición del conocimiento a partir de entrevistas  
Adquisición del conocimiento a partir de estructuras textuales  
Conversión de estructuras textuales en estructuras de Base de Conocimiento  
Técnicas de elicitación del conocimiento  
Planificación de entrevistas
- TEMA 9.- Introducción a la Verificación y validación de los SBC

### Prácticas de Laboratorio:

- TEMA 1- Entornos de desarrollo de Sistemas basados en el Conocimiento  
KAPPA  
CLIPS  
Otras herramientas de interés: TOOLBOOK  
Revisión de los procesos de razonamiento hacia\_adelante y hacia\_atrás

## TEMA 2- Desarrollo práctico de un prototipo de Sistema Experto

- Análisis del conocimiento disponible
- Organización del conocimiento
- Representación del conocimiento
- Análisis del proceso inferencial
- Construcción de interfaces

Titulación: Ingeniería Informática

Curso: 5º

Créditos: 9 (6 teóricos y 3 prácticos de Laboratorio)

Número de alumnos en el curso 1996/97: 105

Criterios de evaluación:

Parte teórica (50% del total de la nota): Examen escrito.

Parte práctica (50% del total de la nota): Desarrollo de un trabajo práctico tutelado por los profesores.

### 3. Relación con otras asignaturas

#### Inteligencia Artificial (IA) (4º Curso)

Esta asignatura establece las bases conceptuales para la representación del conocimiento a partir de los paradigmas clásicos basados en la lógica de predicados, en los marcos, en las redes semánticas y en las reglas de producción, así como para la gestión del conocimiento por medio de la programación lógica y de los mecanismos de gestión de reglas de producción, los cuales constituyen el punto de partida para la construcción de los Sistemas Basados en el Conocimiento.

Se concibe la Inteligencia Artificial como una metodología de naturaleza constructiva y experimental, por lo que también se concede cierta importancia a la parte práctica de la asignatura, en la que, además de introducir las técnicas de programación efectiva de este tipo de sistemas, se dan algunos contenidos complementarios a las lecciones teóricas. El objetivo último es mostrar que la construcción de Sistemas Inteligentes está sustentado en la conjunción de los procesos de teorización, abstracción y diseño.

Se pone especial énfasis en las características conceptuales de las herramientas disponibles para la construcción de aplicaciones reales que se desarrollarán en la asignatura de Ingeniería del Conocimiento, entre otras.

Los contenidos se centran fundamentalmente en los siguientes aspectos: Sistemas de búsqueda. Representación del conocimiento. Representación estructurada con herencias. Representaciones basadas en reglas. Gestión de reglas de producción. Encadenamientos hacia adelante y hacia atrás. Planificación de actuaciones. Procesamiento del lenguaje natural. Percepción.

Como puede comprobarse existen tópicos estrechamente relacionados con algunos de los contenidos en el programa de la asignatura de Ingeniería del Conocimiento. El planteamiento consiste en dejar que la asignatura de IA proporcione las bases teóricas de los sistemas formalizados de representación y gestión del conocimiento, mientras que en IC se marcan las pautas para realizar la conversión del conocimiento disponible de un problema concreto a una base de conocimiento. En este sentido, desde la óptica de la IC el conocimiento se maneja como una codificación de la experiencia acumulada por los expertos. La traducción de esta codificación a un sistema formalizado nos obliga a registrar el conocimiento, a clasificarlo, a detectar inconsistencias y ambigüedades, a buscar la gestión óptima del mismo y a diseñar una aplicación que satisfaga los necesarios requisitos en cuanto a capacidad de justificación de las decisiones, facilidad de manejo y depuración. Todos estos son problemas específicos de la asignatura de IC.

## Enseñanza y Aprendizaje asistido por computador (5º Curso)

Esta asignatura constituye una fuente de ejemplos para los paradigmas clásicos de la Ingeniería del Conocimiento. Además, ambas comparten las herramientas de desarrollo, lo que permite optimizar la planificación de las clases prácticas, al menos durante los primeros meses del curso. Un importante número de alumnos realizan el trabajo práctico de IC en el ámbito de los prototipos de sistemas de enseñanza asistida por computador, actuando el Profesor de esta asignatura como agente experto y la bibliografía como documentación de carácter escrito.

### **4. Metodología**

La experiencia ha puesto de manifiesto la dificultad inicial que tienen los alumnos para adentrarse en una materia en la que no existen modelos predeterminados que permitan deducir de un modo más o menos formalizado la base de conocimiento del sistema. Generalmente el conocimiento a manejar no está explicitado de un modo conciso y riguroso, sino que figura incluido en una o más bases documentales, generalmente voluminosas, dispersas y con mucha información superflua, lo que nos obliga a detectar el grado de conocimiento aportado y a rescatar los aspectos esenciales del mismo, prescindiendo de la información redundante y del conocimiento de bajo nivel (vulgarización). Así mismo, la elicitación del conocimiento a partir de expertos humanos exige la discusión entre el Ingeniero del Conocimiento y el Experto a través de un conjunto de entrevistas, a lo largo de las cuales el primero pregunta, observa la forma en la que el segundo resuelve los problemas y determina qué partes del conocimiento han de utilizarse. Estas tareas se enfocan desde un punto de vista práctico, sometiendo al alumno a entrevistas simuladas con expertos.

Con esta metodología se pretende que el alumno sea consciente de que el experto humano no es una fuente de conocimiento estructurado, capaz de enunciar soluciones formales a los problemas, sino que resulta necesario establecer una vía de comunicación entre ambos que permita superar las siguientes situaciones:

1. La desconfianza inicial habitual en el Experto, el cual seguramente estará mucho menos interesado en el Sistema que el Ingeniero del Conocimiento. Para ello es necesario poner de relieve qué se supone que han de aportar recíprocamente el Ingeniero del Conocimiento y el Experto.
2. La determinación de lo que se supone que el sistema debe resolver y de lo que es importante para conseguir ese objetivo.
3. La persuasión del experto en el sentido de que ha de atemperar la forma de transmitir su conocimiento, lo que exige una fase de entrenamiento en la que la comunicación probablemente será poco fluida (p.e., dificultad para concretar grados de incertidumbre, imprecisión en la semántica de las expresiones). Además, será necesario integrar las fuentes del conocimiento elicitado a partir del Experto y de las bases documentales, investigando la aparición de inconsistencias, redundancias, etc.

En el proceso de adquisición del conocimiento que incluye la elicitación y la representación interna del conocimiento con la herramienta elegida, aparecen otras dificultades desafortunadamente habituales:

1. Determinación de los objetos y de las relaciones entre ellos.
2. Discriminación entre conocimiento declarativo y conocimiento procedimental.
3. Representación de la incertidumbre.

La ausencia de una metodología formal para llevar a cabo este proceso, suscita una actitud inicialmente pasiva en el alumno que considera que los protocolos de actuación que se le ofrecen son un conjunto de recetas que bien podrían ser sustituidas por otras con igual rendimiento.

En los dos primeros temas se describen de modo genérico el concepto, la estructura y las componentes de los Sistemas Basados en el Conocimiento, así como las ventajas e inconvenientes

que presentan.

En el tema tercero se analiza la posibilidad de utilizar la lógica como herramienta para la representación del conocimiento. Este aspecto ha sido ya tratado previamente en la asignatura de Inteligencia Artificial, por lo que aquí se orienta hacia la comprobación de las limitaciones que presenta el razonamiento lógico para erigirse en una herramienta universalmente admisible. La superación de la unificación y la resolución (y en definitiva, el Prolog) como resolvedores de problemas supone otro punto crítico.

En el tema cuarto se aborda el modelo de razonamiento basado en reglas, tratando de hacer llegar al alumno el mensaje de que aunque este paradigma utiliza estructuras condicionales sintácticamente similares a las que son habituales en los lenguajes de programación convencional, la forma de manejarlas es sustancialmente diferente. Se explica el proceso de razonamiento y se analizan sus ventajas y desventajas.

En el tema quinto se analizan las arquitecturas de Pizarra como herramientas de control del conocimiento, capaces de regular el momento adecuado para aplicar cada una de las partes del conocimiento y el estado del entorno en ese instante. Se hace especial hincapié en la utilización de ejemplos que motiven el tema. Como modelo base se toma un prototipo extraído de una aplicación de control de tráfico urbano.

El tema sexto se dedica a la representación y manipulación del conocimiento impreciso surgido como consecuencia de una cierta falta de calidad en los datos, o en la existencia de relaciones o asociaciones lógicas no determinísticas, excepciones, etc. Se abordan los paradigmas Bayesiano, basado en factores de certeza, y en la lógica difusa.

Los restantes temas se abordan desde una perspectiva eminentemente práctica, recogiendo los aspectos más esenciales de las tres etapas básicas del desarrollo un sistema basado en el conocimiento:

1. ¿Es factible desarrollar la aplicación?
2. ¿Qué dificultades aparecen en el proceso de adquisición del conocimiento?
3. ¿Es eficiente el sistema construido?

Además, se estudian criterios de carácter empírico para detectar la presencia en un documento de estructuras textuales susceptibles de contener conocimiento relevante. También se aborda el proceso de traducción de dichas estructural textuales a estructuras simbólicas. Este proceso de detección y traducción supone un hito importante para mostrar a los alumnos la dificultad de la tarea, al poner de manifiesto la existencia de posibles interpretaciones por cuanto el valor semántico de una expresión depende del contexto. En este sentido la interpretación de las expresiones condicionales del tipo SI A ENTONCES B, como implicación lógica, relación causal o condición de suficiencia ofrece un campo adecuado para motivar la necesidad de profundizar en la materia.

## 5. El papel de la programación

Tal como se ha mencionado reiteradamente en los apartados anteriores, la asignatura se orienta en la línea de acercar al alumno en la medida de lo posible a las dificultades reales que entrañan tanto el diseño como la construcción de un Sistema Basado en el Conocimiento. En este sentido se hace especial hincapié en la necesidad de producir sistemas flexibles con capacidad para crecer y cambiar y en los que el conocimiento se acumula de un modo incremental no cerrado.

Este objetivo sólo se puede satisfacer si el diseño está suficientemente modularizado y la traducción del conocimiento se realiza de modo que se facilite la reinterpretación de lo ya representado. El contenido teórico de la asignatura marca las pautas para desarrollar sistemas ajustados a tales requisitos, pero resulta también necesario disponer de herramientas de programación que faciliten la tarea.

Si el objetivo consiste en conseguir que el alumno sea capaz de enfrentarse al problema de representar y manejar el conocimiento, realizar cálculos conducentes a la obtención resultados relevantes para el proceso de razonamiento, comunicarse con el usuario, producir explicaciones, etc., no basta con disponer de los conocimientos teóricos. La experiencia ha probado que las peculiaridades de la herramienta de programación son una parte más a considerar a la hora del diseño del sistema, condicionando en muchos casos la decisión final acerca del mismo. La posibilidad de disponer de herramientas híbridas capaces de facilitar la convivencia del conocimiento declarativo con el procedimental, capaces de ofrecer interfaces adecuados tanto a nivel de usuario como de desarrollo, diseñadas para facilitar la depuración, contribuye en definitiva a simplificar y enriquecer el diseño de estos sistemas.

Por esta razón a lo largo del curso se utilizan herramientas que faciliten la combinación de los conocimientos declarativo y procedimental, y que permitan un alto grado de interactividad, todo ello condicionado a la disponibilidad de puestos de trabajo suficientes para el desarrollo de los objetivos de la asignatura.

Para remarcar el papel esencial que la programación juega, se exige que el trabajo a desarrollar durante el curso (que se describe con detalle en el apartado 7) contenga la implementación global de todos los elementos sustanciales de un Sistema Experto: Base de conocimiento, Interfaz de usuario, Estrategia de control, Comunicación con otras aplicaciones (Bases de Datos, Hojas de Cálculo, etc.).

## 6. Lenguajes de programación

Teniendo en cuenta el número de alumnos, es preciso disponer de un importante número de puestos de trabajo en los que se ofrezcan herramientas de programación con posibilidades de satisfacer las necesidades expuestas en el apartado anterior. Por esta razón se ha decidido utilizar aplicaciones bajo entorno Windows y aprovechar por un lado las posibilidades de comunicación DDE entre aplicaciones y, por otro, la utilización de DLL's personalizadas. De acuerdo con estos criterios se ha optado por utilizar los lenguajes de programación: KAPPA, TOOLBOOK y C.

En este sentido y tras la experiencia de unos cuantos años, hemos considerado que KAPPA ofrece las mejores prestaciones para satisfacer los requerimientos de la asignatura. Además de ofrecer alternativas suficientes para la manipulación de reglas (diversos tipos de encadenamiento hacia adelante y hacia atrás), permite disponer de las posibilidades de la programación orientada a objetos, junto con un aceptable interface de desarrollo. Es importante señalar que KAPPA permite añadir a la lista de primitivas otras funciones escritas en C, compilando en una versión enriquecida de KAPPA, lo cual permite superar algunas de las limitaciones de la herramienta. Como contrapartida debe señalarse que la no disponibilidad en KAPPA de herencia múltiple contribuye en ocasiones a complicar innecesariamente la representación del conocimiento.

La necesidad de disponer de un adecuado interface usuario se resuelve con la adopción de TOOLBOOK como sistema de desarrollo de interfaces. La comunicación entre KAPPA y TOOLBOOK se realiza a través de la comunicación vía DDE, dejando en todo caso que el conocimiento resida exclusivamente en KAPPA, actuando TOOLBOOK simplemente como servidor para la comunicación entre el usuario y el sistema. Puesto que la asignatura trata de enlazarse parcialmente con la de Enseñanza y Aprendizaje asistidos por Computador, en la que TOOLBOOK juega un papel fundamental, conseguimos optimizar el número de horas necesarias para acercarse al uso de ambas herramientas, de modo que en las dos asignaturas puedan utilizarse dichas herramientas sin duplicación de horas para los alumnos.

Finalmente, cabe señalar que la utilización del lenguaje C es estrictamente coyuntural y está especialmente dirigida a completar las carencias del lenguaje KAPPA y a la producción de DLL's que resuelvan los problemas genéricos derivados del uso de las herramientas.

## 7. Trabajos prácticos

Según se ha señalado en el apartado de Objetivos de la Asignatura, se potencia una visión práctica de la materia, por lo que se considera fundamental que el alumno se enfrente a un problema concreto cuya estructura de conocimiento contenga los ingredientes básicos para recorrer todos los conceptos manejados en el curso. Con este fin se proponen al comienzo del curso algunos campos de conocimiento especialmente adecuados como prototipo para la construcción de un Sistema Experto.

Al alumno se le proporciona documentación suficiente, así como un agente que realiza la función de experto, al que puede consultar para producir la base de conocimiento. Con estos elementos a su disposición, se le encarga la tarea de diseñar un prototipo de Sistema Experto, recorriendo todas las estrategias para la adquisición del conocimiento -análisis del conocimiento escrito (estructuras textuales), análisis de conocimiento experto humano (diseño de entrevistas, elicitación del conocimiento), representación del conocimiento, análisis de consistencia, etc.- e investigando las ventajas e inconvenientes de cada modelo de razonamiento en función de la estructura del conocimiento disponible. Finalmente, se construye una aplicación con ayuda de las herramientas vistas en las clases prácticas y se elabora la documentación final de la práctica en la que se recojan todos los aspectos anteriormente descritos.

Los trabajos pueden hacerse tanto individual como colectivamente. Aunque los mejores resultados se han obtenido con los trabajos desarrollados colectivamente, es necesario ofrecer la alternativa del trabajo individual para facilitar la organización curricular de ciertos estudiantes. En cualquier caso, desde un punto de vista metodológico se fomenta el trabajo en grupo. Publicada la lista de trabajos ofertados para el curso, se pide a los alumnos que se pronuncien sobre cuál de los temas ofertados les resulta más interesante. A partir de esta información, se seleccionan grupos de entre 20 y 30 alumnos. Cada uno de los grupos tiene un responsable encargado de gestionar la agenda de reuniones del grupo y de controlar la redacción de la documentación final del trabajo. A su vez se establecen distintos subgrupos en función de las diferentes líneas de conocimiento presentes en la materia objeto de la práctica y de los diferentes módulos que debe contener el sistema a desarrollar. Cada uno de estos subgrupos tiene un responsable encargado de coordinar el trabajo interno del subgrupo y el intercambio de información con los restantes grupos.

Esta metodología favorece el trabajo cooperativo jerarquizado por tareas, de tal modo que cada alumno tiene a su cargo una lista de tareas que no colisiona con la de ningún otro alumno, lo cual le obliga a responsabilizarse tanto del correcto desarrollo de la isla de conocimiento que tiene encomendada, como del mantenimiento de las necesarias garantías para un correcto ensamblaje de la parte a su cargo con las restantes.

Cada grupo mantiene dos reuniones semanales de una hora, una de las cuales es supervisada por el profesor responsable. En dichas reuniones cada responsable de subgrupo informa tanto del trabajo realizado a lo largo de la semana como de las dificultades que observan en el desarrollo de su tarea. Así mismo, se intercambia documentación entre los subgrupos relativa tanto a las especificaciones de la tarea ya desarrollada por cada subgrupo como a los requerimientos demandados a los restantes. El encargado de grupo va acumulando y dando forma a esta documentación con el fin de producir el documento final de la práctica. El profesor se encarga de dilucidar las discrepancias entre subgrupos, de supervisar la línea de trabajo de cada uno de ellos y, periódicamente, realiza un breve informe acerca del progreso de cada subgrupo y del trabajo individual de cada alumno.

La evaluación final de la práctica se realiza apoyándose en dos criterios. Por un lado, el Profesor propone una calificación para cada alumno a partir de los informes acumulados durante el curso. Simultáneamente, se desarrolla un proceso de autoevaluación de los alumnos. A cada subgrupo se le otorgan un total de 100 puntos y se le pregunta privadamente a cada alumno cuántos de esos puntos cree que le corresponden en un reparto proporcional a las aportaciones de cada uno de los integrantes. Más tarde se informa a cada subgrupo de la media y la desviación típica de las asignaciones que han realizado y se solicita de cada alumno que revise la asignación anterior con el

fin de producir la autoevaluación final. La nota final se establece de acuerdo con el siguiente criterio: la calificación del Profesor se mantiene para los alumnos cuya autoevaluación se sitúa en torno a la media final de su subgrupo y se incrementa o se reduce en función de la desviación de la autoevaluación con respecto a dicha media.

La experiencia de los últimos años en los que se han venido desarrollando trabajos prácticos del tipo anteriormente descrito ha sido muy satisfactoria. El nivel de dedicación de los alumnos a los trabajos ha resultado sorprendente, hasta el punto de desbordar la disponibilidad de los Profesores responsables. Han surgido algunos sistemas estimables (desgraciadamente, otros no tanto), que se han completado más tarde como Proyectos Fin de Carrera, en los que se pone de manifiesto el rendimiento académico de enfrentar a los alumnos con problemas reales. A modo de ejemplo, podemos citar algunos de los campos en los que se han desarrollado sistemas con notable éxito:

- Sistema de enseñanza sobre metodología secuencial de la Programación
- Sistema generador de recorridos óptimos para pruebas hípicas de saltos de obstáculos.
- Diversos sistemas asesores sobre juegos de envite.
- Sistema de ayuda en la toma de decisiones para la navegación con veleros.

## 8. Bibliografía

- [1] González, Avelino J; Dankel, Douglas D.: "The engineering of Knowledge-based Systems. Theory and practice". Prentice Hall International Editions. 1993.
- [2] Stefik, Marz: "Knowledge Systems". Morgan Kaufmann Publishers, Inc. 1995.
- [3] Parsaye, Kamran; Chignell, Mark: "Expert Systems for Experts". John Wiley and Sons, Inc. 1988.
- [4] Waterman, D.A.: "A guide to Expert Systrems". Addison Wesley. 1986.
- [5] Giarratano, J.; Riley, G.: "Experts Systems: Principles and Programming". PWS. 1994.