

Sistemas Inteligentes: una propuesta de contenidos y de orientación didáctica

Vicente Botti

Dept. de Sistemas Informáticos y Computación
Universidad Politécnica de Valencia
vbotti@dsic.upv.es

Antonio Bahamonde

Centro de Inteligencia Artificial
Universidad de Oviedo en Gijón
antonio@aic.uniovi.es

Resumen

En este artículo se presenta una propuesta de contenidos para una asignatura sobre Sistemas Inteligentes en la titulación de Ingeniero Informático dentro del marco del Espacio Europeo de Educación Superior. La propuesta se fundamenta en las propuestas docentes de asociaciones internacionales de reconocido prestigio así como la revisión de lo que se enseña en importantes universidades. Pero también se basa esta propuesta en la situación de los Sistemas Inteligentes dentro de los distintos ámbitos de la investigación: nacional (Plan Nacional de Tecnologías Informáticas), europeo (Programa Marco) y el mundo empresarial e industrial actual. El artículo se completa con la propuesta de optativas y de cursos Máster.

1. Introducción

El llamado Espacio Europeo de Educación Superior (EEES) supone una oportunidad para renovar las titulaciones universitarias de cara a una nueva situación económica, social y política dentro de la Unión Europea (UE). Además de buscar una convergencia administrativa con las titulaciones del resto de la UE, el EEES nos permitirá cambiar algunos procedimientos educativos obsoletos y poco eficientes.

En lo que se refiere a las titulaciones en Informática, las propuestas oficiales se han recogido en el llamado Libro Blanco editado por la Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación [ANECA, 2005]. Se propone una titulación única con el nombre de

Grado en Ingeniería Informática y una carga total de 240 ECTS (*European Credit Transfer and Accumulation System*). Estos créditos se dividen en un 60% de Contenidos Formativos Comunes y un 40% de materias que podrán ser determinadas discrecionalmente por cada universidad que ofrezca esta titulación, ver Figura 1.

La propuesta del Libro Blanco prevé un mínimo del 35% ó 40% para los contenidos específicos que se dividen en 4 subcategorías. Los *Sistemas Inteligentes* (SI en adelante) aparecen mencionados en una subcategoría junto con la Ingeniería del Software y los Sistemas de Información. Si los repartos fuesen uniformes, tendríamos entre 7 y 8 ECTS de contenidos mínimos para los SI. Hay que recordar que, según los documentos oficiales sobre el EEES [MEC, 2007a], cada crédito ECTS representa un volumen de trabajo del estudiante de entre 25 y 30 horas, suponiendo entre 1.500 y 1.800 horas de trabajo del estudiante al año.

En este artículo presentamos una propuesta concreta de contenidos para una asignatura básica de SI en este nuevo contexto, además se incluye una propuesta más general de formación en SI en el ámbito del grado de Ingeniero en Informática y en sus masters asociados. Para argumentar los contenidos propuestos repasaremos los currícula docentes tanto de prestigiosas asociaciones internacionales como son la ACM y el IEEE como de universidades de reconocido prestigio. Y también revisaremos la situación de los SI dentro de los distintos ámbitos de la investigación: nacional (Plan Nacional de Tecnologías Informáticas),

		Categorías		Subcategorías	
		Min.	Máx.		
Contenidos Formativos Comunes (CFC)	60%	Fundamentos científicos	10%	15%	Fundamentos matemáticos de la Informática
					Fundamentos físicos de la Informática
	Contenidos específicos de la Ingeniería Informática	35%	40%	Programación	
				Ingeniería del Software, Sistemas de Información y Sistemas Inteligentes	
				Sistemas Operativos, Sistemas Distribuidos y Redes	
	Contenidos Generales de la Ingeniería	5%	10%	Ingeniería de Computadores	
Gestión de las organizaciones					
Ética, legislación y profesión					
Proyecto Fin de Carrera		6%		Destrezas profesionales	
Materias determinadas discrecionalmente por la universidad				40%	
Créditos totales				240 ECTS	

Figura 1: La distribución de contenidos del Libro Blanco de la Titulación de Ingeniero Informático

europeo (Programa Marco) y el mundo empresarial e industrial actual.

La tesis fundamental de esta propuesta es que los Sistemas Inteligentes están vinculados tanto a la parte de la Ingeniería Informática más ligada a la investigación, como a las técnicas aplicadas, aunque en muchos casos no somos conscientes de ello, en muchas aplicaciones informáticas que son habituales en nuestra vida cotidiana.

Es normal cuando realizamos una llamada telefónica que comuniquemos con una centralita que nos va guiando, normalmente dialogando con nosotros, hasta contactar con la persona adecuada o es capaz de resolver por sí sola nuestra demanda. Detrás de este tipo de aplicaciones informáticas, encontramos técnicas de reconocimiento de la palabra, sistemas de razonamiento basado en casos, etc. Cada vez con más frecuencia utilizamos servicios

como *amazon.com*, *mystrands*, *ebay*, *Google*, *Yahoo*, etc., que nos ofrecen recomendaciones sobre diversos temas: música, libros, restaurantes, hoteles. El éxito de estas aplicaciones informáticas, donde la reputación es un factor fundamental, está basado en la utilización de técnicas de SI como son los sistemas de recomendación social, técnicas de juegos, aprendizaje, sistemas multiagente, minería de datos, que permiten manejar el exceso de información. Una muestra más de estas aplicaciones informáticas basadas en técnicas de SI, la encontramos cuando entramos en aparcamientos públicos y un sistema de visión es capaz de reconocer nuestra matrícula, estas aplicaciones están soportadas por técnicas de reconocimiento de formas y visión.

Lo que hemos enumerado en el párrafo anterior no es más que una pequeña muestra, podríamos hablar de aplicaciones en el ámbito

de los sistemas de fabricación (control inteligentes, cadena de suministros, planificación de la producción, etc), o en el ámbito de aplicaciones en el ámbito de la salud, etc. Esto es solo una muestra de la implantación de las técnicas de los SI en la industria informática actual, lo que justifica la necesidad de formar a los futuros Ingenieros Informáticos en estas materias, ya que cada vez van a ser más demandadas en el sector de la industria informática.

Por otra parte, la investigación en SI, al menos es España, constituye el núcleo central de la investigación que se lleva a cabo en las Tecnologías Informáticas, tanto en número de proyectos como en presupuesto (ver sección 3.1). Por otra parte, en el programa de trabajo sobre *Information and Communication Technologies (ICT)* del Séptimo Programa Marco (FP7) de la UE, juegan un papel central las tecnologías basadas en SI (ver sección 3.2).

Como resulta que la I+D+i debe ser el motor de convergencia económica con Europa, la conclusión es que la formación de los futuros Ingenieros Informáticos debe incorporar una parte importante de SI. Hay que recordar que el objetivo fundamental del EEES es la mejora de la calidad de las Enseñanzas del nivel universitario que debe redundar en el incremento del empleo en la Unión Europea y la conversión del sistema Europeo de Formación Superior en un polo de atracción para estudiantes y profesores de otras partes del mundo. Esta calidad, en el campo de las Tecnologías Informáticas, sólo se podrá conseguir si la formación de los estudiantes incluye una apuesta clara por los SI. Ya que forman parte del núcleo central de herramientas que las perspectivas de futuro identifican como elementos clave para aumentar la competitividad de sistemas y servicios. Pues las apuestas de futuro de las sociedades las marcan las investigaciones del presente.

Para cerrar el artículo, además de proponer unos contenidos específicos para una asignatura sobre SI, dedicaremos una sección a comentar algunos aspectos sobre la didáctica que a nuestro juicio se debe emplear en el nuevo contexto del EEES específicamente en esta materia. También comentaremos algunas referen-

cias bibliográficas básicas en SI desde el punto de vista docente. El artículo incluye además la propuesta de algunos complementos a la asignatura básica sobre SI: una lista de optativas y el esbozo de algunos cursos de postgrado vinculados a esta materia.

2. Contenidos de referencia

En primer lugar recopilamos la información que sobre SI se da en las propuestas de currícula en informática de las asociaciones americanas ACM e IEEE. En una segunda subsección hacemos un resumen de los contenidos que se imparten en prestigiosas universidades.

2.1. Contenidos de SI en los informes de ACM e IEEE

Una referencia importante en lo que se refiere al contenido de los currícula en Informática es la del informe conjunto de las asociaciones americanas ACM e IEEE [ACM-IEEE, 2005]. Aquí se describen 5 grandes tipos de currícula: *Computer Engineering (CE)*¹, *Computer Science (CS)*, *Information Systems (IS)*, *Information Technology (IT)*, *Software Engineering (SE)*.

Al proponer los contenidos de cada uno de estos currícula, el [ACM-IEEE, 2005] incluye los SI solamente en 3: CE, CS e IS ([ACM-IEEE, 2005] p. 30). Los objetivos formativos que se persiguen son genéricos: diseño de sistemas capaces de razonar por sí mismos, y la implementación de sistemas inteligentes.

Para desentrañar el sentido que se le pretende dar a los SI en este informe hay que profundizar en el análisis que en él se hace de cada uno de los currícula. Así, cuando se describen los perfiles profesionales (*career*) para los que pretende formar a sus estudiantes, en el currículum *Computer Science*, el que más estudiantes cursan, se dice que hay 4 perfiles:

1. Diseño e implementación de software. El que más estudiantes siguen y que se solapa con el currículum sobre *Software*

¹ como se trata de términos muy extendidos, y de traducción controvertida en algunos casos, empleamos el inglés

Engineering. Correspondería con una titulación en Informática genérica en el campo de software, que es, básicamente la que se describe en el Libro Blanco [ANECA, 2005].

2. Diseño y construcción de nuevas formas de uso de las computadoras.
3. Desarrollo efectivo de caminos para resolver problemas de computación. Los perfiles 2 y 3 serían los más próximos a la investigación. Resulta curioso, que en ([ACM-IEEE, 2005] p. 31) se dice que *este tipo de perfiles son los que muchos profesores querrían ver elegir a sus estudiantes*.
4. Planificación y gestión de la infraestructura tecnológica de una organización. Aquí el solapamiento de esta titulación sería con la última en incorporarse a las recomendaciones de ACM e IEEE: Information Technology, cuya salida profesional sería, en realidad, cubrir este perfil.

A la luz de estos comentarios, quizás cabe concluir que el sentido que el informe [ACM-IEEE, 2005] le da a los SI sea el vinculado a la investigación, salvo el de un conocimiento muy somero de algunos principios básicos.

Cuando se quiere entrar en detalles sobre los contenidos de SI que serían adecuados para un estudiante graduado con cierto perfil, hay que acudir al informe de 2001 [ACM-IEEE, 2001] sobre el currículo en *Computer Science*. Allí se proponen los contenidos del Cuadro 1 que se completan con las optativas del Cuadro 2. Como se ve, prácticamente coinciden la lista de optativas propuestas con los contenidos de una asignatura básica sobre SI en este informe.

2.2. Contenidos de SI en algunas de las universidades más prestigiosas

En este apartado se analizan los currícula en SI de diversas universidades de reconocido prestigio en la enseñanza e investigación en informática. La selección de dichas universidades se ha realizado del siguiente modo:

IS. Intelligent Systems	
IS1.	Fundamental issues in intelligent systems
IS2.	Search and constraint satisfaction
IS3.	Knowledge representation and reasoning
IS4.	Advanced search
IS5.	Advanced knowledge representation and reasoning
IS6.	Agents
IS7.	Natural language processing
IS8.	Machine learning and neural networks
IS9.	AI planning systems
IS10.	Robotics

Cuadro 1: *Units* en que se organizarían los contenidos de una asignatura sobre SI según el informe [ACM-IEEE, 2001] en un currículo en *Computer Science*. Solo las tres primeras tienen carácter *obligatorio*, el resto sería opcional

Cursos Avanzados sobre SI en [ACM-IEEE, 2001]	
CS361.	Automated Reasoning
CS362.	Knowledge-Based Systems
CS363.	Machine Learning
CS364.	Planning Systems
CS365.	Natural Language Processing
CS366.	Agents
CS367.	Robotics
CS368.	Symbolic Computation
CS369.	Genetic Algorithms

Cuadro 2: Cursos Avanzados sobre SI propuestos en [ACM-IEEE, 2001] para el currículo en *Computer Science*

1. En el caso de las universidades americanas la selección se ha realizado a partir de un interesante estudio que se recoge en [Geist et al., 1996] sobre los programas de enseñanza e investigación en Estados Unidos de América, optando por aquellas que ocupan las posiciones más significativas en la clasificación resultante del estudio. Se han seleccionado un total de 29 universidades americanas. Es importante destacar que la información analizada corresponde a los currícula del curso 98-99.
2. La reducida selección de universidades

europas se ha realizado mediante consultas a Internet. Parte de la búsqueda se ha obtenido a través de la página Web de uno de los libros de texto de SI más avalados actualmente, Artificial Intelligence: A modern approach [Russell and Norvig, 2003], ver sección 8.

Del estudio realizado cabe destacar las siguientes características:

1. La mayoría de las universidades presenta unos currícula en SI muy amplios con una gran cantidad de asignaturas especializadas en temas concretos. Dado que nuestro objetivo final es plantear el contenido de la formación en SI de la titulación de Ingeniero Informático, el análisis de estos currícula nos permitirá obtener unos resultados significativos y útiles para nuestro propósito.
2. Al no disponer del número de créditos asignados a cada asignatura, resulta difícil determinar el nivel de profundidad con el que se abordan los distintos temas. No obstante, es posible extraer unas conclusiones generales sobre los principales temas que se imparten en la mayoría de las universidades.

El cuadro 3 resume los principales contenidos que se imparten en la(s) asignatura(s) de SI de cada una de las universidades 32 Universidades estudiadas. Los números de la primera columna se corresponden con las universidades que se citan seguidamente y en el resto de columnas se recogen los descriptores de diversos conceptos y materias de la SI, la descripción de acrónimos que etiqueta cada columna es la que se da a continuación.

Algunas consideraciones que deben tenerse en cuenta del cuadro 3 son:

1. Los descriptores Representación del Conocimiento y Percepción se han desglosado en otros ítems para contrastar los métodos y aplicaciones de los mismos que se trata en cada Universidad.

2. El descriptor Búsqueda no se ha desglosado en otros ítems más concretos dado que en el total de las universidades se abordan los mismos temas: búsqueda no informada (amplitud, profundidad, bidireccional, estrategias retroactivas, hacia atrás, exploración en grafos) y búsqueda heurística (escalada, mejor-primero, satisfacción de restricciones, A*, admisibilidad). Cabe destacar que en algunos centros se imparte una asignatura previa de Algoritmos y Estructuras de Datos donde se ven parte de los conceptos mencionados anteriormente; no obstante, en la mayoría de las asignaturas se repasa nuevamente los conceptos de búsqueda, dedicando un tema completo a la búsqueda heurística y sus variantes.

3. En el descriptor Razonamiento Aproximado, que no se ha desglosado, intervienen distintos tipos de razonamiento sobre incertidumbre según la universidad: probabilístico, difuso, factores de certidumbre, modelo evidencial, etc.

4. El descriptor Aprendizaje no se ha desglosado ya que en la mayoría de asignaturas donde se contempla este tema se propone una perspectiva general de los distintos tipos de aprendizaje (modelos inductivos, árboles de decisión, memorístico, por analogía, por descubrimiento, basado en explicaciones, con macro-operadores, redes neuronales). La casi totalidad de las universidades estudiadas abordan el aprendizaje inductivo y uno o varios paradigmas adicionales.

En la última fila del cuadro 3 se proporciona el porcentaje en que cada descriptor aparece en el conjunto de Universidad analizadas. Las conclusiones generales que se han obtenido de dicho estudio son las siguientes:

1. Los descriptores Representación del Conocimiento, Búsqueda en espacios de estados y Búsqueda heurística aparecen en las asignaturas básicas de SI de todas las universidades estudiadas.

2. Los descriptores Agentes/Sistemas Multiagente, Percepción y Visión, Planificación y Procesamiento de Lenguaje Natural, se cubren en más de 60% de las universidades, tanto en cursos básicos como avanzado.
3. Los descriptores Aprendizaje, Ingeniería del Conocimiento, Redes Neuronales y Robótica se cubren en aproximadamente el 50% de las universidades, mediante cursos básicos o en niveles avanzados.
4. Los descriptores Juegos, Razonamiento aproximado y Razonamiento no Monótono y Redes de Creencias, son tratados aproximadamente en el 25% de las Universidades analizadas.
5. El resto de descriptores aparecen en menos de un 20% de las Universidades estudiadas, en distinta proporción tal como se puede observar en el cuadro 3.

En función de los resultados obtenidos, y tras el análisis de los currícula de otras instituciones, se obtendrán unas conclusiones generales sobre los temas que deben cubrirse en la formación en SI y se justificará así la docencia de SI en los Planes de Estudio de Ingeniero Informático.

Conclusiones

A raíz de los datos expuestos en los apartados anteriores, se pueden extraer las siguientes conclusiones sobre cuáles deberían ser los contenidos de la materia de SI atendiendo a lo que se imparte en este grupo de prestigiosas universidades.

1. Parece existir un consenso casi generalizado en que la Resolución de Problemas mediante técnicas de búsqueda y representación del conocimiento deberían abordarse en cualquier curso introductorio de SI.
2. Respecto al resto de descriptores, como se ha podido comprobar, los resultados son muy variables en función de la Universidad, del número de créditos de la asignatura y de la oferta de asignaturas optativas. Como resultado del análisis realizado,

el resto de materias las clasificaríamos en los siguientes niveles de prioridad:

Nivel 1: Agentes/Sistemas Multiagente, Percepción y Visión, Planificación y Procesamiento de Lenguaje Natural, Aprendizaje, Ingeniería del Conocimiento.

Nivel 2: Redes Neuronales, Robótica, Razonamiento Aproximado.

Nivel 3: Juegos, Razonamiento no Monótono.

Nivel 4: Reconocimiento de Formas, Razonamiento Temporal, Demostración Automática de Teoremas.

Nivel 5: El resto de descriptores.

3. Los Sistemas Inteligentes en los Planes de Investigación

En esta sección hacemos un recorrido por tres ámbitos de investigación: Plan Nacional de TIN, Séptimo Programa Marco de la Unión Europea, y las Empresas en España. El objetivo es situar el papel que juegan en estos contextos los SI.

3.1. Plan Nacional de TIN

El Programa Nacional de Tecnologías Informáticas (TIN) es el vehículo que utiliza el Ministerio de Educación y Ciencia para fomentar la investigación, básica y aplicada, el desarrollo y la innovación tecnológica en todos los campos científicos y tecnológicos que en los últimos años han ido conformando la amplia disciplina de la Informática [MEC, 2007b]. En este programa se establecen como prioritarias las 7 áreas o líneas más relevantes por su importancia investigadora y su potencial aplicación industrial y social. Estas áreas son las que se recogen en el Cuadro 4.

El peso que tienen estas 7 líneas prioritarias no es uniforme. El Cuadro 5 recoge los porcentajes de proyectos solicitados y concedidos por el Plan Nacional de TIN en las convocatorias de 2004, 2005 y 2006 [MEC, 2007b]. Por ejemplo, cabe destacar que la línea de Sistemas Inteligentes es en la que se solicita un

Líneas Prioritarias del Plan Nacional de TIN	
Ingeniería de software	(IS)
Tecnologías de soporte y desarrollo de software	(TSDS)
Sistemas inteligentes	(SI)
Gestión de información	(GI)
Interfaces avanzadas	(IF)
Sistemas distribuidos y abiertos	(SDA)
Computación y almacenamiento de altas prestaciones	(CAP)

Cuadro 4: Líneas prioritarias del Programa Nacional de Tecnologías Informáticas (TIN)

mayor número de proyectos: aproximadamente un tercio. Además, en las dos últimas convocatorias, esta línea es la que ha obtenido un mayor porcentaje de proyectos concedidos: por encima del 40 %. La financiación obtenida en la convocatoria de 2004 fue de un 32 % del total; porcentaje que subió hasta el 34 % en la convocatoria del 2006.

Sin embargo, la clasificación de los proyectos en líneas prioritarias no puede considerarse exclusiva. Por ejemplo, en la convocatoria de 2006, de los proyectos aprobados, una gran parte tienen como temática central el desarrollo de sistemas dotados explícitamente de componentes de Inteligencia Artificial. En el Cuadro 6 se hace un recuento de esos proyectos según estimación de los autores de este artículo realizada a partir de la información publicada por el Ministerio. El resultado es que tienen una fuerte componente de SI casi los 2/3 de los 132 proyectos aprobados en 2006; proyectos que fueron financiados con el 58,1 % del presupuesto disponible.

3.2. Programa sobre *Information and Communication Technologies (ICT)* de la Unión Europea

Dentro del Séptimo Programa Marco (*FP7*) de la Unión Europea, el Programa de Trabajo para el 2007-08 sobre Tecnologías de la Información y Comunicaciones (*ICT: Information and Communication Technologies*) [EUROPEAN-COMMISSION, 2007] establece 7 retos (*challenges*). Explícitamente se reco-

noce que estos retos identifican las direcciones que tienen un alto potencial de propiciar un gran paso adelante y ser los fundamentos de las innovaciones de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones (*ICT*) del mañana. A continuación repasamos los contenidos de SI que se describen en este documento en cada uno de los retos.

Infraestructuras de redes y servicios fiables y de amplia difusión. Se busca definir las redes del futuro que deberían ser capaces de permitir la distribución inteligente de servicios. Entre estos servicios deberá encontrarse la búsqueda y recuperación inteligente de documentos multimedia, con interfaces inteligentes e intuitivos que faciliten su manejo tanto por profesionales como por no profesionales.

Sistemas cognitivos, interacción, robótica. Se trata del reto más directamente vinculado a los sistemas inteligentes. Todos los objetivos de este reto pueden considerarse parte de los SI.

Componentes, sistemas, ingeniería. Pretende incluir inteligencia en componentes y sistemas que deben ser los factores clave para revolucionar muchas aplicaciones entre otros en campos como la salud, seguridad, transporte, o el desarrollo sostenible con relación al medio ambiente. Se pretende mejorar los procesos productivos de las empresas y la logística. Explícitamente se plantea la investigación para construir sensores y dispositivos inteligentes tanto para comunicaciones como para el manejo de datos.

Bibliotecas y contenidos digitales. Subraya la necesidad de contar con tecnologías eficientes para la manejar conocimiento tanto en la creación, manejo, mantenimiento, captura, así como para permitir compartirlo y rehusarlo.

Cuidados sanitarios personalizados y sostenibles. Necesitarán sistemas inteligentes que combinen y correlacionen

datos personales con conocimiento experto biomédico. Estos sistemas deberán permitir tanto predecir riesgos como sugerir diagnósticos personalizados. En este apartado se incluye el estudio del material genético para descubrir predisposiciones a enfermedades a partir de los datos que, por ejemplo, se recogen en las expresiones genéticas de los microarrays.

Movilidad, sostenibilidad medio ambiental y eficiencia energética. Se espera una importante contribución al proyecto comunitario del *coche inteligente* dentro de la iniciativa *i2010*.

Tecnologías para la inclusión y vida independiente de colectivos con alguna dificultad debida a enfermedades o una edad avanzada. Los SI jugarán un importante papel en ello.

3.3. Investigación en las Empresas

El Informe de la Fundación COTEC 2007 sobre Tecnología e Innovación en España [COTEC, 2007] recoge un análisis de la innovación en el contexto de la UE y de la OCDE. Estudia los esfuerzos económicos en I+D+i y sus rendimientos tanto por las administraciones públicas como por las empresas.

Las conclusiones fundamentales son dos. Por una parte se insiste, apoyándose en numerosos datos, en que los países que se sitúan en los primeros puestos en los rankings de la productividad y que, por eso, están considerados como los más avanzados en su desarrollo industrial, son también los países que lideran el proceso de renovación permanente de las tecnologías utilizadas por su sistema productivo. La consecuencia es que para que se pueda evolucionar de manera positiva en la economía global, es indispensable que se sea también capaz de adoptar innovaciones tecnológicas que permitan reducir costes con nuevos procesos o responder a demandas del mercado con nuevos productos.

La segunda conclusión importante para este artículo es que considera que el año 2007 marca el comienzo de un ciclo que será clave para

el desarrollo tecnológico de nuestras empresas. La razón es que ahora arranca el Séptimo Programa Marco que, integrado en las perspectivas financieras de la Unión Europea, determinará la actividad y las políticas comunitarias de I+D+i hasta 2013.

Para poder afrontar estos retos y aprovechar las oportunidades, según el informe COTEC, España y sus empresas se esfuerzan en mejorar el funcionamiento del sistema nacional de innovación, lastrado por una escasa tradición investigadora, incapaz todavía de abastecer en desarrollos tecnológicos avanzados la demanda potencial de los sectores productivos, que siguen optando por la adopción de tecnologías de origen extranjero.

Los instrumentos políticos puestos en marcha para superar esta situación son los Planes Nacionales de Investigación (repassados en lo que nos concierne en la sección 3.1), el propio Programa Marco europeo (ver sección 3.2) y el Programa Ingenio 2010.

El *Programa Ingenio 2010* fue presentado por el Gobierno español en junio de 2005 como un compromiso que pretende involucrar al Estado, la empresa, la universidad y otros organismos públicos de investigación en un esfuerzo decidido por alcanzar en este terreno el nivel que corresponde a España por su peso económico y político en Europa, siendo la inversión en I+D+i la clave para mantener y aumentar el crecimiento, la productividad de las empresas, la competitividad de la economía y el bienestar de la sociedad.

Uno de los objetivos de Ingenio 2010 es consolidar grupos líderes de investigación. Un instrumento fundamental para ello es el programa CONSOLIDER que busca aumentar la cooperación entre investigadores en torno a proyectos de consorcios líderes e instalaciones singulares y movilizará 1.500 millones de euros en cuatro años. En lo que se refiere a Tecnologías Informáticas, en este momento hay 4 proyectos CONSOLIDER aprobados: dos de ellos corresponde a la línea prioritaria *Computación y Almacenamiento de Altas Prestaciones (CAP)* (tienen por título 'Arquitecturas fiables y de altas prestaciones para centros de proceso de datos y servidores de Internet' (2006) y 'Super-

computación y eCiencia' (2007), los otros dos están integrados en los Sistemas Inteligentes y sus títulos son 'Interacción Multimodal en Reconocimiento de Formas y Visión Artificial' (2007) y 'Tecnologías del Acuerdo' (2007).

4. Contenidos Propuestos

Las secciones anteriores nos han permitido perfilar el contexto de nuestra propuesta. En primer lugar condensaremos los argumentos sobre investigación y docencia en SI en una lista de materias en las que creemos se deben formar los alumnos de Ingeniería Informática. La segunda subsección detalla la propuesta con una pormenorizada relación de contenidos para una asignatura básica sobre SI.

4.1. Conclusiones de las secciones anteriores

Hemos visto que en los planes de investigación tanto nacionales como europeos, las líneas estratégicas de futuro sobre las Tecnologías Informática pasan por la incorporación de procesos inteligentes. Será pues necesario formar a los profesionales que llevarán a cabo esa tarea clave. No solo para disponer de investigadores académicos que llenen nuestros centros de investigación, sino también para que las industrias puedan dar a sus productos una ventaja competitiva.

Pero ¿cuáles son las líneas claves sobre las que se han de construir los futuros procesos y servicios inteligentes? A continuación resumimos nuestra respuesta.

Gestión de grandes cantidades de información. Esta necesidad aparece por todas partes identificada como uno de los retos fundamentales de estos tiempos. Veamos algunos casos representativos:

- Cada vez más se identifica la informática con la web, una nueva web que se está construyendo de manera diferente. Tanto la creación como la recuperación de información requieren herramientas inteligentes.

- El descubrimiento de la vinculación de la información genómica con funciones biológicas relevantes para la salud o la producción de alimentos.

La gestión de fondos documentales (de la web o de una organización) necesita *búsquedas inteligentes* y personalizadas, *sistemas de recomendación*, *métodos de recuperación y ranking inteligentes*. Por otra parte, la Bioinformática se apoya fundamentalmente en la *minería de datos*.

Sistemas Distribuidos. Como se cita en el apartado anterior cada vez más las aplicaciones informáticas están en la red, se trata de sistemas distribuidos, donde emerge un nuevo paradigma para la próxima generación de sistemas distribuidos en el que la autonomía, interacción, movilidad y apertura son las características que el paradigma cubrirá desde una perspectiva teórica y práctica. La alineación semántica, la negociación, la argumentación, las organizaciones virtuales, el aprendizaje, el tiempo real, y varias otras tecnologías serán el utillaje para definir, especificar y verificar tales sistemas.

Comunicaciones más eficientes. Interfaces para acercar a más personas a las herramientas informáticas. La sociedad europea tiene un sector de personas mayores cada vez más numeroso. Además, las diferencias idiomáticas y el fenómeno de la inmigración ponen de manifiesto la necesidad de atender a una sociedad fuertemente multicultural. Las herramientas en este caso pasan por la incorporación y el desarrollo de sistemas de *lenguaje natural*, *reconocimiento de imágenes* y también del desarrollo de algún elemento de *inteligencia artificial emocional*.

Ubicuidad de los dispositivos informáticos. Cada vez más pequeños, numerosos y con mayores prestaciones. Desde el punto de vista de los SI el reto está en la robótica con sistemas de *planificación* más eficaces

Contenidos propuestos para una asignatura sobre SI
5 % Presentación de la asignatura
10 % Representación del Conocimiento. Resolución de Problemas
10 % Razonamiento: Lógica. Razonamiento incierto
10 % Planificación
10 % Búsqueda
15 % Aprendizaje Automático
15 % Agentes: Conceptos y Arquitecturas. Filtros colaborativos
25 % Aplicaciones: Lenguaje natural (incluye web). Percepción (incluye visión). La aplicación de referencia en la Universidad correspondiente

Cuadro 7: Distribución porcentual de los temas propuestos para cubrir una asignatura básica sobre Sistemas Inteligentes en la titulación de Grado en Ingeniería Informática

y eficientes, y las herramientas de *inteligencia distribuida*.

Saltos cualitativos en las herramientas informáticas *convencionales*. Tanto sistemas de apoyo a la producción industrial como a la medicina o la ciencia en general. Estos saltos deberán incluir sistemas inteligentes que no es fácil precisar, pero que requerirán una sólida formación de los Ingenieros Informáticos que los diseñen e implementen.

4.2. Detalles de la propuesta

Los contenidos que proponemos son los que se indican en el Cuadro 7. Para evitar ajustarse a un número concreto de créditos y teniendo en cuenta que éstos pueden ser diferentes en las distintas universidades, damos un porcentaje como medida del peso de cada uno de los epígrafes que proponemos, aunque se considere que el mínimo de créditos necesario para tratar estos temas con rigor serían 12.

La propuesta comienza con un tema de *presentación de la asignatura*. Además de alentar al alumno con las aplicaciones que se pueden construir, el objetivo de este tema es discu-

tir algunas reflexiones filosóficas y éticas sobre la materia. Este es un punto interesante en el currículo del alumno pues no será habitual en su formación que los contenidos que estudia sean objeto de controversias filosóficas y éticas, salvo alguna cuestión sobre la protección de datos y el derecho a la privacidad. En este caso, el que las máquinas puedan adoptar comportamientos inteligentes, por sí mismo, ha sido objeto de acalorados debates en distintos ámbitos. Esta cuestión además de un interés histórico, tiene vigencia pues algunas aplicaciones de los SI pueden rozar temas que algunas personas se resisten a aceptar que puedan ser objeto de manipulación computacional.

El segundo tema trata de la *representación del conocimiento*, la materia con la que se tejen los SI. Los distintos paradigmas de representación y el papel que juega la representación del conocimiento en la *resolución de problemas* son el objetivo de este tema.

El siguiente tema trata del *razonamiento*. Es un tema clásico en las asignaturas sobre SI, pues todo el mundo acepta que el razonamiento es una habilidad relacionada con el comportamiento inteligente. Lo que aquí proponemos es pasar por alto los detalles técnicos de la Lógica para destacar la relevancia histórica que tuvo y tiene el hecho de que se haya podido mecanizar con ciertas limitaciones. El núcleo del tema estaría en presentar el razonamiento incierto como una extensión de la Lógica y de la Estadística o de los conjuntos difusos.

El siguiente tema sería el de *planificación*. El situarlo tras el tema de razonamiento tiene como objetivo hacer ver al alumno que la planificación es un campo de aplicación del razonamiento, aunque con un carácter constructivo: el planificador ha de encontrar una secuencia de acciones que, entendidas como argumentos de un razonamiento, concluyen con la consecución de un objetivo. Este planteamiento nos permite, precisamente, motivar el tema siguiente en el que se estudia la *búsqueda*. El enfoque en este caso es el de resolver un problema de optimización. Los métodos de búsqueda, dependiendo del tiempo disponible, pueden incluir los clásicos de búsqueda en gra-

fos y los genéticos y sus variantes como, por ejemplo, los algoritmos de estimación de distribuciones (EDAs).

El curso continúa con otro problema de optimización, el *aprendizaje automático*. Se trataría de que los alumnos incorporen entre sus destrezas la creación de conocimiento mediante la inducción. Este concepto fundamental puede ilustrarse con la presentación de algunos sistemas de aprendizaje paradigmáticos como el vecino más próximo, algún inductor de árboles de decisión y algún separador lineal. Pero la clave será hacer ver a los alumnos cómo se evalúan estos sistemas para garantizar la eficacia de lo aprendido en las aplicaciones. Si el tiempo lo permite se debería ver algún sistema de regresión y otro de clustering.

Los recientes avances tecnológicos (internet, world wide web, ecommerce, etc...) han impulsado la aparición de un nuevo paradigma de programación: *computing as interaction*. Este paradigma propone básicamente resolver los problemas de computación mediante la comunicación entre entidades computacionales [Luck et al., 2005]. La tecnología de los sistemas multiagente resulta muy adecuada para este nuevo paradigma. Es más, las organizaciones de agentes dinámicas que son capaces de adaptarse a su entorno cambiante están tomando cada vez más relevancia. Además los factores sociales en la organización de los sistemas multiagente tienen gran importancia a la hora de estructurar las interacciones de las entidades en los entornos abiertos y dinámicos [Argente et al., 2006].

Los *sistemas multiagente* (SMA) son sistemas compuestos por múltiples elementos computacionales que interactúan entre sí, los llamados agentes. Aunque los SMA son una tecnología bastante reciente, el interés por este campo ha crecido enormemente en los últimos años. Este rápido crecimiento se debe en parte a que los agentes resultan ser un paradigma muy apropiado para explotar las oportunidades que nos ofrecen los sistemas abiertos masivos como Internet. Esta tecnología, propone un nuevo paradigma para la próxima generación de sistemas distribuidos. La autonomía, interacción, movilidad y apertura son las ca-

racterísticas que el paradigma cubrirá desde una perspectiva teórica y práctica. La alineación semántica, la negociación, la argumentación, las organizaciones virtuales, el aprendizaje, el tiempo real, y varias otras tecnologías serán el utillaje para definir, especificar y verificar tales sistemas. El nuevo paradigma estará estructurado alrededor del concepto de acuerdo entre entidades computacionales.

Los *filtros colaborativos* son un caso particular de sistema de recomendación. En estos sistemas al usuario de un sistema de información (normalmente a través de la web) se le sugiere algún producto que pretende ajustarse a sus gustos o necesidades. En los filtros colaborativos los productos se describen con las valoraciones que han dado sobre ellos otros usuarios. La reacción del usuario frente a los productos que se le sugieren se convierten en valoraciones que pasan a formar parte de la descripción de los productos. De esta forma, todos los usuarios *colaboran* en la construcción de un sistema de recomendación a la vez que lo usan.

Aplicaciones es el tema más importante de la propuesta, no solo en términos del tiempo que se le dedica, sino también en el sentido de que es el colofón del curso al que conducen los temas anteriores. Creemos que, necesariamente, entre estas aplicaciones deben incluirse el procesamiento del *lenguaje natural* y la *visión*. Pero también creemos que es muy importante dejar un hueco razonable para que la investigación que se hace en cada Universidad tenga su cabida. La especialidad del grupo local de investigación en SI quedará perfectamente cubierta al ser presentada por quien la está haciendo y servirá para motivar a los alumnos a que continúen estudiando más asignaturas especializadas sobre SI.

5. Algunas Consideraciones Docentes

El MEC publicó en 2006 un documento sobre propuestas para la renovación de las metodologías educativas de cara al EEES: [MEC, 2006]. En este documento se destacan como recomendaciones fundamentales, desde

el punto de vista didáctico, las siguientes:

- Es preciso aproximar más los estudios universitarios al ejercicio profesional, potenciando la dimensión práctica de la enseñanza.
- Debemos aproximarnos a los planteamientos didácticos que subyacen al EEES: dar mayor protagonismo al estudiante en su formación, fomentar el trabajo colaborativo, organizar la enseñanza en función de las competencias que se deban adquirir, potenciar la adquisición de herramientas de aprendizaje autónomo y permanente.

En lo que se refiere específicamente a los estudios Técnicos, se dice que se considera necesario:

- El uso de metodologías más activas y motivadoras, que permitan la adquisición de otras capacidades además de las directamente vinculadas al conocimiento científico-técnico de la profesión.
- La redefinición profunda de los planes de estudios, fijando objetivos finales acordes con el entorno socioeconómico y perfiles de ingreso acordes con las enseñanzas preuniversitarias, diseñando los contenidos y metodologías de acuerdo a ellos.

Además de las consideraciones generales que han de aplicarse en todas las asignaturas, en las que no entraremos aquí, en lo que se refiere a la asignatura básica sobre SI detallada en la sección 4.2, creemos que se deben potenciar las prácticas. Esto no significa que se deba asignar a los alumnos muchas tareas de programación relacionadas con SI. Creemos que se debe hacer uso intensivo de prototipos de los temas del Cuadro 7 que están disponibles para muchas plataformas. El objetivo que se debe perseguir es que el alumno gane experiencia en la utilización de los conceptos que se plasman en prototipos, no en su eventual programación.

6. Optativas en el Grado

Como en el caso de las recomendaciones de ACM e IEEE (sección 2.1), la lista de las op-

tativas que proponemos coincide en buena medida con los temas de la asignatura básica (sección 4.2). En concreto en el Cuadro 8 aparecen ordenadas alfabéticamente las optativas que proponemos. Los contenidos de estas optativas se solapan en muchos casos, por ello un Plan de Estudios en Ingeniería Informática debería realizar una cuidadosa selección teniendo en cuenta el contexto académico e industrial.

Almacenes y Minería de Datos, el objetivo general de la materia es proporcionar la formación necesaria para el diseño y la construcción de sistemas de información de apoyo a la toma de decisiones (sistemas de almacenes de datos) así como el estudio de técnicas de minería de datos adecuadas para la extracción de conocimiento útil para el análisis de datos y la toma de decisiones.

Aprendizaje Automático, el objetivo de la materia es introducir los distintos paradigmas del aprendizaje automático. Mostrar aquellos resultados teóricos, herramientas y aplicaciones más interesantes basados en los anteriores paradigmas.

Lingüística Computacional cuyo objetivo es introducir el procesamiento del lenguaje natural. Estudiar los problemas de ambigüedad y las principales soluciones desde el punto de vista lingüístico y estadístico.

Métodos basados en Núcleos (Kernels), una optativa para explicar técnicas de última generación en adquisición de conocimiento como son las Máquinas de Vectores Soporte (SVM en inglés). La asignatura debe incluir tanto inductores de clasificadores como regresión y el clustering; además deberían verse algunas técnicas para la selección atributos.

Sistemas Multiagente, el objetivo de la materia es el conocimiento del concepto de agente y de las principales teorías modelos, así como las diversas arquitecturas de sistemas multiagente y las aplicaciones más relevantes de los mismos.

Técnicas de Búsqueda Inteligente, se estudiarían técnicas de búsqueda en SI y se desarrollarían y evaluarían heurísticas apropiadas para diversos tipos de problemas.

Visión Artificial, en esta materia se presentaría la problemática general de la visión por

Optativas propuestas
Almacenes y Minería de Datos
Aprendizaje Automático
Lingüística Computacional
Métodos basados en Núcleos
Sistemas Multigente
Técnicas de Búsqueda Inteligente
Visión Artificial
El tema de experiencia del grupo de investigación local

Cuadro 8: Lista alfabética de optativas propuestas para la titulación de Grado en Ingeniería Informática

computador. Se estudiarían las características más relevantes de los elementos de un sistema de visión: captadores, sistemas de digitalización y sistema de análisis. El objetivo sería tanto el utilizar técnicas fundamentales de proceso y de análisis de imágenes, como el desarrollo de sistemas prácticos utilizables en aplicaciones industriales.

Investigación local, como en los contenidos de la asignatura básica, volvemos a insistir aquí en la conveniencia de dar cabida a la experiencia del grupo local de investigación. Es otra manera de utilizar adecuadamente el contexto de un Plan de Estudios.

7. Extensiones al Grado

Los nuevos estudios de postgrado además de dar continuidad a los actuales programas de doctorado, se espera que ofrezcan una formación *intermedia* entre el actual (y, sobre todo, futuro) grado y el doctorado. En los últimos años se viene observando una creciente demanda por este tipo de formación de orientación profesional, que se corresponde con la denominación **Máster**. Son cada vez más las empresas del sector de las tecnologías de la información que precisan especialistas en materias nuevas que por su naturaleza no tienen cabida en los programas de grado. Algunos ejemplos: agentes inteligentes, procesado de textos en lenguaje natural, reconocimiento del habla, traducción automática, etc.

En el cuadro 9 se detallan los Masters oficia-

les sobre Sistemas Inteligentes aprobados en la actualidad, además podemos encontrar diversos Masters no específicos de Sistemas Inteligentes, donde también se imparten materias relacionadas con los SI.

Dada su naturaleza innovadora y cambiante, las materias relacionadas con los Sistemas Inteligentes solo pueden impartirse de manera muy superficial en programas de grado. Además, el desarrollo de sistemas y productos con base a estas tecnologías suele requerir elevadas dosis de ingenio y conocimiento de los avances en materia de investigación, lo que aproxima la demanda formativa a la formación investigadora propia de un doctorado.

Para dar respuesta a estas necesidades complementarias se propone a continuación un conjunto de materias con una estructura flexible que permita un elevado solapamiento entre distintas vertientes formativas. Esta lista no es exhaustiva, y podría completarse con otras materias en las que cada Universidad pueda aportar experiencia.

Agentes de Información y Web Semántica, el objetivo de la materia es emplear las herramientas disponibles para la generación de ontologías. Conocer los fundamentos de la Web Semántica. Aplicar las técnicas elementales de Minería en la Web. Analizar la arquitectura de los agentes inteligentes de información. Reconocer los modelos de coordinación para agentes de información.

Extracción del Conocimiento, el objetivo de esta materia es presentar diversas técnicas del aprendizaje inductivo para la extracción de conocimiento en bases de datos. Presentar y estudiar algunas de las técnicas empleadas en la Minería Web. Analizar algunas aplicaciones de la extracción de conocimiento en el área de la Ingeniería del software: prueba de programas, síntesis inductiva, etc.

Ingeniería del Conocimiento cuyos objetivos serían aprender los conceptos básicos de la Ingeniería en el Conocimiento, así como su metodología de desarrollo y aplicarla a casos concretos. Conocer un entorno de desarrollo de Sistemas Basados en el Conocimiento y aplicar la metodología de Sistemas Basados en el Conocimiento a casos concretos.

Ingeniería de Sistemas Multiagente, el objetivo principal de esta materia se centraría en conocer las técnicas existentes para el desarrollo, implementación e implantación de sistemas multiagente. Para ello se estudiarían las metodologías existentes y las aproximaciones más importantes para abordar la construcción de aspectos como interacciones, organización y arquitecturas de agentes.

Reconocimiento de Formas, donde se introducirá el reconocimiento de formas y sus principales aplicaciones. Formación básica en modelos estadísticos y sintáctico-estocásticos de clasificación. Presentar y aplicar herramientas actuales de reconocimiento de formas.

Métodos Estadísticos en Tecnologías del Lenguaje, en esta materia se introducirían los métodos estadísticos y su aplicación en las tecnologías del lenguaje. Proporcionar formación en métodos estocásticos para el modelado del lenguaje así como en la interpretación y estimación de los mismos.

Planificación, Scheduling y Robótica, esta materia tendría como objetivo aprender a integrar los sistemas de planificación con los sistemas de scheduling. Conocer técnicas para la planificación con restricciones temporales y de recursos. Aplicarlos a problemas concretos para la planificación de acciones de robots.

Reconocimiento Automático del Habla, el objetivo sería aprender los fundamentos de los sistemas de Reconocimiento Automático del Habla (preproceso y parametrización de la voz, modelos acústicos y de lenguaje), así como familiarizarse en distintas aplicaciones (comprensión, sistemas de diálogo, generación de texto y síntesis, identificación del locutor, etc.)

Reconocimiento de Escritura e Imágenes, que tendría como objetivo presentar los problemas de procesado de imágenes, reconocimiento de formas y tecnología del lenguaje asociados al reconocimiento de texto impreso y manuscrito, así como las tecnologías disponibles para su solución. Se presentarán los conceptos y técnicas básicas del procesado de imágenes.

Técnicas de Planificación en Inteligencia Artificial, en esta materia se introducirían las distintas técnicas de resolución de problemas

de planificación en SI hasta los planificadores más actuales que se presentan en las Competiciones Internacionales de Planificación. Se aplicarían estas técnicas a diversas áreas como logística, robótica, planificación de situaciones de emergencia, aplicaciones espaciales, juegos etc.

8. Bibliografía comentada

A continuación comentamos la bibliografía docente que consideramos más útil para impartir tanto la asignatura básica descrita en la sección 4.2 como las optativas de la sección 6.

El libro [Russell and Norvig, 2003] (titulado *Inteligencia Artificial. Un enfoque moderno*) es el manual sobre SI más utilizado. De él pueden extraerse varios cursos y, desde luego, la mayor parte de la propuesta del Cuadro 7. Es de destacar que asociado a este libro hay una página web (<http://aima.cs.berkeley.edu>) que contiene una gran cantidad de información que resulta muy útil tanto para profesores como para alumnos. En esta información se incluye software en varios lenguajes y plataformas junto con transparencias para usar en las clases. Este texto cubre adecuadamente los contenidos de la asignatura básica propuesta y también los de las asignaturas optativas Aprendizaje, Lingüística Computacional, Visión Artificial y Técnicas de Búsqueda Inteligente, y también resulta adecuada para algunos de los contenidos de asignaturas de Máster.

Para los temas o las asignaturas optativas sobre Minería de Datos o Aprendizaje Automático, cabe destacar dos obras recientes publicadas por colectivos españoles que trabajan en estos campos. La primera en aparecer fue [Orallo et al., 2005] titulada *Introducción a la minería de datos* y que está coordinada por J. H. Orallo, M. J. R. Quintana y C. F. Ramírez. Un año después apareció [Sierra, 2006] (*Aprendizaje Automático Conceptos Básicos y Avanzados. Aspectos prácticos utilizando el software WEKA*) en este caso, el libro está editado por B. Sierra. Una referencia internacional en esta materia que resulta obligada es el libro [Witten and Frank, 2005] de los autores del

software WEKA, que es el más utilizado en los cursos de esta materia en todo el mundo e incluso en muchos centros de investigación en este área.

Para las materias de Agentes/Sistemas Multiagente, podemos recomendar un texto fruto de la colaboración de una parte importante de grupos de investigación que trabajan en el área [Mas, 2005] titulada *Agentes Software y Sistemas Multiagente: Conceptos, Arquitectura y Aplicaciones*. Esta obra está dirigida en primer lugar, a los alumnos de grado y de postgrado que cursen en las universidades españolas e iberoamericanas alguna asignatura relacionada. Pero no solo a ellos; también se busca proporcionar a los profesionales una “guía de campo” que les permita introducirse y tener un primer contacto con estas tecnologías. El libro se estructura en seis capítulos. El primero constituye una introducción general –conceptual e histórica– al mundo de los agentes software. En los capítulos 2, 3 y 4 se ha intentado presentar una visión suficientemente completa de los fundamentos de los agentes y sistemas multiagente (modelos, arquitecturas, comunicación y cooperación). El capítulo 5 se consagra a los aspectos relacionados con la ingeniería del software. Por último, en el extenso capítulo 6 se presentan, agrupados por campos de aplicación, algunos casos reales y exitosos de aplicaciones de los agentes al mundo real.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a la Asociación Española para la Inteligencia Artificial (AEPIA) el apoyo prestado para la elaboración y presentación de este artículo.

Referencias

- [ACM-IEEE, 2001] ACM-IEEE (2001). Computing Curricula 2001, Computer Science. *The Joint Task Force on Computing Curricula, IEEE Computer Society Press and ACM Press*, <http://www.acm.org/education/curricula.html>.
- [ACM-IEEE, 2005] ACM-IEEE (2005). Computing Curricula 2005. The Overview Report. <http://www.acm.org/education/curricula.html>.
- [ANECA, 2005] ANECA (2005). El Libro Blanco de la Titulación de Ingeniería Informática. http://www.aneca.es/activin/docs/libro_blanco_jun05_informatica.pdf.
- [Argente et al., 2006] Argente, E., Julian, V., and Botti, V. (2006). Multiagent system development based on organizations. *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*, 150:55–71.
- [COTEC, 2007] COTEC (2007). Informe Cotec 2007 sobre Tecnología e Innovación en España. *Fundación COTEC para la Innovación Tecnológica*.
- [EUROPEAN-COMMISSION, 2007] EUROPEAN-COMMISSION (2007). ICT - Information and Communication Technologies. Work Programme 2007-08. <ftp://ftp.cordis.lu/pub/fp7/ict/docs/ict-wp-2007-08-en.pdf>.
- [Geist et al., 1996] Geist, R., Chetuparambil, M., Hedetniemi, S., and Turner, A. (1996). Computing Research Programs in the U.S. *Communications of the ACM*, 39(12):96–99.
- [Luck et al., 2005] Luck, M., McBurney, P., Shehory, O., and Willmott, S. (2005). *Agent Technology: Computing as Interaction (A Roadmap for Agent Based Computing)*. Agentlink.
- [Mas, 2005] Mas, A. (2005). *Agentes software y sistemas multiagente: conceptos, arquitecturas y aplicaciones*. Prentice Hall.
- [MEC, 2006] MEC (2006). *Propuestas para la Renovación de las Metodologías Educativas en la Universidad*. Secretaría de Estado de Universidades e Investigación.
- [MEC, 2007a] MEC (2007a). El Espacio Europeo de Educación Superior (EEES). <http://www.mec.es/universidades/ees>.

- [MEC, 2007b] MEC (2007b). Información del Programa Nacional de Tecnologías Informáticas (TIN). <https://cv.mec.es/programas/tin>.
- [Orallo et al., 2005] Orallo, J. H., Quintana, M. R., and Ramírez, C. F., editors (2005). *Introducción a la minería de datos*. Pearson Prentice Hall.
- [Russell and Norvig, 2003] Russell, S. and Norvig, P. (1995 (en Español, 2^a ed. 2003)). *Artificial intelligence: a modern approach (En español: Inteligencia Artificial. Un enfoque moderno)*. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, NJ, USA.
- [Sierra, 2006] Sierra, B., editor (2006). *Aprendizaje Automático Conceptos Básicos y Avanzados. Aspectos prácticos utilizando el software WEKA*. Pearson Educación.
- [Witten and Frank, 2005] Witten, I. H. and Frank, E. (2005). *Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques (Second Edition)*. Morgan Kaufmann.

	AGT	APR	AGE	BUH	DAT	IAD	ICO	IHM	JUE	PRF	PRP	PVI	PLA	PLN	PRR	RAP	RAN	RAT	RCL	RCR	RCE	REN	ROB	
1	x	x	x	x		x			x		x	x	x							x	x	x	x	
2	x	x		x			x			x	x	x		x	x	x				x	x	x		x
3	x	x			x	x							x	x			x			x	x	x	x	x
4		x		x								x		x						x	x	x		x
5		x		x		x	x					x	x							x	x	x	x	x
6	x										x				x	x	x			x	x	x		x
7	x	x	x	x	x		x					x	x				x			x	x	x	x	x
8		x		x			x		x			x	x			x				x	x	x		x
9	x	x		x	x		x	x	x	x			x	x			x	x		x	x	x	x	x
10	x	x		x		x						x		x						x	x	x		
11	x	x		x			x							x						x	x	x		
12				x			x					x		x						x	x	x		
13	x	x		x	x		x					x		x			x	x		x	x	x		
14				x						x										x	x	x		
15	x	x		x			x					x	x	x						x	x	x		x
16	x	x		x			x					x	x			x	x	x		x	x	x	x	x
17				x								x		x		x				x	x	x		x
18		x		x																x	x	x	x	
19	x			x					x			x	x	x		x				x	x	x		x
20				x	x				x			x	x	x			x			x	x	x	x	x
21	x			x			x		x			x								x	x	x	x	x
22	x			x		x	x			x										x	x	x		x
23	x	x		x	x		x		x	x		x	x	x		x		x		x	x	x	x	x
24		x		x			x					x		x						x	x	x		x
25	x			x							x	x	x			x				x	x	x	x	
26	x	x		x								x	x							x	x	x	x	
27	x			x					x	x		x	x	x		x	x	x		x	x	x	x	x
28	x			x			x					x	x	x		x				x	x	x		
29	x	x		x		x	x					x	x	x						x	x	x		
30	x			x									x						x		x	x		
31	x			x									x							x	x	x		
32	x		x	x			x													x	x	x	x	
%	72	56	9	100	18	16	56	3	25	22	12	66	59	59	6	31	25	18	100	100	100	44	47	

1	Universidad de Carnegie-Mellon	AGT	Agentes/Sistemas Multiagente
2	MIT, Cambridge	APR	Aprendizaje
3	Universidad de Maryland, College Park	AGE	Algoritmos Genéticos
4	Universidad de Illinois, Urbana-Champaign	BUH	Búsqueda. Heurística
5	Universidad de Michigan, Ann Arbor	DAT	Demostración Automática de Teoremas. Programación Lógica
6	Universidad de Texas en Austin	IAD	Inteligencia Artificial Distribuida
7	Universidad de Stanford, Palo Alto, California	ICO	Ingeniería del Conocimiento. Sistemas Expertos
8	Universidad de Purdue, West Lafayette	IHM	Interfaces Hombre Máquina
9	Universidad de California, Los Angeles	JUE	Juegos
10	Universidad de Massachusetts, Amherst	PRF	Percepción: Reconocimiento de Formas
11	Universidad de California, Santa Barbara	PRP	Percepción: Reconocimiento de la Palabra
12	Universidad de Ohio, Columbus	PVI	Percepción: Visión
13	Universidad de Washington, Seattle	PLA	Planificación
14	Universidad de Pennsylvania, University Park	ROB	Robótica
15	Instituto de Tecnología de Georgia, Atlanta	PLN	Procesamiento del Lenguaje Natural
16	Universidad de California, Irvine	PRR	Propagación de Restricciones
17	Universidad de Cornell, Ithaca, NY	RAP	Razonamiento Aproximado
18	Universidad de Princeton, NJ	RAN	Razonamiento no Monótono, Mantenimiento de la Razón, Redes de Creencias
19	Universidad de California, Berkeley	RAT	Razonamiento Temporal y Cualitativo
20	Universidad de Nueva York	RCL	Representación del Conocimiento: Basada en el Lógica
21	Universidad Politécnica de Nueva York	RCR	Representación del Conocimiento: Sistemas Basados en Reglas
22	Instituto Tecnológico de Nueva York	RCE	Representación del Conocimiento: Redes Semánticas, Frames
23	Universidad de Illinois, Chicago	REN	Redes Neuronales
24	Universidad de Columbia, Nueva York		
25	Universidad de Yale, New Haven, CT		
26	Universidad de California, Davis		
27	Universidad de Harvard, Cambridge, MA		
28	Universidad SUNY en Albany, NY		
29	Universidad Maryland, Baltimore County		
30	Imperial College, Gran Bretaña		
31	Universidad de Hannover, Alemania		
32	Universidad de Lund, Suecia		

Cuadro 3: Resumen de los currícula en SI de universidades internacionales

	IS	TSDS	SI	GI	IF	SDA	CAP	Total
2004								
Solicitados	10 %	7 %	27 %	7 %	22 %	8 %	19 %	201
Concedidos	10 %	10 %	16 %	10 %	17 %	6 %	31 %	119
2005								
Solicitados	10 %	3 %	38 %	16 %	15 %	11 %	7 %	215
Concedidos	11 %	3 %	42 %	14 %	13 %	12 %	5 %	99
2006								
Solicitados	10 %	7 %	37 %	9 %	16 %	12 %	9 %	210
Concedidos	11 %	9 %	42 %	9 %	13 %	8 %	8 %	132

Cuadro 5: Proyectos solicitados y concedidos por líneas prioritarias del Plan Nacional de TIN, ver Cuadro 4. Los valores de las columnas de las líneas reflejan el porcentaje dentro de las solicitudes o concesiones. La columna de totales expresa el número de proyectos de cada convocatoria

	Total Proyectos TIN	Proyectos SI	Porcentaje
Número	132	85	64,39 %
Financiación (Euros)	14.313.927	8.315.917	58,10 %

Cuadro 6: Proyectos aprobados por el Ministerio de Educación y Ciencia dentro del Plan Nacional de Tecnologías Informáticas (TIN) en la convocatoria de 2006

Universidad	Máster
Universidad Autónoma de Barcelona	Visión por Computador e Inteligencia Artificial
Universidad de Barcelona	Inteligencia Artificial
Universidad de Málaga	Ingeniería del Software e Inteligencia Artificial
Universidad Nacional de Educación a Distancia	Inteligencia Artificial Avanzada
Universidad Politécnica de Cataluña	Inteligencia Artificial
Universidad Politécnica de Madrid	Investigación en Inteligencia Artificial
Universidad Politécnica de Valencia	Inteligencia Artificial, Reconocimiento de Formas e Imagen Digital
Universidad Rovira i Virgili	Inteligencia Artificial

Cuadro 9: Masters oficiales de Sistemas Inteligentes