

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN
A DISTANCIA**

FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES

DEPARTAMENTO DE ORGANIZACIÓN DE EMPRESAS



TESIS DOCTORAL

**E-LEARNING INTELIGENTE: UN INSTRUMENTO
PARA LA FORMACIÓN PERMANENTE**

FERNANDO DE ARRIAGA GÓMEZ
Licenciado en Ciencias Económicas y Empresariales

MADRID, 2012

Dedicado a mis nietos:

Nicolás y Sofía,

*como representantes, muy queridos, de la generación que inicia este
tercer milenio de la era cristiana*

Agradecimientos

Agimus Tibi gratias...

Esta Tesis no hubiera podido nunca convertirse en realidad sin el consejo, la dedicación y el afecto tanto de su Director, el Prof. Dr. D. Eduardo Pérez Gorostegui, como de su Co-Directora, la Prof. Dra. D^a María Romero. A ellos, por tanto, mi más profunda gratitud y sincero reconocimiento por sus continuos desvelos y eficiente ayuda.

También quiero agradecer todo el ánimo, y confianza que me han brindado mis compañeros del Departamento de Matemática Aplicada de la Escuela T. S. de Ingenieros de Telecomunicación. Han sido bastantes, pero quiero representarles a todos en las Prof^{as}. Dras. D^a María Luisa Cuadrado y D^a María Isabel Corcuera, con las que tantos momentos he compartido de temor y de esperanza.

Por último quiero agradecer a mis hijos, Araceli, Fernando, Christine y Javier, tanto su colaboración y paciencia en muchas cuestiones concretas, como la tranquilidad que me han brindado para poder llevar a término este trabajo. Ellos, junto con mis nietos, han sido y siguen siendo el motor de mi existencia.

Madrid, Septiembre 2012

ANTECEDENTES

1. Motivación

Se tiene la impresión de que todo docente está preocupado por el problema de la transmisión de su enseñanza, en definitiva por el aprendizaje del alumno, sin embargo pronto advierte que el proceso o, mejor, el fenómeno del aprendizaje humano, que es clave para la propia supervivencia del individuo y de la especie, dista mucho de ser un proceso claro y regular; en unos se realiza con gran facilidad mientras que en otros es una larga y penosa trayectoria de lucha contra el ambiente y las circunstancias. Tal vez por eso, por la dificultad que entraña su comprensión, resulta más atrayente.

En el caso del autor de esta memoria esa preocupación por el aprendizaje surgió incluso antes de que se realizara su vinculación con la enseñanza, al advertir su importancia y su necesidad universal, y las distintas facilidades que los individuos tienen para adquirir conocimiento y experiencia.

Pero la llama que prendió fuego a una búsqueda permanente por ayudar en el proceso de aprendizaje y mejorar las técnicas de que dispone un alumno para conocer lo constituyó un hecho pionero al que este autor tuvo acceso casualmente. Efectivamente a poco de incorporarse a la Universidad Stanford para realizar trabajos de investigación en el comportamiento reológico de materiales, conoció la existencia de un proyecto, liderado por el Prof. Suppes, especialista en muchas cosas: en lógica matemática, teoría conjuntista y filosofía de la matemática. Sin embargo, el proyecto que dirigía tenía que ver con la enseñanza asistida por ordenador a distancia, para facilitar y ayudar en el aprendizaje a alumnos de escuelas ubicadas en un entorno culturalmente

deprimido. La ayuda que el proyecto prestaba consistía en permitir a alumnos situados a más de cien kilómetros de distancia mediante un conjunto de ordenadores, reforzar sus conocimientos en materias tan básicas como: lenguaje, matemáticas, física, historia y alguna más optativa, autorizados por el ordenador, pero seguidos de cerca por toda la experiencia e interés de la Universidad Stanford y un grupo importante de profesores. El proyecto era toda una aventura científica puesto que la informática del momento, en la que todavía no había nacido el PC, era tremendamente rígida, los sistemas de software no eran abiertos al público general y las líneas de transmisión difíciles de obtener, de mantener y carentes de una fiabilidad suficiente. Además tampoco existía experiencia de cómo implementar funciones tutoriales a distancia que vigilaran y ayudaran al alumno en su aprendizaje. Sin embargo, el objetivo era fabuloso, genial; por primera vez en el mundo entero alguien se interesaba por el aprendizaje de sus semejantes aportando la tecnología del momento, con una fe en ella que posiblemente fuese digna de mejor causa.

A pesar de las enormes dificultades que se presentaron e inconvenientes de todo tipo, incluyendo muchas incomprendiones, el resultado fue un éxito que saltó por encima de las barreras y fronteras. Ya antes de su finalización el sistema público de enseñanza de Nueva York decidió abordar un proyecto similar y encargar su dirección al único que tenía hasta el momento experiencia del tema, al Prof. Suppes de la Universidad Stanford.

El autor de esta memoria nunca participó plenamente en el proyecto, entre otras razones porque el citado Profesor no pertenecía al grupo de investigación en el que yo trabajaba, pero su personalidad de especialista y generalista, y sus logros impactaban en cualquiera que a él se aproximara. Esta experiencia directa, aunque no inmediata, acentuó mi interés por el estudio del aprendizaje en todas sus vertientes, así como las ayudas que a él pudieran

suministrarse, prometiéndome actuar en esa dirección aprovechando las oportunidades que se hicieran presentes.

2. Antecedentes concretos

La motivación expuesta en el apartado anterior no conduce directamente a la investigación que se describe en esta memoria; hubiera sido impensable saltar del contexto del proyecto de Stanford al que aparece aquí. Para llegar a este trabajo ha sido preciso recorrer un largo camino previo.

En primer lugar se desarrolla un interés por la enseñanza asistida por ordenador y e-learning que se concreta en la dirección de 65 proyectos fin de carrera con esa perspectiva, en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación. Esa actividad permitió conocer multitud de entresijos y dificultades que el tema tenía desde todos los puntos de vista tanto teóricos como prácticos, sobre todo porque esos proyectos permitieron que realizáramos multitud de pruebas y de ensayos en circunstancias muy diversas.

En segundo lugar se ha llevado a cabo una actividad investigadora personal muy interesante para el Ministerio de Defensa, el Estado Mayor Conjunto y el Ministerio del Interior. Se trataba de proyectos clasificados todos ellos en los que, dada su novedad, siempre se contemplaba en los mismos una actividad formativa de jefes y oficiales, y por tanto de aprendizaje humano. Por su condición de clasificados (condición ya perdida por el transcurso del tiempo) no ha cabido publicar nada de sus resultados en ningún foro internacional o nacional, pero han supuesto la adquisición de una experiencia insustituible para abordar esta investigación.

En tercer lugar las estancias en el extranjero con ocasión de años sabáticos permitió, ante todo disponer de una tranquilidad no frecuente, al quedar libre de las obligaciones docentes ordinarias, y además conocer y

analizar el panorama internacional en este campo. De ellas quiero destacar, como muy provechosa, la última estancia realizada en la Universidad de California en Berkeley. De todo ello surgió con fuerza la necesidad de adoptar una nueva óptica, distinta de las que se utilizaban hasta el momento, para enfocar los sistemas e-learning inteligentes.

Inmediatamente se comienzan a elaborar trabajos pioneros e intentos, como el realizado con el prototipo PACIOLI, construido ya antes de la aparición de NEOCAMPUS. PACIOLI ha sido un primer esfuerzo dedicado a la contabilidad financiera, germen del prototipo posterior FINANCE. En la construcción de PACIOLI participaron también Profesores de la Universidad Complutense como la Dra. Amparo Cuadrado y el Dr. Javier Sosa, cuya colaboración quiero agradecer afectuosamente desde estas líneas.

A partir de ese momento empiezan a estar claras las ideas sobre el trabajo a realizar.

ÍNDICE DE LA MEMORIA

ANTECEDENTES

1. Motivación	4
2. Antecedentes concretos	6
3. Índice	8

CAPÍTULO I- LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN Y LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

1. Introducción: la postmodernidad	16
2. La sociedad de la información y la sociedad del conocimiento	17
3. La formación continua y su situación en España	21
4. Informática educativa, e-learning y sus avances actuales	21
5. La inteligencia artificial: paradigmas	29
6. La llegada de e-learning inteligente	35
7. Objetivos de la Tesis	39
8. Metodología de desarrollo	42
9. Etapas de desarrollo y su descripción	44

CAPÍTULO II- NUEVA GENERACIÓN DE SISTEMAS E-LEARNING INTELIGENTES

1. Óptica utilizada: fundamentos	50
2. Infraestructura informática: sistema multiagente	53
2.1 Arquitectura del agente cognitivo	54
3. El proceso de aprendizaje	63
3.1 Arquitecturas de la cognición	65

3.2 Modelización de algunos aspectos de la inteligencia	69
3.3 Aproximación pragmática al aprendizaje	69
4. El problema de “aprender a aprender”	70
5. BCTA: el análisis comportamental y cognitivo de tareas	73
5.1 BCTA: técnicas utilizadas	80
5.2 Modelos mentales cualitativos	85
6. Arbitraje y control de agentes	91
6.1 Mecanismos de control de agentes	94
6.2 Mecanismos de control en sistemas de aprendizaje	95
6.3 Sistemas reactivos: aplicación de BCTA	100
6.4 Prototipo ESTRUCT: sistema reactivo	103
6.4.1 Análisis por el método de los nudos	104
6.4.2 Habilidades	107
6.4.3 Metodología	108
6.4.4 Errores	111
6.4.5 Representación del conocimiento	113
7. Nuevas funcionalidades en los sistemas e-learning inteligentes	123
7.1 Principales funciones educativas y de gestión	125
7.2 Otras funciones tutoriales	128

CAPÍTULO III- NEOCAMPUS: FACTORÍA DE AGENTES

1. NEOCAMPUS	139
2. Infraestructura informática	141
2.1 Diseño de los módulos de apoyo del agente	141
2.2 Tipología de agentes	161
2.3 Subsistema de búsqueda, filtrado y resumen	173
2.2.2 Pruebas	173

3. Modelos del experto humano y del estudiante	202
3.1 Gestión de la experiencia	203
3.2 Representación del comportamiento del experto humano	212
3.3 Modelo del estudiante	215
4. Análisis superficial y profundo de los errores cometidos	217
4.1 Técnicas de diagnóstico	220
5. NEOCAMPUS: control de agentes	224
6. El problema de la aceleración de la migración de aprendices a expertos	226
6.1 Modelo general de migración de aprendices a expertos	226
6.2 Prototipo ENT: migración de aprendices a expertos	231
6.2.1 Objetivos posibles de la evaluación	232
6.2.2 Objetivos de ENT	235
6.2.3 ENT: arquitectura de alto nivel	236
6.2.4 ENT: ventajas obtenidas y pruebas realizadas	240
6.2.4.1 Pruebas realizadas	241

CAPÍTULO IV- PROTOTIPOS

1. Simulación para la toma de decisiones	243
2. La simulación inteligente	249
2.1 Algunas experiencias de la simulación inteligente	250
3. Prototipo MEDIC	251
3.1 Objetivos del sistema	251
3.2 Organización del Centro	253
3.3 Diseño preliminar del prototipo	253
3.4 Diseño detallado del prototipo	269
3.4.1 Orientación a agentes	268
3.4.2 Comunicaciones entre agentes	271

3.4.3 Comunicación con el usuario	281
4. Prototipo FINANCE	289
4.1 FINANCE: objetivos	289
4.2 Dominio de aprendizaje	290
4.2.1 Grafo de conocimiento del experto	290
4.2.2 Gestión de experiencia del experto	292
4.2.3 Base de conocimiento	292
4.3 Modelo del estudiante	292
4.3.1 Grafo de conocimiento	292
4.3.2 Gestión de experiencia del alumno	292
4.4 FINANCE: estructura del sistema multiagente	293

CAPÍTULO V- MEJORAS EN NEOCAMPUS Y PROTOTIPOS

1. Computación afectiva	302
1.1 Computación afectiva y aprendizaje humano	304
1.2 AFFECTION: plataforma para la computación afectiva	304
1.3 Modificaciones en la arquitectura general del agente	308
1.4 Pruebas: AFFECTION en MEDIC	310
2. Lógica borrosa	311
2.1 Utilización de conjuntos borrosos	312
2.2 Técnicas de razonamiento borroso y su empleo	314
2.3 Control borroso	315
2.4 Prototipo FLITR: filtrado automático de información	315
2.4.1 El problema del filtrado de información	316
2.4.2 FILTR: requisitos y primeras decisiones	318
2.4.3 FILTR: el sistema multiagente	320
2.4.4 FILTR: pruebas y resultados	324

3. Plataforma ONTOS: construcción automática de ontologías	325
3.1 Primera etapa: construcción automática de patrones semánticos	325
3.1.1 “Knowledge management” y ontologías	325
3.1.2 Patrones semánticos y recuperación de información	327
3.1.3 Representación de patrones semánticos	328
3.1.4 Aprendizaje automático de patrones semánticos	330
3.1.5 Generalización de patrones semánticos	331
3.1.6 Generalización mediante algoritmos genéticos	332
3.1.7 Algoritmo genético	333
3.1.8 Algunos resultados obtenidos	335
3.2 Segunda etapa: construcción automática de ontologías	338
3.2.1 Nuevo planteamiento	341
3.3 Pruebas	350

CAPÍTULO VI- METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE SISTEMAS E-LEARNING INTELIGENTES

1. Introducción	359
2. Metodología de evaluación de la calidad	364
2.1 Etapa 1-Conocimiento general del sistema	364
2.2 Etapa 2-Evaluación de la calidad funcional	365
2.3 Etapa 3-Evaluación de la calidad global	369
3. NEOCAMPUS: posibilidades de evaluación	371
4. MEDIC: evaluación de la calidad global	372
4.1 Evaluación de la calidad funcional: modelo del estudiante	372
4.2 Fiabilidad	376
4.3 Validez evidencial	378
4.4 Validez consecucional	381

5. FINANCE: algunos aspectos de su evaluación	385
5.1 Evaluación del estudiante	386
5.2 Fiabilidad	386
5.3 Validez evidencial	387
5.4 Validez consecucional	387

CAPÍTULO VII- ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

1. Resultados obtenidos	390
1.1 Óptica utilizada	390
1.2 Problemas abordados	393
1.3 La factoría de software y prototipos desarrollados	395
2. Pruebas y evaluaciones	399
3. Conclusiones	401
4. Futuros trabajos	402

BIBLIOGRAFÍA	405
---------------------	------------

APÉNDICE A	429
-------------------	------------

CAPÍTULO I: LA SOCIEDAD DE LA INFORMACIÓN

Y

LA SOCIEDAD DEL CONOCIMIENTO

1. Introducción: la postmodernidad

Si algunos parámetros caracterizan nuestra sociedad actual postmoderna, de principios del siglo XXI, entre ellos se encuentran por una parte, la velocidad e incluso la aceleración del cambio, el desarrollo científico y tecnológico, la globalización, y el crecimiento exponencial de la información disponible. Además, estos factores interactúan entre sí realimentándose de manera que sus efectos se potencian en gran manera. Sin embargo, aun cuando dichos factores puedan ser considerados, por algunos, como positivos y determinantes de un progreso económico y social, no faltan otros, claramente negativos, como el terrorismo, la destrucción medioambiental, la creciente desigualdad económica y social dentro de la mayoría de los países, y entre países, que pone en duda la eficacia de ese progreso y desarrollo económico mundial, agravado por crisis económicas y financieras de ámbito mundial, como la presente.

Algunas de las consecuencias que estos factores provocan en la empresa son: una mayor competitividad, aunque el mercado puede ampliar su horizonte a escala mundial si se necesita gracias a las tecnologías de la información; reducción de plazos de lanzamiento de nuevos productos; y rápida obsolescencia de los mimos.

Ya ha pasado el tiempo de la utopía de un progreso tecnológico sin límites que solventaría la mayor parte de los problemas de la humanidad, y en

lugar de ese progreso la sociedad occidental se encamina en la dirección de la llamada *sociedad de la información*, estimando que esta dirección tiene muchas ventajas y menos problemas, al menos aparentemente, que el desarrollo tecnológico salvaje.

Esta Tesis Doctoral se enmarca plenamente dentro de esa sociedad de la información o, mejor, de la *sociedad del conocimiento*, por lo que parece interesante analizar básicamente las características de ese modelo de sociedad, para movernos en él con la mayor soltura posible y ubicar eficazmente nuestro trabajo. Por otra parte, de las características de esta sociedad del conocimiento, ya comentadas inicialmente, surge la necesidad de una formación continua en la que se enmarca e-learning inteligente como instrumento idóneo, flexible y eficaz.

2. La sociedad de la información y la sociedad del conocimiento

La sociedad de la información ha sido definida de maneras muy diversas aunque en todas ellas subyace un denominador común: el uso intensivo de las tecnologías de la información y comunicaciones (TIC). Así, según Jacques Delors¹, *es una forma de desarrollo económico y social en el que la adquisición, almacenamiento, procesamiento, evaluación, transmisión, distribución y la diseminación de la información con vistas a la creación de conocimiento y a la satisfacción de las necesidades de las personas y de las organizaciones, juega un papel central en la actividad económica, en la creación de riqueza y en la definición de la calidad de vida y las prácticas culturales de los ciudadanos*. Es importante notar que la definición no alude directamente a las TIC como medio para realizar esas tareas, pero, es indudable que las TIC constituyen los únicos e indispensables medios para realizarlas hoy día de manera eficiente.

El término *sociedad de la información* parece haber sido introducido por el

¹ J. Delors, *Libro Blanco de crecimiento*, Competitividad y Empleo, Lisboa, 1993

sociólogo Daniel Bell, concretando que su eje principal sería el conocimiento teórico, y advierte que los servicios basados en el conocimiento habrán de convertirse en la estructura central de la nueva economía y de una sociedad apuntalada en la información, donde las ideologías terminarán sobrando. Esta expresión reaparece con fuerza en los años 90, en el contexto del desarrollo de Internet y de las TIC. El tema se ha abordado en foros de la Comunidad Europea y de la OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico) y ha sido adoptada por el gobierno de los Estados Unidos, así como por varias agencias de las Naciones Unidas y por el Grupo Banco Mundial. A partir de 1998, fue elegida, primero en la Unión Internacional de Telecomunicaciones y luego en la ONU, como el nombre de la Cumbre Mundial a realizarse en 2003 y 2005. Dichas cumbres vienen marcadas por el Plan de Acción en Ginebra (2003), y el Compromiso de Túnez (2005) que conllevaba diversos seguimientos llevados a cabo. El último ha sido el WSIS Forum del 24 de Febrero de 2011, celebrado en Ginebra para revisar los planteamientos y su realización.

La obra de Mattelart² ha permitido conocer no sólo la historia de la sociedad de la información, sino responder a preguntas como: ¿Qué relación hay entre la tesis del fin de las ideologías y la invención del recurso informacional? ¿Cómo se ha convertido la democracia interactiva en asunto de “think tanks”? ¿Qué papel desempeña la guerra en la “revolución de la información”? Mattelart propone el concepto de *Sociedad Global de la Información* como resultado de una construcción geopolítica y de que una ideología se ha naturalizado y se ha visto movida al rango de modelo dominante del cambio.

Aunque es cierto que la cantidad de información que se elabora crece exponencialmente, las nuevas tecnologías de la información y comunicaciones permiten tanto el almacenamiento como la gestión y utilización de grandes

² A. Mattelart, *Historia de la Sociedad de la Información*, Paidós, 2002

cantidades. Es por eso por lo que tanto las organizaciones supranacionales como las nacionales han abordado este tema para facilitar la tarea a empresas e individuos.

Así, en España existe la *Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información* en el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, encargada no sólo de las telecomunicaciones y televisión, sino de la planificación y gestión del espectro radioeléctrico, de las relaciones internacionales en estos ámbitos y de apoyo a los servicios institucionales y empresariales de la sociedad de la información. Entre éstos últimos destacan el acceso a Internet de banda ancha, las reglamentaciones y normalizaciones técnicas, software libre, y el servicio de firma electrónica y su vigilancia. Iniciativas similares han sido llevadas a cabo en distintas comunidades autónomas.

La *Fundación Sociedad de la Información* es una iniciativa privada que también pretende abordar el tema con seminarios y encuentros con las Administraciones Públicas.

Por otra parte, la *sociedad del conocimiento* surgió como interés práctico hacia finales del los años 90. El término es utilizado en los medios académicos como alternativa de algunos a *sociedad de la información*. La UNESCO, en particular, ha adoptado *sociedad del conocimiento*, o su variante *sociedad del saber*, dentro de sus políticas institucionales. Posiblemente el término se utiliza por primera vez en 1945 con el artículo del economista Friedrich Hayek³, en contra de una economía planificada, y a favor de un mercado abierto.

Con el término *conocimiento* se pretende enfatizar el hecho de la complejidad e integración de la información, como cualidades imprescindibles para su uso eficaz en la sociedad actual. Así, la Fundación Telefónica ha dedicado esfuerzos importantes no sólo en España sino en numerosos países

³ F. Hayek, *The Use of Knowledge in Society*, The American Economic Review, September, 1945

del extranjero a difundir el tema que titula *Debate y Conocimiento* con diversas presentaciones, seminarios y eventos de todo tipo.

También se pretende hacer hincapié con el término *conocimiento*, en que la información ha pasado a ser un bien de consumo, puesto que la mente humana procesará ese conocimiento digital para convertirlo en otro conocimiento de categoría y valor superiores.

Un hito importante en la extensión y popularización de esta sociedad del conocimiento lo constituye la publicación en 1986 de una colección de ensayos editada por G. Böhme y N. Stehr tratando de demostrar entre otras tesis el impacto creciente del conocimiento científico en las relaciones sociales.

Después de estas aproximaciones podríamos definir la sociedad del conocimiento como la *asociación formal de personas con intereses similares, que trata de hacer uso de su conocimiento combinado en sus áreas y procesos de interés, contribuyendo así a este conocimiento.*

En 2010 se celebró la tercera Cumbre Mundial de la Sociedad del Conocimiento en Corfú (Grecia), tras las anteriormente celebradas en 2005 y 2008, con énfasis en una sociedad basada en el conocimiento, en la que destaca el papel de la formación continua como imperativo personal y social inexcusable. Es cierto que también ha habido voces más críticas como la del Prof. Hiroshi Tasaka de Tama University (Tokio) quien habla de la situación paradójica de esta sociedad del conocimiento puesto que el conocimiento perderá valor en su opinión lo que motivará la búsqueda de nuevo conocimiento en espiral. No obstante, los esfuerzos de la Unión Europea continúan en la línea de tomar seriamente el tema de una sociedad del conocimiento⁴, y por otra parte surge la necesidad de un nuevo tipo de enseñanza adecuada a este objetivo⁵.

La sociedad del conocimiento, dada su complejidad y sus tensiones,

⁴ U. Felt (rap.) *Taking European Knowledge Society Seriously*, European Union, 2007

⁵ D. Laurillard, *Rethinking Teaching for the Knowledge Society*, EDUCAUSE, 16, 2002

necesita nuevas soluciones, soluciones inteligentes como las ya preconizadas por el centro investigador más importante alemán en Inteligencia Artificial (Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH); entre ellas aparece e-learning inteligente.

3. La formación continua y su situación en España

En relación con este apartado que justifica la realización de esta Tesis, no es posible dejar de ponderar el trabajo de la Prof^a. M^a. Romero Cuadrado⁶ sobre la formación de directivos en España, del que esta aportación sería un apéndice. Queremos destacar por su importancia para este tema tanto los capítulos 1 y 2, sobre la situación de la formación de directivos y de la formación continua en España, como los resultados obtenidos en su investigación, que configuran detalladamente esa situación. Precisamente en relación con esos resultados queremos hacer constar que en los datos obtenidos en el análisis de los métodos que emplea la organización para lograr el desarrollo de directivos⁷, ocupa e-learning el primer lugar, tanto según la valoración de los Directores de Recursos Humanos como según la de los Directivos de Línea. Creemos que este resultado otorga mayor validez a la investigación que esta memoria expone.

4. Informática educativa: e-learning y sus avances actuales

Desde hace bastantes años la informática ha estado colaborando en el desarrollo y mejora del proceso educativo. Ya en 1962, el Profesor Patrick Suppes, en la Universidad Stanford, inicia el primer proyecto de enseñanza asistida por ordenador en teleproceso, con el objetivo de mejorar el aprendizaje de los niños de las escuelas de California ubicadas en entornos *culturalmente deprimidos*. Se trata de una labor de artesanía, dadas las pocas flexibilidades de los ordenadores del momento y las dificultades para obtener líneas de

⁶ M. Romero, *La Formación de Directivos en España*, Tesis Doctoral, UNED, 2009

⁷ *Ibid.*, Cuadro 24, pág. 185.

comunicación fiables para la transmisión de información.

Los resultados obtenidos, a pesar de las dificultades técnicas encontradas para su realización, superaron las previsiones iniciales y ocasionaron que el sistema público de enseñanza de la ciudad de Nueva York se decidiera a abordar un proyecto similar en 1965, cuya dirección también ostentó el citado Profesor. Con estos hitos se inicia ya en los sesenta una actividad informática de ayuda al aprendizaje que posteriormente se conocerá con diversos nombres y siglas como EAO (Enseñanza Asistida por Ordenador⁸, Enseignement Assistée par Ordinateur), CBT (Computer-Based Training), CBE (Computer-Based Education) y otras similares. Los temas abordados son tanto el estudio de las materias ordinarias curriculares, es decir, la matemática, física, lenguaje, historia, literatura, como la mejora de las actividades prácticas en esas u otras materias.

Los principios básicos de esta ayuda consistían en suministrar material docente; la mayor parte eran manuales de estudio convenientemente organizados en pequeñas unidades didácticas, divididas a su vez en unidades más pequeñas, del tamaño de una o dos pantallas de ordenador. Al cabo de un número reducido de estas unidades pequeñas se introducía un test variado para evaluar el aprendizaje llevado a cabo y, por supuesto, al finalizar cada unidad didáctica se realizaba un test de mayor amplitud, cuyo resultado permitía o no el acceso a la unidad siguiente. En caso negativo se proporcionaba un material de recuperación con objeto de ayudar al alumno a que adquiriera los conocimientos oportunos que le permitieran pasar a la unidad siguiente. Al terminar el curso, se realizaba la evaluación final que permitía conocer los resultados del aprendizaje total llevado a cabo en el mismo.

Este modelo ha presentado variantes como la representada por CBT (Computer Based Training) dirigida particularmente a la consecución de una

⁸ F. Audouin, *Cibernética y Enseñanza*, Nancea, Madrid, 1974.

habilidad técnica manual o no, colaborando de diversas formas en la presentación de situaciones de manejo de la habilidad o de la herramienta, tanto en condiciones habituales como en condiciones especiales y extraordinarias, de manera que el usuario o alumno se enfrentaba con ayuda de este instrumento a, prácticamente, todas las contingencias y en todas las circunstancias que implicaba el manejo de esa herramienta o habilidad.

Esta variante, CBT, guarda relación con el mundo de la simulación por ordenador, que ha sido por muchos años una forma interesante y eficaz de aprendizaje de toda una gama de situaciones de decisión y adquisición de habilidades de todo tipo. En este caso el ordenador reproducía lo más exactamente posible situaciones del mundo real que implicaban una actuación del alumno, la cual era evaluada posteriormente tanto por los propios alumnos como por expertos humanos.

Desde el primer momento no sólo entidades públicas y privadas se lanzan a este tipo de enseñanza, sino que Universidades, como la de Wisconsin, extienden su oferta docente a multitud de usuarios en otras localidades lejanas de su ubicación central mediante este tipo de enseñanza utilizando ya en esa época hasta más de mil terminales.

E-learning surge en la década de los setenta en realidad como enseñanza asistida por ordenador (CAI, EAO) pero con énfasis en la transmisión a distancia. Esa transmisión ya existió en los primeros proyectos de EAO pero posteriormente los proyectos pasaron a desarrollarse y utilizarse en un solo local, o varios próximos (en el mismo edificio). Es cuando, al potenciarse de nuevo la enseñanza a distancia, surge el apelativo e-learning como “aprendizaje por medios electrónicos”. Dada la experiencia anterior de EAO, los proyectos y realizaciones de e-learning se desarrollan con profusión particularmente en la década de los ochenta. En 1987 Telefónica ya había puesto en marcha una Red

Teledidáctica (embrión del actual LMS), pero no es hasta 1988 cuando Telefónica de España incluyó en sus programas de formación el primer producto EAO; aquel curso constaba de 11 disquetes con sus correspondientes manuales de estudio.

En los años 90 se comenzaron a desarrollar productos en CD-I y CD-ROM. A mediados de 1990 había en España un nutrido grupo de empresas e instituciones generando proyectos importantes como Anaya Interactiva, Telefónica I+D, Chadwyck-Healey, BSI Multimedia, Espasa Calpe, Zeta Multimedia, Creatividad y Tecnología, Edicinco, FYCSA y otras. Para el año 2000 las grandes empresas han sistematizado el aprendizaje “on-line” incorporando los cursos en sus redes corporativas o intranets ofreciendo una alternativa a la formación continua presencial (AENA, Alcatel, Oracle, Caja Madrid, IBM, Endesa, Ferrovial, UOC, SCH, etc.).

Podríamos definir e-learning como *una modalidad de aprendizaje dentro de la educación a distancia en la que se utilizan las redes de datos como medios ([Internet](#), [intranets](#), etc.), las herramientas o aplicaciones hipertextuales como soporte (por ejemplo, [correo electrónico](#), [web](#), [chat](#), etc.) y los contenidos y/o unidades de aprendizaje en línea como materiales formativos (por ejemplo, desde simples imágenes, audio, video, documentos, etc., sin olvidarnos de los contenidos contruidos de forma cooperativa, derivados del desarrollo de la conocida como [web 2.0](#)), entre otros*. Como puede verse, esta modalidad de aprendizaje supone la colaboración intensiva de las tecnologías de información y comunicaciones (TIC), que en la actualidad hacen uso de Internet.

Su desarrollo espectacular se debe en buena parte a sus ventajas, entre las que aparecen:

- Inmersión práctica en un entorno [web 2.0](#) que se ha hecho tan popular.
- Eliminación de las barreras espaciales y temporales del aprendizaje usual

(se puede realizar desde la propia casa, en el trabajo, en un viaje a través de dispositivos móviles, etc.). Supone una gran ventaja para empresas distribuidas geográficamente.

- Prácticas en entornos de simulación virtual, pues una simulación real sería difícil de conseguir en formación presencial sin una gran inversión.
- Gestión real del conocimiento: intercambio de ideas, opiniones, prácticas, experiencias. Enriquecimiento colectivo del proceso de aprendizaje sin límites geográficos.
- Actualización constante de los contenidos (deducción lógica del punto anterior) que en principio hay que realizar manualmente por los instructores o tutores.
- Reducción de costes (en la mayoría de los casos, a nivel metodológico y, siempre, en el aspecto logístico), particularmente cuando se hace uso reiterado del instrumento.
- Permite una mayor conciliación de la vida familiar y laboral.

El desarrollo y difusión de e-learning ha provocado la aparición de metodologías de desarrollo, herramientas de construcción de cursos e incluso estándares diversos de producción y de calidad. La bibliografía es amplia y de ella se incluyen libros representativos en las referencias que aparecen al final de esta memoria. Como ejemplo detallado de elaboración de un curso, en la actualidad, cabe mencionar el producido por el ingeniero Alamoto Landeta⁹. Como estándares aparecen, entre otros, LOM (IEEE/LTSC, 2005) que especifica la sintaxis y la semántica de los atributos necesarios para describir los objetos de aprendizaje, objetos que podrían ser usados por otros programas e-learning; SCORM e IMS son especificaciones para la interoperabilidad de estos sistemas con Internet¹⁰. Para otros estándares véase el artículo de Gregori¹¹.

⁹ I. Alamoto Landeta, *Análisis, Diseño y Construcción de un Curso de Microsoft*, Proyecto Fin de Carrera, 2007

¹⁰ C. López Guzmán, F. García Peñalvo, *Estándares y Especificaciones para los Entornos e-learning: Convergencia en Contenidos y Sistemas*, Virtual Educa, Méjico, 2005

El problema fundamental que presentan estos sistemas es que su concepción y detalles se realizan desde un punto de vista informático (y su evaluación), sin tener demasiado en cuenta otros factores importantes que entran en el aprendizaje como son: el propio proceso cognoscitivo de aprender y las funciones educativas y tutoriales que contribuyen al proceso. En estos momentos se trata de reducir estas limitaciones con trabajos interesantes como el de Perera Rodríguez¹² y el de Clara Ester Ayzemberg¹³ que tratan de enfatizar el contenido pedagógico. Además se trata de automatizar la generación de contenidos docentes para evaluación, como lo realiza Chavarriaga Bautista¹⁴. Más recientemente se ha publicado un libro¹⁵ interesante sobre las posibilidades recientes de e-learning basándose en una inteligencia colectiva y contando con la web 2.0.

Por otra parte ya se ha iniciado la recopilación de buenas prácticas en e-learning y de recomendaciones subsiguientes, como son las incluidas en *E-Learning: mejores prácticas y recomendaciones para organizaciones iberoamericanas*¹⁶. A pesar de todo ello y particularmente del aumento del uso que se ha hecho de e-learning, prueba indirecta de su éxito, ha habido voces discordantes sobre sus resultados, particularmente de la importante tasa de abandono cuando no se cuida empresarialmente el tema. De todas formas sí que conviene citar algunos factores negativos que convendrá tener en cuenta. Entre ellos aparecen¹⁷:

- Estructura organizacional y tradicionalismo posible de la institución en donde se imparte, que choca con nuevos instrumentos.

¹¹ A. Gregori, *Estándares en E-Learning: estado actual y previsiones de evolución*, Cámara de Valencia, 2003

¹² V.H. Perera Rodríguez, *Estudio de la Interacción didáctica en E-Learning*, Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, 2007

¹³ C. E. Ayzemberg, *Análisis de las Estrategias de aprendizaje/enseñanza en un contexto de educación a distancia: E-Learning*, Tesis Doctoral, Universidad de Granada, 2009

¹⁴ J.E. Chavarriaga Bautista, *Arquitectura de un sistema para la generación automática de contenidos para evaluación*, Universidad Autónoma de Madrid, 2008

¹⁵ S. Yuen, H. Yan (eds.), *Collective Intelligence and E-Learning 2.0: Implications of Web-Based Communities and Networking*, IGI Global, 2009.

¹⁶ M. Fontela et al., *E-Learning: mejores prácticas y recomendaciones para organizaciones iberoamericanas*, Tecnonexo, Buenos Aires, 2003

¹⁷ J. Mendoza, *E-Learning, el futuro de la educación a distancia*, IE Business School, 2003

- La falta de ejemplos de mejores prácticas y recomendaciones, que todavía a pesar de lo publicado, no parece suficiente.
- La falta de soporte técnico sobre la infraestructura informática a utilizar y experiencia en su manejo y en la elaboración de materiales docentes y de evaluación.
- La falta de comprensión y visión acerca del concepto, metodología y empleo de e-learning.
- La falta de recursos humanos para su desarrollo y aceptación de su filosofía por parte del usuario.
- La falta de habilidad por parte de profesores e instructores, aunada a una actitud negativa propia por creer que esta herramienta puede llegar a competir con su labor.
- Falta de acciones estratégicas que lo potencien.
- Falta de entrenamiento y soporte a los profesores e instructores.
- Carencia de tiempo requerido para la preparación del material.

Uno de los análisis bastante completos de la situación en España de e-learning en 2003 puede verse como parte del proyecto europeo Leonardo Da Vinci titulado “eNSTRUCTOR” que proporciona referencias y links relativos al tema; por cierto que numerosas instituciones tanto extranjeras como españolas públicas y privadas, han incorporado este instrumento como medio de formación continua de sus recursos humanos. Entre las instituciones españolas cabe citar como muestra la Junta de Andalucía¹⁸, la Universitat Oberta de Catalunya¹⁹, la Junta de Extremadura²⁰ y otras muchas Comunidades Autónomas. Según un estudio de Moodle, en 2004 más de 90 Universidades españolas utilizaban plataformas de software libre para e-learning; Moodle es

¹⁸ Junta de Andalucía, *Hercules-Portal Andaluz de E-Learning*, Formación para el Empleo, <http://prometeo3.us.es/publico/index.jsp>

¹⁹ Universitat Oberta, <http://www.uoc.edu>

²⁰ Enseñanza Virtual de Extremadura, <http://lmsextremadura.educarex.es>

una de estas plataformas de software libre más conocidas, pero existen otras varias de software libre o no libre, como: ATutor, Blackboard, Claroline, Dokeos, Eledge, LMS-QStutor y NETcampus. También se han iniciado la construcción de observatorios de e-learning: como ejemplo, dentro de la gran cantidad existente, mencionaremos el de la Universidad Politécnica de Madrid y el Observatorio E-learning Aula Global de Venezuela. Igualmente hay que destacar los esfuerzos de la Unión Europea en esa línea²¹ con el título de “elearningeuropa.info”. También resulta interesante ver cómo se aplica esta tecnología a la formación de niños con considerable éxito²².

Este instrumento ha derivado recientemente a los conceptos de b-learning (Blended-Learning) que trata de combinar e-learning con la enseñanza presencial, m-learning (Mobile-Learning) a partir del teléfono móvil que permite un uso mucho más amplio de este tipo de enseñanza, y u-learning (Ubiquitous-Learning) tratando de combinar todo tipo de aprendizaje incluyendo el que pudiera obtenerse de las redes sociales.

Pero creemos que a pesar de estas mejoras, el instrumento e-learning trata de realizar el proceso tradicional del aprendizaje introduciéndolo tal cual en el ordenador, sin intentar aprovechar todas las posibilidades que éste ofrece para la mejora del aprendizaje tanto desde el punto de vista cognoscitivo, como educativo y tutorial, y además hacerlo de forma automática sin intervención humana posterior (por supuesto, que es necesaria esta intervención para su diseño y elaboración).

5. La inteligencia artificial: paradigmas

La inteligencia artificial²³, surgida en la década de los 60, supuso una nueva revolución informática al asumir como temas a tratar y a computar tanto el razonamiento humano, como el aprendizaje, los inicios del

²¹ “elearningeuropa.info”, <http://www.elearningeuropa.info/main/index.php?page=home>

²² <http://www.e-learningforkids.org/>

²³ K. Warwick, *Artificial Intelligence: the Basics*, Routledge, 2011.

procesamiento del lenguaje natural, y el procesamiento de imágenes. El nombre es debido a John McCarthy en 1955 quien la define como *la ciencia y la ingeniería para hacer máquinas inteligentes*. Se ha especulado bastante sobre el paralelismo²⁴ entre inteligencia humana e inteligencia artificial. Su aportación más importante a los sistemas de aprendizaje fue en la forma de tutores inteligentes²⁵.

Pero a principios de la década de los 80 se produjo un cambio de paradigma en la inteligencia artificial (IA); el llamado paradigma clásico o del pensamiento deliberante, va dejando paso a un nuevo paradigma, de la inteligencia artificial distribuida²⁶ (IAD), con horizontes mayores que los que aparentemente implican la partición del poder inteligente en gránulos, y su paralelismo posible mediante la distribución en localizaciones distintas.

A pesar de la juventud del nuevo paradigma, ya ha dado lugar a toda una serie de experiencias conocidas en la literatura como ACTORS²⁷, BEINGS²⁸, HEARSAY-II²⁹, CONTRACT-NET, DVMT³⁰, MACE³¹, COOPER-A, EMMA³², etc. Cada una de ellas ha hecho énfasis en alguno o varios de los problemas que se plantean en arquitecturas de este tipo, como la comunicación, interacción social entre agentes, coherencia, organización, resolución de conflictos entre agentes, etc.

Hasta el momento los resultados son prometedores pero es necesario añadir que hasta el presente son escasas las arquitecturas multiagentes que

²⁴ F. de Arriaga, "Inteligencia humana versus inteligencia artificial: Introducción", en *Tecnología Hombre y Ciencia*, Madrid, 1997, pág. 162-163.

²⁵ J. Psozka, L. Dan Massey, Sh. Mutter, (eds.), *Intelligent Tutoring Systems*, Lawrence Erlbaum Assoc., Hillsdale, 1988.

²⁶ S. Russell, P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Prentice-Hall, 2009.

²⁷ G. A. Agha, *ACTORS: A model of Concurrent Computation in Distributed Systems*, M.I.T. Press, Cambridge, 1986.

²⁸ D. B. Lenat, "BEINGS; Knowledge as Interacting Experts", *Proceedings IJCAI*, 1975, pág. 126-133.

²⁹ L. Erman et al., "The Hearsay II Speech Understanding System", *Computing Surveys*, 12(2), 1980, pág. 213-253.

³⁰ V. R. Lesser, D. Corkill, "The Distributed Vehicle Monitoring Testbed", *AI Magazine*, 1983, pág. 15-33.

³¹ L. Gasser, C. Braganza, H. Herman, "MACE: a Flexible Testbed for Distributed A.I.", en L. Gaser, M. Huhns (eds.) *Distributed A.I.*, 1989, pág. 119-153.

³² K. Sycara, M. Roboam, "An Architecture for Enterprise Modeling and Integration" en N. Avouris et al., (eds.) *Distributed Artificial Intelligence: Theory and Practice*, Kluwer Academic, 1992.

funcionen robustamente con problemas de la vida real y no con casos de laboratorio, aunque sí ha habido intentos loables de aplicación a actividades complejas, como gerencia de aeropuertos, logística del transporte, sistemas de control de tráfico, robótica avanzada, y gestión distribuida del transporte eléctrico. Sin embargo, también conviene hacer constar que el concepto y aplicaciones del agente, ha rebasado con mucho las tres primeras direcciones en las que se desenvolvía la IAD. Precisamente en el campo de estas aplicaciones hay que destacar el libro de Zongmin y Li,³³ que presenta una visión integrada de lo que hoy se concibe como “soft computing³⁴” o computación basada en inteligencia artificial y otras técnicas tradicionales.

Es interesante focalizar estas disparidades existentes en el concepto de agente para comprender cuál es nuestra posición; las distintas posiciones pueden agruparse en ayudantes personales, agentes reactivos y agentes cognitivos.

El agente cognitivo supone una generalización o mejora del agente reactivo puesto que le incorpora capacidades muy interesantes; podría en cierto modo considerarse como una fusión o complemento de los dos paradigmas de la IA, al unir la granularidad de la inteligencia y la reactividad con funcionalidades clásicas como la planificación, control, razonamiento deductivo, etc.

De una forma sintética podríamos dividir el desarrollo de las arquitecturas multiagentes en dos períodos muy distintos: período inicial que va desde sus comienzos hasta aproximadamente finales de 1992, y el período de expansión desde 1993 hasta hoy, caracterizado por un enorme crecimiento de experiencias, soluciones y publicaciones.

En el período inicial cabe entresacar diversas tendencias, descollando la de los agentes reactivos y la de los cognitivos. Los agentes reactivos se

³³ [Ma, Zongmin, Yan, Li](#), *Soft computing in XML data management: intelligent systems from decision making to data mining, web intelligence and computer vision*, Springer, 2010.

³⁴ L. Zadeh, *Berkeley Initiative in Soft Computing*, University of California, Berkeley, 2012.

desarrollan a mitad de los ochenta de la mano de Brooks³⁵, Chapman y Agre, Kaelbling³⁶ y Maes, ya citados, con influencia de la psicología conductista y de la actividad situada; más que un comportamiento óptimo se busca un comportamiento robusto. Como modalidades que descuellan aparecen: la arquitectura subsumida de Brooks para agentes "incrementalmente inteligentes", el sistema Pengi que instrumenta la actividad de los agentes considerando los planes como programas, el sistema ECO de resolución de problemas que utiliza agentes según el modelo de actor de Agha con simples mecanismos de interacción, el modelo de Steels que desarrolla las ideas de comportamiento emergente y auto-organización, y la arquitectura AuRA³⁷ que extiende el modelo de Brooks para incluir más flexibilidad y adaptabilidad. El modelo de Pattie Maes³⁸ de selección dinámica de la acción a base de módulos de competencia constituye también otro intento digno de mención de incrementar la funcionalidad del agente reactivo.

En los últimos años ha habido varios enfoques³⁹ sobre el posible aumento de funcionalidad de estos agentes y su posibilidad de utilización en sistemas inteligentes de tutoría.

Los agentes cognitivos mantienen una representación del mundo exterior así como un estado mental explícito que pueden modificar por razonamiento simbólico. De entre las direcciones diversas que podríamos apuntar destacan los agentes deliberantes modelizados a partir de creencias, deseos e intenciones, conocida como agentes BDI iniciada con Bratman⁴⁰ y

³⁵ R. A. Brooks, "Intelligence without Representation", *Artificial Intelligence*, 47, 1991, pág. 139-151.

³⁶ L. P. Kaelbling, "An Architecture for Intelligent Reactive Systems" en J. Allen et al., (eds.), *Readings in Planning*, Morgan & Kaufmann, 1990, pág. 713-728.

³⁷ R. Arkin, "Integrating Behavioural, Perceptual and World Knowledge in Reactive Navigation", en P. Maes (ed.) *Designing Autonomous Agents: Theory and Practice*, M.I.T./Elsevier, 1990.

³⁸ P. Maes, *Designing Autonomous Agents: Theory and Practice*, M.I.T./Elsevier, 1990.

³⁹ A.L. Laureano, F. de Arriaga, M. García-Alegre, "Cognitive Task Analysis: A Proposal to Model Reactive Behavior", *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, Vol. 13(3), 2001, pág. 227-240.

⁴⁰ M. E. Bratman, *Intentions, Plans and Practical Reasoning*, Harvard University Press, 1987.

ampliada por Rao⁴¹ y colaboradores, y la que enfatiza la planificación y el control.

A partir aproximadamente de 1993 se produce una proliferación increíble de trabajos, publicaciones y reuniones internacionales relativas a agentes. El interés por el tema y la expansión del mundo de Internet contribuyen en gran manera a que se produzca un fenómeno desbordante que no resulta fácil sintetizar en unas líneas. Nos referiremos únicamente a los trabajos que más guardan relación con el nuestro, prescindiendo de arquitecturas y modelos muy meritorios.

Bajo la denominación de "agentes para Internet"⁴² designaremos a los agentes⁴³ específicos que se mueven por redes de ordenadores (preferentemente por Internet) y que han recibido nombres diversos (robots, "bots", "spiders", "wanderers", "mud agents", "chatterbots", etc.) Dentro de este apartado hay que mencionar: la primera araña buscadora de McBryan⁴⁴, precursora de otras actuales más potentes y sofisticadas como las de Pinkerton⁴⁵ y Bowman⁴⁶. Entre los muchos proyectos interesantes podríamos citar: *Lycos* para la búsqueda documental, dirigido por Mauldin en la Universidad Carnegie-Mellon, *Harvest* dirigido por M. Schwartz en la Universidad de Colorado, para hacer uso eficiente de la información existente en Internet, y *WebAnts* también en Carnegie-Mellon para investigar la distribución de la información mediante exploradores cooperantes.

En 1994 se celebra en Ginebra la primera Conferencia Internacional sobre la WWW, y la segunda en Chicago el mismo año. Desde entonces esos

⁴¹ A. S. Rao, M. P. Georgeff, "BDI-agents: from theory to practice", *Proceedings 1st International Conference on Multi-Agent Systems*, San Francisco, 1995.

⁴² F. Ch. Cheong, *Internet Agents*, New Riders Publishing, 1996.

⁴³ J. P. Bigus, J. Bigus, *Constructing Intelligent Agents*, John Wiley and Sons, Nueva York, 1998.

⁴⁴ O. McBryan, "GENVL and WWW: Tools for Taming the Web", *Proceedings 1st International WWW Conference*, Ginebra, 1994.

⁴⁵ B. Pinkerton, "Finding what People Want: Experiences with the Web Crawler", *Proceedings of the 2nd International WWW Conference*, Chicago, 1994.

⁴⁶ C. Bowman et al., "The Harvest Information Discovery and Access System", *Proceedings of the 2nd International WWW Conference*, Chicago, 1994.

"Proceedings" constituyen una fuente importante de información, a la que se suman las Conferencias Internacionales sobre Internet World, también dos por año, e indiscutiblemente la propia red Internet originaria de este raro fenómeno.

Las empresas comerciales como Artis Corporation, Agents Technologies, Autonomy Corporation ofrecen ya un buen número de agentes, procedentes muchos de ellos de otros proyectos universitarios, como WebMate que forma parte del proyecto Intelligent Software Agents dirigido por Katia Sycara⁴⁷ de Carnegie-Mellon, y Hall Server e Imap que proceden del grupo de Berkeley. Y de nuevo el interés por el tema ha trascendido a otros entornos y congresos hasta el día de hoy cuya relación se haría interminable.

Dejando aparte, de momento, la utilización de estos sistemas en el aprendizaje y ciñéndonos a los últimos tiempos, cabe afirmar que de la mano de otros "e-denominadores"⁴⁸ como "e-mail", "e-business", surge "e-learning" con el único objeto de utilizar las tecnologías de la información, comunicaciones y posiblemente Internet para el aprendizaje, sin pretender incidir en los restantes elementos que intervienen en el proceso.

En Estados Unidos las empresas que trabajan en servicios de "e-learning" corresponden fundamentalmente al sector de consultoras autónomas o empresas del sector de Informática y Comunicaciones que, conscientes de la importancia del tema se lanzan con rapidez a la conquista del mismo.

El informe sobre este tema publicado por Goldman Sachs, clasifica a las consultoras surgidas con dedicación total al tema en:

⁴⁷ K. Sycara, M. Roboam, "An Architecture for Enterprise Modeling and Integration" en N. Avouris et al., (eds.) *Distributed Artificial Intelligence: Theory and Practice*, Kluwer Academic, 1992.

⁴⁸ F. de Arriaga, *E-Knowledge Management, E-Learning and E-Commerce: An Evaluation of their Situation and Tendencies*, International Computer Science Institute, University of California (Berkeley), pág. 1-53, 2003.

- Suministradores de tecnología: Caliber, Centra, Docent, Eloquent, Placeware y Saba.
- Suministradores de portales: Click2learn, CyberU, Headlight, KnowledgePlanet y TrainingNet.
- Proveedores de contenidos: NinthHouse, Pensare, Skillsoft, SmartForce, Unext y UniversityAccess.

Por otra parte, también clasifica a las compañías ya existentes y con vocación al tema en:

- Empresas Tecnológicas: Cisco, Dell, Hewlett-Packard, IBM, Microsoft, Motorola, Oracle, Sun.
- Servicios Profesionales: Arthur Anderson, Deloitte&Touche, Ernst & Young, kForce, KPMG, Manpower, PWC, Scient, Viant.
- Entrenamiento de instructores: American Management Association, Apollo Group, Community Colleges, DeVry, Global Knowledge Network, Learning Tree y New Horizons.

En España apenas hay empresas surgidas en relación con “e-learning”; solo algunas consultoras han iniciado recientemente estas actividades, aunque bastantes instituciones y organizaciones ofrecen cursos de teleformación tradicionales (EAO).

6. La llegada de e-learning inteligente

La introducción de las técnicas de inteligencia artificial ha permitido, como se ha comentado anteriormente, aumentar en gran manera la versatilidad, “inteligencia” y eficacia del ordenador constituyendo una segunda revolución informática. Su empleo está llegando a la informática educativa produciendo lo que calificamos como “intelligent e-learning” (e-learning inteligente), campo en el que queremos situar nuestro trabajo.

La introducción de estas técnicas se ha hecho gradualmente: en un primer momento que podría coincidir con la década final del pasado siglo, con la producción de los “intelligent tutoring systems” (ITS), ya mencionados, o sistemas informáticos de aprendizaje que desarrollan sus habilidades tutoriales, tratando de imitar o emular las del tutor humano. De esta manera cooperan más eficazmente en el proceso de aprendizaje del usuario. Estos sistemas han vuelto a cobrar interés recientemente como posibilidad de aportar estas técnicas tutoriales a sistemas e-learning anteriormente elaborados. Un segundo momento ha sido la elaboración de sistemas tutoriales funcionando en Internet (Web-Tutor); en este caso el tutor ha de atender a todos los alumnos que se convierten en usuarios del sistema a través de una “web” de forma individual así como a diversas necesidades docentes del grupo de alumnos. Un tercer momento (en paralelo con los anteriores) ha estado dedicado a la mejora y adaptación de la interfaz de comunicación usuario/máquina mediante estas técnicas de inteligencia artificial⁴⁹; esta adaptación ha contribuido sensiblemente no solo al confort del usuario sino a un uso más intenso y cuidado de los sistemas. De todas formas la revisión llevada a cabo por Stankov y colaboradores⁵⁰ en 2010 permite afirmar que todavía es muy largo el camino a recorrer puesto que sólo alude en su trabajo a tutores inteligentes, lo cual es sólo una parte de las posibilidades de estos sistemas.

Como aplicaciones concretas relacionadas con esta investigación hay que citar, la de Zhang⁵¹ relativa a la construcción de un laboratorio virtual inteligente, la de Tzouveli⁵² y colaboradores sobre la adaptación del dominio de conocimiento al estilo de aprendizaje del alumno, y la propuesta de Huang y

⁴⁹ A. Ahmad, O. Batsir, K. Hassanein, “Adaptive User Interfaces for Intelligent E-Learning: Issues and Trends”, *Fourth International Conference on Electronic Business, ICEB 2004*, Beijing, 2004.

⁵⁰ S. Stankov, V. Glavinic, M. Rosic, *Intelligent Tutoring Systems in E-Learning Environments: Design, Implementation and Evaluation*, IGI Global, 2010.

⁵¹ D. Zhang, “Virtual mentor and the lab system-toward building an interactive, personalized, and intelligent e-learning environment”, *Journal of Computer Information Systems*, 2004.

⁵² P. Tzouveli, P. Mylonas, S. Kollias, “An intelligent e-learning system based on learner profiling and learning resources adaptation”, *Computers and Education*, 2008.

colaboradores⁵³ dedicada a la evaluación y mejora de parámetros que influyen en el proceso de aprendizaje. Sobre la evolución de estos primeros sistemas inteligentes de aprendizaje puede verse el artículo de Nedeva y Nedev⁵⁴. En cuanto a portales sobre este tema hay que mencionar que uno de los primeros portales está siendo desarrollado por Mester⁵⁵ en Serbia y Montenegro.

El desarrollo de la llamada inteligencia artificial distribuida, y concretamente de los sistemas multiagentes⁵⁶, permitirá nuevas posibilidades al permitir descentralizar las tareas a realizar por el sistema informático y asignárselas a un conjunto de agentes inteligentes capaces de obrar autónomamente y de cooperar entre ellos. Esta es la situación actual del tema. No obstante, conviene tener presente las observaciones siguientes:

- La definición que podría darse de e-learning inteligente es todavía demasiado vaga porque tan sólo implicaría la incorporación de técnicas de inteligencia artificial, pero ¿qué técnicas? Dependería de quien las eligiera. Incluso si nos centramos en sistemas multiagentes, quedaría por fijar las características de estos agentes que pueden ser muy diversas, y otras varias como: tiempo de respuesta del sistema, facilidad de uso, características de la interfaz, coordinación y control de los agentes,
- Hasta el momento, tal como hemos venido haciendo con e-learning, se ha dedicado mucha atención a las características informáticas del sistema, pero eso no es todo ni mucho menos porque las prestaciones del mismo, su ámbito de aplicación, su eficiencia y utilidad dependerán de otros muchos rasgos, como:
 - el conocimiento incorporado al sistema que ha de adquirir el usuario y que dependería entre otras características de su naturaleza

⁵³ C. J. Huang, S. S. Chu, C. T. Guan, "Implementation and performance evaluation of parameter improvement mechanisms for intelligent e-learning systems", *Computers and Education*, 2007.

⁵⁴ V. Nedeva, D. Nedev, "Evolution in the E-Learning Systems with Intelligent Technologies", *Proceedings International Scientific Conference on Computer Science*, 2008

⁵⁵ G. Mester, *Intelligent E-Learning Portal Development*, Sisy 2004

⁵⁶ J. Ferber, *Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*, Addison-Wesley, Nueva York, 1999.

- (conocimiento de manuales, experiencia humana), calidad, volumen del mismo, estructura, coordinación del mismo, formas de almacenamiento, posibilidades de acceso al mismo, posibilidades de actualización de manera rápida, gestión inteligente o no de ese conocimiento, etc.;
- flexibilidad de la respuesta del usuario y su comprensión por el sistema, que dependería de si esta respuesta es siempre preestructurada o puede ser libre, si puede utilizar lenguaje natural o simplemente elegir una entre varias respuestas, si puede hacer preguntas y de formato libre con lo que implicaría de dificultad para el sistema la comprensión de la pregunta, etc.;
 - la forma de desarrollar cada sesión de aprendizaje: de manera predeterminada o libre, la inclusión de preguntas de control y su estructura, la forma y criterios de evaluación, el análisis de los errores cometidos por el usuario y técnicas de supresión y mejora, la posible incorporación de material de recuperación, etc.;
 - la filosofía general de la acción tutorial, momentos en que se desarrolla y forma de llevarla a cabo (empleo posible de agentes pedagógicos), posibilidades de proacción en ciertos casos y circunstancias, adecuación de esa acción tutorial al perfil de alumnos que utilizan el sistema, etc.;
 - posibilidades de aprendizaje cooperativo de un grupo de alumnos que pueden llegar a discutir posibles acciones y adoptarlas cooperativamente.
- La evaluación de estos sistemas responde a todas las características del mismo y además al tipo de usuarios que aprende con ellos. Por tanto una evaluación adecuada, además de tener un carácter global debería

contemplar algunos de los aspectos mencionados para mejorar sus resultados en el futuro y además tratar de estimar la aportación de estos aspectos al resultado global de los sistemas. De esta manera podría iniciarse una comparación coherente entre diversos prototipos, que de otra manera sería muy difícil llevar a cabo.

- Lógica borrosa. Hasta el presente esta técnica, pionera en su género, no ha sido aplicada a e-learning inteligente. La lógica borrosa permitiría aumentar la flexibilidad global y particular de estos sistemas puesto que ya no sería todo blanco o negro, verdadero o falso, puesto que esta técnica permitiría considerar los colores. En una palabra, la incertidumbre, que en mayor o menor grado acompaña a prácticamente todos los procesos reales, podría ser tenida en cuenta aumentando así la aproximación y cercanía a la vida real. Con esta técnica el conocimiento no tendría que considerarse como adquirido o no adquirido por el alumno, sino que cabría hablar de “en estado de adquisición” e incluso cuantificar ese estado.
- La computación afectiva, que está en sus comienzos, permitiría conocer (a partir de la interacción del estudiante con el sistema) y tener en cuenta el estado afectivo del alumno e incluso tratar de mejorarlo. De esta manera no cabe duda que también mejoraríamos el proceso de aprendizaje del que el verdadero y único motor es el propio estudiante.
- Por otra parte, se intenta abordar el problema de la construcción automática de ontologías, pues la solución del mismo supondría un avance importante en la automatización de la construcción de dominios de aprendizaje.

7. Objetivos de la Tesis

El objetivo general que se plantea en esta Tesis es la comprobación empírica de la facticidad, versatilidad y ventajas del uso de e-learning

inteligente como instrumento de formación continua en la empresa.

En cualquier caso queremos establecer como meta fundamental la integración coherente de los aspectos cognoscitivos, educativos, tutoriales e informáticos y del aprendizaje humano en los prototipos, sin que ninguno de ellos pueda obstaculizar o minimizar a los restantes. Es cierto que la infraestructura informática condiciona en buena parte las posibilidades finales del prototipo, pero trataremos de optimizarla para que los restantes aspectos del prototipo puedan alcanzar un desarrollo óptimo.

Este objetivo general se desdobra en los objetivos específicos siguientes:

- 1) Diseño y construcción de una plataforma de software dedicada a factoría de agentes con capacidades cognitivas importantes a determinar, que permita la producción y clonación de esos agentes inteligentes y su empleo en prototipos específicos dedicados a propósitos variados. También se pretende que la construcción de dicha factoría sea lo más independiente posible de los dominios de conocimiento a adquirir por el alumno o alumnos, a fin de que se pueda realizar el objetivo siguiente.

Estos prototipos posteriores serán como “hijos” de la factoría de agentes, que heredarán todas las funcionalidades y características insertadas en la misma, aunque se diferenciarán por su dominio de aprendizaje concreto y específico asignado para cada prototipo.

- 2) Elaboración de un primer prototipo de sistema e-learning inteligente, a partir de la factoría de software anterior, que supere el estado actual del arte, es decir: que disponga de una base de conocimiento adecuada para que un alumno o un grupo de alumnos, puedan realizar tareas de aprendizaje en un determinado campo de conocimiento empresarial, y que sean corregidos, animados, tutorizados y evaluados automáticamente por el sistema informático desarrollado. Como puede verse, uno de los objetivos paralelos

- que se intenta conseguir es que el prototipo sea lo más automático posible.
- 3) A partir de ese primer prototipo, y contando con la experiencia adquirida, se elaborará algún otro, para comparar resultados. Se procurará que alguno de los prototipos vaya encaminado al aprendizaje de la toma de decisiones, puesto que este tema tiene gran importancia en la actualidad empresarial, y presenta rasgos específicos que lo distingue de otros tipos de aprendizaje.
 - 4) Estos prototipos serán utilizados sistemáticamente por grupos de alumnos elegidos aleatoriamente y no a base de voluntarios, para impedir así la existencia de factores iniciales a favor o en contra de la utilidad o eficacia de los prototipos.
 - 5) Al terminar el proceso de aprendizaje de alumnos en los diversos prototipos, es necesario llevar a cabo evaluaciones de los grupos de alumnos, desde el punto de visto del aprendizaje adquirido, para valorar la utilidad y eficacia de los prototipos. No obstante, dada la complejidad, tanto constructiva como operativa de los prototipos, se deben incluir otras evaluaciones a cargo de expertos cualificados en el dominio de aprendizaje para comparar las decisiones de éstos con las que adoptan los prototipos.
 - 6) Seguidamente se ha de iniciar una nueva fase en la que los prototipos sufrirán mejoras y ampliaciones para aumentar sus capacidades operativas en dos direcciones distintas. Una de ellas será la utilización de técnicas de lógica borrosa tanto para ir adquiriendo una idea más precisa de la marcha del proceso y del estilo de aprendizaje de cada alumno, como para realizar la evaluación final de éste. La otra dirección será la incorporación de la computación afectiva para que los prototipos puedan estimar el estado afectivo del alumno e intervengan también tutorialmente no sólo en el terreno cognitivo sino también en el afectivo para tratar de compensar, cuando se necesite, ese estado afectivo del alumno con el objeto de mejorar

el proceso de aprendizaje. La última dirección apunta a la construcción automática de ontologías. La incorporación de estos factores técnicos se realiza para tratar de aumentar el realismo y la eficacia de los prototipos en el proceso de aprendizaje, haciéndolos más próximos al funcionamiento humano.

- 7) Los prototipos mejorados, deben ser de nuevo usados por grupos de alumnos, en un proceso similar al descrito en el objetivo 5).
- 8) La complejidad de los prototipos mejorados requiere el desarrollo de una metodología específica de evaluación completa de estos prototipos para poder analizar los distintos aspectos que abordan, que debe tener en cuenta no solo su uso por los alumnos sino también su análisis y examen por expertos tanto en las materias del conocimiento a adquirir como del proceso de aprendizaje y funciones educativas. Esta metodología ha de ser aplicada a la evaluación completa de dos prototipos distintos.

8. Metodología de desarrollo

Dado que la labor a desarrollar incluye aspectos de diversa naturaleza, la metodología a seguir se ha descompuesto en metodologías propias de los diversos campos específicos que se abordan y que se integran necesariamente para poder llegar a resultados prácticos y reales.

Precisamente con el objetivo de darle el mayor ámbito de operabilidad, se concibe el sistema informático de la factoría y los prototipos como sistemas multiagentes^{57,58}, es decir, llevados a cabo por una colección de agentes inteligentes o “criaturas” de software que actúan autónomamente y que cuentan con capacidades interesantes de toma de decisiones y de aprendizaje a partir de su experiencia. Existen hoy herramientas informáticas constructoras de agentes, pero dado que siempre estas herramientas constituyen un techo

⁵⁷ H.J. Wu, S. Huang, *An Intelligent E-Learning System for Improving TQM Performance*, ICIT 07, 2007

⁵⁸ F. Rickett, *AXSYS: An Intelligent System for E-Learning*, Kybernetes, Vol. 36, nº 3-4, 2007, pág. 476-483

difícilmente superable de posibilidades y capacidades, preferimos utilizar una arquitectura modular propia, a determinar. Esta arquitectura permitirá introducir en ella no sólo las posibilidades actuales de lo que en el actual estado del arte se llaman agentes inteligentes, sino dotarle de capacidades novedosas como el empleo de la lógica borrosa y la computación afectiva. Por tanto, todos los agentes dispondrán de la misma arquitectura modular; en cuanto al contenido de los módulos, podrán tener el mismo conocimiento o no, según su misión y finalidades. Esta similitud de arquitectura permitiría la clonación inmediata de agentes cuando el volumen de una determinada tarea aumentara permitiendo así contar con una mayor fuerza laboral que la ejecutara.

En cuanto a las misiones de estos agentes inteligentes se contemplan como más importantes las siguientes:

- Agentes encargados de las interfaces visibles en los monitores. Su misión sería tanto “entender” las actuaciones del usuario con el sistema informático, bien en forma de pregunta o de respuesta, y la composición de toda la información que ha de aparecer en pantalla al usuario en cada circunstancia. De esta manera la interfaces podrán ser adaptativas o adaptables al usuario y a sus circunstancias.
- Agentes encargados de toda la base de conocimiento (o de una parte de ella). Su misión es desplegar la información que el usuario ha de aprender en cada momento, analizar si la respuesta recibida es errónea o no, y proponer las tácticas cognoscitivas adecuadas para la mejora del aprendizaje. Se contempla a este respecto un análisis de errores (superficiales o profundos) y sus posibles causas para determinar las técnicas correctivas adecuadas.
- Agentes tutores, encargados de evaluar la situación en que se encuentra el aprendizaje y proponer las tácticas educativas pertinentes en cada

caso. Su acción inteligente incluirá hasta el posible cansancio del usuario y la propuesta de las medidas oportunas. Desde el punto de vista del aprendizaje humano y tareas educativas, queremos basarnos tanto en la teoría estructuralista de Piaget⁵⁹ como en la del “andamiaje” de Bruner⁶⁰ como modelos a seguir en la conducción de las tareas cognitivas y educativas de los agentes inteligentes. En cualquier caso, el aprendizaje y las funciones educativas y tutoriales requerirán un detallado análisis para potenciar estos aspectos en los prototipos.

- Agentes de control cuya misión sería coordinar la actividad de los restantes agentes, realizar las clonaciones o supresiones de agentes cuando no fueran necesarios y solventar los conflictos que pudieran darse entre ellos, como sería el intento simultáneo de actuación de varios de ellos.

Es importante aclarar que el trabajo informático parte de la previa asignación de tareas y misiones específicas a los agentes, por lo que una buena parte de esta memoria tendrá que abordar la descomposición de la tarea global del prototipo en subtareas o tareas concretas que puedan ser adecuadamente asignadas a los agentes encargados de llevarlas a cabo. El trabajo posterior de programación del agente no será tenido en cuenta por pertenecer a tecnicismos informáticos.

9. Etapas de desarrollo y su descripción en esta memoria

Conviene iniciar este apartado advirtiéndolo que como consecuencia del enfoque pluridisciplinar adoptado, que ha cristalizado en el análisis de bastantes problemas interrelacionados, el desarrollo de este trabajo ha seguido un avance en espiral que es difícil de hacer ver en una memoria que ofrece siempre una perspectiva lineal. No es posible en cada momento del avance

⁵⁹ B. Wadsworth, *Piaget's Theory of Cognitive and Affective Development: Foundations of Constructivism*, Allyn and Bacon, 5th edition, 2003.

⁶⁰ J. Bruner, *Acción, pensamiento y lenguaje*, Alianza, 1984.

hacer ver, dentro de los límites prudenciales de las páginas de una memoria, cómo ese pequeño adelanto conseguido ha obligado a modificar el conocimiento existente en los agentes, incluso incluyendo en ellos nuevas funciones, introducir nuevos datos en el modelo del estudiante que refleja su historia, prever nuevas funciones tutoriales y educativas que tengan en cuenta, aunque sólo sea a efectos de mejorar la motivación del alumno, las nuevas situaciones que ahora al realizar ese avance hay que contemplar. En definitiva, hay que insistir en que todos los elementos (que son muchos) que integran este trabajo sufren una modificación permanente a lo largo del mismo.

En efecto, tal como se indica en el capítulo II, se manejan cuatro aspectos para integrarlos coherentemente, que son:

- a) la infraestructura informática con todo lo que conlleva;
- b) los actores humanos del proceso de aprendizaje, como son el o los alumnos, el experto humano, y el o los tutores y educadores (agentes informáticos);
- c) el propio proceso de aprendizaje humano que hay que desentrañar lo más posible para extraer de él las funciones educativas y tutoriales de todo tipo e insertarlas en los agentes;
- d) el automatismo de la integración de los aspectos anteriores para minimizar la tarea del tutor o instructor humano.

En el análisis del proceso de aprendizaje han surgido y han sido estudiados bastantes problemas concretos; entre ellos hay que destacar:

- La descomposición de una tarea, habilidad o problema, objetos del aprendizaje, en sus componentes cognitivos.
- El análisis de errores de los alumnos.
- La representación y manejo en ordenador del conocimiento y experiencia del experto humano.

- La representación y manejo en el ordenador del historial del alumno.
- El control de los agentes inteligentes que, en ocasiones, tratan de actuar simultáneamente disputándose la prioridad de funcionamiento.
- La migración rápida de aprendices a expertos.
- El problema de “aprender a aprender”.
- La evaluación de los estudiantes y de los propios prototipos.

Es inmediato comprobar sin hacer grandes esfuerzos, que cada uno de esos problemas implica los cuatro aspectos ya planteados que hay que considerar simultáneamente para ver cómo se interrelacionan. Además, resulta obvio que los problemas mencionados están fuertemente relacionados entre sí, pues por ejemplo, el problema de la migración de aprendices a expertos depende: de la representación del conocimiento tanto del experto como del estudiante, de las tácticas cognitivas empleadas, de la descomposición del dominio de conocimiento a adquirir en sus elementos cognitivos, de la consideración o no de técnicas de lógica borrosa y de la inclusión o no de técnicas afectivas.

A todo lo expuesto hay que agregar una nueva observación que todavía modifica más y complica lo anteriormente expuesto. Esta investigación no se desarrolla únicamente sobre el papel sino que se instrumenta en sistemas que han de funcionar con eficiencia suficiente en el mundo real. Eso hace que aparezcan ahora multitud de nuevas cuestiones que tienen que ver con ese funcionamiento real del sistema frente a alumnos, como su sencillez de funcionamiento, facilidad de comprensión, robustez, tolerancia a fallos, rapidez de respuesta, gestión administrativa de alumnos, etc. En general estas cuestiones más relacionadas con los aspectos informáticos del sistema, no serán descritas aunque, obviamente, han influido en la propia infraestructura informática, formas de representar el conocimiento, etc. a lo largo de todo el

desarrollo de cada prototipo.

Se ha tratado por todos los medios de no repetir los temas en la memoria, realizando una división de los mismos que puede parecer arbitraria pero que se justifica por las técnicas que más influyen en su desarrollo o por los momentos en los que éste es importante. Así, de los problemas abordados aparecen algunos en el capítulo II; son los que presentan un mayor desarrollo teórico o influyen de manera primordial en los restantes. Otros problemas tratados se incluyen en el capítulo III, que trata fundamentalmente de la factoría de software, porque posiblemente puedan abordarse en términos genéricos sin necesidad del problema concreto. De igual manera aparecen otros problemas en el capítulo IV porque en ellos es más conveniente para su análisis contar con casos específicos de aprendizaje. Por último el capítulo V también desarrolla algunos problemas tratados porque en ellos la aportación de las nuevas técnicas de inteligencia artificial incorporadas ocupa un lugar importante.

En los problemas específicos suele hacerse inicialmente un análisis del “estado del arte” del problema para pasar a comentar las soluciones existentes hasta el momento. Rara vez son aplicables directamente esas soluciones a este trabajo teniendo en cuenta la mayor complejidad en la que se desenvuelve y el elevado número de variables que intervienen, razones por las que o bien se modifican y amplían esas soluciones o se hace un planteamiento de solución completamente nueva.

Por todo ello se ha optado para el desarrollo de esta memoria el procedimiento siguiente:

- Inicialmente se narran los antecedentes y motivación existentes para abordar este trabajo que aparecen en un capítulo previo titulado Antecedentes.
- Seguidamente, en el capítulo I se hace una introducción consistente en la consideración histórica del momento actual y más concretamente de la

sociedad de la información y del conocimiento, para analizar los antecedentes técnicos de este trabajo, compuestos fundamentalmente por la informática educativa inicial y los sistemas e-learning, que gozan actualmente de bastante predicamento. Tras una visión sucinta de cómo se está iniciando tímidamente la producción de sistemas e-learning inteligentes, con potencial todavía reducido, se exponen los objetivos que se propone alcanzar esta investigación, su metodología y etapas.

- El capítulo II sintetiza los fundamentos teóricos elaborados como punto de partida de esta investigación en relación con las cuatro ópticas que se integran en la misma, ya mencionadas: la infraestructura informática centrada en los sistemas multiagente con una propuesta de una única arquitectura de agente a utilizar en todos los casos; el proceso de aprendizaje humano y su posible modelización; la manera de utilizar eficazmente su análisis y el dominio de conocimiento del experto humano y modelo del estudiante; y, por último, la automatización de la integración de esos aspectos u ópticas.

La necesidad de analizar estos elementos mencionados con total independencia del dominio concreto y específico de cada prototipo que se elabore posteriormente, obliga a manejar únicamente el “metaconocimiento”, lo cual imprime, no cabe duda, una enorme aridez a lo que se analiza y se describe en esta memoria.

También incluye el capítulo una aproximación al problema de “aprender a aprender” y la descripción de la herramienta BCTA, desarrollada en este trabajo, de la que se ha hecho uso muy intenso a lo largo del mismo. Se analiza igualmente el problema del control y arbitraje de agentes, para pasar a concretar muchas de estas cuestiones con el prototipo: ESTRUCT; se trata de un sistema e-learning inteligente y el hecho de ser de tipo reactivo lo hace

más simple. Ello permite describir sucintamente los principales procesos que han implicado su diseño y construcción. Precisamente porque los agentes no requieren toda la funcionalidad que proporciona NEOCAMPUS, se le sitúa en la memoria antes que él.

Por último se hace un análisis de las posibles funcionalidades de estos nuevos sistemas e-learning inteligentes que se proponen; como se verá más adelante muchas de ellas se implementarán en este trabajo.

- En el capítulo III se aborda la construcción de la factoría de agentes. Para ello se concretan los módulos de apoyo del agente, y la estructura de los restantes módulos. Se detalla el subsistema de filtrado y elaboración de resúmenes de información así como las pruebas realizadas del mismo. Igualmente se concretan algunos de los problemas abordados, así como el análisis y diseño de las funciones tutoriales generales y específicas a implementar, de los instantes de puesta en marcha, así como los criterios para las diversas evaluaciones a efectuar. Esas funciones concretadas en tácticas y estrategias han sido elaboradas preferentemente en forma de reglas de producción (proposiciones condicionales) para ser manejadas automáticamente de forma lógica.
- La elaboración del primer y segundo prototipos, con características similares pero dominios de conocimiento distintos, se describe en el capítulo IV. Lo necesariamente nuevo han sido las bases de conocimiento de cada uno de ellos.
- Las técnicas de computación afectiva, lógica borrosa y construcción automática de ontologías se analizan en el capítulo V indicando tanto los pormenores de su utilización, como en los problemas, elementos y prototipos en los que se han introducido, presentándose algunas pruebas de los resultados obtenidos.

- El capítulo VI está dedicado a la elaboración de una metodología de evaluación global y parcial de los prototipos elaborados. Esa metodología ha sido utilizada en todos los prototipos; se incluye la evaluación completa de dos de ellos puesto que su aplicación es reiterativa y los resultados han sido siempre muy similares.
- El último capítulo pretende resumir y sintetizar buena parte de los trabajos llevados a cabo, analizar los resultados obtenidos, extraer algunas conclusiones y formular lo que podrían ser futuros trabajos complementarios.

CAPÍTULO II- NUEVA GENERACIÓN DE SISTEMAS E-LEARNING INTELIGENTES

1. Óptica utilizada: fundamentos

Hasta el momento los sistemas de aprendizaje obtenidos, incluso incluyendo técnicas de inteligencia artificial (e-learning inteligente) presentan importantes limitaciones en relación con su funcionalidad y prestaciones que pueden agruparse y resumirse en las siguientes:

- Una buena parte de los sistemas elaborados, posiblemente los más potentes, dedican gran atención al proceso informático, su diseño, su implementación y su operatividad informática. No obstante, sus funciones educativas y tutoriales son muy limitadas y el alumno no adquiere el sentimiento de verse acompañado realmente por “alguien” que siga de cerca su formación y le aconseje en los momentos de dificultad. Por otra parte, existen recursos informáticos, bien de diseño, bien de coordinación y control, que no han sido usados, aunque podrían contribuir a aumentar la eficacia del sistema.
- Otra buena parte de los sistemas e-learning inteligentes elaborados utiliza el ordenador como soporte del aprendizaje tradicional, es decir, como si el libro de texto se introdujese en la máquina y ésta fuese el soporte casi exclusivo del proceso de aprendizaje. De esta manera el aprendizaje se realiza siempre de manera lineal obligando al alumno a seguir un camino obligatorio y único sin tener en cuenta sus particularidades propias y estilo de aprendizaje.
- El proceso de aprendizaje, con todo lo que integra, apenas es contemplado en profundidad en la casi totalidad de los sistemas elaborados. Se limitan a

realizar unas evaluaciones del alumno en determinados momentos y a proponer tácticas remediales o sustitutivas para tratar de recomponer los fallos existentes, pero no se tiene en cuenta el proceso de adquisición de experiencia, ni la forma de convertir de manera rápida y óptima a los aprendices en expertos, lo cual constituye el objetivo fundamental de todo proceso de aprendizaje.

- Casi ninguno de los sistemas elaborados aborda el importante tema del aprendizaje en grupo. No cabe duda de que este tipo de aprendizaje es de suma importancia en la actualidad, sobre todo si se tiene en cuenta la moderna concepción de la empresa (y de otras instituciones) como organismo de aprendizaje. Este tipo de aprendizaje requiere considerar los posibles roles existentes en el grupo, las discusiones dentro del mismo, y la forma de toma de decisiones y de aprendizaje cooperativo que puede tener lugar en el mismo.
- Las evaluaciones de alumnos llevadas a cabo por estos sistemas elaborados son excesivamente simplistas, la mayor parte de las veces compuestas por preguntas de respuesta múltiple o ejercicios de los que sólo se corrige la respuesta final, usualmente numérica, dada la dificultad de que el sistema evalúe las posibles técnicas de alcanzar la solución de problemas, o las etapas intermedias del proceso de solución. Se plantean en ese caso serias dudas sobre la relación existente entre los resultados de las evaluaciones realizadas y el conocimiento o habilidades realmente adquiridos por los alumnos.
- La determinación de los errores del alumno, usualmente por comparación con datos obtenidos del conocimiento a adquirir, se realiza únicamente en un nivel superficial sin llegar a analizar causas más profundas que pueden dificultar el aprendizaje de otros apartados del dominio con los que,

aparentemente, no guarda ninguna relación.

Muchos otros patrones similares deficientes podrían enunciarse en relación con los sistemas elaborados hasta el momento. El denominador común de todos ellos parece ser la falta de coordinación y coherencia entre todos los factores y personas que intervienen en la concepción y diseño de este proceso de aprendizaje realizado con ordenador, que son los expertos educativos, los expertos en el dominio de aprendizaje o habilidades a adquirir, y los expertos en ingeniería informática e inteligencia artificial. Así, muchas veces los educadores y expertos en el dominio no son conscientes de las posibilidades operativas de la infraestructura informática y solicitan o reclaman sólo una mínima parte de los recursos informáticos disponibles. Otras veces los educadores o expertos humanos conocen la importancia de determinadas actuaciones con el alumno, pero no conocen el modelo operativo de las mismas que permita su automatización.

En definitiva, se comprueba que hasta el presente no se ha producido la adecuada cooperación y sinergia entre los diferentes procesos y elementos que interactúan en el gran proceso del aprendizaje humano.

Como consecuencia, la actuación multidisciplinar que se propone⁶¹ y que se ha seguido en esta investigación parte de una integración y coherencia máxima entre los aspectos educativos, los expertos en el dominio de conocimiento o habilidad a adquirir y la infraestructura informática que se utilice, de manera que se maximice su actuación conjunta agotando, si es posible, las posibilidades informáticas con objeto de maximizar la eficacia, operatividad y automatismo del sistema. Por otra parte, se intenta también que su fiabilidad global sea la mayor posible, para lo cual el sistema deberá sufrir

⁶¹ F. de Arriaga, M. El Alami, A.L. Laureano, A. Ugena, "E-LEARNING: Una nueva Generación de Sistemas Inteligentes de Aprendizaje", *Revista de la Fundación "Rogelio Segovia"* Vol. III, Junio 2002, pág. 20-29.

todo un proceso de evaluación compleja y exhaustiva que contemple toda la funcionalidad, la operatividad del sistema así como los resultados obtenidos.

De acuerdo con esta óptica asumida se pasa ahora a analizar los distintos elementos que intervienen en el desenvolvimiento de estos sistemas e-learning inteligentes y que acabamos de mencionar.

2. Infraestructura informática: sistema multiagente

La infraestructura informática está constituida por un sistema multiagente. Se pretende en esta sección dar una descripción de esa infraestructura, prescindiendo de los tecnicismos informáticos correspondientes, por lo que esa descripción se realizará teniendo en cuenta fundamentalmente el punto de vista del usuario.

Por lo pronto esos agentes son agentes cognitivos o inteligentes, es decir, son entidades de software que disponen de las propiedades siguientes:

- Son autónomos, es decir, cada agente realiza tareas sin la intervención de personas aunque puede recibir órdenes e interactuar con ellas, contando o no con la colaboración de otros agentes.
- Son “inteligentes”. No existe una definición científica de inteligencia, por tanto, se quiere indicar con ese término que, de acuerdo con Newell⁶², poseen un cierto conocimiento con el que actúan y con el que “razonan” (obtienen consecuencias del mismo).
- Son capaces de aprendizaje de nuevo conocimiento, o de mejorar su capacidad de decisión, adquisición de habilidades y/o estrategias cognitivas a partir de su propia experiencia.
- Disponen de “movilidad”, aludiendo a su posible transferencia a otros sitios de una red informática local, de extensión media o amplia, como sería el caso de agentes que se mueven por Internet.

⁶² A. Newell, “The Knowledge Level”, *Artificial Intelligence*, Vol. 18 (1), 1982, pág. 87-127.

- Actúan movidos por metas específicas que, o les han sido asignadas de antemano, o le son comunicadas por otras agentes, o escogidas por el propio agente en función de las circunstancias con las que se encuentra y del trabajo a realizar.
- Pueden interactuar con otros agentes para la consecución de los objetivos que tienen o para la resolución del problema asignado.
- Cumplen sus tareas y objetivos con eficacia aceptable, usualmente mayor que la de los seres humanos si se tiene en cuenta las grandes velocidades de cálculo, búsqueda y toma de decisiones con que cuenta.
- Pueden ser fácilmente “clonados” o multiplicados, para así aumentar el número de agentes que realizan una misma tarea cuando ello se requiera.

Con este concepto de partida es fácil aceptar la arquitectura de agente diseñada para este trabajo que es la que a continuación se describe por módulos.

2.1 Arquitectura⁶³ del agente cognitivo

A) **Módulos específicos del agente.** Describen su “personalidad” y sus tareas.

1) **Módulo de conocimiento específico**

Ante todo, dada la complejidad de este conocimiento, se ha optado por dotar a este módulo, de una organización por capas o niveles jerárquicos para mejorar su coherencia interna, distribuyendo por niveles tanto la propia planificación como el control, mejorando también de esta manera el empleo de los recursos de computación y la eficacia global del sistema. Las capas o niveles están ordenados de acuerdo con su complejidad cognitiva creciente.

- Nivel 1-Comportamientos reactivos.

⁶³ F. de Arriaga, M. El Alami, “Multi-Agent Architecture for Intelligent E-Learning”, *Proceedings 10th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems, ICECS (2003)*, Sharjah, pag. 136-146.

Esta capa incluye los elementos cognitivos que dotan al agente de los comportamientos más rápidos y automáticos que suelen denominarse reactivos. Se encarga de que se puedan ejecutar tareas del tipo: percepción/acción, que consisten en que tan pronto se den determinadas condiciones, bien captadas por sensores, bien correspondiendo a circunstancias específicas (datos recibidos que son las entradas del proceso que se realiza en este nivel), se ponen en marcha rápidamente las acciones necesarias elegidas de un catálogo y que constituyen la respuesta adecuada para salvar la situación que se ha hecho presente. Cuando este nivel detecta que no dispone de acciones para responder a la situación planteada, su propio módulo de control, del que se hablará más adelante, advierte de ello al nivel superior (nivel 2) y le transfiere el control para que este nivel 2 actúe. También puede recibir este nivel de los niveles superiores instrucciones relativas a nuevas tareas a llevar a cabo, de tipo reactivo, si para ello dispone del conocimiento suficiente.

- Nivel 2-Comportamientos tácticos.

Este nivel contiene el conocimiento que permite al agente llevar a cabo comportamientos tácticos cuya realización no es tan rápida o perentoria como en el caso de los comportamientos reactivos, pero que requieren un conocimiento más detallado. Así, por ejemplo, se incluyen en este nivel modelos del mundo exterior (no necesarios en el nivel reactivo) suficientes para poder analizar las situaciones específicas propias de este nivel y la ejecución de tareas relativas a las metas que tiene. Posee modelos específicos de planificación de primer nivel (tácticos), usualmente en la forma de algoritmos, con posibilidad de que el agente concatene algoritmos para un comportamiento táctico más avanzado. Posee también técnicas para tratar los errores que se presentan, y procedimientos relativos a técnicas o

habilidades de tipo comportamental. Tal como ocurría en el nivel anterior, cuando detecta la imposibilidad de ejecución de una meta o comportamiento establecido informa al nivel 3 del hecho y le transfiere el control para que actúe.

- Nivel 3- Comportamientos estratégicos.

Este nivel aborda, de acuerdo con su denominación, decisiones y planes de mayor alcance y envergadura, usualmente a largo plazo, y precisa para ello de mayor complejidad cognitiva. Como veremos, asume los problemas más difíciles de cooperación entre agentes. Posee metas predefinidas o asignadas por el módulo de estado (lo trataremos posteriormente) estableciendo los planes adecuados a partir de los modelos o planes elementales básicos con los que cuenta. Es posible e incluso frecuente que no disponga de conocimiento suficiente para llevar a cabo las metas establecidas y aquí es cuando puede entrar en funcionamiento la cooperación con otros agentes. Para esta cooperación el agente debe disponer de una copia parcial del modelo de los restantes agentes para, en un caso, solicitar su cooperación cuando sea posible. Existen diversos modelos de cooperación y serán comentados oportunamente. Cuando la meta no es alcanzable ni siquiera contando con la colaboración de otros agentes, advierte al usuario y solicita la continuación del proceso para alcanzar las submetas u otras metas posibles.

Este módulo es el más específico del agente y guarda una relación directa con la misión encomendada al agente en cada prototipo.

2) Módulo de estado

Incluye este módulo el conocimiento que correspondería al “estado mental explícito” o personalidad del agente, que incluso puede ser modificado

mediante su propio razonamiento o las influencias del mundo exterior. A su vez está estructurado en submódulos de los que los más importantes son:

a) Creencias (estado informacional) del agente, compuesto por:

- el modelo específico del agente, que incluye su identidad reflejada en un nombre, fecha, misiones, metas independientes del contexto y prioridades; las autorizaciones y límites de que dispone; y los recursos de todo tipo tanto ordinarios
- el modelo del mundo exterior que estrictamente necesita, estructurado por situaciones o mundos posibles que puede encontrar, tanto normales aunque con determinados problemas, como situaciones de alarma, de emergencia y especiales, así como las actuaciones requeridas para cada una de las situaciones posibles.
- el modelo social del sistema de agentes que debe incluir tanto modelos descriptivos de los restantes agentes, como los modelos posibles de cooperación como son: la cooperación automática u obligada, la cooperación voluntaria o razonada, la cooperación por oferta y adjudicación de contrato, etc.

b)-Deseos o motivaciones del agente, a su vez compuesto por:

- deseos o preferencias sobre los estados del mundo exterior o cursos de acción. El razonamiento sobre estos deseos se estructura como un razonamiento fines/medios que depende de las características del mundo exterior y del propio estado del agente. De ese razonamiento se obtienen las metas posibles a conseguir por el agente, que pueden ser metas ordinarias con su frecuencia (diaria, semanal,...), prioridades o metas extraordinarias con sus prioridades. Estas metas pueden estar ya estructuradas “a priori” como, por ejemplo:

*Conseguir la meta X: recursos asociados ordinarios para su obtención,

recursos mínimos, duración, consecuencias, informes, colaboraciones usuales, recursos extraordinarios y su coste (algunos de estos recursos pueden estar ubicados en los modelos de otros agentes).

c)-Deliberaciones e intenciones del agente, integrado por:

- intenciones que implican la formación de metas reales que pueden ser impuestas, otras aceptadas en sus distintas variantes por solicitud de otros agentes;
- mantenimiento de esas intenciones, que puede ser permanente, o mientras crea que puede conseguirlas o en tanto libremente lo estime oportuno;
- clasificación de las metas aceptadas en: reactivas, tácticas y estratégicas.

d)-Aspectos dinámicos; no es fácil tenerlos en cuenta pero en determinados casos puede ser necesario considerar la variación temporal de las preferencias, intenciones y sus interrelaciones, así como la propia historia del agente o de las circunstancias externas o de los resultados del aprendizaje del agente.

Este módulo de estado, como se ve, no incorpora conocimiento específico para realizar las tareas. De esta manera se consigue, entre otras cosas, que el módulo de estado sea casi idéntico o muy parecido para todos los diversos agentes de un sistema, lo cual favorece en cierto modo la interoperatividad o la intercambiabilidad de tareas. Tampoco se ocupa de la planificación de las metas adquiridas, que se relega a otros módulos del agente, salvo la adopción de actuaciones básicas importantes, especificadas de antemano para situaciones muy especiales.

En suma, el estado mental del agente viene integrado por:

a) Un estado mental estático que incluye tanto la información percibida por el agente a través de sensores o mensajes que recibe, como las creencias de que dispone sobre el mundo exterior y su estado y la ocurrencia de determinadas acciones con sus efectos, como las metas predefinidas y estados particulares del

mundo exterior con especial relevancia, así como un conjunto de funciones de preferencia que describen la motivación del agente con las que puede determinar otras metas posibles en función del estado del mundo exterior y el del propio agente. También incluye un conjunto de funciones de intención que describen el comportamiento deliberativo del agente que permite determinar las metas reales a partir de las que son posibles.

b) Un estado mental dinámico ocasionado por la variación temporal de los estados de relevancia, de las funciones de preferencia o de las funciones de intención así como sus interrelaciones. También integran este estado dinámico la propia historia de las actuaciones del agente y evolución del mundo exterior, así como los efectos del módulo de aprendizaje del agente (descrito posteriormente) sobre el estado mental del agente produciendo la adquisición de nuevo conocimiento, nuevos estados de relevancia o variaciones en las funciones de preferencia o intención.

3) Módulo o sistema de control propio del agente

El sistema de control del agente es un sistema jerárquico constituido por dos niveles: un primer nivel integrado por el control general común o global del agente, y un segundo nivel o específico de cada uno de los niveles del módulo de conocimiento específico y de algún módulo más como el módulo de aprendizaje, el módulo de percepción y el módulo de comunicación.

a) Sistema de control general. Como sistema de control de máximo nivel adopta un ciclo de control único al que han de someterse los controles específicos de segundo nivel. Este ciclo de control se compone de las etapas siguientes.

- Análisis de la situación; en esta etapa se evalúan las metas a obtener y sus prioridades, así como la suficiencia y adecuación de los recursos, operadores o conocimiento existentes.

- Se analiza el camino para llegar a las metas finales determinando las submetas más próximas y estimando posibles tareas críticas.
- Se planifican las tareas a realizar para conseguir las submetas y metas.
- Se ejecuta la planificación realizada con las acciones que están disponibles.
- Se vigila y controla esa ejecución por si se presentaran anomalías que obligaran a iniciar este ciclo.

Este sistema general de control se completa con un submódulo constituido por un motor de inferencia que actúa a modo de razonador sobre el conocimiento existente, donde quiera que se encuentre y necesite, fundamentalmente en los niveles de conocimiento específico. Sin embargo, todos los restantes módulos que incluyan conocimiento particular representado por reglas de producción (proposiciones condicionales) o de manera similar, también pueden hacer uso de este motor de inferencia.

b) Sistemas de control específicos. Se encuentran ubicados en cada nivel del módulo de conocimiento específico y en los módulos anteriormente citados. Cada uno incluye sus propias peculiaridades y entre ellas las transferencias de niveles entre capas, transferencias entre algunos módulos y el tratamiento de los errores advertidos.

B) Módulos de apoyo del agente. Deben incluir potentes herramientas válidas para el ejercicio de cualquier tarea.

4) Módulo de aprendizaje del agente

Con objeto de que el agente pueda desarrollar sus capacidades cognitivas, debe disponer de los elementos adecuados para ello, y esos elementos son técnicas de aprendizaje de máquina. El módulo de aprendizaje que se pretende construir debe incluir diversas técnicas que no dependen del conocimiento o problema concreto sobre el que actúan; es por tanto un módulo

general de apoyo. A este módulo tienen acceso los distintos niveles tácticos y estratégicos comunicando los datos del problema que se estudia en el formato adecuado con objeto de aplicar la técnica de aprendizaje de máquina que se necesite.

5) Módulo de percepción del agente

En este módulo se inserta el sistema sensorial de que dispone el agente para la captura de datos del exterior y su procesamiento previo si se necesita. Realiza operaciones como: abrir o cerrar un sensor, calibrarlo y recibir la confirmación de haberse realizado, mover un sensor de acuerdo con las indicaciones recibidas de su nueva ubicación y modificar sus características operativas. La información obtenida pasa al módulo de estado que determina el o los niveles de conocimiento específico a los que debe llegar esta información, así como las metas con las que se compromete el agente, que también pasan al nivel correspondiente.

6) Base de conocimiento del agente

El agente necesita en la mayoría de los casos, según la índole del problema a resolver, disponer de una base de datos específica para él o compartida por otros agentes, donde irá almacenando todas las circunstancias con las que se va encontrando y todos los resultados parciales que va obteniendo en su actividad.

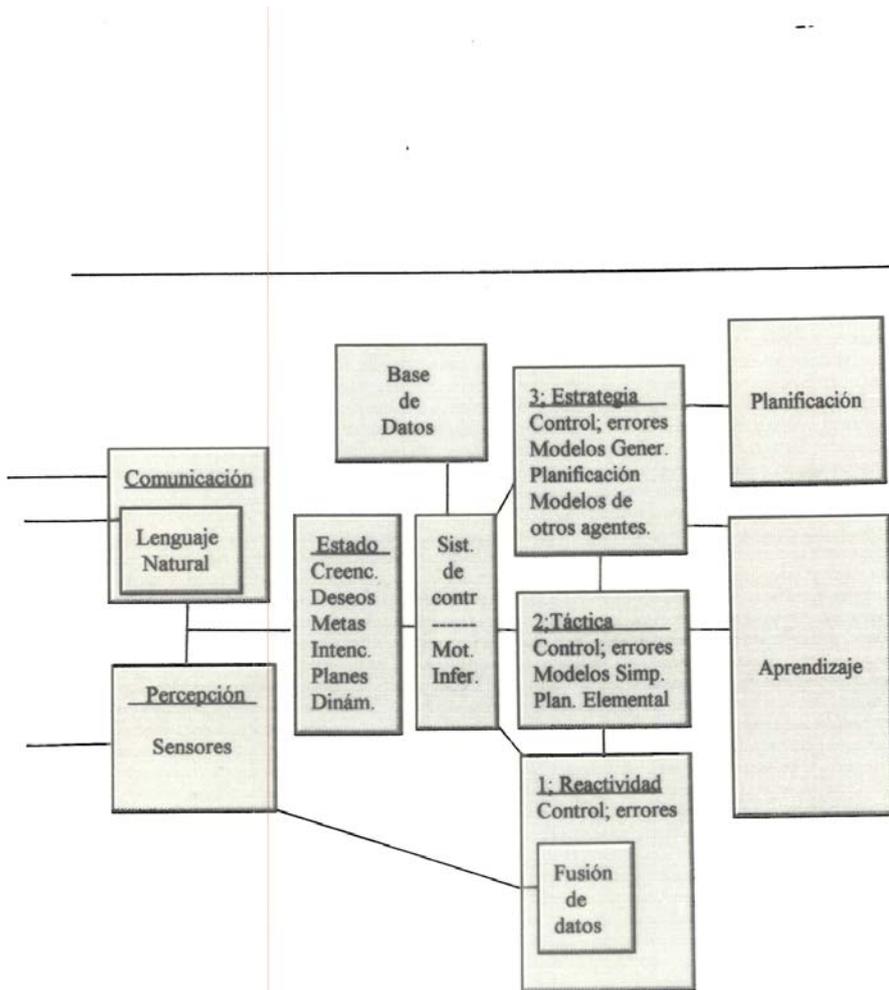


Figura 1: MODELO DE AGENTE COGNITIVO

7) Módulo de comunicación

Este módulo se encarga de:

- Recibir los mensajes de los otros agentes complementando esa función con tareas como: determinar la identidad del agente emisor, análisis del mensaje para precisar su tipo y naturaleza, información sobre las tareas realizadas, información de la distancia, separación o alejamiento existente entre las metas asignadas y la situación actual o disponible.

Esta comunicación puede hacerse en forma preconcebida y en ese caso se incluyen los formatos adecuados y procedimientos de análisis, o en lenguaje natural, y en ese caso el módulo vendrá apoyado por un submódulo de procesamiento del lenguaje natural utilizado, encargado de realizar el adecuado tratamiento sintáctico y semántico del lenguaje.

- Hacer llegar la información procesada de los mensajes al módulo de estado para hacer variar el estado del mundo exterior y posiblemente desencadenar nuevas metas.
- Enviar a los restantes agentes los mensajes que se emitan desde cualquier nivel bien para solicitar su cooperación, bien para informarles de tareas realizadas y del estado del agente. En este caso el módulo dispondrá de los procedimientos oportunos para que los mensajes adopten el formato adecuado o utilizando frases correctas del lenguaje natural utilizado.

3. El proceso de aprendizaje

Dada la importancia que el aprendizaje ha tenido para el hombre y su especie, y que en la actualidad llega a un nivel de trascendencia o supervivencia, según se quiera ver, surge inmediatamente la pregunta: ¿cabe mejorar en algún sentido el proceso humano de aprendizaje?

Para intentarlo, centrándonos de momento en su proceso cognoscitivo, es preciso reconocer como punto de partida que se trata de una acción psicológica compleja, cuya explicación todavía no está clara y que requiere teorías que

hasta épocas recientes no han sido capaces de comenzar a explicar sus fundamentos.

El proceso humano de aprendizaje se articula dentro o en relación con los modelos conceptuales que elabora la psicología. Sería pretencioso hacer aquí una revisión de los desarrollos y cambios paradigmáticos que dicha materia ha venido sufriendo; existen buenos manuales al respecto, tanto españoles como extranjeros, más o menos recientes, como los de De Vega⁶⁴, Caparrós⁶⁵, Carretero⁶⁶, Vygotsky⁶⁷, Howard⁶⁸, Howard y Gardner⁶⁹, Piaget⁷⁰, Pozo⁷¹, Ruiz Vargas⁷² y Núñez Partido⁷³ entre otros muchos, que dan cuenta detallada de esos desarrollos y cambios. Desde la óptica adoptada cabe enunciar como síntesis los elementos siguientes:

- El paradigma conductista, tras el manifiesto de Watson, que está entroncado con una tradición pragmática y empirista. Propone una psicología objetiva y antimentalista cuyo objeto sería la conducta observable controlada por el ambiente. A esa primera etapa le sigue el llamado neoconductismo⁷⁴ en el que diversos autores como Guthrie, Tolman, Hull y Skinner tratan de obtener una teoría unitaria y al intentarlo se fragmentan en escuelas y grupos cuyos único puntos comunes son la concepción asociacionista del conocimiento y la negación tanto de la introspección como de la propia mente. Es siempre una concepción estímulo/respuesta en la que las conductas son “elementos” unidos por reglas sintácticas de acuerdo con principios de correspondencia entre el aprendizaje y la realidad externa, y

⁶⁴ M. de Vega, *Introducción a la Psicología Cognitiva*, Alianza, Madrid, 1984.

⁶⁵ A. Caparrós, *Los paradigmas en Psicología*, Horsori, Barcelona, 1980.

⁶⁶ M. Carretero, J. García Madruga, *Lecturas de Psicología del Pensamiento*, Alianza, Madrid, 1984.

⁶⁷ L. Vygotsky, *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*, Austral, nueva edición, 2012.

⁶⁸ D. Howard, *Cognitive Psychology*, Macmillan, Londres, 1983.

⁶⁹ D. Howard, H. Gardner, *El desarrollo y la educación de la mente*, Paidós, Buenos Aires, 2012.

⁷⁰ J. Piaget, *The Psychology of Intelligence*, Routledge, nueva impresión, 2001.

⁷¹ J. Pozo, *Teorías cognitivas del Aprendizaje*, Morata, Madrid, 1989.

⁷² J. M. Ruiz Vargas, *Memoria y Olvido: perspectivas evolucionista, cognitiva y neurocognitiva*, Trotta, Madrid, 2002.

⁷³ J. P. Núñez Partido, *La Mente: la última frontera*, Universidad Pontificia de Comillas, Madrid, 2012.

⁷⁴ M. Yela, “La evolución del conductismo”, *Análisis y modificación de la conducta*, 6 (11-12), 1980, pág. 179-197.

de equipotencialidad, es decir, que las leyes de aprendizaje son igualmente aplicables a todos los ambientes.

- Crisis del conductismo. A pesar de su incapacidad por producir una teoría unitaria, se producen anomalías empíricas como las de García y Koelling⁷⁵ que demostraron que no siempre se asocia el estímulo neutro contiguo a la consecuencia adversa, y las de Bolles⁷⁶, Lolordo⁷⁷, Williams⁷⁸ y otros varios. Surge el nuevo asociacionismo cognitivo que se libera de restricciones conductistas usando ideas del procesamiento de información.
- Chomsky, Newell, Simon y Millar dan origen al paradigma cognitivo que surge no en el campo de la psicología sino en el de la inteligencia artificial. Existían importantes precedentes constituidos por los trabajos fundamentalmente de Vygotsky y de Piaget, cercanos al constructivismo, pero la corriente más importante sigue el paralelismo existente entre mente y ordenador como procesadores de información.

3.1 Arquitecturas de la cognición

Una línea de colaboración entre la psicología y la inteligencia artificial ha sido el desarrollo de las llamadas *arquitecturas de la cognición*⁷⁹, que tratan de reproducir los rasgos esenciales de la mente en un sistema informático a fin de informarnos de la consistencia interna de la arquitectura propuesta y de algunas características operativas. De esa forma, la arquitectura nos ayudaría a evaluarla como modelo de la mente, comparando sus prestaciones con datos experimentales humanos⁸⁰. Es lógico que en esas arquitecturas se aborde antes

⁷⁵ J. García, R. Koelling, "Relation of cue to consequence in avoidance learning", *Psychonomic Science*, 4, 1966, pág. 123-134.

⁷⁶ R. Bolles, "Species-specific defense reactions and avoidance learning", *Psychological review*, 77, 1970, pág. 32-48.

⁷⁷ V. Lolordo, "Selective Association", en A. Dickinson, R. Boakes (eds.) *Mechanisms of learning and motivation*, Erlbaum, Nueva York, 1979.

⁷⁸ D. Williams, H. Williams, "Auto-maintenance in the pigeon", *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 12, 1969, pág. 511-520.

⁷⁹ J. Anderson, *The Architecture of Cognition*, Harvard University Press, Harvard, 1983.

⁸⁰ K. VanLehn (ed.), *Architectures for Intelligence*, Erlbaum, Nueva York, 1991.

o después el tema del aprendizaje. En relación con el tema hay que mencionar las críticas del mismo Anderson⁸¹ a la posibilidad de comparación entre arquitecturas, pues por su propia naturaleza están alejadas de los fenómenos empíricos que tratan de explicar, y por otra parte, si se acepta el principio de racionalidad que él mismo propone⁸², el sistema informático satisfará sus metas optimizando su comportamiento en relación con el entorno especificado y posibles costes operacionales. En consecuencia, a cada arquitectura se le pueden asignar ciertos fenómenos que por hallarse perfectamente incardinados en su entorno podrán explicar mejor que las otras arquitecturas sin que ello implique mejor funcionamiento global.

La importancia de estas arquitecturas ha sido destacada, entre otros, por Pylyshyn⁸³, quien la considera el problema central de la ciencia cognitiva, entendiendo por arquitectura cognitiva ese nivel de organización del sistema informático en el que los estados que se procesan tienen una representación que corresponden con los objetos del pensamiento (percepciones, recuerdos, metas, creencias, etc.). Las arquitecturas de la cognición desarrollan teorías de la capacidad cognitiva de un organismo y permiten analizar los límites de los procesos cognitivos que pueden ser explicados mediante representaciones (metas, creencias, conocimiento, percepciones,...) y algoritmos que operan sobre estas representaciones. Entre las arquitecturas de la cognición hay que mencionar:

⁸¹ J. Anderson, *The Adaptive Character of Thought*, Erlbaum, Nueva York, 1990.

⁸² J. Anderson, "The Place of Cognitive Architectures in a Rational Analysis", en K. VahLehn (ed.) *Architectures for Intelligence*, Erlbaum, Nueva York, 1991, pág. 1-24.

⁸³ Z. Pylyshyn, "The Study of Cognitive Architecture", en D. Steier, T. Mitchell, (eds.), *Mind Matters*, Erlbaum, Nueva York, 1996, pág. 51-74.

- ACT*, debida a Anderson⁸⁴, es uno de los intentos más ambiciosos y completos de elaborar una teoría psicológica unitaria desde la óptica del procesamiento de la información, aunque en realidad ha sido toda una sucesión de teorías que han ido perfeccionándose con el tiempo. La hipótesis básica es la existencia de dos tipos de memoria a largo plazo: la memoria declarativa que contiene el conocimiento descriptivo del mundo exterior, y la memoria procedimental que contiene información para ejecutar las habilidades del sistema. Además existe la memoria a corto plazo o de trabajo. El aprendizaje lo realiza a través de la acción en tres etapas: una primera interpretativa o declarativa, una segunda que se dedica a transformar el conocimiento en procedimientos, y la tercera con la misión de refinar el conocimiento o los procedimientos ajustándolos con la práctica.
- Arquitecturas conexionistas. Entre ellas destacan las elaboradas por el grupo de trabajo conocido como grupo PDP, dirigido por Rumelhart⁸⁵ y McClelland. Uno de sus resultados más conocidos es su teoría de los esquemas con los que consiguen representar conceptos totalmente genéricos. Realizan el aprendizaje a partir de un crecimiento o incremento del conocimiento adquirido que después es reestructurado y ajustado con los datos prácticos.

⁸⁴ J. Anderson, "Knowledge compilation: the general learning mechanism", en R. Michalski, J. Carbonell, T. Mitchell (eds.) *Machine Learning II*, Tioga Press, 1986

J. Anderson, "Skill acquisition: compilation of weak method problem solution", *Psychological Review*, 94 (2), 1987, pág. 192-210.

⁸⁵ D. Rumelhart, "Schemata: the building blocks of cognition", en R. Spiro, B. Bruce, W. Brewer, (eds.) *Theoretical issues in reading comprehension*, Erlbaum, Nueva York, 1981.

D. Rumelhart, J. McClelland and PDP group, *Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition*, Bradford Books, 1986.

- SOAR debida fundamentalmente a Newell⁸⁶, Laird y Rosenbloom⁸⁷. Está estructurada en los niveles siguientes: conocimiento, espacio de problemas, arquitectura simbólica, e instrumentación. El aprendizaje lo realiza por compactación del conocimiento adquirido, que es similar a la compilación que realiza Anderson; la resolución de metas o submetas se sintetiza en reglas de producción (proposiciones condicionales) más compactas. SOAR ha sido utilizado en gran variedad de tareas simples y juegos conocidos lo que ha permitido desde esa experiencia aumentar sus posibilidades y su eficiencia.

Se han elaborado otras arquitecturas más reducidas o con alcance más limitado como: CAP2⁸⁸, y EBBN⁸⁹. Conviene hacer mención, dentro de esta línea, de algunas que han sido elaboradas para analizar más de cerca el aprendizaje de máquina como: PRODIGY debida a Carbonell⁹⁰ y colaboradores, THEO producida por Mitchell⁹¹, Allen y otros, TETON⁹² que en cierto modo es similar a PRODIGY, ICARUS⁹³, etc.

3.2 Modelización de algunos aspectos de la inteligencia

⁸⁶ J. Laird, P. Rosenbloom, "Integrating execution, planning and learning in SOAR for external environments", *Proceedings 8th National Conference on AI*, Boston, 1990, pág. 1022-1029.

J. Laird, P. Rosenbloom, "The Evolution of the SOAR Cognitive Architecture", D. Steier, T. Mitchell, (eds.) *Mind Matters*, Erlbaum, Nueva York, 1996, pág. 1-50.

A. Newell, *Unified Theories of Cognition*, Harvard University Press, Harvard, 1990.

A. Newell, "Unified theories of cognition and the role of SOAR", en J. Michon, A. Akyurek (eds.) *SOAR: A Cognitive Architecture in Perspective*, Kluwer, Amsterdam, 1992, pág. 25-79.

⁸⁷ J. Laird, P. Rosenbloom, "The Evolution of SOAR Cognitive Architecture", en D. Steier, T. Mitchell (eds.), *Mind Matters*, Erlbaum, Nueva York, 1996, pág. 1-50.

⁸⁸ W. Schneider, W. Oliver, "An Instructable Connectionist/Control Architecture", en K. VanLehn (ed.) *Architectures for Intelligence*, Erlbaum, Nueva York, 1991, pág. 113-147.

⁸⁹ T. Mitchell, S. Thrun, "Learning Analytically and Inductively", en D. Steier, T. Mitchell (eds.) *Mind Matters*, Erlbaum, Nueva York, 1996, pág. 85-110.

⁹⁰ J. Carbonell, C. Knoblock, S. Minton, "PRODIGY: An Integrated Architecture for Planning and Learning", en K. VanLehn (ed.) *Architectures for Intelligence*, Erlbaum, Nueva York, 1991, pág. 241-278.

⁹¹ T. Mitchell et al., "THEO: A Framework for Self-Improving Systems", en K. VanLehn (ed.), *Architectures for Intelligence*, Erlbaum, Nueva York, 1991, pág. 323-356.

⁹² K. VanLehn (ed.), *Architectures for Intelligence*, Erlbaum, Nueva York, 1991.

⁹³ P. Langley et al., *An Integrated Cognitive Architecture for Autonomous Agents*, Technical Report 89-28, University of California, Irvine, 1989.

Ante la complejidad del análisis global de la mente humana, diversos autores han pretendido estudiar sólo determinados aspectos concretos de la mente. En esta línea de acción hay que citar la modelización de la adquisición de habilidades y de la experiencia. Dentro de esta aproximación hay que destacar los trabajos de Anderson⁹⁴, de Chi⁹⁵, y la teoría de la competencia experta a cargo de Shanteau⁹⁶ de la que trataremos más adelante.

3.3 Aproximación pragmática al aprendizaje

La primera tendencia actual que hemos visto de la psicología cognitiva basada en el procesamiento de la información, que es la de las arquitecturas de la cognición, requiere una muy potente infraestructura informática con la que no siempre se puede contar. La segunda tendencia, más realizable en la práctica, se ocupa sólo de aspectos parciales de la mente y con frecuencia de aspectos demasiado relacionados con los experimentos que han servido de base por lo que no es fácil generalizarlos, resultando en un escaso valor operativo. De ahí que surja este deseo de un sentido práctico tanto porque pretende obtener primero y operar después con modelos empíricos, no puramente lógicos, del razonamiento humano, sino también porque contempla problemas muy prácticos y fundamentales que hincan sus raíces en las necesidades vitales de nuestro momento histórico. Estos problemas prácticos, que no han sido abordados con anterioridad a nuestro momento histórico, son el problema de “aprender a aprender”, consecuencia lógica de la importancia trascendental del aprendizaje permanente en nuestro mundo, y, relacionado con el anterior, el problema de la migración del aprendiz al estado de experto.

⁹⁴ J. Anderson, *The Adaptive Character of Thought*, Lawrence Erlbaum, 1990.

⁹⁵ M. T. Chi, R. Glaser, M. Farr, *The Nature of Expertise*, Lawrence Erlbaum, 1988.

⁹⁶ J. Shanteau, *Expert Decision Making: Psychological Explorations of Competence*, Cambridge University Press, 1993.

Dentro de esta aproximación pragmática al problema del aprendizaje humano uno de los elementos básicos lo constituyen los modelos mentales^{97,98} o abstracciones relativas a una tarea, que proporcionan un marco de trabajo deductivo para la resolución de problemas y toma de decisiones. Dichas abstracciones contienen e integran tanto conocimiento declarativo como procedimental, habilidades para la toma de decisiones para razonar en relación con la tarea, y conocimiento estratégico de cuándo y por qué usar los distintos procedimientos y habilidades.

4. El problema de “aprender a aprender”

Ya se ha mencionado la importancia de este problema^{99,100}. Surge como consecuencia de que el paradigma cognitivo, por contemplar el aprendizaje como un proceso, se interesa por todas sus fases incluyendo su control. Parte de la hipótesis de que la capacidad de aprendizaje es adiestrable y que se alimenta de dos subcapacidades conocidas como estrategias y tácticas de aprendizaje. En definitiva, esta aproximación entiende que además de que los estudiantes adquieran conocimientos, es importante que, además, desarrollen habilidades cognitivas que les permitan pensar, razonar y continuar aprendiendo e incluso mejorar y controlar ese proceso.

Las estrategias de aprendizaje, que cubren una actividad mayor complejidad y plazo, son los comportamientos o pensamientos que facilitan la codificación de la información en la memoria a largo plazo, de tal manera, que

⁹⁷ D. Gentner, A. Stevens, *Mental Models*, Erlbaum, Nueva York, 1983.

⁹⁸ P. N. Johnson-Laird, *Mental Models*, Cambridge University Press, Cambridge, 1983.

⁹⁹ J. Novak, D. Gowing, *Aprendiendo a aprender*, Martínez Roca, Madrid, 1984.

J. Novak, “Metalearning and metaknowledge strategies to help students learn how to learn”, en L. Wset, A. Pines (eds.), *Cognitive structure and conceptual change*, Academic Press, Nueva York, 1985.

J. Novak, “Learning science and science of learning”, *Studies in Science Education* 15, 1988, pág. 77-101.

¹⁰⁰ D. Woods, E. Roth, “Cognitive Systems Engineering”, en M. Helander (ed.) *Handbook of Human-Computer Interaction*, North-Holland, Amsterdam, 1988.

D. Woods, H. Poole, E. Roth, *The cognitive environment simulation as a tool for modelling human performance and reliability*, NUREG/CR-5213, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, 1990.

T. Seamster et al., “Cognitive Task Analysis of expertise in air traffic control”, *International Journal of Aviation Psychology*, 5, 1995, pág. 46-58.

se mejora la integración del conocimiento y su recuperación. En general estas estrategias tienen relación con actividades de planificación, regulación y control, y en realidad constituyen verdaderos macroprocesos que involucran tácticas diversas. Algunas de las estrategias de aprendizaje más usuales son:

- Formulación de cuestiones. Aquí cabe incluir el establecimiento de hipótesis, fijar los objetivos de una tarea, relacionar la tarea con otras anteriores o posteriores,...
- Planificación. Puede incluir: determinar tácticas y su calendario, reducir la tarea a un conjunto de subtareas integrantes, decidir las habilidades físicas o mentales que son necesarias,...
- Control. Entre ellas destacan: adecuar los esfuerzos, respuestas y hallazgos a las cuestiones u objetivos iniciales.
- Comprobación, cómo verificar la realización y los resultados obtenidos.
- Revisión, cómo modificar los objetivos o establecer otros nuevos.
- Autoevaluación, que puede incluir la valoración de la ejecución de la propia tarea a realizar.

Las tácticas, subordinadas a las estrategias y mucho más específicas y de menor plazo, son aquellas actividades mentales que contribuyen a determinados aprendizajes concretos como: seleccionar las ideas principales, hacer esquemas o resúmenes o parafrasear un determinado contenido.

El problema real que se plantea es que el proceso de aprender a aprender llevaría a aprender estrategias en abstracto como planificar, verificar, evaluar, ensayar, etc., en términos generales sin concretar lo que hay que planificar, verificar, evaluar, ensayar, etc., lo cual no es nada fácil. Por tanto se trataría de que el alumno aprendiese estrategias y tácticas concretas de forma tal que le permitiese transferir esas estrategias y tácticas a otros problemas distintos, incluso no experimentados previamente.

La capacidad de aprender a aprender depende, por tanto, no sólo de la inteligencia y de la experiencia, sino también de un sentido de autoconciencia de los procesos mentales realizados, cosa que los psicólogos¹⁰¹ han llamado “metacognición” y que consiste en la reflexión sobre los propios procesos cognitivos. Cuando uno advierte que tiene dificultades para aprender algo ha entrado en la metacognición; ella ayudará a examinar la causa de esa dificultad y a encontrar una solución.

El adiestramiento de estrategias y tácticas de aprendizaje utiliza técnicas muy distintas según el tipo de estrategia o táctica a adquirir. Así:

- Las actitudes se adquieren mediante experiencias positiva y negativas que pueden ser diseñadas a partir de una modelización previa de la actitud. Como condiciones de adquisición aparecen el recuerdo, la actuación y el refuerzo.
- Las destrezas motoras requieren conocer las reglas de actuación y una cierta actividad muscular. Como condiciones de adquisición figuran la explicación, la evaluación y la repetición.
- La información verbal requiere la adquisición de hechos, conceptos, propiedades y relaciones. Como condiciones se destacan la adquisición de estructuras cognitivas previas, el significado de las palabras, objetivos claros y forma significativa.
- Las destrezas intelectuales necesitan de discriminación, conceptos y reglas. Como condiciones aparecen otras destrezas elementales anteriores o básicas y saber combinar, practicar, reutilizar, etc.
- Las estrategias cognitivas exigen dirección y control de la atención, y saber recuperar situaciones y temas. Como condiciones figuran el conocimiento de métodos de solución.

¹⁰¹ J. Flavell, *Cognitive development*, Prentice-Hall, 1985.

5. BCTA : el análisis comportamental y cognitivo de tareas

BCTA es una herramienta que ha sido diseñada dentro de este trabajo para poder realizar la descomposición de tareas conceptuales y/o comportamentales (que pueden incluir alguna actividad física a simular) en sus elementos cognitivos de acuerdo con la clasificación y jerarquía que se establecerá más adelante.

Ante la importancia que presentan los elementos cognitivos integradores de una tarea o habilidad se pretende enriquecer el diseño didáctico con las ciencias cognitivas con el fin de incluir procesos de este tipo en la enseñanza y el aprendizaje mediante el diseño y el uso de estrategias cognitivas.

El diseño didáctico considera el dominio de aprendizaje en términos del proyecto global en el que está incluida la actividad concreta. Así el diseño didáctico se concibe como un cuerpo de conocimientos que se ocupa de:

- la comprensión, el mejoramiento y la aplicación de métodos de enseñanza/aprendizaje;
- la combinación óptima de métodos;
- los contextos o situaciones en los que se espera que dichos métodos de enseñanza produzcan mejores resultados.

Al resultado de un diseño didáctico se le conoce como modelo y es éste la representación final de un conjunto integrado por componentes estratégicos que nos permitirá:

- ordenar y secuenciar, en su caso, el material constituido por conocimiento declarativo, tácticas, estrategias, etc.;
- utilizar grafos conceptuales que describan el dominio de conocimiento y la interrelación entre sus elementos, incluyendo detalles pragmáticos sobre su uso y utilidad;
- utilizar ejemplos;

- la incorporación de la práctica en un determinado momento;
- el uso de técnicas educativas y pedagógicas para motivar a los estudiantes.

Otro aspecto importante de este modelo didáctico es que debe mostrar los diferentes aspectos que entran en juego en la enseñanza/aprendizaje, con el fin de alcanzar los objetivos deseados del mejor modo posible y bajo las condiciones anticipadas.

En algunas áreas cognitivas es posible formular teorías de competencia que especifiquen: qué tiene que ser calculado, cuándo, y por qué; y posteriormente, con base en estas teorías, desarrollar un algoritmo que lo represente. A esta área de estudio se le conoce como la *teoría de la competencia*, mencionada anteriormente, y que puede realizarse a través de los esquemas o modelos mentales. La parte esencial de los modelos mentales radica en su característica funcional, pues son definidos como abstracciones funcionales con respecto al trabajo o trabajos que proporcionan un marco deductivo para la solución de problemas. Un modelo mental es distinto de otras formas de representación de conocimiento, como lo son las redes semánticas, debido a que no cuentan con un mecanismo de interpretación para saber si una afirmación es o no verdadera. Tal vez otra característica que dota de importancia a los modelos mentales es que, incluso en áreas cognitivas donde no ha sido posible elaborar teorías de la competencia, sería factible obtener familias de modelos mentales del experto humano que podrían ser utilizadas para la mejora del aprendizaje y justificación de inferencias que usualmente se sitúan en el terreno de la intuición. Los modelos mentales son importantes debido a que representan objetos, estados de asuntos, secuencias de eventos, la forma en que el mundo se encuentra y las acciones sociales y psicológicas de la vida diaria.

Uno de los objetivos de los modelos mentales es encontrar relaciones entre los modelos cualitativos y las explicaciones causales, que permiten al

estudiante involucrarse con distintas estrategias de aprendizaje como son: explorar, solicitar demostraciones tutoriales, y/o explicaciones, y/o resolución de problemas. Estas relaciones nos permitirán manejar los distintos razonamientos con el fin de abordar los distintos escenarios creados para el aprendizaje de los conceptos involucrados en el conocimiento específico del dominio (desde el punto de vista cualitativo).

Los modelos mentales permiten conocer los diferentes estados que hacen posible la madurez de la experticia y la diferencia de comportamiento entre novatos y expertos en la solución de problemas utilizando diferentes estrategias para llegar a la solución.

Otro punto importante de los modelos mentales es que éstos presentan funciones esenciales como: percepción (entrada de información), aprendizaje, comprensión (procesamiento de la información) y recuerdo (de lo aprendido). Estas funciones son válidas tanto para las experiencias de la vida como para la educación formal.

En cuanto al procedimiento de adquisición de conocimientos, es bien conocido que el conocimiento declarativo, el táctico y una parte del estratégico se han venido adquiriendo en los centros educativos a través de los procesos tradicionales de enseñanza/aprendizaje basados mayoritariamente en la llamada lección magistral. Ese tipo de enseñanza ha sido calificado como centrado en el profesor, para distinguirlo de otros más actuales denominados centrados en el estudiante que se instrumenta de maneras diversas entre las que destacan los enfoques de la enseñanza por problemas^{102, 103} y la enseñanza por proyectos¹⁰⁴. En este último tipo de aprendizaje (más que de enseñanza) el alumno adquiere la dirección completa de su proceso de aprendizaje pasando el

¹⁰² F. de Arriaga, M. El Alami, "Educación Centrada en el Estudiante: Aprendizaje por Problemas" en *Educación, Aprendizaje y Cognición*, ed: S. Castañeda, UAM, 2004, pág. 515-529.

¹⁰³ M. El Alami, F. de Arriaga, "Problem-based learning in Artificial Intelligence", en *Placing the Student at the Centre*, Maastricht University Press, 1996, pág. 357-366.

¹⁰⁴ M. El Alami, F. de Arriaga, A. Ugena, "Educación Centrada en el Estudiante: Aprendizaje por Proyectos", en *Educación, Aprendizaje y Cognición*, ed: S. Castañeda, UAM, 2004, pág. 529-543.

profesor a la tarea de colaborador y consejero del proceso. Algunas universidades europeas, como la de Roskilde en Dinamarca, han abordado, hace más de veinticinco años, con rotundo éxito este tipo de aprendizaje; en él las ayudas computacionales concebidas como sistemas inteligentes de entrenamiento por problemas adquieren una importancia estratégica y también táctica para la buena marcha del proceso.

Si los agentes cognitivos han de llevar a cabo las misiones encomendadas, el análisis de tareas, desde el punto de vista cognitivo, adquiere una gran importancia. En principio hay que tener en cuenta que el término "tarea" es un término totalmente borroso e impreciso; frecuentemente se utiliza para distintos niveles de actuación como: función, paso, módulo, actividad, y otros similares, lo que significa que "tarea" aparece asociado a un cierto nivel de resolución de esa jerarquía. Conviene pues concretar el sentido que atribuimos a los términos de la manera siguiente:

- La acción constituye aquí la actividad atómica indescomponible de nuestro análisis; lógicamente dependerá del nivel de resolución adoptado para el problema que se analiza.
- La tarea será la acción o conjunto reacciones que caracteriza un comportamiento esencial de trabajo. El comportamiento implica un cambio de estado que puede ser observado interna o externamente. La tarea, así entendida, constituye el elemento crítico para la determinación de agentes y su clase. Viene asociada biunívocamente a un comportamiento físico o mental que puede ser observado desde fuera o dentro del sistema que analizamos, en consecuencia el análisis se inicia con una determinación y listado de las tareas del sistema.

Seguidamente se realiza el análisis de cada tarea de acuerdo con el procedimiento siguiente:

- 1) Descomposición de la tarea en subtareas e iterativamente de éstas hasta llegar a un conjunto de acciones.
- 2) Obtener los componentes cognitivos que se necesitan tanto para realizar la tarea en su conjunto como las acciones en que se descompone. Hay que tener en cuenta que las tareas físicas serán simuladas dentro del sistema pues, de ordinario, no cabe su ejecución física en el sistema informático, pero los aspectos cognitivos han de ser modelados con el mayor realismo para que los agentes inteligentes puedan realizar esas tareas.

Los componentes cognitivos son diversos y para nuestro trabajo han sido clasificados en:

- Conocimiento declarativo, que a su vez se descompone en: conceptos y definiciones, relaciones y propiedades, sin referencia a su uso. Así por ejemplo, *“América fue descubierta por Cristóbal Colón”* representa un hecho concreto y aislado, que no toma en consideración otros hechos posibles relacionados ni indica el uso específico que puede darse a esa sentencia. Suele implementarse en el ordenador en forma de reglas de producción o proposiciones condicionales. Así, el ejemplo anterior podría instrumentarse como:

“SI el continente es América ENTONCES Cristóbal Colon fue su descubridor “

- Habilidades cognitivas, constituidas por determinados procedimientos cognitivos. Frecuentemente se las denomina tácticas o técnicas cognitivas y también conocimiento procedimental o algorítmico. Se refiere básicamente al conocimiento que subyace en el desarrollo de una tarea, y viene directamente relacionado con una *“técnica”* o *“receta”* para resolver un problema. Usualmente se instrumenta en máquina en un lenguaje algorítmico por medio de un *“procedimiento”*, *“rutina”* o *“función”*, pero podría también ser implementado mediante reglas de producción. Estas

reglas son consideradas por los investigadores como una clase de representación del conocimiento que capta lo esencial de un proceso humano mediante el mecanismo recurrente de “SI... ENTONCES”.

- Estrategias cognitivas. Implican un paso más en la actividad cognitiva y suponen actividades de planificación y/o empleo de técnicas cognitivas. A veces van ligadas a procesos complejos de toma de decisiones.
- Modelos mentales o representaciones conceptuales de los problemas que queremos resolver y de su dominio. Constituyen un espacio formal en el que se realizan determinadas deducciones y razonamientos por parte del experto. Los modelos mentales representan un elemento diferenciador, el más señalado, entre aprendices y expertos; éstos últimos suelen elaborar un número reducido de ellos, frecuentemente sólo uno, y suelen ser de gran complejidad. Los expertos, en cambio, utilizan toda una jerarquía de familias de modelos con complejidades muy diversas, moviéndose con rapidez de uno a otro, escogiendo el modelo preciso para las necesidades planteadas.
- Procedimientos y estrategias de aprendizaje para llegar a dominar tanto el conocimiento como las habilidades y estrategias cognitivas y modelos mentales e incluso para adquirir nuevo conocimiento y ejecutarlo o razonar con mayor eficacia. Este grupo de componentes cognitivos es importante, dado que se pretende que los agentes realicen tareas normalmente ejecutadas por personas, e igualmente que los agentes dispongan de posibilidades de aprendizaje autónomo o semi-autónomo. En consecuencia habrá que adaptar esas estrategias humanas al ordenador mediante las técnicas de aprendizaje de máquina.

Conviene ahora clasificar las tareas, dado que los requerimientos cognitivos que implican son muy diversos, así como las pautas para su

adquisición. Para ello se adopta la taxonomía siguiente:

- **Perceptivas.** Guardan relación con la identificación y clasificación de información sensorial, la mayor parte procedente de la vista y/o oído. Ejecutan actividades cognitivas de reconocimiento sencillo de patrones.
- **Motoras.** Ejecutan movimientos de componentes normalizados, y su ejecución viene guiada por razones de equilibrio mecánico o de alcanzar un lugar o una determinada posición. Requieren una mínima actividad de toma de decisiones puesto que los datos suelen ser estáticos o se corresponden con las previsiones.
- **Perceptivo-motoras.** Implican un control continuo de los datos cuya percepción dinámica motiva los movimientos a realizar; suponen la participación y coordinación de actividades físico/motoras y cognitivas.
- **Procedimentales motoras.** Conllevan la realización de procedimientos en los que la mayor parte de las tareas son físicas. Los componentes cognitivos suelen ser escasos.
- **Procedimentales cognitivas.** Exigen la ejecución de procedimientos en los que el peso fundamental viene ejercido por las tareas cognitivas.
- **Estratégicas.** Usualmente relacionadas con la resolución de problemas complejos y toma de decisiones complicadas.
- **Integradoras y/o de realización simultánea.** Son tareas complejas que, bien incluyen otras tareas que hay que combinar de forma no automática, bien hay que atender y prestar atención alternativamente a diversas tareas que se ejecutan simultáneamente. En ocasiones, cuando además hay que cumplir determinados requisitos de tiempo ocasionan una carga de trabajo y "stress".
- **Intercomunicadoras.** Se refieren a las tareas de intercomunicación personal como la simple intercomunicación, la supervisión, la persuasión, etc.

- De aprendizaje. Guardan relación con las tareas diversas relacionadas con ese tema, ya referidas al hablar del aprendizaje en el apartado 3.

Por simple inspección de esta taxonomía cabe intuir que los componentes cognitivos de cada categoría son diferentes cualitativa y cuantitativamente.

5.1 BCTA: Técnicas utilizadas

Como técnicas utilizadas en este trabajo hay que mencionar:

- El análisis de protocolos. En este caso se ejecuta o describe en alta voz todo lo que hace un experto humano que ejecuta la tarea para su transcripción en registros o protocolos que se analizan posteriormente para determinar los elementos del proceso cognitivo de los participantes. Se usa frecuentemente en la resolución de problemas complejos. Los procedimientos utilizados para elicitar el conocimiento influyen drásticamente en la utilidad del protocolo. Algunas de las variantes usadas en este trabajo han sido:
 - a) La utilización de varios problemas o casos extremos, a ser posible en paralelo, a fin de comprobar las diferencias entre las herramientas cognitivas utilizadas en cada caso.
 - b) El empleo de casos muy complicados o con limitaciones de tiempo a fin de constatar los procedimientos o elementos que se utilizan.
 - c) La utilización de dos expertos humanos, uno que resuelve el problema y otro que analiza los resultados que se van obteniendo así como la solución global.

El análisis de protocolos se utiliza sobre todo para obtener información sobre los procesos de razonamiento, estrategias cognitivas para la toma de decisiones y modelos mentales. Se ha utilizado también la comparación de protocolos distintos y las diferencias de procedimientos usados, errores

cometidos, e hipótesis hechas para obtener avances en el aprendizaje.

- Las entrevistas cognitivas. Se llaman así estas entrevistas porque en ellas se focaliza tanto el conocimiento como los procedimientos que permiten ejecutar la tarea. Para llevarlas a cabo se utilizan cuestionarios estructurados o semiestructurados sobre preguntas basadas en la teoría cognitiva de la experiencia, para interpretar los resultados y resolver el problema. Como variantes de esta técnica que han sido utilizadas en este trabajo cabe citar:
 - a) La utilización en la entrevista de protocolos de realizaciones pasadas para su examen y discusión.
 - b) El análisis de incidentes no rutinarios para enfrentarse a las decisiones críticas del problema o dominio, a base de información sobre las metas, opciones evaluadas, ayudas perceptivas empleadas, etc.
 - c) Estructurar las entrevistas en cuatro fases: en las dos primeras se identifican los conceptos y las entidades que se manejan así como sus relaciones. En las otras dos se obtiene el conocimiento procedimental interpretando protocolos reales con el conocimiento obtenido en las dos primeras fases.
- Escalado psicológico. Aquí se utilizan técnicas estadísticas para obtener entrevistas cognitivas a partir de los juicios de los expertos sobre los conceptos de su dominio. Estos juicios se obtienen cuando los expertos clasifican, jerarquizan, recuerdan, puntúan o comparan conceptos. A partir de estos juicios se realizan estimaciones estadísticas sobre la proximidad, agrupamiento o lejanía de pares de conceptos, a partir de tiempos de respuesta, ordenaciones y puntuaciones similares. En estas técnicas se parte de la hipótesis de que conceptos más ligados psicológicamente alcanzarán estimaciones de mayor proximidad. Como técnicas estadísticas se utilizan escalas multidimensionales, agrupamientos jerárquicos, etc. Como

productos obtenidos por estas técnicas destacan los diagramas de organización jerárquica representados mediante árboles ordenados, representaciones n-dimensionales indicando agrupaciones o concentraciones, redes que indican las relaciones entre conceptos, etc.

Estas técnicas son valiosas para determinar la organización del conocimiento conceptual teniendo en cuenta que el experto humano frecuentemente no es capaz de articular su propio conocimiento, dado que una gran parte de sus habilidades cognitivas han llegado a realizarse en forma automática y semiinconsciente.

- Identificación de componentes consistentes. Suele aceptarse que la adquisición de habilidades pasa por tres estados fundamentales: el aprendizaje del conocimiento verbal y reglas elementales, el desarrollo y composición de módulos más amplios de la tarea, y por último, el desarrollo de la automaticidad, lo cual significa que ya no se necesitarán grandes dosis de atención consciente. Esta última etapa de la automaticidad no está presente en los aprendices. Precisamente la teoría del procesamiento automático y controlado proporciona ideas para analizar estas ideas complejas. Para ello es preciso:
 - a) Identificar los componentes consistentes o permanentes de la tarea.
 - b) Obtener las reglas, procedimientos o respuestas que son consistentes o permanentes, y que, por tanto, no requieren importantes niveles de atención, a diferencia de otros componentes que incluso requieren gran atención a los expertos.

La determinación de estos componentes consistentes puede hacerse por varios procedimientos, como: medir los tiempos de reacción ante diversos estímulos, medir el grado de interferencia entre tareas que se ejecutan simultáneamente, etc.

- Simulación cognitiva. Es otro medio interesante de realizar el análisis cognitivo de tareas. Para ello hay que empezar construyendo los modelos cognitivos y de ejecución de las tareas o incluso de los dominios complejos. Estos modelos, tratan de captar los procesos cognitivos que permiten alcanzar destreza a los expertos. Pueden ser sólo modelos descriptivos o modelos de cómputo en ordenador, a base de incluir las características del entorno físico y el conocimiento, tácticas y estrategias del operador. Sobre ellos actúan diversas entradas o datos así como las características del operador, permitiendo de esta forma investigaciones sistemáticas sobre las diferencias de comportamientos y eficacia.

Los métodos anteriormente descritos, por sus tecnicismos, son aconsejables en casos de tareas de gran complejidad, pero para una gran mayoría de tareas sirve (se ha comprobado en este trabajo) el método que se propone seguidamente y que combina tanto el análisis tradicional de comportamientos o análisis comportamental, con el cognitivo.

El método propuesto parte de conclusiones ya aceptadas de que el proceso de determinar el conocimiento y estrategias para la toma de decisiones y resolución de problemas es un proceso de aproximaciones o refinamientos sucesivos¹⁰⁵. Aunque cuando la ocasión lo requiere utiliza los elementos anteriores, los usuales que emplea son los siguientes:

- Las metas o estados finales de ejecución de la tarea con eficacia (nivel del experto) y las submetas o subtareas en que se descompone.
- Los operadores elementales que permiten un cambio de estado. Será necesario diseñar operadores para las distintas clases de tareas.
- Los procedimientos o sucesión de operadores que constituyen algoritmos para cambiar más ampliamente el estado, alcanzando posiblemente alguna submeta.

¹⁰⁵ R. Redding et al., *Cognitive task analysis on en route air traffic control*, Mc Lean, 1991.

- Los criterios de selección entre procedimientos competitivos, usualmente asociados a la optimización de la eficacia, concepto que depende del problema o del dominio concreto que se considere.

En cuanto al número de aproximaciones o niveles de ejecución de la tarea que se analiza, puede ser tan grande como se quiera, pero parece prudente establecer sólo tres niveles, teniendo en cuenta que el modelo que se presenta es cibernético o realimentado, en el sentido de que en cualquier aproximación o etapa podemos regresar a una anterior contando con lo ya obtenido para revisar o encontrar algo que en su momento no tuvimos en cuenta.

El método propuesto se compone de las etapas:

1) Etapla 0. Es en realidad una etapa previa integrada por:

- a) Especificación de la tarea, sus restricciones con detalle de los niveles eficaces de su realización práctica.
- b) Descomposición de la tarea en subtareas y relaciones entre éstas con determinación de los niveles de eficacia de la subtarea y su descomposición.

2) Etapla 1. Aproximación a la tarea. La finalidad de esta etapa es adquirir una familiaridad con la tarea y subtareas que analizamos, así como con los elementos que se necesitan para realizarla. Ello implica también un cierto conocimiento del dominio en el que se desenvuelve y sus relaciones con la tarea. Igualmente habrá que valorar la importancia relativa de las tareas en la eficacia de la tarea global.

El procedimiento usual de realización es el de describir y analizar la tarea, tanto en sus componentes físicos como cognitivos, destacando al menos para el análisis comportamental:

- a) Elementos físicos que se utilizan: su descomposición, comportamiento, dificultades de manejo, errores frecuentes, etc.

- b) Descripción del dominio, relaciones de la tarea con el dominio, etc.
- c) Identificación y descripción de los procedimientos y habilidades motoras.

Y para el análisis cognitivo:

- a) Conocimiento declarativo como conocimientos previos generales y del dominio, conceptos, definiciones, relaciones, propiedades y su importancia.
- b) Habilidades cognitivas: identificación de las habilidades empleadas en la ejecución de la tarea, reglas de producción empleadas, etc.
- c) Identificar las estrategias necesarias para la ejecución de la tarea, criterios para la toma de decisiones y sus restricciones, mecanismos empleados en la resolución de problemas, etc.
- d) Modelos mentales: identificar componentes o estilos de los modelos mentales a utilizar (lógicos, analíticos, esquemáticos, etc.)
- e) Establecer tentativamente las estrategias y tácticas de aprendizaje que permitirían conseguir este nivel introductorio de comprensión.

3) Etapa 2. Análisis fundamental. En esta etapa hay que determinar con toda precisión lo que se necesita para la ejecución normal de la tarea, tanto desde el punto de vista de comportamiento exterior o físico como desde el cognitivo. Este análisis deberá intensificarse en las subtareas y habilidades críticas, tanto para la simple ejecución como para su realización competente. También habrá que diseñar los operadores y procedimientos que permitan culminar con éxito esta etapa. El procedimiento a adoptar es el de realizar un análisis en profundidad de cada subtarea teniendo presente su importancia y colaboración en la ejecución global eficaz de la tarea. Al menos deberá destacarse para el análisis comportamental:

- a) Determinación de las condiciones de eficacia de los procedimientos o

habilidades mecánicas.

b) Lo mismo para las subtareas perceptivo-motoras.

Y para el análisis cognitivo:

a) Especificación detallada de los mecanismos de reconocimiento de patrones para las subtareas perceptivas, y concreción completa del conocimiento declarativo.

b) Análisis de cada una de las habilidades identificadas en la etapa anterior; diseño de los operadores y procedimientos para alcanzar niveles de eficacia.

c) Posibles repercusiones multidimensionales o esquemáticas como base de estrategias cognitivas.

d) Análisis de estrategias de planificación y control de posible aplicación a la tarea; detalle de la organización del conocimiento y su relación con esquemas de resolución de problemas.

e) Los modelos mentales identificados en la etapa anterior han de ser desarrollados así como sus relaciones jerárquicas; esquemas para deducciones a partir de los modelos mentales.

f) Procedimientos de adquisición de estrategias de aprendizaje para conseguir este nivel medio de ejecución.

4) Etapa 3. Refinamientos y automaticidad. Esta etapa supone la ejecución de la tarea al máximo nivel, con desarrollo de mecanismos de automaticidad. Implica la incorporación de las ayudas necesarias para alcanzar este nivel. Es necesario considerar las diferencias interpersonales de ejecución. Los elementos a considerar en esta etapa párale análisis comportamental son:

a) Determinación de las características y condiciones de la eficacia del experto en las subtareas motoras.

b) Representación en ordenador de las subtareas motoras y las

condiciones para su eficacia.

Y para el análisis cognitivo:

- a) Determinación de los mecanismos de aceleración y síntesis de las habilidades cognitivas analizadas en la etapa anterior.
- b) Establecimiento de relaciones entre determinadas situaciones y el modelo mental a usar.
- c) Ampliación de la jerarquía de modelos mentales.
- d) Tratamiento de errores en la ejecución experta de la tarea.
- e) Criterios de selección de estrategias para la resolución de problemas y toma de decisiones.
- f) Estrategias de aprendizaje para la adquisición de nuevo conocimiento y mejora de la eficacia; su traducción a técnicas de aprendizaje de máquina.

Se incluye a continuación un esquema o tabla del registro de ejecución de la herramienta BCTA que indica los pasos que implica.

BCTA: ANÁLISIS COMPORTAMENTAL/COGNITIVO DE TAREAS

- 1. Denominación de la tarea:**
- 2. Identificación:**
- 3. Objetivos:**
- 4. Descripción informal:**
- 5. Descomposición: 5.1-Subtarea 1- 5.1.1.Denominación:**
 - 5.1.2 Identificación:**
 - 5.1.3 Puntos críticos:**
 - 5.1.4 Conocimiento declarativo:**
 - 5.1.5. Técnicas cognitivas:**
 - 5.1.6 Estrategias cognitivas:**
 - 5.1.7 Modelos mentales:**
 - 5.1.8 Estrategias de aprendizaje:**
 - 5.1.9 Aprendizaje de máquina:**
 - 5.1.10 Técnicas de realización:**
 - 5.1.11 Herramientas y ayudas:**
 - 5.1.12 Entradas/Salidas:**
 - 5.1.13 Niveles de eficacia y su medición:**
 - 5.1.14 Errores: consecuencias**
 - 5.1.15 Relación con otras tareas:**
 - 5.1.16 Integración con otras tareas**
 - 5.1.17 Dificultad:**
 - 5.1.18 Importancia/Criticidad:**
 - 5.1.19 Tiempo de aprendizaje:**
 - 5.1.20. Granularidad:**
 - 5.1.21. Rutinaria (sí o no):**

Asignada al agente:

5.2 Modelos mentales cualitativos: particularidades de su obtención

El modelo mental cualitativo se diseña con base en un entorno elemental que recibe el nombre de marco en el cual están representados los procesos dinámicos que permiten ensamblar el análisis cognitivo del proceso de enseñanza del experto guiado por varios tipos de razonamiento que serán analizados posteriormente. En realidad no existe un proceso único de obtención y formulación.

En ocasiones conviene desarrollar marcos contextuales para los diferentes conceptos con escenas de procesos físicos, donde se descubran propiedades necesarias para la comprensión de los conceptos involucrados en la teoría. En otros casos conviene la utilización de laboratorios virtuales que permiten manipular las magnitudes de los diferentes parámetros asociados al dispositivo que representa el proceso dinámico, proporcionando de esta forma una respuesta inmediata en él (pantallas reactivas). En el caso de las pantallas reactivas el proceso está acotado por dependencias funcionales de las diferentes partes que constituyen al dispositivo objeto del estudio. Así de esta forma podemos concebir interfaces bien definidas entre diferentes procesos o inclusive entre diferentes clases de representación utilizadas como precondiciones que ayudan a determinar cuándo un proceso o vista está activo.

De acuerdo a Forbus¹⁰⁶ existen siete clases de razonamientos que puede involucrar un proceso dinámico y con base en ellos se pueden generar tareas de aprendizaje. Cada uno de ellos resuelve diferentes clases de problemas permitiendo ensamblar diferentes estrategias de aprendizaje.

- Actividad Definitoria: deducción de lo que sucede en un instante dado. Este razonamiento proporciona respuestas directas a preguntas como: ¿qué es lo que sucede aquí? Además también puede funcionar como operación básica

¹⁰⁶ K. D. Forbus, "Qualitative Process Theory", *Artificial Intelligence*, 24, 1984, pág. 85-168.

para los otros tipos de razonamiento.

- **Predicción:** predecir qué sucederá a partir de información incompleta en un posible futuro. El ser humano frecuentemente trabaja con información incompleta, de aquí se presenta la posibilidad de generar diferentes futuros.
- **Postdicción:** con base en una situación actual concreta, explicar cómo se ha llegado a ella. La postdicción es considerada como un tipo de razonamiento no deductivo y mucho más difícil de considerar. Debido precisamente a la dificultad para encadenar los hechos hacia atrás con información incompleta. Este tipo de razonamiento tiene dos fases: a) un conjunto de explicaciones posibles, y b) construcción de explicaciones; donde se escoge la mejor. Así por ejemplo, si se encuentra el patio de la casa mojado, una causa de ello puede ser que llovió; sin embargo, si el día está soleado, entonces tal vez fue mojado por alguna persona. Existe toda una teoría de estudio al respecto, dentro de la literatura, que se conoce como *lógica abductiva*¹⁰⁷.
- **Análisis Escéptico;** determinar la consistencia de una descripción con respecto a una situación física. Un ejemplo es evaluar la propuesta de una máquina de movimiento perpetuo, con respecto a los datos del mundo real.
- **Interpretación cuantitativa;** dada la descripción parcial de las particularidades de una situación y algunas observaciones de su comportamiento, inferir qué otras particularidades existen y qué más puede suceder.
- **Planeamiento experimental;** dado un conocimiento concreto de lo que puede observarse y manipularse, planificar acciones que conlleven la obtención de mayor información de la situación.

¹⁰⁷ A. Aliseda-Llera, *Seeking Explanations: Abduction in Logic*, Philosophy of Science and Artificial Intelligence, Ph.D. Thesis, Institute for Logic, Language and Computation, Universiteit van Amsterdam, 1997.

- Razonamiento causa-efecto. Este tipo de razonamiento es una herramienta para dar crédito a una hipótesis que proviene de un comportamiento observado o postulado. Es útil para la generación de: explicaciones, interpretación de medidas, planificación de experimentos y obviamente aprendizaje.

6. Arbitraje y control de agentes

La introducción de los sistemas multiagentes hizo evolucionar drásticamente a los sistemas inteligentes de aprendizaje, particularmente con la descomposición de los módulos tradicionales (tutor, estudiante, dominio de conocimiento e interfaz) que existían hasta el momento, en actividades concretas que podían ser encargadas a agentes distintos. El aumento conseguido de la granularidad benefició: a) el proceso de tutoría, que pudo intensificarse grandemente, el dominio de conocimiento al permitir mayor detalle del mismo; b) su división en micromundos al cuidado de un agente y posibilitando la incorporación de la experiencia del experto humano; y por último c) benefició también la interacción con el usuario haciéndola más fluida e intensa. En esa línea de beneficios aportados por los sistemas multiagentes hay que citar a Les, Cumming y Finch¹⁰⁸ que ejemplifican beneficios del uso de agentes en la educación como: entrenadores y consejeros que dan explicaciones de forma individual, agentes con personalidades distintas que ofrecen perspectivas distintas para el aprendizaje del tema concreto, agentes que ayudan en la navegación por el sistema de aprendizaje de acuerdo con los objetivos previstos, y agentes que interactúan con otros agentes y usuarios para reforzar el aprendizaje cooperativo. En sus planteamientos no se aborda todavía el problema de un posible conflicto entre agentes.

¹⁰⁸ J.Les, G. Cumming, S. Finch, "Agent systems for diversity in human learning", *Artificial Intelligence in Education*, S.P. Lajoie, M. Vivet (eds.), IOS Press, 1999, pág. 13-20.

Desde una óptica distinta, constructiva, Urretavizcaya¹⁰⁹ propone que el mejor modo de aprender es que el estudiante construya el dominio de aprendizaje de manera consciente auxiliado por un grupo de estrategias pedagógica basado en la experiencia del tutor humano. En este caso el alumno toma control de la actividad educativa construyendo su propia sesión de aprendizaje. La actuación de los agentes en este caso es aconsejar al alumno para el desarrollo de la actividad específica sin que tampoco se plantee conflicto entre ellos. En estos casos aunque el papel de los agentes es importante, no se presentan problemas en su actuación conjunta puesto que las estrategias educativas son independientes entre sí y dentro de ellas también aparecen los consejos con plena independencia.

Pero ya Girard, Gauthier y Levesque¹¹⁰ habían propuesto una arquitectura totalmente distribuida del sistema en agentes, considerando que la enseñanza era una tarea oportunista y que el mecanismo que debía regir en todo el sistema era un proceso de planificación oportunista que se resolvía como una exploración en el espacio de estado. Pero esa búsqueda presentaba problemas: por una parte el espacio podía crecer como explosión combinatoria, y además durante la búsqueda podían producirse cambios dinámicos en nodos analizados que ya no eran considerados en su forma nueva. Esas dificultades las resolvió encargando a los agentes actividades diversas cuya prioridad en el tiempo no podía establecerse de antemano. Se necesitaba, por tanto, establecer un proceso que permitiera controlar los agentes que debían cooperar entre ellos.

De todas formas, en seguida se advierte que existen dos filosofías distintas de llevar a cabo esa regulación de la actividad de los agentes, y que cualquiera que sea ésta habrá que tener en cuenta la propia arquitectura del

¹⁰⁹ M. Urretavizcaya, "Sistemas Inteligentes en el ámbito de la Educación". *Inteligencia Artificial*, 2001, pág. 5-12.

¹¹⁰ J. Girard, G. Gauthier, S. Levesque, "Une architecture multiagent", en *Proceedings of Second International Conference, ITS'92*. Lecture Notes in Computer Science No. 608, Springer-Verlag, 1992. pag. 172-182.

agente y sus funcionalidades en el sistema de aprendizaje. Como primera filosofía cabe insertar los mecanismos de regulación dentro del módulo de estado del agente y se denomina arbitraje; la segunda filosofía los insertará fuera de los agentes y se llamará control. La primera filosofía puede llevarse a cabo de varias formas y entre ellas hay que mencionar la basada en la reconciliación de la intención de los agentes¹¹¹; para ello los agentes deben contar con esa capacidad de realizar el cambio de intenciones conflictivas a intenciones compatibles con la labor de equipo. Otra aproximación es la propuesta por Kraus y su equipo¹¹² que pone énfasis en la comunicación y la negociación. La aproximación conocida como “espíritu de equipo”¹¹³ ha sido diseñada para proporcionar agentes que siguen un modelo general de trabajo en equipo. Aproximaciones distintas de la mano de Grosz¹¹⁴ y de Jennings¹¹⁵ utilizan como elemento fundamental los planes compartidos y la responsabilidad conjunta, respectivamente. Una aproximación muy diferente es la llevada a cabo por Huffman y Laird¹¹⁶; sus trabajos colocan al aprendizaje en una instrucción tutorial interactiva situada en un agente, *Instructo-Soar*, que sigue esa orientación.

La segunda filosofía, la de control, trata de coordinar las actividades del agente desde el espacio exterior; los agentes reactivos han jugado un papel importante de acuerdo con las aportaciones de Brooks¹¹⁷. Además de él ha habido otros intentos de aplicar la teoría e ingeniería del control usando diversas aproximaciones. Así, Nilsson presentó un formalismo para calcular y

¹¹¹ B. Grosz., et al., “The influence of social norms and social consciousness on intention reconciliation”, *Artificial Intelligence*, Vol. 142, 2002, pp.147-177.

¹¹² S. Kraus, K. Sycara, A. Evenchik, “Reaching agreements through argumentation: a logical model and implementation”, *Artificial Intelligence*, Vol. 104, 1998, pp. 1-69.

¹¹³ M. Tambe, “Towards Flexible Teamwork”, *J. of Artificial Intelligence Research* Vol. 7, 1997, pág. 83-124.

¹¹⁴ B. Grosz, S. Kraus, “Collaborative plans for complex group actions”, *Artificial Intelligence*, Vol. 86, 1996, pág. 269-358.

¹¹⁵ N. Jennings, “Controlling cooperative problem solving in industrial multi-agent systems using joint intentions”, *Artificial Intelligence*, Vol. 75, 1995.

¹¹⁶ S. Huffman, J. Laird, “Flexible Instructable Agents”, *J. of Artificial Intelligence Research*, Vol. 3, 1995, pág. 271-324.

¹¹⁷ R. Brooks, “Intelligence Without Representation”, *Artificial Intelligence*, 47, 1991, pp. 139-159.

organizar las acciones de los agentes autónomos por medio de programas teleo-reativos. En cambio Bojinov y colaboradores¹¹⁸ utilizaron los sistemas multi-agente para proporcionar técnicas de control a robots modulares autoconfigurables; Proteo es un ejemplo particular de esta aproximación.

6.1 Mecanismos de control de agentes

La filosofía de control es la más abundante y la que ha prevalecido por su mayor flexibilidad posibilidades. No obstante conviene recordar las condiciones particulares de los sistemas de aprendizaje en los que los aspectos educativos prevalecen sobre los otros detalles del sistema. Por otra parte, la especialización funcional y complejidad de los agentes aconsejan instalar los mecanismos de cooperación entre agentes encargados de los micromundos del dominio de aprendizaje fuera de ellos, de manera que complementariamente aparece también la conveniencia de instalar en el exterior los mecanismos de coordinación de agentes.

Para establecer estos mecanismos es necesario tener en cuenta los elementos disponibles que llegan de los usuarios, como sus respuestas, intervenciones, historia, modelos, y la instrumentación concreta de la funcionalidad del sistema. Contando con agentes reactivos, cabe seguir alguna de las líneas de actuación siguientes para la resolución de conflictos entre agentes:

- Inhibición de ciertos comportamientos, a favor de uno concreto que debe ser ejecutado en primer lugar. Si contamos con una jerarquía de niveles de comportamientos se pueden establecer fácilmente las reglas de inhibición de comportamientos como una función de los niveles de los agentes y el objetivo de los comportamientos situados en el mismo nivel.

¹¹⁸ H. Bojinov, A. Casal, T. Hogg, "Multi-agent control of self-reconfigurable robots", *Artificial Intelligence*, Vol. 142, 2002, pág. 99-120.

- Mediante una orientación a los objetivos o a las tareas. Esta aproximación funciona cuando existen niveles funcionales o tareas de complejidad creciente de objetivos y percepciones. En este caso, cuando se plantea un conflicto entre agentes, el nivel que existe encima de los que están en conflicto decide la intervención de los agentes y en qué orden.
- Resolución del conflicto basada en mediadores. Estos mediadores, en número diverso, determinan unos la precedencia entre agentes del mismo nivel, y otros la de niveles diversos (entre los que no existe ninguna jerarquía).

6.2 Mecanismos de control de agentes en sistemas de aprendizaje

Sin embargo, estas aproximaciones, aunque muy intuitivas, no acaban de funcionar en los sistemas de aprendizaje, en los que no es posible determinar jerarquías absolutas entre niveles educativos, tutoriales o pedagógicos puesto que ello depende de los agentes que estén activos en ese momento.

En cuanto a los modos posibles de iniciación del control destacan:

- Modo cíclico. Actúa después de un cierto incremento de tiempo.
- Modo crítico, cuando se produce una de las situaciones críticas previamente definidas, muchas de ellas asociadas con la producción de errores, estados mentales especiales del alumno o intervenciones muy particulares del mismo.
- Modo preventivo, siempre que se produce una intervención del estudiante, pues aunque la intervención del alumno no suponga éxito o fallo, podría ocurrir que su intención o subobjetivo adoptado por el estudiante no fuese el correcto o el óptimo, según un cierto criterio; en ese caso se podrían producir diferentes intervenciones de los agentes con la posibilidad de

conflicto. Por último, si el estado resultante indujese problemas relativos a la didáctica general, como necesidad de mejorar la motivación, o a su estado psicológico en términos generales, podría desatar la actuación de diversos agentes.

Los mecanismos de control son diversos y cabe imaginar:

- Basados en la prioridad de ciertas habilidades. Es similar al mecanismo de inhibición de comportamientos. En este caso existe un orden o jerarquía en la adquisición de subhabilidades que componen la habilidad a aprender. Esta jerarquía resuelve el conflicto desatado por la intervención simultánea de los agentes.
- Mecanismo orientado a las funciones o tareas. También es similar al anteriormente enunciado con el mismo nombre. Existen diversos niveles correspondientes a la ejecución de la tarea o a complejidades de la función que deben ser aprendidos, con sus objetivos, percepciones y control. En caso de conflicto, es el nivel superior, el que dispone de más conocimiento de los elementos que integran la tarea y sus dificultades y problemas la que resuelve el conflicto. En este caso el desencadenante es el último error cometido y la historia de los errores previos relacionados con él. Un controlador “ad hoc” externo resuelve el conflicto existente.
- Basado en el análisis de los errores cometidos por el estudiante en su última intervención. El mecanismo de nivel mínimo se limita a describir el error o los errores cometidos y a clasificarlos por su severidad; este orden determina el orden de actuación de los agentes a cargo de los micromundos correspondientes a las tareas de cada uno. Puesto que los errores pueden ser absolutos o estáticos y relativos o dinámicos, también esta clasificación permitiría resolver el tema de la actuación de los agentes. De todas formas, conviene recordar que la severidad de un error cambia con el estado del

estudiante; no es lo mismo cometer un cierto error al iniciarse el aprendizaje que ese mismo error en un estado avanzado del mismo. En estos mecanismos el desencadenante es exclusivamente la última intervención del estudiante y el conflicto se resuelve a partir de la clasificación de la severidad de los errores hechos en esta última intervención.

- Por medio de un análisis de errores profundos. En este caso es necesario determinar profundamente los elementos cognitivos afectados por los errores de la última intervención, es decir, los nodos del conocimiento declarativo y experiencial y las tácticas y estrategias asociadas con los errores hechos, y considerar como causa profunda del error un posible fallo en elementos cognitivos que les preceden en el grafo del dominio de conocimiento. En otros términos se hace la propagación marcha atrás del error o errores en el grafo del experto humano por medio de razonamiento inductivo o probabilística si se encuentran en el registro del alumno errores previos relacionados con nodos previos a los afectados últimamente. El desencadenante es tanto la última intervención del alumno como su registro de errores contenido en su estado actual. La solución del conflicto se decide a favor de los agentes a cargo de los micromundos en los que se encuentran los elementos cognitivos de esos errores previos o, si no existen esos errores previos, elementos cognitivos “padres” de los asociados a los últimos errores cometidos.
- Basados en la analogía de los errores existentes en el estado del estudiante. Este mecanismo adquiere una cierta complejidad ante la posibilidad de establecer analogías muy diferentes entre los errores anteriores cometidos. Como ejemplo de analogías cabe suponer que en los errores cometidos se encuentra presente siempre el mismo método, técnica, propiedad o concepto que ha sido mal aprendido y ocasiona ocultamente los errores. Esa analogía

puede establecerse en relación con la habilidad cognitiva principal que debería usarse y se ha utilizado incorrectamente. De esta manera cabe hablar de fallos en el proceso de discriminación, en el de detección de alarmas, etc. En estos casos la solución del conflicto consiste en establecer un orden de actuación de los agentes a cargo de los diferentes micromundos de acuerdo con la importancia y detalle dado al aprendizaje y práctica de ese conocimiento analógico. El desencadenante principal del mecanismo de control es, en este caso, el estado del estudiante o, más concretamente, la acumulación de errores que ha provocado la elaboración de esa analogía.

- Basados en las equivocaciones del estudiante o en sus intenciones no óptimas. En este caso no se ha detectado ningún error en la última intervención del estudiante, pero se ha deducido la intención o el subobjetivo que persigue y que no le permite llegar a la solución o llegaría sólo a una solución subóptima.

Este mecanismo necesita previamente conocer con todo detalle los subobjetivos correctos del experto humano y planes para desarrollarlos, así como los incorrectos, relativos a la tarea que hay que realizar. La comparación entre la planificación desarrollada y la del estudiante permitirá deducir las intenciones de éste último y determinar si esa intención u objetivo es correcto o no. El desencadenante es el estado del estudiante que incluye su registro y que ha de ser confrontado cuidadosamente con el del experto para obtener su intención y en consecuencia cabe:

- a) No ejecutar ninguna acción sobre los agentes al cuidado de los micromundos si el agente o agente al cuidado de la didáctica general e investido de prioridad más alta decide como táctica pedagógica que sea el estudiante quien tenga que descubrir su situación.
- b) Dejar que el estudiante cometa el error.

- c) Dejar que el estudiante se dé cuenta que no va a alcanzar la solución óptima.
- d) Por el contrario, establecer el orden de actuación de los agentes al cargo de los micromundos como función de su proximidad a la intención correcta o el subobjetivo que el estudiante debería adoptar en sus actuaciones para llegar a la solución óptima.
- Orientados a la proacción. En este caso, no se encuentran errores o intenciones inadecuadas en el comportamiento del estudiante, al contrario, hay una lista importante de éxitos que abogan para proyectarle a una nueva dimensión de su conocimiento y habilidades relacionadas con la tarea a aprender proponiéndole toda una colección de actividades que pueden referirse a micro-mundos distintos y provocar un conflicto entre los agentes responsables de ellos. El mecanismo define la precedencia de los agentes a partir de criterios diversos como:
 - a) Intensificación y refuerzo que puede aplicarse a las técnicas con intensidades más débiles de aprendizaje que aparecen en el modelo del estudiante, o a los estilos de aprendizaje más débiles.
 - b) Proacción a problemas más difíciles y avanzados en términos generales. El desencadenante del mecanismo es el estado del estudiante que incluye el registro de éxitos y sus peculiaridades personales como: interés, capacidad, atención, etc. que abogan por este proceso de proacción. El resultado es la ejecución ordenada de los agentes encargados de estas actividades preactivas de acuerdo con el orden existente de las mismas en el grafo del dominio de conocimiento o en el orden de su dificultad creciente.
- Motivados por otras circunstancias ajenas al dominio de aprendizaje. En algunas ocasiones existe la posibilidad de un comportamiento anómalo del

estudiante, reiterativo o no, que frecuentemente se desencadena como una sucesión de intervenciones erróneas en la misma sesión o en varias consecutivas, que entran en conflicto con su comportamiento usual. En este caso el mecanismo trata de determinar la posibilidad de un problema personal del estudiante, de menor o mayor cuantía, tal como: cansancio, falta de interés, falta de atención o, incluso, alguno más severo como desmoralización por los malos resultados obtenidos, o aun un problema personal afectivo o social. En este caso la precedencia será otorgada al agente al cargo de la didáctica general o a los agentes educativos a fin de incidir más en el problema detectado con el fin de tratar de concretar el problema y aplicar las tácticas adecuadas. El desencadenante es tanto la última intervención del alumno como las precedentes para permitir localizar el problema y organizar la intervención de los agentes a cargo de la didáctica general inhibiendo de momento la de los agentes al cuidado de los micromundos.

- Mecanismos compuestos. Muchos de los mecanismos propuestos no son incompatibles entre sí; en realidad podrían ser considerados como aspectos diferentes a contemplar al diseñar un mecanismo complejo de control.

6.3 Sistemas reactivos: aplicación de BCTA¹¹⁹ (Análisis comportamental-cognitivo de tareas) a la modelización de comportamientos reactivos

La mayor parte de los comportamientos diseñados para agentes móviles se basan en la “arquitectura subsumida” de Brooks¹²⁰ y consiste en desarrollar una inteligencia incremental a partir de la descomposición del comportamiento, de manera que cada subcomportamiento produce un solo sistema que conecta

¹¹⁹ A. L. Laureano-Cruces, F. de Arriaga, M. García-Alegre, “Cognitive Task Analysis: a proposal to model reactive behaviours”, *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, 13, 2001, pág. 227-239.

¹²⁰ R. Brooks, “Intelligence without representation”, *Artificial Intelligence*, 47, pág. 139-159.

R. Brooks, *Intelligence without reason*, Memo 1292, 1991, M.I.T. Artificial Intelligence Laboratory.

la percepción y la reacción. Estos subcomportamientos se diseñan tomando en consideración las distintas manifestaciones externas que afectan el subcomportamiento.

Hasta ahora esa descomposición se ha hecho de manera funcional-modular utilizando la correspondencia fuerte que existe entre los componentes estructurales del sistema y su descomposición funcional, en otras palabras, a cada elemento del sistema le corresponde una cierta función que es encapsulada en una función programada, objeto, paquete, módulo o agente informático. De esta manera la emulación de comportamientos humanos básicos, como el de andar sin chocar, rodeando un obstáculo, han tenido un cierto éxito, de manera que a partir de esos comportamientos básicos ha sido posible implementar de manera incremental comportamientos más complejos considerándolos e integrándolos¹²¹, pero las dificultades comienzan cuando se trata de emular comportamientos más sofisticados siguiendo la descomposición modular-funcional.

Los agentes reactivos¹²² constituyen una opción interesante para constituir un sistema multiagente particularmente en los casos en los que no es posible indicar a los agentes de manera simple cómo alcanzar un objetivo. En este caso de empleo de agentes reactivos es preciso obtener ya en la fase de diseño los rasgos y características que hay que considerar para producir un ciclo de interacción entre los agentes y el entorno de manera se produzca la convergencia hacia el objetivo final; precisamente la interacción termina en el momento de alcanzar el objetivo. La dinámica de la selección-acción de este tipo de sistemas emergerá como respuesta a dos aspectos básicos: las condiciones del entorno y los objetivos internos de cada agente, de ahí que estos sistemas

¹²¹ P. Maes, *Designing autonomous agents: Theory and Practice from Biology to Engineering and Back*, M.I.T. Press, Cambridge, 1993.

¹²² A. Laureano, F. de Arriaga, "Diseño del dominio en Sistemas Inteligentes de Enseñanza basado en la reactividad de los agentes", *Actas II Jornadas Nacionales de Innovación de las Enseñanzas de las Ingenierías*, Vol. II, 1996, ICE-UPM, Madrid, pág. 987-999.

sean conocidos como sistemas basados en el comportamiento. Sus características principales son la interacción dinámica con el entorno y los mecanismos internos que permiten trabajar con recursos limitados e información incompleta. En suma, el principal objetivo de estos sistemas reactivos es buscar una funcionalidad emergente que surge de la interacción intensiva del sistema con el entorno.

A la vista de lo anteriormente expuesto se comprende que el diseño de los comportamientos granulares en los sistemas reactivos está fuertemente relacionado con el comportamiento de los agentes reactivos; usualmente uno o varios comportamientos granulares son asignados a un agente reactivo. Este diseño de comportamientos granulares suele seguir una de las pautas siguientes:

- a) Diseño guiado etológicamente¹²³, utilizado a partir de los comportamientos animales que se combinan e integran hasta conseguir un comportamiento adecuado al problema que se estudia.
- b) Diseño por experimentos que se ejecuta ordinariamente “de abajo arriba”, incorporando al sistema comportamientos básicos, experimentándolos y evaluándolos para incorporar comportamientos adicionales para adecuarse al comportamiento final.
- c) En este tema concreto se ha seguido un diseño por “actividad situada”¹²⁴ que se centra en las acciones de los agentes, y por tanto, en sus comportamientos en función de las situaciones, momentos y entornos. En esta aproximación es fundamental encontrar las percepciones que causan una determinada acción en un cierto entorno¹²⁵.

¹²³ R. D. Beer, *Intelligence as Adaptive Behavior: An Experiment in Computational Neuroethology*, Academic Press, Nueva York, 1990.

¹²⁴ A. Laureano, F. de Arriaga, “Reactive Agent Design for Intelligent Tutoring Systems”, *Cybernetics and Systems*, 31(1), 2000, pág. 1-47

¹²⁵ A. Laureano, F. de Arriaga, “An Intelligent Tutoring System to Teach an Integrated Skill”, *Proceedings WICCS'98 International Conference*, Dahrán, Saudi Arabia, 1998, pág. 71-84.

Con independencia del método global de diseño que se utilice el control del agente depende de dos aspectos clave: la representación y codificación de los comportamientos, y la coordinación entre ellos. Este diseño por actividad situada implica la necesidad de conocer los subcomportamientos que se integran en un comportamiento mayor, sus relaciones, el proceso que realiza ese comportamiento global y las características que motivan ese comportamiento. El comportamiento del agente se basa en el análisis del comportamiento del experto humano.

BCTA es la técnica ya explicada que va a utilizarse para realizar este análisis cognitivo. Como ya se ha visto, BCTA podría definirse como un análisis recursivo de la tarea para clarificar los procesos psicológicos implicados en la construcción cognitiva del desarrollo de habilidades relacionadas o necesarias para la tarea completa. En ese análisis recursivo la tarea es dividida más y más específicamente en subtareas, para saber con más precisión los componentes de la tarea global y los procesos mentales que subyacen en cada subtarea, como los componentes estáticos o estructuras que interactúan y las estrategias necesarias para llevar a cabo cada etapa de la tarea.

6.4 Prototipo ESTRUCT: un sistema e-learning inteligente reactivo

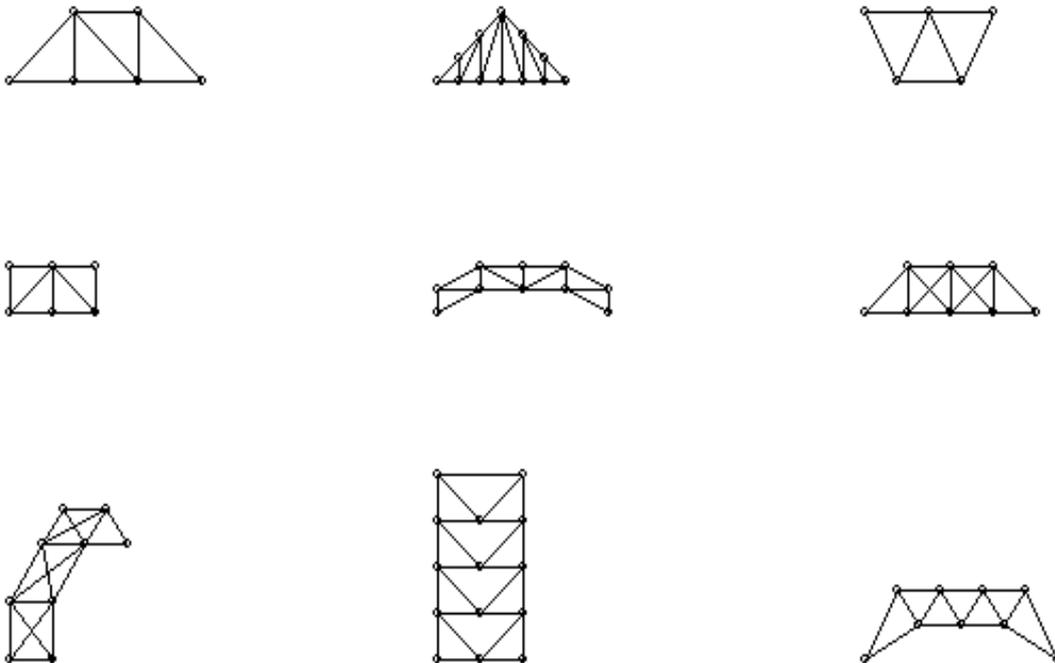
Seguidamente se incluye un ejemplo que por su mayor sencillez puede describirse con detalle, el sistema ESTRUCT con agentes reactivos, en los que los agentes no tienen objetivos predeterminados ni se utiliza un entorno exhaustivo de representación. Su dominio de aprendizaje es el cálculo de estructuras triangulares de ingeniería civil.

Los miembros de las estructuras triangulares son rectos y están conectados en sus extremos. Se asume que donde se conectan forman un nodo. Las fuerzas externas actúan en estos nodos en forma de fuerzas concentradas.

Los miembros solamente están sujetos a fuerzas axiales, por lo que se induce a un estado uniforme de tensión o compresión axial.

La forma básica de estas estructuras es un triángulo de ahí su nombre de estructura triangular. Formado por tres miembros conectados a través de sus nodos. Si se agregan a esta conexión otros dos miembros que se conectan a dos de los nodos pertenecientes al primer triángulo formarán otro triángulo. Las estructuras construidas de esta forma son internamente rígidas.

Figura 2 - Tipos comunes de estructuras triangulares



6.4.1 Análisis por el método de los nodos

El miembro de una armadura está sujeto sólo a fuerzas axiales de tensión o compresión. En general, existe un equilibrio entre las fuerzas internas de los miembros de una estructura y las fuerzas externas que actúan sobre el nodo en cuestión. Se deben satisfacer dos ecuaciones de equilibrio que son:

$$\sum F_x = 0 \text{ y } \sum F_y = 0.$$

De las anteriores ecuaciones se derivan las condiciones generales de isostaticidad¹²⁶ que son:

- $NE > NI$; hiperestaticidad.
- $NE = NI$; isostaticidad.
- $NE < NI$; hipostática.

Esto es, para una estructura plana con N nodos, existe un sistema de 2N ecuaciones de equilibrio. Y las ecuaciones¹²⁷ en una estructura triangular tomarían la siguiente forma:

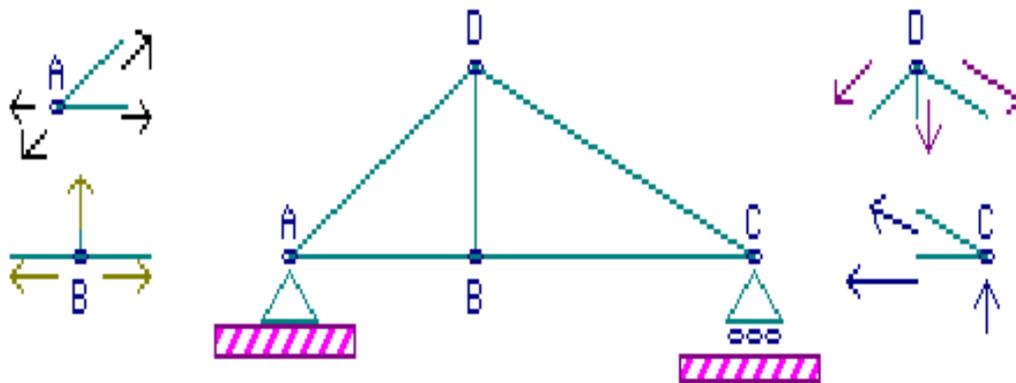
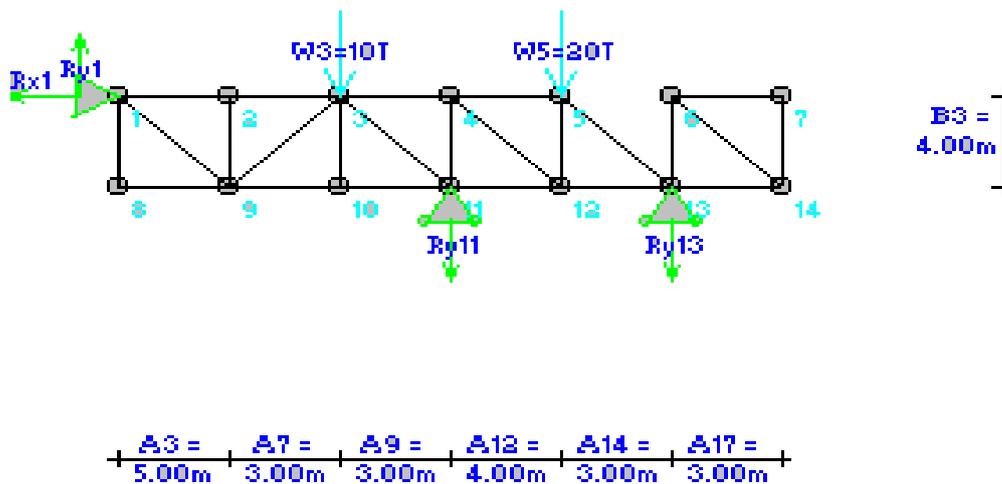
$$2N = NB + NR$$

Esto es: para una estructura estáticamente determinada, el número independiente de ecuaciones de equilibrio es igual al número de reacciones desconocidas más el número de fuerzas axiales internas desconocidas. De aquí que se puedan determinar las ecuaciones para la obtención de las fuerzas internas de los miembros de una estructura triangular: 1) dibujando los diagramas de cuerpo libre de cada uno de los nodos, 2) escribiendo las ecuaciones de equilibrio para cada nodo y finalmente 3) resolviendo el sistema linear resultante.

Durante el análisis de la estructura un error común consiste en pensar en una armadura como si esta fuera: 1) estáticamente determinada o 2) indeterminada, sin considerar la relación que existe entre nodos y reacciones.

¹²⁶ Donde NE representa el número de ecuaciones y NI representa el número de incógnitas.

¹²⁷ Donde N representa el número de nodos, NB el número de barras y NR el número de reacciones.

Figura 3 - Diagrama de cuerpo libre de los nodos**Figura 4** - Estructura con más de tres reacciones

Otro error común es la idea generalizada de que si una armadura tiene más de tres reacciones es hiperestática. Los estudiantes no consideran necesaria la verificación de las premisas que dan verdadero o falso a esta conclusión. Las estructuras de la Figura 4 tienen más de tres reacciones; son isostáticas pero externamente indeterminadas por lo que pueden ser analizadas por el método de los nodos. Por otro lado existen estructuras con tres reacciones pero,

hiperestáticas, tal es el caso de la estructura de la Figura 5.

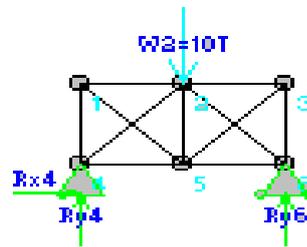
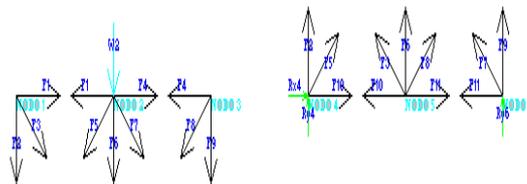


Figura 5 - Estructura con tres reacciones

En el caso de la Figura 5 la estructura es hiperestática y no puede ser analizada por el método de los nodos, pero es externamente determinada; de aquí que las reacciones se puedan determinar.

Obteniendo los diagramas de cuerpo libre de los nodos de la estructura de la Figura 5 se observan más de dos fuerzas desconocidas por nodo, estos se indican en la Figura 6.

Figura 6 - Diagrama de Cuerpo Libre de los Nodos



Este error es considerado como grave e implica una falta de conceptualización, que conlleva la incapacidad de aplicar el método.

6.4.2 Habilidades

La adquisición de habilidades está postulada como la inclusión de tres estados:

- 1) El aprendizaje verbal del conocimiento en forma de reglas elementales.
- 2) Durante el aprendizaje de la habilidad, los componentes de la tarea se combinan y se automatizan gradualmente.
- 3) En el nivel más alto de experiencia se desarrolla la automaticidad; ya no se requiere la atención para desarrollar tareas rutinarias.

Se evaluaron los errores más comunes en el desarrollo de las clases de análisis de estructuras triangulares con estudiantes; observando su actuación tanto en clase, como en los exámenes, y de esta forma se clasificaron los errores.

6.4.3 Metodología

Uno de los principales objetivos durante el desarrollo del análisis de la tarea global era encontrar el número de habilidades que la conformaba, con el fin de crear módulos que permitieran ensamblar un proceso de enseñanza-aprendizaje.

Para conocer el número de habilidades, en los que se dividió nuestro problema se utilizó el modelo mental del experto (Figura 7); éste encuentra distintas formas de representación en: a) los BCTA (Tabla 1 y Tabla 2), y b) la división conceptual del dominio; que se logra a través del grafo genético (Figura 8).

En primer lugar se encuentra la representación del modelo mental de la tarea cognitiva que se muestra en la Figura 7. Basándonos en este modelo, se indican los pasos del desarrollo de dicha tarea cognitiva, necesarios para encontrar los demás componentes del BCTA. Estos datos se encuentran sintetizados en la Tabla 1. Se hace notar que en la columna de contenido de los pasos, todos ellos constan de procedimientos y estrategias lo que conduce a pensar en habilidades.

En segundo lugar se complementa este BCTA con la propuesta de Ryder

et al.¹²⁸. De acuerdo a estos últimos dos autores: a) el estado de orientación esta representado por la Tabla 1 y la Tabla 2, b) el estado de desarrollo de los componentes queda explícito en las explicaciones verbales de obtención del método, y c) el tercer estado sobre la adquisición de habilidades esta representado por la Figura 7.

En este análisis se va a encontrar el tipo de habilidades basándose en el modelo mental de la Figura 7 y en la taxonomía de habilidades propuesta por Ryder y Redding. El tipo de conocimiento conceptual, se logra asociando cada paso del modelo mental con su explicación verbal. Los tipos de habilidades asociadas con los pasos del desarrollo se encuentran en la Tabla 2. En este caso no existe jerarquía de habilidades.

6.3.3.1 Habilidades que se detectan

Del análisis de la Tabla 1 y la Tabla 2 obtenemos la primera aproximación al número de habilidades necesarias en el desarrollo de la tarea cognitiva en cuestión. Se detectan un máximo de cuatro habilidades que se encuentran representadas en los pasos ubicados dentro del modelo mental y son éstas:

- a) Detectar las características físicas para saber si se puede o no utilizar el método (estratégica). (Paso 1)
- b) Conocer y tener la capacidad para aplicar las reglas de simplificación de barras (reconocimiento de patrones, táctica y procedimental). (Paso 2)
- c) Conocer cuándo y cómo obtener las reacciones (táctica y procedimental). (Paso 3 y Paso 4)
- d) Conocer la mecánica para calcular el resto de las fuerzas en las barras (táctica y procedimental). (Paso 5)

Estas habilidades se encuentran representadas en los resultados de la técnica BCTA de la Tabla 2. En tercer lugar se utiliza el grafo genético para

¹²⁸ J. Ryder, R. Redding, "Integrating Cognitive Task Analysis into Instructional Systems Development", *Educational Technology Research & Development.*, Vol. 41, No. 2, 1993, pp 75-96.

representar el conocimiento que estamos tratando, ésta se muestra en la Figura 7. El objetivo es poder encontrar las clases y subclases del conocimiento conceptual, lo que nos permitirá clasificar los pasos de acuerdo al conocimiento utilizado.

Observando el diagrama se puede concluir que: a) las reglas: 1, 2, y 3 son subclases de la habilidad reglas de simplificación, b) las fuerzas en las barras y las reacciones son una subclase de la habilidad obtención de fuerzas (en ambos casos representado por el enlace número 2). Por lo tanto cada clase, queda representada por una habilidad.

Para saber si se puede o no emplear el método, se necesitan dos conceptos (isostática y estable). Estos conceptos están inmersos en la habilidad de detectar las características físicas para saber, si se puede o no emplear el método (representado por el enlace número 4). Así que será imprescindible un módulo que enseñe cómo detectar estas características.

Del análisis anterior se desprende la necesidad de 3 módulos para desempeñar el proceso de enseñanza-aprendizaje.

Por otro lado también se encuentra representado el dominio de los problemas (T1, T2, T3) que utilizará cada módulo para comprobar su habilidad y el grupo formado por T4, que representa el conjunto total de problemas al que nos encaminamos cuando se inicia la sesión, (representados por el enlace no. 6). Los componentes básicos son un prerrequisito para aprender la habilidad global, representan los conocimientos de: plano cartesiano, estática, vectores y física básica, que no son tratados por este tutor puesto que son conceptos que se requieren para realizar este aprendizaje.

Ahora bien existen otros dos enlaces, que implican el orden de acceso a las habilidades estos son 3 y 5, y no son complementarios. En el caso de *AntesQue*, implica que es una habilidad que se tiene que dominar antes de

entrar a otra isla, pero no implica un orden, representa un prerrequisito, sin embargo, el hecho de incluir el enlace *DespuésDe*, obliga un orden de acceso. En el caso particular del aprendizaje de la habilidad de solución de estructuras triangulares por el método de los nodos es imprescindible integrar las habilidades en ese orden ya que el hecho de ser bueno en cualquiera de ellas o en todas no conlleva necesariamente al éxito del desarrollo de la habilidad global.

En este caso los niveles representan la abstracción conceptual donde:

- a) el nivel 1 esta representado por los conocimientos previos antes de abordar el procedimiento de análisis de estructuras por el método de los nodos;
- b) el nivel 2 esta representado por las habilidades necesarias para lograr la experiencia en el procedimiento; y
- c) el nivel 3 esta representado por los componentes necesarios para lograr esas habilidades; en este caso pueden ser procedimientos (enlace 2) o conceptos (enlace 4). Hay que hacer notar que todas las habilidades se encuentran en el mismo nivel que es el 2.

6.4.4 Errores

Mucho se ha hablado de la diferencia que hay en forma de resolver los problemas que tienen los expertos y los aprendices. Durante la última década la inteligencia artificial y la psicología cognitiva han investigado un conjunto de aspectos fundamentales relacionados con el tema, como son: 1) la cantidad de conocimiento que puede ser organizado, y 2) cómo esta organización puede jugar un papel importante para el reconocimiento eficiente en la aplicación de este conocimiento.

Ambas ramas han llegado a la conclusión de que la solución experta de un problema, depende básicamente de contar con el conocimiento apropiado del dominio específico y no de habilidades intelectuales extraordinarias.

Por otro lado estudios sobre estas diferencias han llegado a conclusiones de que no solamente influye el hecho obvio de que los expertos saben más, sino que también existe una diferencia cualitativa en la organización del conocimiento, así como en la forma en que éste es usado¹²⁹. En el campo de la mecánica de estructuras, que es el que nos ocupa, existen dos diferencias básicas entre la forma que tienen de resolver los problemas los expertos y los novatos o aprendices.

Los aprendices inician la solución proponiendo un camino para ir resolviendo poco a poco las incógnitas y las ecuaciones que las resuelven, soluciones que serán utilizadas en la siguiente ecuación a resolver. Esta forma hacia-adelante de resolver, la realizan iterativamente hasta que quedan resueltas todas las incógnitas o hasta que se dan cuenta que ese camino no es válido, en cuyo caso habrán perdido mucho tiempo.

Los expertos también realizan una solución hacia-adelante. A partir de las variables conocidas generan el sistema o conjunto de ecuaciones que dejan al descubierto incógnitas que se vuelven conocidas. La diferencia básica es que los aprendices no son capaces de encontrar esos aspectos que facilitan la tarea y aseguran un camino sin contratiempos.

La distinta forma de trabajo entre unos y otros, hace pensar que existen diferencias cualitativas en el proceso de inferencia. Estas diferencias cualitativas generan información que no se encuentra de forma explícita en el problema y que es fundamental para la solución de éste. Este tipo de información representa en robótica reactiva, las características dinámicas del entorno, que permitirán que el sistema reaccione. Para lograrlo, hay que analizar los errores. Cuando algún estudiante intenta resolver un problema, los errores que comete se deben a no saber identificar detalles que se encuentran de forma implícita. Conocer los principios de la física general ayudaría al usuario. Estos principios

¹²⁹ R. Elio, P. Scharf, "Modeling Novice- to-Expert Shifts in Problem-Solving Strategy and Knowledge Organization", *Cognitive Science* 14, 1990, pág. 579-639.

llevan a concluir: 1) cuándo una estructura es o no estable, 2) cuándo es hiperestática, o 3) la capacidad de aplicación de las reglas de simplificación en la geometría de la estructura. Así que, son estos aspectos los que nos interesa que el estudiante aprenda a reconocer. La caracterización de los errores dio la pauta para generar las características dinámicas del entorno cognitivo; éstos se encuentran identificados en la Tabla 3.

La segunda diferencia está representada por el contenido y organización del conocimiento para resolver el problema. Los aprendices clasifican el problema en base a aspectos superficiales, con lo que tienen una representación improvisada. Los expertos los clasifican en base a aspectos más profundos, esto es, tienen un esquema mental más fuerte que les permite centrarse en los principios abstractos de la física y en las restricciones, para aplicar estos principios de acuerdo con su representación conceptual.

Uno de nuestros objetivos al dividir la tarea global en módulos era poder representar los aspectos profundos, basándonos en la información que no se encuentra de forma explícita en el problema, y que el experto tiene, y el aprendiz no, y de esta forma, convertirlos en explícitos para el usuario.

6.4.5 Representación del conocimiento

Se necesita un modelo de proceso tutorial que cuente con una representación del conocimiento basada en las unidades de conocimiento. Estas unidades representarán las habilidades. El proceso de percepción se hará a través de estas unidades durante la solución del problema.

El objetivo que se persigue en la enseñanza de ésta tarea global es que el usuario adquiera el conocimiento procedimental y táctico de la habilidad para resolver un problema, lo cual en términos de enseñanza es equivalente a crear patrones de especificación que indiquen qué acciones particulares deben tomarse en consideración, y bajo qué conjunto de condiciones particulares del

problema hay que llevar a cabo esas acciones determinadas. Esto en el campo de la robótica se traduce en la capacidad de reaccionar ante determinadas características del mundo, las cuales serán sintetizadas por los diferentes agentes, de acuerdo a sus funciones específicas. Lo anterior está relacionado con encontrar las características dinámicas del entorno que disparen la acción de los agentes.

En esta propuesta modular las representaciones del conocimiento que provienen del patrón general (modelo mental), estarán representadas por módulos, y los aspectos implícitos tendrán su representación en cada conjunto de errores, asociados a cada uno de ellos y representados en la Tabla 3. El modelo mental del experto humano que hace esos cálculos es el siguiente.

SI La estructura que se analiza es una estructura isostática y estable ENTONCES	
	Paso 1
Repetir Usar las reglas de simplificación de barras	
Hasta Ya no puede aplicarse ninguna regla	Paso 2
Repetir Sin calcular las reacciones obtener la mayor cantidad de resultados	
Hasta Que se necesiten las reacciones	Paso 3
SI se necesitan, ENTONCES Calcular las reacciones	
FIN-del-SI	Paso 4
Repetir Calcular las fuerzas axiales restantes	
Hasta Que todas las fuerzas de las barras se conozcan	Paso 5
SI NO No proporciona solución este método	
FIN-del-SI	

Figura 7- Modelo mental para la solución del cálculo de estructuras triangulares por el método de los nodos

El diseño de este comportamiento que hay que aprender se focaliza en las acciones que deben ejecutar los agentes, dependiendo de la situación a la que se enfrentan en cada momento. El diseño de esta actividad ha sido hecho mediante la herramienta BCTA, anteriormente descrita. Como veremos, los mecanismos de arbitraje insertados incluyen buena parte de los que se acaban de exponer.

En primer lugar, se utiliza un mecanismo básico de control que es el orden de aprendizaje de las distintas subhabilidades en las que se ha descompuesto el comportamiento a adquirir. Cada una de ellas es previa a las restantes por lo que se ha establecido fácilmente un orden jerárquico que condiciona el orden de actuación de los agentes. La determinación de esas habilidades sigue el proceso siguiente. Uno de los productos finales obtenidos con BCTA ha sido el modelo del experto humano que puede resumirse en la figura 7. En ella se destaca la relación del proceso con el identificador del paso. El análisis cuidadoso de este modelo mental, junto con el detalle de otros modelos obtenidos permite estructurar el proceso de aprendizaje en los elementos que aparecen en la tabla 1 y que consigue establecer el orden jerárquico de las subhabilidades mencionado, el cual decidirá el arbitraje de los agentes.

El segundo mecanismo de arbitraje establecido, orientado a funciones o tareas, se ha llevado a cabo tras un análisis de las características de las subhabilidades diferentes en relación con su carácter reactivo o de plazo más largo; su resumen aparece en la tabla 2. De acuerdo con ella una de las subhabilidades alcanza el nivel estratégico mientras que las restantes se sitúan en un nivel que puede ser: 1) fáctico o conceptual; 2) táctico o procedimental; y 3) estratégico. En el caso de este sistema sólo hay que aprender una estrategia,

de manera que el mecanismo debe resolver el conflicto entre las tácticas, lo cual se realiza con el apoyo del mecanismo anterior que establecía un orden entre las tácticas.

En tercer lugar se tiene un mecanismo basado en el análisis de errores del alumno, tanto superficial como profundo. El análisis de errores se analizará con mayor detalle en el capítulo III, pero ahora basta con unas ideas simples para comprender estos mecanismos de arbitraje de agentes que se basan en dichos errores. Realmente se trata de un grafo genético que incluye ciertos e importantes elementos de metacognición. A partir de este grafo se obtiene el número de agentes (habilidades) que no sólo estarán a cargo de la tarea didáctica sino también del análisis y evaluación de los errores del alumno. En este caso, el número de agentes es tres, encargados de los siguientes micro-mundos: análisis de las características de la estructura (estabilidad e isostatismo), simplificación de las barras de la estructura, y obtención de las fuerzas en la estructura. Se encuentran resumidas en la tabla 3.

Tabla 1. Especificación BCTA de la tarea del análisis triangular de la estructura.
(Considerando el conocimiento teórico y habilidades).

Pasos de desarrollo	Contenido de los pasos	Forma de evaluación	Tipo de representación	Complejidad del Proceso de ejecución
P.1 Identificar los límites de la estructura triangular	Factual	Analogías y cuestiones	Analogías (examples)	Discriminación simple and múltiple
P.2 Conceptualizar la estructura en un diagrama de cuerpo libre	Conceptual	Problemas propuestos y Mini-Exámenes	Reglas sobre estructuras	Integración del conocimiento en micro and macro estructuras
P.3 Determinar si la estructura es isostática y estable	Estratégico y procedimental	Problemas propuestos y Mini-Exámenes	Reglas sobre estructuras	Discriminación simple and múltiple
P.4 Usar la simplificación visual y reglas de simplificación	Táctico and Procedimental	Problemas propuestos y Mini-Exámenes	Reglas sobre procesos	Generalización
P.5 Calcular las fuerzas sin las reacciones explícitas	Táctico y procedimental	Problemas propuestos y Mini-Exámenes	Reglas sobre procesos	Generalización
P.6 Calcular las reacciones	Táctico y procedimental	Problemas propuestos y Mini-Exámenes	Reglas sobre procesos	Discriminación simple y múltiple
P.7 Calcular las restantes fuerzas	Táctico y procedimental	Problemas propuestos y estrategias	Reglas sobre procesos	Generalización

De acuerdo con el comportamiento experto se ha llevado a cabo un estudio de los errores o desviaciones en cada micromundo y su análisis superficial con los grados de: serio, trivial, ligero y fatal. Conforme a la

severidad de estos errores se realiza también un control de agentes, indicado en la tabla 4. La posibilidad de fallo en la solución de estos conflictos no existe porque el problema global que se aborda excluye casi por completo la simultaneidad de errores de la misma severidad, y en ese caso el mecanismo 1 basado en la jerarquía de habilidades terminaría de resolver el conflicto.

Tabla 2. BCTA de la Solución de la Estructura Triangular

Habilidades	Conocimiento Conceptual	Pasos del modelo mental
Estratégica	<i>Componente básico:</i> Estática	Pasos 1,2 y 3
Reconocimiento de patrones, Táctica y Procedimental	<i>Componente básico:</i> Física elemental	Pasos 1,2, y 4
Táctica y Procedimental	<i>Componente básico:</i> Estática	Paso 5
Táctica y Procedimental	<i>Componente básico:</i> Estática	Paso 6
Táctica y Procedimental	<i>Componente básico:</i> Estática	Paso 7
Estratégica	<i>Componente básico:</i> Estática	Paso 3

Se ha tenido en cuenta, igualmente, el análisis de los errores profundos para controlar los agentes.

Se han usado tanto el grafo genético como los datos obtenidos con BCTA para realizar el análisis profundo de errores y obtener las carencias de

conocimiento declarativo, procedimental o estratégico del alumno que pertenecen al componente básico de la figura 7. La presencia de errores previos cuya causa profunda está relacionada con un nodo precedente del grafo genético permite emitir la conjetura inicial de la causa profunda: si ambos nodos del grafo genético, el que corresponde al último error y al del error anterior tienen un ancestro común inmediato (un “padre” común), se asume que ese nodo precedente es el origen del error a falta de una prueba subsiguiente. Si ambos nodos asociados a errores no tienen un ancestro común inmediato, iremos a un nodo anterior que sea el primer nodo precedente común de ambos. Este análisis profundo del error proporciona el mecanismo para el arbitraje de agentes como función de la precedencia de los nodos asociados a los errores.

También se ha realizado un estudio de las analogías posibles entre los errores del estudiante, pero como el dominio de aprendizaje es una materia específica de la mecánica de sólidos, los resultados obtenidos no han sido exitosos puesto que las analogías que pueden establecerse corresponden con temas de otras materias y que por tanto caen fuera del presente dominio de aprendizaje. Los procedimientos y cálculos numéricos que se utilizan son muy sencillos y no dan origen a analogía.

Tabla 3. Habilidades y agentes a su cargo

Agente	Habilidad
A-1	Estáticamente determinada y estable
A-2	Simplificación of Barras
A-3	Evaluación de Fuerzas

Cabría realizar un análisis de las intenciones posibles del alumno, pero éstas no siempre coinciden con las habilidades previamente obtenidas, de ahí que ese análisis no proporcione nuevos mecanismos de control.

- 1 Analogía
- 2 Antes
- 3 Después
- 4 Compuesto por
- 5 Es un

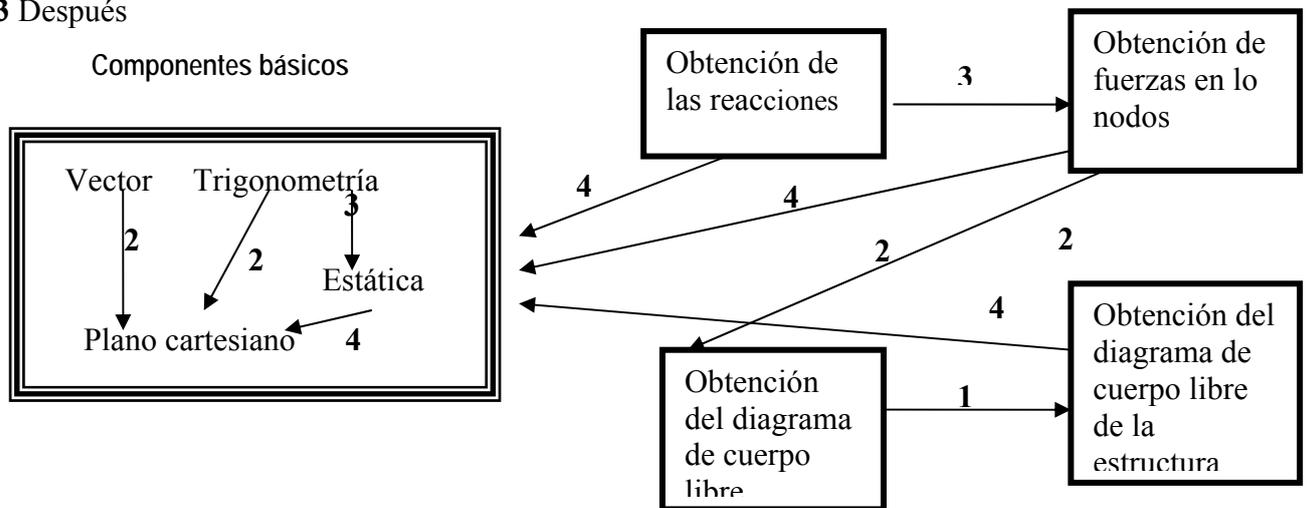


Figura 8. Diagrama conceptual del dominio, considerando el conocimiento declarativo

- 1 Clase
- 2 Subclase
- 3 Antes
- 4 Compuesto de
- 5 Después
- 6 Es un

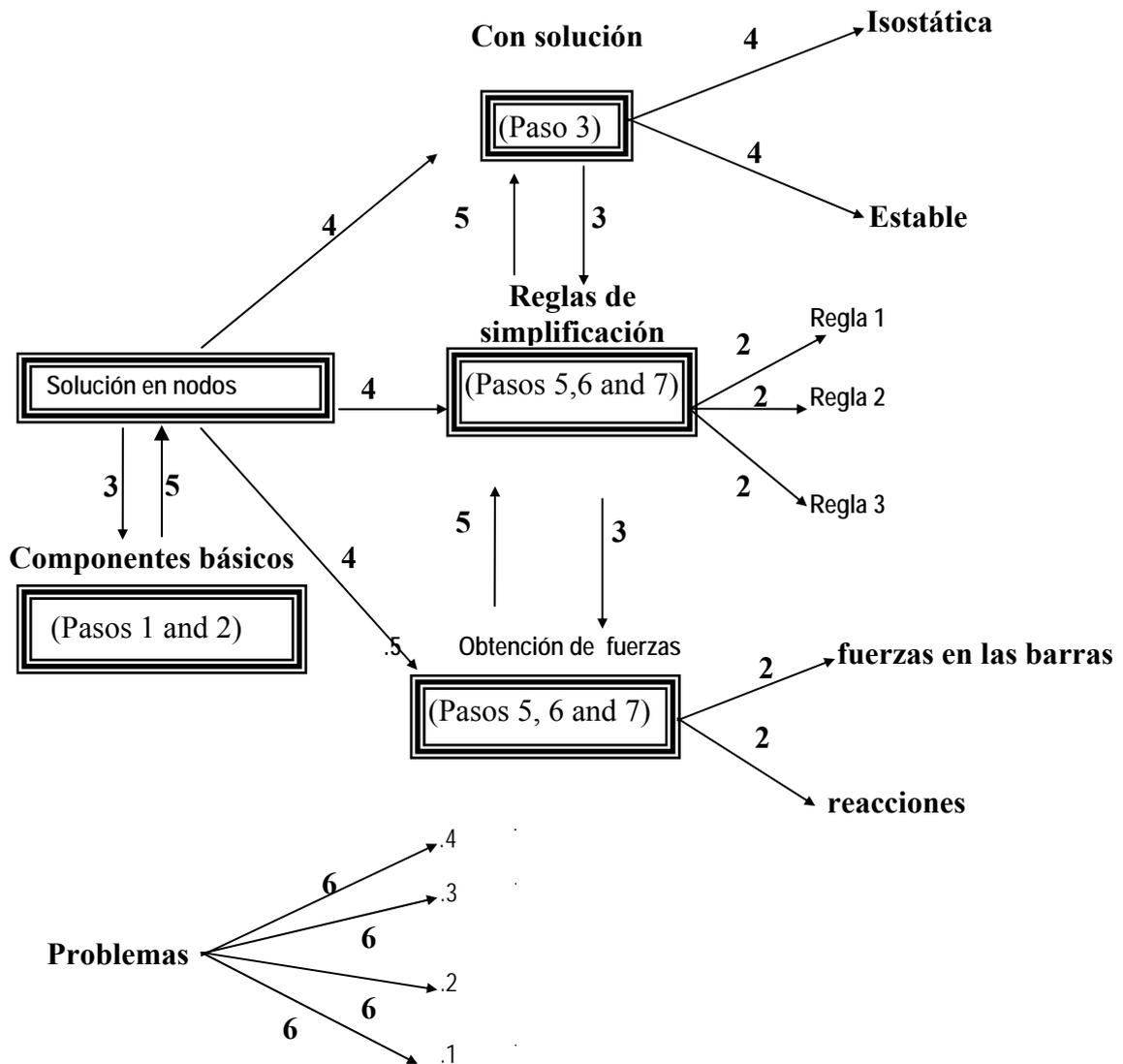


Figura 9. Diagrama conceptual del dominio, considerando **las habilidades**

Finalmente, la consideración de los éxitos repetidos del alumno permite establecer niveles en los que se recomienda la proacción consistiendo en la propuesta y realización de ciertos ejercicios de mayor complejidad que la usual,

para promover que el alumno se lance a metas más elevadas de aprendizaje.

Tabla 4. Errores críticos para controlar la intervención de agentes supervisando el desarrollo (obtenida a partir del desarrollo global de la tarea cognitiva).

<i>Agentes</i>	Isostática y estable	Simplificación de barras	Obtención de fuerzas
Error -1-	Hiperestaticidad no detectada y existe S	Opción no ejecutada S	Localizadas en un apoyo incorrecto L
Error -2-	Inestabilidad no detectada y existe S	Barras no consideradas por Regla 1 L	Convención de signo mal interpretada L
Error -3-	Hiperestaticidad es detectada y no existe S	Barras no consideradas por Regla 2 L	Proyecciones usadas incorrectamente T
Error -4-	Inestabilidad es detectada y no existe S	Barras no consideradas por Regla 3 L	Interpretación errónea de la compresión y/o tensión S
Error -5-		No existe coincidencia en alguno o en todos los casos F	El signo de la ecuación es incorrecto T
Error -6-	Tipo de Error: F: Fatal S: Severo L: Ligero T: Trivial		Variables mal substituidas T
Error -7-			No se usa la opción de transmisión de fuerzas en equilibrio S
Error -8-			Usa suma de momentos y no se necesita L
Error -9-			Se necesita suma de momentos no se usa L
Error -10-			La ecuación no tiene que ver con la correcta F

Todavía queda por analizar el posible conflicto entre estos mecanismos de arbitraje. Hasta el momento el parámetro principal usado para asignar prioridad a los mecanismos de arbitraje ha sido el grado de experiencia o la interacción con el sistema seguido de la frecuencia relativa de errores que son idénticos o de naturaleza similar. De esta manera en las primeras cuatro a seis sesiones del alumno, se usa el mecanismo de la jerarquía de habilidades, y si éste no justifica el error cometido, se usa complementariamente el mecanismo del análisis superficial de errores. A partir de ese número de sesiones hasta las sesiones quince a veinte, ya no hay errores relativos a la jerarquía de habilidades, de manera que entonces el análisis superficial de errores se combinará con el análisis profundo. En las restantes sesiones el mecanismo de análisis profundo se utiliza en paralelo con el mecanismo de proacción.

Esta propuesta viene endosada por la experiencia acumulada por el uso del sistema por parte de más de veinte grupos de veinticinco alumnos cada uno, que usaron el prototipo, en paralelo con otros tantos grupos de control que tuvieron prácticas de problemas. Las calificaciones finales medias del grupo experimental siempre fueron superiores al 35% de las medias del grupo de control.

7. Nuevas funcionalidades posibles de los sistemas e-learning inteligentes

Los sistemas e-learning han originado grandes expectativas en los últimos años. Por otra parte el mundo de Internet y tecnologías Web han propiciado en las diversas instituciones la construcción de aplicaciones internas funcionando en una intranet o red local particular conectada a Internet. Sin embargo la situación actual no ha cumplido las previsiones porque en muchos casos e-learning ha sido sólo un nombre acuñado para describir viejas aplicaciones y ópticas anticuadas, con escasa atención al problema de

aprendizaje que subyace en el fondo de los procesos educativos. E incluso la aplicación de nuevas tecnologías para potenciar estos sistemas de aprendizaje no ha dado hasta el momento los resultados imaginados.

En principio cabría destacar tres ópticas distintas para plantear y diseñar estos sistemas contando con las tecnologías de la información. La primera óptica podría calificarse de “naif”, y viene representada por la educación asistida por el ordenador (EAO o CAI) que intenta reproducir el entorno del aula en el ordenador. Su producto se limita a tutoriales y a cursos específicos cuyo aprendizaje viene ayudado y monitorizado por el ordenador. EAO tuvo éxito en diferentes países y universidades; constituye una base importante de los productos existentes hoy de e-learning a pesar de que en el momento en que fueron construidos no se conocía aún Internet.

La segunda óptica podría calificarse de técnica; está conectada con el llamado paradigma educativo “centrado en el estudiante”. En esta aproximación las tecnologías de la información se aplican guiadas por la experiencia sobre el comportamiento de estos sistemas y se concreta fundamentalmente en forma de software de ayuda, simulación y laboratorios virtuales. Algunas universidades europeas como las de Maastricht, Eindhoven, Roskilde, Rotterdam, y Aalborg han introducido intensivamente esta óptica en sus “curricula” hace más de veinticinco años.

La tercera óptica podría llamarse científica y propugna la integración de todos los elementos presentes en el problema a resolver, que son: los ingredientes psicológicos del aprendizaje, ayudas educativas y tutoriales y técnicas avanzadas de procesamiento de la información para así poder implementar todos los integrantes del sistema y gestionar todo el proceso.

Dentro de esta tercera óptica a la que pertenece este trabajo, cabe concebir escenarios muy diversos para el aprendizaje para un futuro próximo

como:

- 1) “Campus” virtuales promovidos por universidades e instituciones académicas; ofrecen una variedad de diplomas y cursos especializados más o menos relacionados con la enseñanza tradicional.
- 2) Proyectos virtuales y problemas en relación con el aprendizaje interactivo, cooperativo y colaborativo, también promovidos por ciertas universidades, más relacionados con el paradigma de la educación centrada en el estudiante. En este caso podría ser posible tratar con todo un grupo de estudiantes aprendiendo juntos y discutiendo técnicas y métodos antes de aplicarlos a la solución de problemas.
- 3) Sistemas de gestión de experiencia, mayormente promovidos por compañías de los que pueden pensarse varios modelos.
- 4) Sistemas de apoyo a la ejecución y laboratorios de medios. Requieren la integración de herramientas, procedimientos y simulaciones que permitan elaborar todos los elementos de apoyo requeridos para la ejecución experta de la tarea. También requieren datos y conocimiento, apoyo a la estructuración de tareas para proporcionar una guía directa y condicional en la ejecución basada en datos de situación y elecciones del usuario.

El amplio alcance que se contempla en estos escenarios y sus requisitos específicos y restricciones que conciernen a su reducido tiempo de ejecución, robustez, y funcionalidad extendida requieren una integración fina y sofisticada de técnicas de inteligencia artificial, modelización cognitiva avanzada y avances educativos para tener éxito.

7.1 Principales funciones educativas y de gestión

Destacamos entre otras, como destacadas las funciones siguientes:

- 1) Actualizar las bases de conocimiento del sistema de aprendizaje con

información de Internet, debidamente adquirida, filtrada, analizada, clasificada y resumida. El problema de resumirla es un problema difícil y debe ser cuidadosamente considerado.

- 2) Personalizar la operativa del sistema incluyendo las interfaces para adaptarla a las características y situación mental del alumno. En relación con este punto los principales aspectos a considerar son:
 - a. En relación con las interfaces hay que considerar tres elementos distintos: la interfaz del estudiante, la del tutor humano o posible supervisor del sistema, y la del experto humano. No siempre existen los tres pero la tendencia apunta en esa dirección. Esas interfaces requieren un diseño cognitivo por separado, teniendo en cuenta sus rasgos característicos. Al menos la interfaz del estudiante debería personalizarse considerando su estado mental y perfil.
 - b. La actualización y registro del estado mental, del grafo conceptual y sistema de gestión de la experiencia es algo obligatorio si no se quieren perder otras funcionalidades importantes.
 - c. El control de los diferentes integrantes del sistema que encargados a los agentes cognitivos, necesitan estar sometidos a un proceso de arbitraje o control basado no sólo en las características sociales de la tarea a aprender, sino también en la situación del aprendizaje y sus parámetros para proporcionar la solución adecuada a la mayoría de los casos.
- 3) Obtener a partir de la interacción con el alumno los elementos del modelo del estudiante y sus parámetros como: estilo de aprendizaje, interés, esfuerzo, atención, capacidades, etc.
- 4) Monitorizar, gestionar y actualizar el registro de la historia del estudiante incluyendo todos los detalles significativos como: número de sesiones,

frecuencia, duración, número y tiempo de los errores, problemas resueltos, cuestiones resueltas, etc.

- 5) Analizar los errores del estudiante obteniendo las causas de los errores superficiales y las de los profundos. La determinación del error se obtiene mayormente mediante la comparación entre el comportamiento del estudiante (respuestas, decisiones tomadas o pasos adoptados) y el del experto humano, que está almacenado o en el grafo del dominio conceptual o en el sistema de gestión de la experiencia. Una vez que se ha determinado el error, debe ser clasificado y diagnosticado de acuerdo con criterios como: su importancia, conocimiento declarativo, procedimental o estratégico relacionado con él, frecuencia durante todas las sesiones de aprendizaje y en la sesión presente, tiempo transcurrido desde el inicio de la sesión, etc. Además del análisis de errores la determinación de las submetas del alumno cuando resuelve un problema o ejecuta una tarea tiene importancia capital para prever los errores posibles y mejorar la ejecución hacia la eficiencia. Para ello se pueden usar esquemas de inducción durante los primeros pasos de la solución. Los esquemas seleccionados se validan con los restantes pasos de la solución. El análisis de errores produce las razones preliminares o inmediatas del error y también causas más profundas relacionadas con la carencia de conocimiento o de habilidades a partir del grafo conceptual o de experiencia del alumno.
- 6) Ayuda tutorial en sus diferentes formas: consejo, guía, tácticas remediales, diseño instructivo, evaluación, proacción, entrenamiento, etc., mediante el empleo de los elementos cognitivos de la habilidad a aprender. Será objeto de mayor detalle en el apartado específico siguiente 7.2.
- 7) Guiado y ayuda al grupo de alumnos para la obtención de la estructura del grupo integrada por un conjunto de roles y perfiles y relaciones entre sus

- miembros.
- 8) Monitorizar la estructura del grupo vigilando cada rol y su integración en el grupo.
 - 9) Evaluación (con propósitos diferentes) de cada comportamiento individual y de todo el grupo. Debido a la dificultad real de la ejecución de la tarea que hay que aprender, la evaluación de alumnos es una actividad compleja que raramente se cuantifica con exactitud por lo que deberá prestarse atención a las técnicas utilizadas para su fiabilidad.
 - 10) Vigilar y mejorar la motivación personal y del grupo. En relación con este punto hay que mencionar el posible empleo de agentes pedagógicos que pueden desempeñar un importante papel en el futuro.
 - 11) Manejar y controlar simuladores y herramientas para ayuda en la toma de decisiones, evaluación o solución de problemas.
 - 12) Promover el funcionamiento del grupo, la interacción y la operativa que conduce al aprendizaje cooperativo y colaborativo.
 - 13) Gestionar y controlar bases de conocimiento y sistemas gestores de experiencia.

7.2 Otras funciones tutoriales

Se aborda en este apartado los problemas del desarrollo del "currículum" y el modo de conducir al alumno a lo largo del mismo. Por currículum entendemos aquí la selección y secuencia del material que hay que proporcionar al alumno. La conducción se refiere al proceso tutorial, es decir, a los métodos y ayudas para presentar el material y conducir al alumno en lo posible. En general las intervenciones tutoriales deberían contener algunas de las siguientes características: controlar el currículum y su secuencia, ser capaz de responder a las cuestiones puestas por el alumno, darse cuenta de los

momentos en que el usuario necesita ayuda y de qué tipo.

Para el diseño de la acción tutorial es necesario tener en cuenta aspectos centrales interrelacionados entre sí, algunos ya mencionados, como el control de la selección y secuencia de materiales, el estilo de aprendizaje del alumno, el estilo tutorial y el tipo de dominio de conocimiento.

1) Formas de selección y control de la secuencia de materiales. Cabe hablar de tres modos fundamentales de realizar esa selección y control: mediante reglas de producción, mediante robots o autómatas de estados pedagógicos, y mediante planificación. El empleo de reglas de producción (proposiciones condicionales) fue muy utilizado en los primeros sistemas basados en el conocimiento como GUIDON¹³⁰ y NEOMYCIN¹³¹. En ellos se separó la capacidad de diálogo de la solución del problema. La actividad tutorial se desarrolló mediante reglas que estaban divididas en dos grupos: las de acumular certeza sobre un hecho, y las de seleccionar un procedimiento hablado.

En cambio, cuando se utilizan robots de estados pedagógicos, el proceso tutorial se forma a partir de unidades de decisión en tres niveles que refinan sucesivamente la acción tutorial. Su implementación es semejante a una red de transición o autómata que actúa sobre los estados pedagógicos previamente definidos. En cuanto a la técnica de planificación, se utiliza en sistemas educacionales que implican cursos largos en campos extensos que requieren estrategias de manejo. El proceso de planificación consiste en decidir el curso de una acción antes de su ejecución, y el planificador es un programa que parte de un estado inicial del alumno y trata de llegar al estado final del curso mediante un conjunto de operadores que van transformando el estado del alumno.

Estas técnicas han dejado paso hoy a dos filosofías fundamentales: la filosofía reactiva, comentada anteriormente en el apartado 6 de este capítulo,

¹³⁰ W. J. Clancy, "GUIDON", en *Handbook of Artificial Intelligence*, A. Barr, E.A. Feigenbaum (eds.), Los Altos California, 1982, pp. 267-278.

¹³¹ B. Buchanan, *Expert Systems*, Stanford University Press, 1968.

que inserta la selección del material en los propios agentes, y la filosofía cognitiva en la que además existe un control previo de los agentes que seleccionan el material.

2) Estilo de aprendizaje. Alonso y Gallego¹³² han hecho una revisión histórica de las definiciones y contribuciones elaboradas sobre este importante tema para pasar a hacer una propuesta de cuatro estilos de aprendizaje: activo, reflexivo, teórico y pragmático, que representan experiencias fundamentales que el estudiante ha tenido durante todo su proceso de aprendizaje y que se concretan en: vivirla experiencia, reflexionar, generalizar y elaborar hipótesis, y finalmente aplicar a la realidad. El estilo de aprendizaje de cada alumno puede obtenerse a partir de un cuestionario existente desarrollado por esos autores. Conocer el estilo de aprendizaje de un alumno y sus preferencias permite diseñar o modificar el material docente para contribuir a obtener mejores resultados.

3) El estilo tutorial ahora debe convertirse de un proceso de enseñanza a un proceso de comunicación que se adecue al estilo de aprendizaje del alumno tratando de conseguir una empatía y reforzar la motivación del alumno que es el verdadero motor del aprendizaje.

4) El tipo de dominio tiene que ver con la diferencia que existe entre los diversos tipos de tutores: tipo exponente y tipo procedimental. En el caso de un tutor exponente se pone énfasis en el conocimiento de hechos que están conformes con el conocimiento declarativo y que partiendo de ese conocimiento infiere las habilidades de primer orden que pertenecen a la clasificación del conocimiento declarativo. Los tutores procedimentales se encargan de guiar en las habilidades como entrenadores, presentando ejemplos y mostrando el uso de las habilidades mediante el desarrollo del problema. Disponen de problemas y prácticas especiales para ser usados de acuerdo con los resultados de los tests.

¹³² C. Alonso, D. Gallego, *Estilos de aprendizaje*, Ediciones Mensajero. Bilbao, España. 1994.

En cuanto a la elaboración del “currículum” (material educativo) hay que abordar dos aspectos: encontrar una representación adecuada del material a proponer al estudiante, y seleccionar y secuenciar el material. El primer aspecto está relacionado con el conocimiento, con las instrucciones a dar durante la acción tutorial y con el módulo del experto. El segundo aspecto está relacionado con el tipo de control de los agentes encargados de esa tarea.

Existen diferencias en seleccionar y secuenciar el material de acuerdo con el tipo de tutor; en el tutor exponente el problema se centra en mantener la coherencia en la presentación del material para su reflexión posterior. Los tutores procedimentales también tienen el problema de ordenar las subhabilidades de la habilidad objetivo y seleccionar los ejemplos y ejercicios que reflejan correctamente ese orden. Para esa selección habrá que tener en cuenta además del estilo de aprendizaje otros puntos como: a) ejercicios adecuados; los ejercicios deben tener solución que sea comprensible a un estudiante que haya cubierto los materiales anteriores; b) transparencia estructural; la secuencia de materiales debería reflejar la estructura del proceso que hay que aprender y tener la calidad de guiar al estudiante en la adquisición de la habilidad-objetivo; c) individualización; el material presentado al alumno debe poseer las subhabilidades que el estudiante ya maneja y ser capaz de relacionarlas de manera fácil con las subhabilidades que quiere adquirir en esos momentos.

El material didáctico debe estructurarse en función de los elementos cognitivos del problema a resolver y el dominio en el que se inserta. En ese sentido la técnica BCTA proporciona unos datos insustituibles a la hora de estructurar y diseñar el material didáctico, que debe estar suficientemente fragmentado para que sea fácil su manipulación, basada siempre en el objetivo educativo. Su selección y secuenciación debe cumplir las funciones de asegurar

ese cumplimiento de objetivos, y de poder ser mejorado o completado como consecuencia de los mecanismos de evaluación del impacto del proceso tutorial en el estudiante.

En cuanto a los detalles del proceso tutorial aparecen fundamentalmente las funciones de: cubrir o realizar la presentación material, ser capaz de responder a las cuestiones del alumno, y obtener los contenidos que integran ese proceso tutorial.

Los métodos de presentación dependen del tipo de dominio del aprendizaje, de los objetivos a alcanzar y de los rasgos personales del alumno. Así los tutores exponentes usan diversas formas de diálogo, los tutores procedimentales, guiados por la gestión de las habilidades utilizan ejemplos y ejercicios con entrenador para alcanzar la gestión de esas habilidades. También las formas de diálogo implican diferentes objetivos educativos como puede verse en la tabla adjunta.

Tabla 5 – Estrategias de diálogo de acuerdo con los diferentes objetivos del aprendizaje

<i>Objetivos del aprendizaje</i>	<i>Estrategias</i>
Aprendizaje de hechos y conceptos	Separar hechos y conceptos
Explicar hechos o conceptos	Mostrar reglas y relations Seleccionar estrategias Engañar
Mostrar habilidades por inducción	Ejercicios y ejemplos orientados a mostrar sub-habilidades

Por otra parte, se necesita la intervención tutorial para mantener el control de la situación durante el desarrollo del proceso tutorial con el objetivo

de mantener al usuario fuera de un aprendizaje inapropiado o incorrecto, y de sendas que no están de acuerdo con el objetivo de aprendizaje. La automatización de este proceso requiere diseñar reglas que decidan la intervención o no, además de formular el contenido de la intervención. Básicamente existen dos formas de guiar la intervención tutorial, ya comentadas al analizar las técnicas de diagnóstico: seguimiento del modelo y seguimiento del tema.

En la intervención por seguimiento del modelo se conocían las sendas que el usuario podía escoger para la solución del problema. Ahora se revisa el comportamiento del estudiante y del experto tratando de emparejar la acción del usuario con alguna de las sendas posibles; si el emparejamiento falla interviene el tutor dando un consejo al alumno para que se dirija a la senda correcta. La desventaja posible de esta técnica es que el tutor intervendrá siempre que no pueda reconocer la senda adoptada por el usuario, aunque esta senda sea mejor o más apropiada.

La técnica de seguimiento del tema parte de considerar como temas el conocimiento o habilidades que se quiere que el estudiante memorice. Cada tema es, por tanto, una miniteoría articulada o completa que pertenece al modelo del experto, y que cuenta con dos procedimientos anejos: el primero juega el papel de observador del desarrollo del estudiante puesto que su misión es obtener evidencias para saber si el alumno usa o no un determinado concepto o habilidad particular; los resultados de este procedimiento se usan en la construcción del modelo cognitivo del estudiante. El segundo procedimiento sabe cómo usar la información contenida en el patrón del estudiante para decidir si el alumno domina o no el tema.

La figura 10, dividida en dos partes, representa el proceso del modelado tutorial con temas y ejemplos. La parte 1(a) muestra el proceso de construcción del modelo del desarrollo del estudiante durante la resolución de problemas.

Figura 10– Modelo tutorial con temas y ejemplos- Parte 1(a)

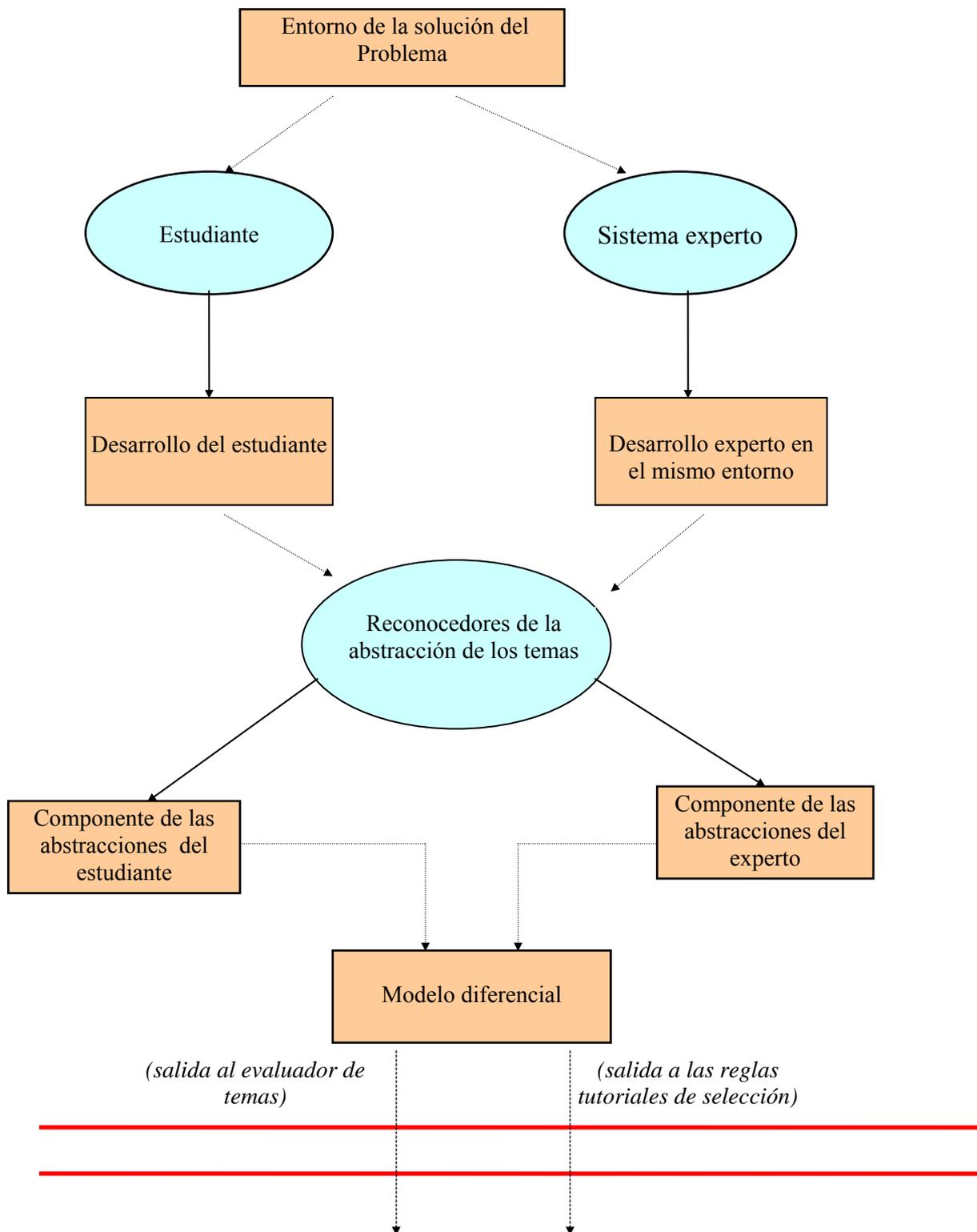
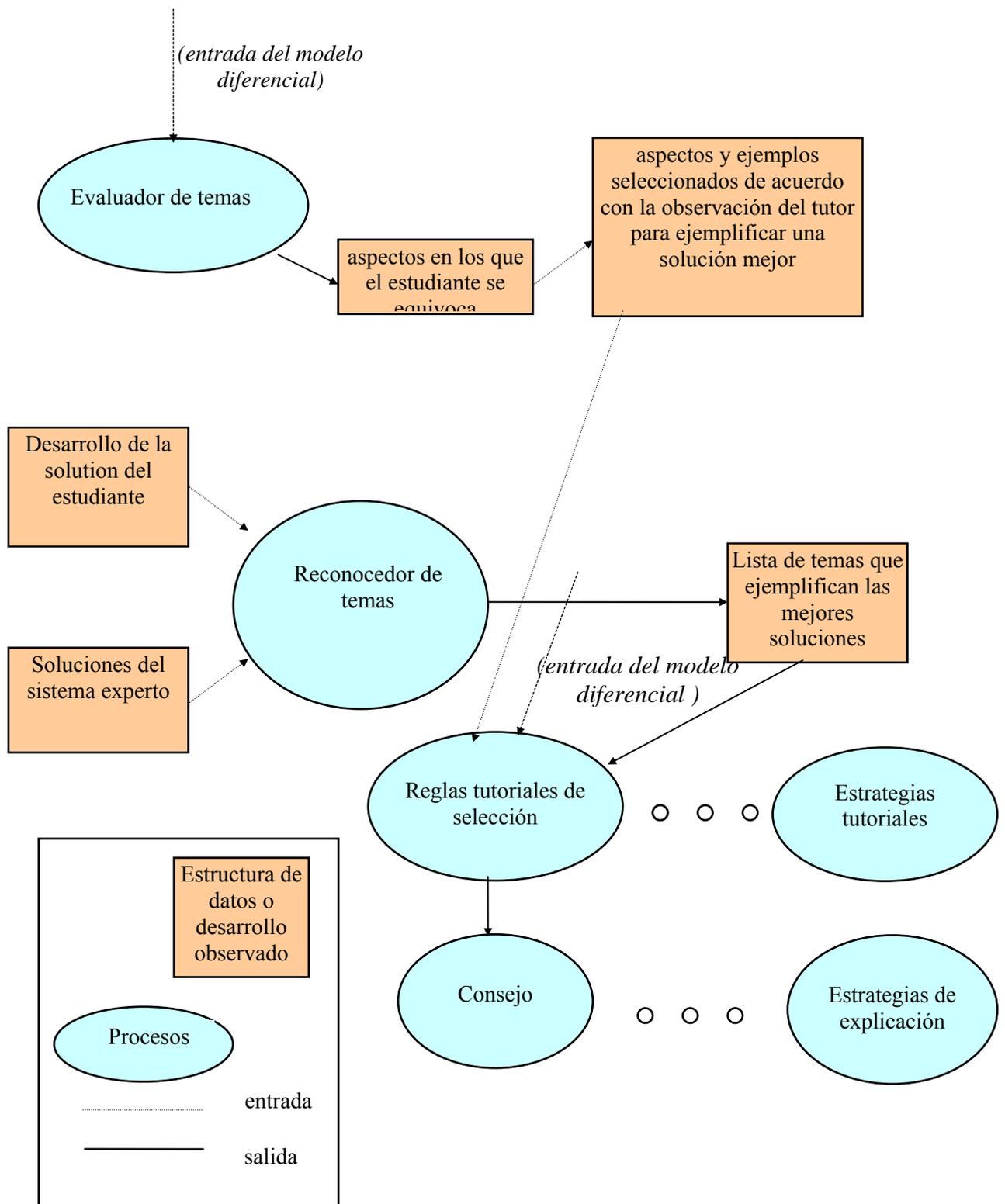


Figura 10 – Modelo tutorial - Parte 1(b)



La Parte 1(b) representa el nivel más alto de abstracción de la intervención tutorial con un tipo entrenador. Cuando el estudiante no ejecuta una acción tan buena como la del experto, el entrenador usa al evaluador de temas para crear una lista de temas en los que el estudiante se maneja mal, y además posee la lista de las mejores acciones del experto; entonces el entrenador llama al reconocedor de temas para determinar qué temas aparecen registrados con las mejores acciones. A partir de esas dos listas el entrenador selecciona un tema de los que falla el estudiante y que contiene la buena acción del experto que contiene el tema a mostrar. Si no hay temas comunes en ambas listas se deduce que el problema del alumno cae fuera del alcance del tutor y el entrenador no dice nada. Se necesitan entonces otros principios tutoriales para decidir si interrumpir o no al alumno, pero si el entrenador decide hacerlo, se pasan al alumno tanto el tema como el ejemplo, esperando así que esto genere por parte del alumno una retroalimentación.

Se pueden combinar ambas técnicas incluso en sistemas reactivos de aprendizaje¹³³, utilizando la técnica de seguimiento de temas para la intervención tutorial, combinada con un tutor tipo entrenador que detecta las habilidades que el estudiante usa de manera errónea.

En relación con la interfaz existen también funciones tutoriales a considerar. Ante todo conviene destacar los principales aspectos que presenta la interfaz de comunicación hombre/máquina, un elemento muy importante de la arquitectura de los IELS puesto que:

- Es el puente de comunicación único entre el alumno y el sistema.
- Es el único medio de captar el desarrollo del estudiante y la marcha del aprendizaje.

¹³³ A. Laureano, F. de Arriaga, "An Intelligent Tutoring System To Teach An Integrated Skill", *Proceedings 2nd KFUPM Workshop on Information & Computer Science (WICCS'98)*, Dharam, Saudi Arabia, 1998, pág. 71 a 84.

- Representa el medio por el que el tutor (el sistema) realizará sus intervenciones.

Puesto que desarrolla funciones tan importantes, su potencial deberá explotarse al máximo, usando los medios adecuados, para la mejor comprensión de todo el proceso de aprendizaje y la gestión de las habilidades.

Una de las funciones importantes de la interfaz para el alumno es el suministro de ayuda. En principio la ayuda tiene que ver con la información que el sistema aporta cuando facilita al alumno la solución de un problema, pero en un IELS caben también otros tipos de información además de la ya comentada: así es posible en el caso de un error construir un plan que explica las acciones que han conducido al error y proponer una lista de concepciones erróneas causantes del error. Otra posibilidad es la de contener mecanismos que permitan desarrollar al menos parte de la tarea en cuestión. También es posible estructurar las decisiones y acciones del alumno para su posterior observación ayudando al alumno a meditar en las actividades llevadas a cabo en la solución del problema. En sistemas de aprendizaje reactivos se puede contar con mecanismos que respondan inmediatamente a la acción del estudiante. Otra posibilidad adicional a tener en cuenta es el propio desarrollo de la tarea mientras observa el alumno; esta ayuda permite que el estudiante observe cómo se comporta un experto al desarrollar o ejecutar la tarea; para realizar esto es necesario que el modelo del experto articule las decisiones y que éstas coincidan con las estrategias de selección de estas decisiones.

Por otra parte hay que recordar que el tutor ha sido desarrollado con el objetivo de seguir de cerca al alumno en la realización de la tarea e interrumpirle cuando esta ejecución no es buena o contiene una equivocación, aportándole sugerencias en estos casos. Para la implementación de este tipo de mecanismo es necesario contener con el desarrollo detallado del camino del

experto. Como siempre, cabe la posibilidad de combinar varios tipos de ayudas¹³⁴ como la estructuración de las decisiones del alumno¹³⁵, la ejecución de toda o parte de la tarea por el experto, y el entrenamiento a cargo del tutor.

¹³⁴ A. Laureano, F. de Arriaga. "Multi-Agent Architecture for Intelligent Tutoring Systems", *Interactive Learning Environments*. Vol.6, No. 3, 1998, pág. 225-250.

¹³⁵ A. Laureano, F. de Arriaga, "Reactive Agent Design for Intelligent Tutoring Systems", *Cybernetics and Systems*, Vol. 31, 2000, pág. 1-47.

CAPÍTULO III- NEOCAMPUS: FACTORÍA DE AGENTES

En este capítulo se describe la factoría de agentes NEOCAMPUS, que es la infraestructura informática y de aprendizaje sobre la que se desarrollarán posteriormente diversos prototipos que, como hijos suyos, heredarán la funcionalidad general de NEOCAMPUS. En esta descripción se abordan tanto concreciones de la infraestructura informática definida anteriormente, como detalles pedagógicos y de aprendizaje que se insertan en la factoría. De todas formas, conviene recalcar que, de momento, todas esas concreciones y detalles han sido diseñados con independencia del dominio de conocimiento que haya que aprender. Esos distintos dominios se instalarán concretamente en cada prototipo posterior o sistema de E-Learning inteligente con la misión de un aprendizaje concreto, que podrá heredar todas las funcionalidades y detalles de NEOCAMPUS, como se ha dicho, dado que son independientes del dominio específico de aprendizaje.

1. NEOCAMPUS

El sistema NEOCAMPUS es una plataforma de software con la función de factoría de agentes inteligentes. Su objetivo primordial es el de constituir un laboratorio de investigación de problemas relativos a sistemas e-learning inteligentes en sus aspectos fundamentales, con objeto de incrementar la funcionalidad y, por tanto, la utilidad y eficacia de estos sistemas de aprendizaje, considerando la óptica pluridisciplinar adoptada en este trabajo, que fue descrita en el capítulo anterior. Como problemas concretos que se contemplan en esta investigación aparecen:

- a) Los agentes construibles han de ser inteligentes, autónomos y con posibilidad de comunicarse entre sí y con el usuario, a fin de que al poseer el

sistema esa flexibilidad y potencia permita la inclusión de herramientas, tácticas y estrategias de todo tipo. Con tal fin habrá que concretar detalles informáticos de los agentes inteligentes para que sean capaces de ejecutar su tarea.

- b) Igualmente, y con objeto de que los agentes inteligentes puedan asumir funciones tanto relativas al dominio que ha de aprenderse como a los aspectos pedagógicos, educativos y tutoriales, los agentes deberán poseer la adecuada funcionalidad que ha de ser concretada.
- c) Con objeto de que el dominio de conocimiento que se va a aprender (que en principio se estima que puede ser cualquiera) no quede rápidamente obsoleto, dicha Base de Conocimiento, la inicial o la que fuese operativa en cada momento, debe ser actualizada permanentemente mediante sistemas multiagente de altas prestaciones, a partir de la información que obtuviesen en Internet fundamentalmente; para ello los agentes han de realizar tareas de búsqueda, filtrado, evaluación, clasificación y resumen (en ciertos casos) de la información obtenida en español e inglés. Para estos temas se requieren nuevas capacidades en los agentes.
- d) El sistema permitiría el acceso a determinados usuarios que podrían obtener consultas en los temas relativos a la base de conocimiento instalada en cada caso, y fundamentalmente, realizar aprendizaje en esos temas, mediante elementos educativos diseñados, tutorizados y gestionados por la plataforma, incluyendo la resolución de problemas específicos reales relativos a los temas de dicha base. Dichas tareas deberían ser ejecutadas en su mayor parte en forma autónoma por los agentes sin intervención humana salvo la del usuario que realiza el aprendizaje e interactúa con el sistema.
- e) Se desea que el sistema colabore en la aceleración del proceso de transferencia de aprendices en expertos, tan importante en la práctica,

mediante la utilización de toda la ayuda que el sistema pueda aportar incluyendo los modelos mentales del experto humano que previamente han de ser obtenidos. Para ello se introducirán en el sistema las capacidades suficientes para que los agentes responsables de esas tareas puedan llevarlas a cabo.

2. Infraestructura informática

En principio, todos los agentes que se utilicen tendrán como arquitectura la ya descrita en el capítulo II, pero ahora es preciso detallar los módulos del agente que son de apoyo, es decir, que no dependen del conocimiento específico para realizar las tareas del agente.

2.1 Diseño de los módulos de apoyo del agente

Dentro de esa línea de actuación, los módulos de apoyo diseñados y concretados son:

a) Motor de inferencia: INFER

Aunque existen diversos motores de inferencia disponibles de uso abierto, se ha optado por elaborar INFER, que es un motor de inferencia flexible con control adelante, atrás y atrás/adelante que puede realizar numerosos tipos de búsqueda en grafos Y/O. Sus parámetros principales vendrán fijados por la índole del problema en cuestión y le serán facilitados por el agente encargado de esa tarea, aunque también cabe la posibilidad de que el usuario, actuando con el sistema los modificara. Esos parámetros son:

- a) Clase de control: adelante, atrás y atrás/adelante.
- b) Método de búsqueda: en anchura, en profundidad, búsqueda heurística.
- c) Límite de profundidad de la búsqueda.

- d) Función heurística a usar en su caso. En principio se puede utilizar la heurística que el usuario facilite.

b) Módulo de aprendizaje de máquina

Este módulo incorpora diversas técnicas de aprendizaje de máquina para posibilitar que el agente pueda aprender de su propia experiencia.

b.1) Submódulo de Aprendizaje reforzado: REFORZ

La optimización práctica de políticas distintas de actuación se hace fácilmente comparando sus resultados, pero en casos complejos en los que los datos dependen de distribuciones de probabilidad desconocidas, no están claros los datos que hay que utilizar, ni por tanto, las comparaciones que deben hacerse. En estos casos es interesante aplicar el aprendizaje reforzado que también se basa en el entrenamiento, pero que en lugar de operar con las políticas opera con funciones de utilidad.

Se parte de una función "recompensa" libremente elegida por el usuario que refleja el resultado de ejecutar la acción "a", y a partir de ella se define la función utilidad como suma de la recompensa más la esperanza matemática de la suma de las sucesivas recompensas a lo largo del tiempo producidas cuando se adopte la mejor política posible en un horizonte temporal. O sea:

$$\text{Utilid}(s_t, a) = E(\text{Recomp}(s_t, a) + \max(\text{polit.}) \sum \text{Recomp}_{t+j}) \quad [1]$$

Para que la suma, si es infinita, no tenga problemas de convergencia se pueden introducir coeficientes reductores γ en sus miembros, pero es preferible pasar a la ecuación recurrente:

$$\text{Utilid}(s_t, a) = E(\text{Recomp}(s_t, a) + \gamma \max \{b\} \text{Utilid}(s_{t+1}, b)) \quad [2]$$

que directamente, en el caso usual de un número finito de estados y acciones a, b, \dots conduce a las ecuaciones de la Programación Dinámica de Bellman. Crites¹³⁶ ha demostrado que la iteración de esa ecuación converge hacia una política óptima en procesos regidos por cualquier cadena finita y estacionaria de Harkov, lo cual significa que partiendo de cualquier función de utilidad, si el sistema no tiene infinitos estados y el comportamiento del sistema no cambia permanentemente, después de un número conveniente de iteraciones se alcanzará la función de utilidad óptima. Es obvio que este método requiere la simulación del sistema en el que aparezca su comportamiento cuya política óptima queremos determinar, y es particularmente en los casos prácticos en los que carecemos de un modelo de comportamiento del sistema real.

La instrumentación de este método de aprendizaje reforzado se ha hecho de la siguiente forma:

- 1) Elaborar el modelo de simulación del problema en cuestión e instrumentarlo en el ordenador.
- 2) Obtener datos del sistema real suficientes para hacer alguna hipótesis sobre los datos de entrada al sistema.
- 3) Determinar la función recompensa. Esta función representa el criterio utilizado para la optimización; es una hipótesis fundamental de libre elección que deberá ser razonablemente justificada.
- 4) Hacer una estimación inicial de la función de utilidad; no importa que sea una estimación muy simple o burda pues el proceso la mejorará.
- 5) Ejecutar la simulación con los datos iniciales previstos permitiendo en cada ejecución del problema la actualización de la función de utilidad de acuerdo con la ecuación [2]. Si se dispone de datos suficientes la función de utilidad irá

¹³⁶ B. Crites, C. Barto, "Improving Elevator Performance Using Reinforcement Learning", *Advances in Neural Information Processing Systems*, 8, 1996, pág. 56-68.

convergiendo a la óptima.

6) Si ahora alimentamos este sistema informático con los datos reales llegaremos a esa política óptima e incluso si el comportamiento del sistema tiene variaciones en tiempos acotados, con un reentrenamiento del sistema volveremos a alcanzar de nuevo la política óptima.

b.2) Submódulo de aprendizaje inductivo: INDUC

Las técnicas de aprendizaje inductivo constituyen una herramienta potente de aprendizaje de máquina, a pesar de encontrarse siempre sometidas al efecto de un contraejemplo que obligaría a modificar el proceso inductivo realizado. A pesar de no ser científicamente seguras, no cabe duda que constituyen una forma muy humana de aprender y permiten aumentar en muchos casos la eficacia de un sistema.

Dentro de este grupo de técnicas aparecen como más adecuadas a los objetivos de este trabajo las que guardan relación con el aprendizaje de un conjunto I de reglas de clasificación, dado que si se las incorpora a la Base de Conocimiento de un agente deliberativo, podrían enriquecer esta Base de Conocimiento a partir de la experiencia del agente.

El submódulo elaborado, INDUC, se compone de las etapas siguientes:

Aceptamos, como hipótesis, que disponemos de una serie de ejemplos, cada uno caracterizado por una serie de atributos Pr_1, Pr_2, \dots, Pr_n , con valores cualitativos o cuantitativos $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$. Estos ejemplos pertenecen o no a un determinado conjunto " C ", y el problema es determinar reglas que ante un nuevo ejemplo permitan "a priori" clasificarlo como perteneciente o no a ese conjunto. Así:

Ejemplo 1: $Pr_1(x_1), Pr_2(x_2), \dots, Pr_n(x_n) \rightarrow$ Sí, pertenece a C

Ejemplo 2: $Pr_1(y_1), Pr_2(y_2), \dots, Pr_n(y_n) \rightarrow$ No pertenece a C

.....
Ejemplo m: $Pr_1(z_1), Pr_2(z_2), \dots, Pr_n(z_n) \rightarrow$ Sí, pertenece a C

1) Etapa 1: Elegir un ejemplo positivo, el primero de los que todavía no han sido analizados.

2) Etapa 2: Se trata de obtener un conjunto de reglas generales (de mayor a menor generalidad) que satisfagan al ejemplo positivo y no satisfagan a ningún ejemplo negativo. Este conjunto tiene una misión temporal, puesto que de él sólo extraeremos una sola regla que empezará a formar el conjunto definitivo I buscado. Para ello partimos de la regla más general imaginable

R1: SI cualquier condición ENTONCES Sí pertenece

Esta regla representa el nodo padre del que parte la búsqueda. Seguidamente refinamos la regla o la concretamos con n reglas; cada una incluye uno de los parámetros con el valor de dicho ejemplo, así:

R11: SI $Pr_1(x_1)$ ENTONCES Sí pertenece

R12: SI $Pr_2(x_2)$ ENTONCES Sí pertenece

.....
R1n: SI $Pr_n(x_n)$ ENTONCES Sí pertenece

Estas reglas representan los nodos hijos de R1, cada uno obtenido mediante un parámetro concreto. A continuación se comprueba si cada regla de las últimamente establecidas satisfacen o no los ejemplos negativos. Las reglas que no satisfagan ningún ejemplo negativo, $R_{1i}, R_{1j}, \dots, R_{1s}$ forman parte del conjunto A de reglas generales (que no es el conjunto definitivo I). Las reglas restantes deberán ser refinadas o lo que es lo mismo, aumentar su especialización agregándole un nuevo parámetro a elegir, hasta que siga satisfaciendo al ejemplo positivo pero a ninguno de los negativos. Por tanto, si R_{1i} satisface a algún ejemplo negativo dará lugar a las n-1 reglas especializadas siguientes:

R1i1: SI Pri(xi) Y Pr1(x1) ENTONCES \rightarrow Sí pertenece ($i \neq 1$)

R1i2: SI Pri(xi) Y Pr2(x2) ENTONCES \rightarrow Sí pertenece ($i \neq 2$)

.....

R1in: SI Pri(xi) Y Prn(xn) ENTONCES \rightarrow Sí pertenece ($i \neq n$)

Que representan los nodos hijos de R1i mediante los parámetros 1, 2,...i-1, i+1,..n.

De nuevo, las reglas que no satisfagan ningún ejemplo negativo pasarán a integrar el conjunto A de reglas generales. Las que satisfagan alguno necesitarán continuar el proceso de refinamiento hasta obtener hijos que no satisfagan a ningún ejemplo negativo. Si hacemos lo mismo no sólo con R1i, sino también con R1j, ...R1s, al final se recopilará un conjunto de reglas generales que satisfacen al ejemplo positivo y a ninguno de los negativos.

3) Etapa 3. Del conjunto A de reglas generales obtenido se selecciona una regla de acuerdo con los criterios de preferencia elegidos. Como criterios posibles se contemplan:

a) Cobertura: número de ejemplos positivos que satisface cada regla.

b) Coste: suma de los costes de cálculo de los valores de los parámetros de la regla.

c) Generalidad: número de ejemplos positivos que satisface dividido por el número total de ejemplos disponibles.

d) Simplicidad: número de parámetros que aparecen en el antecedente de la regla.

No es necesario atenerse a un único criterio sino que cabe establecer una función de evaluación lexicográfica, LEF, compuesta por una lista ordenada de criterios a los que acompaña el umbral (máximo o mínimo según el criterio elegido). Así, por ejemplo, cabría establecer la función

LEF = ((cobertura, mín=1), (parámetros, max= 6))

que es la función que indicaría: preferir las reglas que satisfagan el mayor número de ejemplos positivos con un mínimo de 1, y de ellas las que tengan el menos número de parámetros con un máximo de 6. Esta función concreta LEF y permitiría seleccionar una regla del conjunto A que pasaría a ser parte del conjunto final I, buscado.

4) Etapa 4. Del conjunto de ejemplos disponibles se eliminan los ejemplos positivos que son satisfechos por la regla que acaba de elegirse.

5) Etapa 5. Si no queda ningún ejemplo positivo se termina el proceso, se caso contrario se retorna a la Etapa 1.

Terminado el procedimiento, el conjunto I obtenido define las reglas que determinan la clasificación buscada. Si los ejemplos disponibles incluyeran la pertenencia o no de cada ejemplo a uno entre varios conjuntos, se reiteraría el procedimiento para cada conjunto concreto. Para obtener las reglas de clasificación de un determinado conjunto se considerarían positivos los ejemplos que pertenecen a él y negativos los que pertenecen a los otros conjuntos restantes.

b.3) Submódulo de aprendizaje por redes neuronales: NEURON

Las redes neuronales constituyen un procedimiento conocido y útil para proporcionar capacidades de aprendizaje a los agentes cognitivos. De los distintos modelos existentes los modelos supervisados, como el perceptrón multicapa, son los más adecuados para este tipo de trabajo aunque presentan la dificultad de necesitar un elevado número de pares de entrenamiento. Por ello se ha optado por las redes neuronales de ligadura funcional¹³⁷, que han sido instrumentadas según diversos conjuntos de funciones matemáticas¹³⁸ linealmente independientes y ortogonales $\{F_1, F_2, \dots, F_n\}$. El patrón de entrada

¹³⁷ Y. Pao, *Adaptive Pattern Recognition and Neural Networks*, Addison-Wesley, Nueva York, 1989.

Y. Pao, D. Sobajic, "Combined Use of Unsupervised and Supervised Learning for Dynamic Security Assessment", *IEEE Transactions on Power Systems*, 7 (2), 1992.

¹³⁸ A. Ugena, F. de Arriaga, M. El Alami, "Neural Network Architecture for Function Approximation", *Proceedings CIMASI'96 International Conference*, Casablanca, 1996, pág. 149-154.

“ i_1 ” a la red es sustituido por la ampliación formada por ese conjunto de funciones en la forma $\{i_1, F_1(i_1), F_2(i_1), \dots, F_n(i_1)\}$ incrementando así la dimensión del espacio de entrada.

Si denominamos F la función de activación del nodo único de salida y W la matriz de pesos de conexiones entre los distintos nodos de entrada y el de salida, el resultado (output) que se obtiene en el nodo de salida viene dado por la expresión:

$$\text{Out}(i_1) = F(\sum w_{1j} F_j(i_1))$$

De forma similar se realiza el mismo proceso para los restantes patrones de entrada i_2, i_3, \dots, i_p obteniéndose en definitiva el conjunto de salidas

$$\{\text{Out}(i_1), \text{Out}(i_2), \dots, \text{Out}(i_p)\}$$

Si el conjunto de salidas deseadas de la red neuronal fuese

$$\{T(i_1), T(i_2), \dots, T(i_p)\}$$

se calcularía el error cuadrático medio correspondiente a cada patrón de entrada y el error total medio de la red vendría expresado como:

$$\text{error} = (1/2p) \sum (T(i_j) - \text{Out}(i_j))^2$$

Mediante la aplicación de un algoritmo de retropropagación se va modificando la matriz de pesos W de la red hasta conseguir la minimización del error. Cuando este proceso se reitera con diversos pares entrada/salida correspondientes de la red, debido a ese entrenamiento la matriz de pesos W se estabiliza en los valores que permiten que la red sea capaz de resolver problemas análogos. Precisamente una de las ventajas prácticas reportadas¹³⁹ en la literatura sobre el empleo de este tipo de redes neuronales consiste en la reducción importante del número de patrones de aprendizaje y reducción drástica del número de iteraciones para cotas reducidas del error cuadrático

¹³⁹ S. Philips, Y.Pao, D. Sobajic, “Neural-Net Computing and the Intelligent Control of Systems”, *International Journal of Control*, 56 (2), 1992, pág. 263-289.

medio. Diversos conjuntos de funciones¹⁴⁰ han sido empleados con importantes ventajas¹⁴¹.

c) Módulo de planificación abstracta: PLAN

Durante mucho tiempo la investigación sobre planificación abstracta se ocupó fundamentalmente de sus algoritmos, puesto que son importantes para su eficacia, sin embargo, recientemente se ha empezado a tratar el tema del conocimiento que implica la planificación y su organización para conseguir la eficacia. La mayor parte de estos escasos estudios¹⁴² se apoyan en la definición de una serie de componentes conceptuales de alto nivel. Aquí, en cambio, se combinarán las ideas de la herramienta BCTA con la teoría del espacio de estado para elaborar el siguiente modelo basado en los elementos:

1) Tareas, se plasman en una serie de objetivos o metas. Implican la descripción de un estado inicial; a su vez la consecución de un objetivo conlleva alcanzar un estado final, que también puede venir definido por un conjunto de condiciones que debe satisfacer. Los objetivos pueden a su vez descomponerse en subobjetivos o subtareas con las mismas connotaciones en cuanto a los estados que llevan asociados.

2) Plan, consta de:

a) Etapas, que si no se descomponen ulteriormente tendrán la consideración de acciones globales, que podrán llevar asociadas precondiciones y postcondiciones.

b) Relaciones de orden (parcial o total) entre las etapas.

c) Relaciones causales entre las etapas y condiciones que las ocasionan.

3) Conflictos, representados por el incumplimiento de condiciones.

¹⁴⁰ A. Ugena, F. de Arriaga, M. El Alami, "Speaker-Independent Speech Recognition by Means of Functional-Link Neural Networks", *Proceedings IEEE International Conference on Pattern Recognition*, Barcelona, 2000, pág. 467-473.

¹⁴¹ A. Ugena, F. de Arriaga, M. El Alami, "Phoneme Recognition by Means of Functional-Link Neural Networks", *Proceedings CIMASI'2000 International Congress on Applied Mathematics*, Casablanca, 2000, pág. 106-116.

¹⁴² A. Valente, "Knowledge level análisis of planning systems", *SIGART Bulletin* 6(1), 1995, pág. 33-41.

Por otra parte el conocimiento que se maneja en la teoría de planificación se compone de:

- 1) Estados del sistema con sus variables de definición, precondiciones y postcondiciones.
- 2) Metas u objetivos, tanto finales como intermedios.
- 3) Operadores, que son de dos clases: los que dividen los objetivos en subobjetivos (operadores A), y los compuestos por etapas o acciones globales que modifican el estado y que se designarán como operadores B.
- 4) Mecanismos de selección de metas. En principio cabe utilizar los siguientes:
 - a) Lineal; se escoge la última meta establecida.
 - b) Jerárquico; se escoge de acuerdo con los niveles asignados a las precondiciones.
 - c) Aleatorio, se elige la meta al azar.
 - d) Inteligente; depende del problema como las funciones heurísticas.
- 5) Mecanismos de selección de operadores. Se encargan de la elección de operadores idóneos dentro del elenco disponible. Cuando eso no es posible el mecanismo debe advertir de la situación para adoptar otras mediadas.
- 6) Comprobación de la situación de las metas. De manera frecuente es necesario comprobar la situación de las metas en relación con su solución y preferentemente calcular la distancia que separa de ésta en una métrica adecuada.
- 7) Determinación de conflictos. Como en el caso anterior, cabe el origen de conflictos ante las acciones posibles a abordar, y lo primero es precisamente establecer los medios para captar inmediatamente la presencia o el origen de esos conflictos, sean de la naturaleza que sean.
- 8) Mecanismos de modificación del plan para la resolución de conflictos. Se encargan de modificar el plan que acaba de extenderse con la inclusión de un

nuevo operador, pero que presenta conflictos. Para ello añadiremos precondiciones causales o de orden que impidan la violación de esas condiciones.

En suma, el módulo de ayuda a la planificación abstracta vendrá representado por el siguiente pseudocódigo:

```

REPETIR para cada meta J del conjunto de metas1
  SI no hay operadores aplicables
    ENTONCES BORRAR J de las metas1
    COLOCAR J en metas2
  EN OTRO CASO
    APLICAR todos los operadores posibles de operadoresA
    COLOCAR metas resultantes en metas2
    BORRAR J de metas1
FIN DE REPETIR
REPETIR para cada meta M de metas2
  SI existe H, operadorB, que consigue la meta M sin conflicto
  ENTONCES APLICAR M
    {PLAN}={PLAN}U {H}, metas1=metas1-M
  EN OTRO CASO
    REPETIR
      SI no existe operadorB, L, que reduzca la distancia a M sin
      conflicto
      ENTONCES PEDIR operadorB nuevo, L, sin conflicto
        APLICAR L, {PLAN}={PLAN} U {L}
      DE OTRA MANERA
        APLICAR operadorB, K, que reduzca al máximo

```

la distancia a la meta M, sin conflicto

$$\{\text{PLAN}\} = \{\text{PLAN}\} \cup \{K\}$$

FIN DE REPETIR

$$\{\text{metas2}\} = \{\text{metas2}\} - \{M\}$$

FIN DE REPETIR

SI $\{\text{metas1}\} = \emptyset$ Y $\{\text{metas2}\} = \emptyset$ ENTONCES TERMINAR; $\{\text{PLAN}\}$

La interpretación de este algoritmo es sencilla; en primer lugar se aplican todos los operadores de descomposición disponibles para convertir las metas del conjunto $\{\text{metas1}\}$ en submetas o metas de $\{\text{metas2}\}$. Se acepta que por razones de granularidad no es posible encontrar más operadores de descomposición por lo que no se solicita en ningún caso operadores de esta clase (operadoresA).

d) Módulo de procesamiento del español como lenguaje natural

En problemas de comunicación libre entre agentes, entre agentes y usuario cuando se mueven por diferentes entornos informáticos, poder “entender” (procesar) un lenguaje natural es una capacidad importante. En el presente caso se pretende que los agentes cognitivos sean capaces de tratar el español como lenguaje natural, del que no existen tantos trabajos como del inglés. Por esas razones se ha elaborado el presente módulo que ha supuesto mayor esfuerzo del que se pensó inicialmente.

El español, como lenguaje natural, no ha sido tan estudiado como el inglés; no obstante, en los últimos años se han llevado a cabo trabajos¹⁴³

¹⁴³ M.Neff, B. Boguraev, “Dictionaries, Dictionary Grammars, and Dictionary Entry Parsing”, *Proceedings 27th Annual Meeting, Association for Computational Linguistics*, Buffalo, 1988.

D.Mc Donald, “ An Efficient Chart-Baed Algorithm for Partial Parsing of Unrestricted Texts”, *Proceedings 3rd Conference on Applied Natural Language Processing*, Trento, 1992.

H.Nakaiwa, S.Ikehara, “Verbal Semantic Attributes”, *Proceedings 3rd Conference on Applied Natural Language Processing*, Trento, 1992.

S.Laribi, G. Desroques, “A Novel Architecture Adapted to the Dynamic Parsing of Natural Language Texts”, *Proceedings AI'95 International Conference on Language Engineering*, Montpellier, 1995.

interesantes sobre el español, sino también sobre el análisis, comprensión y traducción en general. También cabe afirmar que la sistematización del español irrestricto ha alcanzado un interesante nivel computacional¹⁴⁴ y que la semántica¹⁴⁵ del español también ha alcanzado un estado motivador en combinación con estudios¹⁴⁶ formales y cuasi-formales. En cuanto a sistemas computacionales relacionados con el español cabe hablar de diversas interfaces, principalmente aplicadas a sistemas basados en el conocimiento y tutores inteligentes¹⁴⁷ aunque en otra línea de actuación conviene citar los trabajos de Dahl¹⁴⁸ y de Moreno y Goñi¹⁴⁹.

Las directrices de elaboración de este módulo¹⁵⁰ han sido:

- 1) Modularidad interna. Puesto que este sistema debe tratar cualquier texto del español irrestricto conviene como puntos importantes relacionados con este aspecto, la categorización del mundo en universos y subuniversos por medio de semas incluidos en un número mínimo de clases de gramáticas. Además también interesa la separación jerárquica del análisis sintagmático del análisis de las sentencias compuestas.
- 2) Factorización del problema. Conviene tener en cuenta cómo va a hacerse la división del problema global que será ejecutando el análisis sentencia por sentencia y posponiendo el tratamiento de la ambigüedad sintáctica al

¹⁴⁴ M. AlvarEsquerra, *La formación de palabras en español*, Arco, Madrid, 1993.

L. Busquets, L. Bonzi, *Los verbos en español*, Verbum, 1993.

¹⁴⁵ M. Morera, *Estructura semántica del sistema preposicional del español moderno y sus campos de uso*, Cabildo Insular de Fuerteventura, 1988.

M. Luján, *Sintaxis y semántica del adjetivo*, Ediciones Cátedra, Madrid, 1980.

¹⁴⁶ J. Hallebeck, *A Formal Approach to Spanish Syntax*, Amsterdam, 1992.

M. Rivero, *Estudios de gramática generativa del español*, Ediciones Cátedra, Madrid, 1980.

¹⁴⁷ F. de Arriaga, "Fuzzy Expert Systems in Education", *Actas del Congreso Internacional de Investigación Militar Operativa*, Madrid, 1987.

F. de Arriaga, *Expert System for Operation Advicing in Stock Markets*, Cursos de verano, Universidad Complutense, El Escorial, 1989.

F. de Arriaga, "ETI: Intelligent Tutoring System for the Analysis of Learning Problems", *Proceedings International Conference on Information and Education*, Turku, 1991.

¹⁴⁸ V. Dahl, "Un Système Déductif d'Interrogation de Banques de Données en Espagnol", *Proceedings International Conference on Natural Language Processing*, Paris, 1977.

¹⁴⁹ A. Moreno, J. M. Goñi, "GRAMPAL: A Morphological Processor for Spanish Implemented in Prolog", *Proceedings GULP-PRODE'95 Joint Conference on Declarative Programming*, 1995.

¹⁵⁰ F. de Arriaga, M. El Alami, M. Escorial, "Syntagmatic Análisis for Spanish Processing", *Proceedings International Conference on Machine Translation*, Dahrán, 1996.

momento adecuado en que se considere la información tanto sintáctica como semántica y guardando las hipótesis múltiples.

3) Transportabilidad. Se pretende que sea completa dado que se ha de tratar con el español irrestricto.

4) Robustez. Depende de la adecuada información que contenga el diccionario que se verá más adelante.

5) Velocidad. Aunque la velocidad interactiva del módulo no es el objetivo primario, la velocidad influencia sin duda la organización de la gramática y orden de las reglas, la separación entre el análisis sintagmático y el procesamiento completo, y el algoritmo de comprensión.

6) Veracidad, que será tratada en las etapas 3 y 4.

Un elemento importante del módulo es el diccionario de datos o léxico, que incluye las palabras que hasta el momento reconoce el sistema (que puede ampliarse en cualquier momento, e iterativamente durante el trabajo). Esos términos llevan agregada determinada información sintética y semántica. Esta información agregada depende en principio de la categoría gramatical de la palabra y tiene la estructura siguiente:

d.1) Diccionario

Se describirá en primer lugar la información sintáctica y semántica que contiene que se necesita para el proceso y que podría dividirse según sus etapas en: un tratamiento elemental del texto, análisis sintáctico, comprensión del texto, generación de texto nuevo, traducción. Está dividido en dos secciones: A y B.

La sección A incluye sólo la información que se necesita para realizar el análisis completo de sentencias simples y compuestas. Contiene unas 50.000 palabras de español-castellano y español-iberoamericano, almacenadas como

un B-árbol en el que cada registro lleva asociado un índice de lectura rápida para indicar si existe el término y si es así la dirección de memoria en la que se encuentra. La estructura de datos de cada término es una lista de objetos compuestos; el número de elementos de la lista coincide con el de los diferentes significados del término. En otras palabras, la sección A define una función biunívoca del conjunto de índices en el de registros, de la forma:

$$A: \{\text{índice}\} \rightarrow \{\text{registro}\}$$

donde el registro viene definido mediante:

$$\text{registro} := p(\text{término}, \text{lista})$$

siendo la estructura particular de la lista la siguiente:

$$\text{lista} := (\text{significado1}(A, B, C, \dots), \text{significado2}(E, F, \dots), \dots, \text{significadoN}(N, P, \dots))$$

en donde los detalles de cada significado dependen de la clase de gramática.

La sección B contiene información suplementaria semántica y pragmática así como la estructura general de los contextos, dominios e intereses. En cuanto a la estructura de datos de los términos contenidos en la sección A, cabe afirmar:

1)- Determinantes. Esta categoría gramatical incluye no sólo los artículos definidos sino también demostrativos, posesivos, cardinales, ordinales, múltiples, y determinante partitivos y extensivos.

a) Artículo: incluye su condición, género y número.

Ejemplo: "la" \rightarrow artículo, femen., singular.

b) Demostrativo: incluye su condición, género, número y sema. El sema aporta idea de proximidad (cerca, intermedio, lejos) en relación con distancia o tiempo que modificará al sintagma nominal que acompaña.

c) Posesivo: incluye su condición, género, número, persona e indicación de ser adjetivo o pronombre.

d) Cardinal, ordinal, partitivo y extensivo: incluye su condición específica, género, número, sema. El sema puede ser el número asociado en cardinales u ordinales, o la idea de cantidad o cualidad para los extensivos.

2) Nombres. Es necesario tener en cuenta como rasgos sintácticos incuestionables al género y número. Además, desde un punto de vista ideal, cada nombre debería venir representado por un “sema”, capaz de diferenciarle y clasificarle de acuerdo a su significado. Para ese propósito se utilizan hasta seis semas. El primero divide el mundo en universos temporales, espaciales y nocionales. El segundo sema divide al primer y segundo universos en extensivos y puntuales, y al tercer universo en animado, inanimado y abstracto. El tercer sema realiza la distinción entre nombres personales, comunes y colectivos. Los restantes semas continúan la división de los universos hasta un nivel razonable o se refieren a otros términos del diccionario que reflejan caracteres específicos del mundo (suficientes para el análisis sintagmático). La información que se necesita es, por tanto:

“nombre” → clase, género, número, sema

donde

sema → (sema1, sema2, sema3, sema4, sema5, sema6)

Ejemplo:

“galgo” → nombre, masculino, singular, (nocional, animal, común, mamífero, “perro”, “correr”)

3) Adjetivos. El adjetivo expresa una cualidad substantiva. Sus características sintácticas son: género, número, grado de comparación. En cuanto a la información semántica se han considerado tres semas: el primero muestra la habilidad de ir acompañando a los verbos “ser”, “estar”, o “parecer”. El

segundo sema da la idea de cualidad inherente, situación social o acción resultante que es identificada y concretada por el sema tercero. Por tanto, su descripción aparece como:

“adjetivo” → clase, género, número, sema

siendo en este caso

sema → (sema1, sema2, sema3, sema4)

Ejemplo:

“antigua” → adjetivo, femenino, singular, (“ser” o “parecer”, cualidad, “antigüedad”)

4) Pronombres. Se consideran los pronombres personales, demostrativos, indefinidos, posesivos, relativos e interrogativos. Sus características sintácticas mínimas son: género, número, persona. Pero además, para los pronombres personales habría que conocer su funcionalidad en la frase (sujeto, objeto directo o indirecto, etc.). En cuanto a los pronombres demostrativos su peculiaridad semántica es la proximidad o cercanía; y para los indefinidos sería su carácter de animados o inanimados. Para los pronombre posesivos también se importante conocer su funcionalidad anafórica o catafórica, y para los relativos e interrogativos su característica semántica principal es relacionarse con personas, cosas o posesiones. En definitiva la estructura de los pronombres sería:

“pronombre” → clase, género, número, persona, sema

Ejemplo:

“me” → personal, género indeterminado, singular, primera persona, objeto indirecto

5) Verbos. El español presenta tres conjugaciones regulares diferentes; cada verbo regular puede adoptar hasta 62 formas verbales diferentes (algunas pueden ser idénticas). Además existen unos 500 verbos irregulares totalmente

sistematizados¹⁵¹ en 47 tipos distintos. En consecuencia, se ha establecido un procedimiento que permite obtener su infinitivo a partir de cualquier forma verbal del mismo, y además el modo, tiempo y persona. En definitiva, los aspectos sintácticos del verbo son: clase (copulativo, transitivo, intransitivo, etc.), persona, número, tiempo, modo. Además la información semántica que se necesita para su clasificación y análisis sintagmático es: modo de la acción (perfectivo, imperfectivo), estado o acción o cambio, movimiento o percepción o voluntad, etc. Con ello su estructura será:

“verbo” → categoría, infinitivo, persona, número, tiempo, modo, clase, modo de acción, (sema1, sema2, sema3)

Ejemplo:

“quiero” → verbo, “querer”, primera persona, singular, presente, indicativo, transitivo, imperfectivo, (estado, voluntad, “”).

6) Adverbios y otras partículas invariantes. En general se necesita conocer la clase gramatical del término, posibles subclases y funcionalidad. Así,

“no” → adverbio, negación, modificador verbal

Como la estructura de la información asociada a cada término varía con su categoría gramatical, se ha elegido una estructura común para unificar que es:

término → (término, lista)

La lista tiene tantos elementos como acepciones distintas existan de la palabra, o sea:

término → (término, (significado1), (significado2), ..(significadoN))

en donde cada significado tiene como estructura:

(significados, arg1, arg2, arg3, arg4)

Dichos argumentos concretan la categoría gramatical, género, número y sema. Este sema se puede convertir en toda una lista para incluir todos los semas

¹⁵¹ J. A. Porto Dapena, *El Verbo y su conjugación*, Arco, Madrid, 1987.

necesarios.

d.2) Etapas de funcionamiento

Las funciones que el módulo realiza secuencialmente y que pasan a ser etapas del funcionamiento son:

- 1) Análisis léxico. Tras aceptar cada palabra acotada por dos espacios en blanco, se comprobará su existencia en el léxico. Si no existe el módulo emite un mensaje para que sea introducida con la información complementaria que será descrita posteriormente y que incluye todos los elementos sintácticos y semánticos necesarios para todo el proceso. Si la palabra ya existe, le incorporará la información complementaria contenida en el léxico. Caso de que la palabra presente dos o más acepciones, todas ellas serán incorporadas momentáneamente, dejando a las fases posteriores del proceso la solución de la ambigüedad. Existen locuciones o grupos de palabras que el léxico presenta unitariamente lo cual obliga al programa a realizar esa comprobación adicional.
- 2) Análisis sintagmático. Ésta es una de las etapas críticas del módulo. Para llevarla a cabo se ha construido una gramática definida de cláusulas, que es una gramática del español expresada en reglas de producción. Se ha tratado de controlar tanto el número de reglas como la complejidad de sus interacciones.

Con objeto de hacer amplio uso de la recursividad, los sintagmas de un solo término se obtienen ya al comparar esos términos con el diccionario, de acuerdo con las reglas siguientes:

Nombre → sintagma nominal

Pronombre → sintagma nominal

Adverbio → sintagma adverbial

Adjetivo → sintagma adjetival

Verbo → sintagma verbal

A partir de estas reglas básicas, las restantes tratan de la combinación e integración de sintagmas a partir de la información sintáctica, semántica, puntuación y orden de la frase.

En relación con los sintagmas formados por dos elementos el sistema analiza la integración de:

- dos sintagmas nominales;
- dos sintagmas adjetivales;
- dos sintagmas adverbiales;
- dos sintagmas verbales;
- dos cardinales o dos ordinales;
- un sintagma nominal seguido de un sintagma adjetival y viceversa;
- determinante seguido por un sintagma nominal;
- preposición seguida por un sintagma nominal, verbal, etc.
- preposición con infinitivo;
- preposición y pronombre;
- sintagmas de pronombres personales, demostrativos o relativos:

En cuanto a los sintagmas formados por tres elementos, se consideran:

- dos elementos que son sintagmas nominales o verbales, etc., unidos por una conjunción;
- dos sintagmas verbales separados por una coma;
- un comparativo seguido por un sintagma nominal y “que”; etc.

Para los sintagmas de cuatro y cinco elementos se consideran:

- dos sintagmas nominales precedidos y seguidos por comas;
 - un sintagma nominal y uno adverbial precedidos y seguidos por comas;
- etc.

La aplicación de las reglas implica no sólo encontrar las condiciones necesarias para la integración sino en ocasiones modificar la información semántica asociada; así, por ejemplo, la agrupación de dos sintagmas nominales precedidos y seguidos por comas requiere que los sintagmas tengan el carácter semántico de pertenecer al mismo universo temporal, espacial o nocional. En otros casos se exigirá la concordancia de género y número para poder llevar a cabo esa agregación.

3) Análisis de oraciones simples. La gramática del análisis sintagmático ha sido completada con reglas para la obtención de oraciones simples. Estas reglas se ocupan de:

- a) La determinación del sujeto a partir de: un sintagma nominal, de un pronombre personal (explícito o implícito), de un pronombre demostrativo o posesivo.
- b) La determinación del complemento de tiempo a partir de: un sintagma adverbial, de un sintagma nominal del universo temporal, de una frase adverbial o de una oración subordinada temporal.
- c) La determinación del complemento de lugar a partir de: un sintagma adverbial, de un sintagma nominal del universo espacial, de una frase adverbial de lugar o de una oración subordinada espacial.
- d) La determinación del predicado a partir de: un sintagma adjetivo o un sintagma nominal de tipo nocional.
- e) La determinación del complemento directo en verbos transitivos a partir de: un sintagma nominal o pronombre con categoría de objeto.
- f) La determinación del complemento indirecto a partir de: ciertos pronombres personales o sintagmas nominales precedidos de la proposición "a".

g) La determinación de otros complementos (de cantidad, modo, negación,..) mediante sintagmas adverbiales.

4) Análisis de oraciones compuestas. Con objeto de que el procesamiento de este módulo no sea una carga importante para el agente, y teniendo en cuenta el lenguaje de comunicación usual entre agentes y con el usuario, este análisis es bastante somero, realizándose tan sólo la agregación de oraciones coordinadas y la integración de algunas subordinadas como la de relativo.

d.3) Pruebas del módulo

Con objeto de probar a fondo este módulo, que podría servir para otros propósitos complementarios, se han realizado toda una batería de pruebas. En primer lugar, a partir de textos españoles recogidos de Internet, se han ido comprobando cada uno de los ítems que han aparecido en relación con el análisis léxico, sintagmático, de oraciones simples y de oraciones compuestas. No obstante, con objeto de comprobar el comportamiento del módulo ante circunstancias para las que en principio no había sido designado, se le han introducido como textos los ocho primeros capítulos de El Quijote, y se realizaron un total de 147 análisis entre léxicos, sintagmáticos y de oraciones de dichos capítulos. Los resultados fueron todos correctos; en algún caso el módulo obtuvo dos posibilidades distintas de análisis pero ambas interpretaciones eran correctas. Se incluyen algunos ejemplos al respecto.

Pero como la realización de esos análisis no implica que el módulo llegue a “comprender” los textos, se han realizado una serie de pruebas consistentes en hasta 35 preguntas sobre los textos introducidos. El módulo siempre fue capaz de responder y además lo hizo con suficiente amplitud. Se incluyen algunos ejemplos al respecto; en la primera página adjunta, tomada del

protocolo de pruebas, y que figura como pág. 161, se muestra la introducción de datos del Quijote y cómo el sistema va separando con comillas las palabras y formando las frases. En la siguiente aparecen además algunos resultados intermedios del proceso para ir comprobando todas las etapas que realiza el sistema. En las páginas 168, 170 y 171 pueden verse diversos análisis de texto, así como la respuesta a preguntas diversas por el sistema que se muestran en las páginas que figuran como 172, 173 y 174. Por último en la pág. 176 se incluyen algunos análisis de texto.

```

el, "famoso", "hidalgo", "don", "quijote","de","la",
"mancha"), [],[],[],[],"rela"),ora("tratar",3,'m','s',
"noci","pres", "indi","tran",'i',"acci","leng",'a',"trata"),
["capítulo", "primero"], ["de","la", "condición", "y",
"ejercicio", "de", "el", "famoso","hidalgo", "don", "quijote",
"de", "la", "mancha"], [],[], [], [], [], [], [], [], [],
"rela"))),p(["."],[]),4,1)

```

```

frase2([p(["en","un","lugar","de","la","mancha","", "de",
"cuyo","nombre","no","quiero","acordar","me","", "no", "ha",
"mucho", "tiempo", "que", "vivía", "un", "hidalgo", "de",
"los", "de", "lanza", "en", "astillero","", "adarga",
"antigua", "", "rocín", "flaco", "y", "galgo", "corredor"],
[ora("vivir",3,'m','s',"noci","impe","indi", "intr",'i',
"esta", "temp",'a', ["vivía"],["un","hidalgo","de", "los",
"de","lanza","en","astillero","", "adarga","antigua",
",", "rocín", "flaco", "y", "galgo", "corredor"],[],[],[]),
["en","un","lugar","de","la","mancha","", "de","cuyo",
"nombre","no","quiero","acordar","me","", ["no","ha",
"mucho","tiempo"],[], [],[],[],[],"rela"),
ora("haber",3,'m','s',"temp","pres","indi", "tran",'i',
"esta", "temp",'a', ["ha"],["mucho","tiempo","que", vivía",
"un","hidalgo","de","los","de","lanza","en","astillero","", "adarga",
"antigua","", "rocín","flaco","orredor"],[],[],[]),
["en","un","lugar","de", "la","mancha", "", "de", "cuyo",
"nombre", "no", "quiero", "acordar", "me", "", ],[], [], ["no"],
[],[],[],"simp")))]),p(["."],[]),4,2)

```

```

frase2([p(["una", "olla", "de", "algo", "más", "vaca", "que",
"carnero", "", "salpicón", "las", "más", "noches", "de",
"duelos", "y", "quebrantos", "los", "sábados", "de",
"lentejas", "los", "viernes", "", "algún", "palomino", "de",
"añadidura", "los", "domingos", "", "consumían", "las", "tres",
"partes", "de", "su", "hacienda"],
[ora("consumir",3,'i','p',"noci","impe","indi","tran",
'p', "acci", "comp",'a', ["consumían"],["una","olla","de",
"algo","más","vaca","que","carnero","", "salpicón",
"las", "más", "noches", "", "duelos","y","quebrantos",
"los", "sábados", "", "lentejas","los","viernes", "",
"algún", "palomino","de","añadidura","los","domingos",
",", ], [{"las","tres","partes","de","su","hacienda"},
[],[],[],[],[],[],[], "simp"),ora("consumir",3,'i',
'p',"noci", "impe","indi","tran","p',"acci","comp",'a',
["consumían"], ["una","olla","de","algo","más","vaca",
"que","carnero","", "salpicón","las","más","noches",
",", "duelos","y","quebrantos","los","sábados","de",
"lentejas","los","viernes","", "algún","palomino",
"de","añadidura","los","domingos","", ], [{"las","tres",
"partes","de","su","hacienda"},[],[],[],[],[],[],
[],[],,"simp")))]),p(["."],[]),4,3)

```

```

frase2([p(["el","resto","de","ella","concluían", "sayo","de",
"velarte", "", "calzas", "de", "velludo", "para", "las",

```

```

"fiestas",",",", "con", "sus", "pantuflos", "de", "lo",
                                "m i s m o" ],
[ora("concluir",3,'i','p',"noci","impe","indi","tra
'p',"esta","temp",'a',[ "concluían"],[ "sayo","de",
"velarte",",",", "calzas", "de", "velludo", "para", "las",
"fiestas",",",", [],["el","resto","de","ella"],[],[],
[],["con","sus","pantuflos","de","lo","mismo"],[],[],
[],[],"simp")]],p([],[]),[con("coor","coma")]],p({"y"},
[con("coor","copu")]),p({"los","días","de","entresemana",
"se","honraba","con","su","vellió","de","lo","más",
"fino"},[ora("honrar",3,'i','s','i',"impe","inde",
"intr",'i',"esta","temp",'a',[ "honraba"],[],{
"su","vellió","de","lo","más","fino"},[],{"se"},{
["los","días","de","entresemana"],[],[],[],[],{
"simp"},ora("honrar",1,'i','s','i',"impe","indi",
"intr",'i',"esta","temp",'a',[ "honraba"],[],{ "con",
"su","vellió","de","lo","más","fino"},[],{"se"},{
["los","días","de","entresemana"],[],[],[],[],{
"simp"})),p(["."],[],),4,4)

```

```

frase2([p(["tenía","en","su","casa","una","ama","que",
"pasaba","de","los","cuarenta",",",", "y","una","sobrina",
"que","no","llegaba","a","los","veinte",",",", "y","un",
"mozo","de","campo","y","plaza",",",", "que","así",
"ensillaba","el","rocín","como","tomaba","la","podadera"],
[ora("tener",3,'i','s','i',"impe","indi","tran",'i',"esta",
"temp",'a',[ "tenía"],[],{ ["una","ama","que","pasaba",
"de","los","cuarenta",",",", "y","una","sobrina","que",
"no","llegaba","a","los","veinte",",",", "y","un","mozo
"de","campo","y","plaza",",",", "que","así","ensillaba",
"el","rocín","como","tomaba","la","podadera"],[],{ "e
"su","casa"},[],[],[],[],[],{ "simp"},ora("tener",1
'i','s','i',"impe","indi","tran",'i',"esta","temp"
[ "tenía"],[],{ ["una","ama","que","pasaba","de","los",
"cuarenta",",",", "y","una","sobrina","que","no","llegaba",
"a","los","veinte",",",", "y","un","mozo","de","campo","y",
"plaza",",",", "que","así","ensillaba","el","rocín","como",
"tomaba","la","podadera"],[],{ "en","su","casa"},[],[],{
[],[],{ "simp"})),p(["."],[],),4,5)

```

6.1.6 RESULTADOS INTERMEDIOS

Para la obtención de este resultado final, emplea los resultados intermedios :

```

s21(["que","trata","de","la","condición","y","ejercicio","de
"el","famoso","hidalgo","don","quijote","de","la","mancha"]
[ora("tratar",3,'i','s','i',"pres","indi","tran",'i'.....)].

```

```

s21(["que","vivía","un","hidalgo","de","los","de", "lanza",
"astillero",",",", "adarga","antigua",",",", "rocín","flaco","y",

```

ANALIZA UN TEXTO	MENU
{"capítulo", "primero", "que", "trata", "de", "la", "condición", "y", "ejercicio", "de", "el", "famoso", "hidalgo", "don", "quijote", "de", "la", "mancha"}	PULSA INTRO
GENE <input type="text" value="m"/> NUME <input type="text" value="s"/> PERS <input type="text" value="3"/> TIEMPO <input type="text" value="pres"/> MODO <input type="text" value="indi"/> INFINITIVO <input type="text" value="tratar"/> CLASE <input type="text" value="tran"/>	
SUJETO Y COMPLEMENTOS	
SUJETO : {"capítulo", "primero"} VERBO : {"trata"} C. MODO : {"de", "la", "condición", "y", "ejercicio", "de", "el", "famoso", "hidalgo", "don", "quijote", "de", "la", "mancha"}	

ANALIZA UN TEXTO	MENU
{"capítulo", "primero", "que", "trata", "de", "la", "condición", "y", "ejercicio", "de", "el", "famoso", "hidalgo", "don", "quijote", "de", "la", "mancha"}	PULSA INTRO
GENE <input type="text" value="m"/> NUME <input type="text" value="s"/> PERS <input type="text" value="3"/> TIEMPO <input type="text" value="pres"/> MODO <input type="text" value="indi"/> INFINITIVO <input type="text" value="tratar"/> CLASE <input type="text" value="tran"/>	
SUJETO Y COMPLEMENTOS	
SUJETO : {"capítulo", "primero"} VERBO : {"trata"} PPREDICADO : {"de", "la", "condición", "y", "ejercicio", "de", "el", "famoso", "hidalgo", "don", "quijote", "de", "la", "mancha"}	

ANALIZA UN TEXTO	MENU
{"capítulo", "primero", "que", "trata", "de", "la", "condición", "y", "ejercicio", "de", "el", "famoso", "hidalgo", "don", "quijote", "de", "la", "mancha"}	PULSA INTRO
GENE <input type="text" value=""/> NUME <input type="text" value=""/> PERS <input type="text" value=""/> TIEMPO <input type="text" value=""/> MODO <input type="text" value=""/> INFINITIVO <input type="text" value=""/> CLASE <input type="text" value=""/>	
SUJETO Y COMPLEMENTOS	
SINTAGMA NOMINAL género : masculino , número : singular , persona : 3 sema1 : noci, sema2 : acci, sema3 : comu, sema4 : orac rela tratar clase : inde	

ANALIZA UN TEXTO				MENU		
aca", "que", "carnero", "salpicón", "las", "más", "noches", "duelos", "y", "quebrantos", "los", "sábados", "lentejas", "los", "viernes", "algún", "palomino", "de", "añadidura", "los", "domingos", "consumían", "las", "tres", "partes", "de", "su", "hacienda"]				PULSA INTRO		
GENE i	NUME p	PERS 3	TIEMPO impe	MODO indi	INFINITIVO consumir	CLASE tran
SUJETO Y COMPLEMENTOS						
SUJETO : ["una", "olla", "de", "algo", "más", "vaca", "que", "carnero", "salpicón", "las", "más", "noches", "duelos", "y", "quebrantos", "los", "sábados", "lentejas", "los", "viernes", "algún", "palomino", "de", "añadidura", "los", "domingos", "consumían"]						
VERBO : ["consumían"]						
PPREDICADO : ["las", "tres", "partes", "de", "su", "hacienda"]						

ANALIZA UN TEXTO				MENU		
["el", "resto", "de", "ella", "concluían", "suyo", "de", "velarte", "calzas", "de", "velludo", "para", "las", "fiestas", "con", "sus", "pantuflos", "de", "lo", "mismo"]				PULSA INTRO		
GENE i	NUME p	PERS 3	TIEMPO impe	MODO indi	INFINITIVO concluir	CLASE tran
SUJETO Y COMPLEMENTOS						
SUJETO : ["suyo", "de", "velarte", "calzas", "de", "velludo", "para", "las", "fiestas", "con", "sus", "pantuflos", "de", "lo", "mismo"]						
VERBO : ["concluían"]						
C. DIRECTO : ["el", "resto", "de", "ella"]						
C. MODO : ["con", "sus", "pantuflos", "de", "lo", "mismo"]						

ANALIZA UN TEXTO				MENU		
["y"]				PULSA INTRO		
GENE	NUME	PERS	TIEMPO	MODO	INFINITIVO	CLASE
SUJETO Y COMPLEMENTOS						
con("coor", "copu")						

ANALIZA UN TEXTO					MENU	
{"los","días","de","entresemana","se","honraba","con","su","vellowí","de","lo","más","fino"}					PULSA INTRO	
GENE i	NUME s	PERS 3	TIEMPO impe	MODO indi	INFINITIVO honrar	CLASE intr
SUJETO Y COMPLEMENTOS						
VERBO : {"honraba"} PPREDICADO : {"con","su","vellowí","de","lo","más","fino"} C.INDIRECTO : {"se"} C.TIEMPO : {"los","días","de","entresemana"}						

ANALIZA UN TEXTO					MENU	
{"tenía","en","su","casa","una","ama","que","pasaba","de","los","cuarenta","y","una","sobrina","que","no","llegaba","a","los","veinte","y","un","mozo","de","campo","y","plaza","que","así","ensillaba","el","rocin","como","tomaba","la","podadera"}					PULSA INTRO	
GENE i	NUME s	PERS 3	TIEMPO impe	MODO indi	INFINITIVO tener	CLASE tran
SUJETO Y COMPLEMENTOS						
VERBO : {"tenía"} C. DIRECTO : {"una","ama","que","pasaba","de","los","cuarenta","y","una","sobrina","que","no","llegaba","a","los","veinte","y","un","mozo","de","campo","y","plaza","que","así","ensillaba","el","rocin","como","tomaba","la","podadera"} C. LUGAR : {"en","su","casa"}						

ANALIZA UN TEXTO					MENU	
{"tenía","en","su","casa","una","ama","que","pasaba","de","los","cuarenta","y","una","sobrina","que","no","llegaba","a","los","veinte","y","un","mozo","de","campo","y","plaza","que","así","ensillaba","el","rocin","como","tomaba","la","podadera"}					PULSA INTRO	
GENE i	NUME s	PERS 1	TIEMPO impe	MODO indi	INFINITIVO tener	CLASE tran
SUJETO Y COMPLEMENTOS						
VERBO : {"tenía"} C. DIRECTO : {"una","ama","que","pasaba","de","los","cuarenta","y","una","sobrina","que","no","llegaba","a","los","veinte","y","un","mozo","de","campo","y","plaza","que","así","ensillaba","el","rocin","como","tomaba","la","podadera"} C. LUGAR : {"en","su","casa"}						

DIALOGO SOBRE UN TEXTO PULSA INTRO PARA SEGUIR						MENU
PREGUNTA escribe pregunta : quién era Don Quijote						
GENE m	NUME s	PERS 3	TIEMPO impe	MODO indi	INFINITIVO ser	CLASE copu
RESPUESTA						
SUJETO : {"don", "quijote"} VERBO : {"era"} PPREDICADO : {"el", "famoso", "hidalgo", "de", "la", "mancha"}						

DIALOGO SOBRE UN TEXTO PULSA INTRO PARA SEGUIR						MENU
PREGUNTA escribe pregunta : dónde vivía Don Quijote						
GENE m	NUME s	PERS 3	TIEMPO impe	MODO indi	INFINITIVO vivir	CLASE intr
RESPUESTA						
SUJETO : {"don", "quijote", "(", "un", "hidalgo", "de", "lanza", "en", "astillero", "adarga", "antigua", "rocín", "flaco", "y", "gaigo", "corredor", ")"} VERBO : {"vivía"} C. LUGAR : {"en", "un", "lugar", "de", "la", "mancha", "de", "cuyo", "nombre", "no", "quiere", "acordar", "me", "}"						

DIALOGO SOBRE UN TEXTO PULSA INTRO PARA SEGUIR						MENU
PREGUNTA escribe pregunta : cuándo vivió el caballero de la Mancha						
GENE m	NUME s	PERS 3	TIEMPO inde	MODO indi	INFINITIVO vivir	CLASE intr
RESPUESTA						
SUJETO : {"el", "caballero", "de", "la", "mancha", "(", "un", "hidalgo", "de", "lanza", "en", "astillero", "adarga", "antigua", "rocín", "flaco", "y", "gaigo", "corredor", ")"} VERBO : {"vivía"} C.TIEMPO : {"no", "ha", "mucho", "tiempo"}						

DIALOGO SOBRE UN TEXTO
PULSA INTRO PARA SEGUIR
MENU

PREGUNTA

escribe pregunta : cuándo vivió el de la Mancha en la Mancha

GENE m	NUME s	PERS 3	TIEMPO inde	MODO indi	INFINITIVO vivir	CLASE intr
-----------	-----------	-----------	----------------	--------------	---------------------	---------------

RESPUESTA

{ "lanza", "en", "astillero", "adarga", "antigua", "rocín", "falconero", "galgo", "corredor", "}"

VERBO : { "vivía" }

C. LUGAR : { "en", "la", "mancha", "en", "un", "lugar", "de", "la", "mancha", "de", "cuyo", "nombre", "no", "quiero", "acordar", "me", "}" }

C. TIEMPO : { "no", "ha", "mucho", "tiempo" }

DIALOGO SOBRE UN TEXTO
PULSA INTRO PARA SEGUIR
MENU

PREGUNTA

escribe pregunta : qué consumían su hacienda

GENE i	NUME p	PERS 3	TIEMPO impe	MODO indi	INFINITIVO consumir	CLASE tran
-----------	-----------	-----------	----------------	--------------	------------------------	---------------

RESPUESTA

SUJETO : { "una", "olla", "de", "algo", "más", "vaca", "que", "carnero", "salpicón", "las", "más", "noches", "duelos", "y", "quebrantos", "los", "sábados", "lentejas", "los", "viernes", "algún", "palomino", "de", "añadidura", "los", "domingos", "}" }

VERBO : { "consumían" }

C. DIRECTO : { "las", "tres", "partes", "de", "su", "hacienda" }

DIALOGO SOBRE UN TEXTO
PULSA INTRO PARA SEGUIR
MENU

PREGUNTA

escribe pregunta : qué concluían el resto

GENE i	NUME p	PERS 3	TIEMPO impe	MODO indi	INFINITIVO concluir	CLASE tran
-----------	-----------	-----------	----------------	--------------	------------------------	---------------

RESPUESTA

SUJETO : { "sayo", "de", "velarte", "calzas", "de", "velludo", "para", "las", "fiestas", "}" }

VERBO : { "concluían" }

C. DIRECTO : { "el", "resto", "de", "ella" }

DIALOGO SOBRE UN TEXTO PULSA INTRO PARA SEGUIR						MENU
PREGUNTA escribe pregunta : con qué se honraba en tresemana						
GENE i	NUME s	PERS 1	TIEMPO impe	MODO indi	INFINITIVO honrar	CLASE intr
RESPUESTA						
VERBO : {"honraba"} PPREDICADO : {"con", "su", "vellowí", "de", "lo", "más", "fino"} C. INDIRECTO : {"se"} C. TIEMPO : {"entresemana", "(", "los", "días", "de", "entreseman a", ")"}						

DIALOGO SOBRE UN TEXTO PULSA INTRO PARA SEGUIR						MENU
PREGUNTA escribe pregunta : qué tenía Don Quijote en su casa						
GENE m	NUME s	PERS 3	TIEMPO impe	MODO indi	INFINITIVO tener	CLASE tran
RESPUESTA						
SUJETO : {"don", "quijote"} VERBO : {"tenía"} C. DIRECTO : {"una", "ama", "que", "pasaba", "de", "los", "cuarenta", ", "y", "una", "sobrina", "que", "no", "llegaba", "a", "los", "veint e", "y", "un", "mozo", "de", "campo", "y", "plaza", "que", "así" ", "ensillaba", "el", "rocín", "como", "tomaba", "la", "podadera"} C. LUGAR : {"en", "su", "casa"}						

DIALOGO SOBRE UN TEXTO PULSA INTRO PARA SEGUIR						MENU
PREGUNTA escribe pregunta : quién ensillaba el ro cín						
GENE i	NUME s	PERS 3	TIEMPO impe	MODO indi	INFINITIVO ensillar	CLASE tran
RESPUESTA						
SUJETO : {"un", "mozo", "de", "campo", "y", "plaza"} VERBO : {"ensillaba"} C. DIRECTO : {"el", "rocín"}						

ANALIZA FRASES SIMPLES

{ "la", "mesa", "de", "el", "caballero", "de", "la", "mancha", "tenía", "salpicón", "muchas", "noches" }

GENERO	NUMERO	PERSONA	CLASE	TIPO
f	s	3	p	p

TIEMPO/G	MODO/CLA	M.A./TIP	INFINITIVO
impe	indi	i	tener

SUJETO Y COMPLEMENTOS

SUJETO : { "la", "mesa", "de", "el", "caballero", "de", "la", "mancha" }

VERBO : { "tenía" }

C. DIRECTO : { "salpicón" }

C. TIEMPO : { "muchas", "noches" }

MENU

PULSA INTRO PARA SEGUIR

ANALIZA FRASES SIMPLES

{ "el", "famoso", "hidalgo", "de", "la", "mancha", "tenía", "un", "galgo", "corredor", "y", "un", "rocín", "flaco" }

GENERO	NUMERO	PERSONA	CLASE	TIPO
m	s	3	p	p

TIEMPO/G	MODO/CLA	M.A./TIP	INFINITIVO
impe	indi	i	tener

SUJETO Y COMPLEMENTOS

SUJETO : { "el", "famoso", "hidalgo", "de", "la", "mancha" }

VERBO : { "tenía" }

C. DIRECTO : { "un", "galgo", "corredor", "y", "un", "rocín", "flaco" }

MENU

PULSA INTRO PARA SEGUIR

ANALIZA FRASES SIMPLES

{ "el", "caballero", "de", "la", "mancha", "con", "su", "sobrina", "y", "su", "ama", "vivía", "en", "su", "casa", "de", "la", "mancha" }

GENERO	NUMERO	PERSONA	CLASE	TIPO
m	s	3	p	p

TIEMPO/G	MODO/CLA	M.A./TIP	INFINITIVO
impe	indi	i	vivir

SUJETO Y COMPLEMENTOS

SUJETO : { "el", "caballero", "de", "la", "mancha", "con", "su", "sobrina", "y", "su", "ama" }

VERBO : { "vivía" }

C. LUGAR : { "en", "su", "casa", "de", "la", "mancha" }

MENU

PULSA INTRO PARA SEGUIR

176

2.2 Tipología de agentes utilizada

E-LEARNING INTELIGENTE:
UN INSTRUMENTO PARA LA FORMACIÓN PERMANENTE

En principio los tipos de agentes implementados en NEOCAMPUS son los siguientes:

- 1) Agente de control, con la tarea de crear, clonar, gestionar, vigilar y controlar la operación de los restantes agentes para conseguir la eficiencia del sistema y resolver los posibles conflictos entre agentes. Es la jerarquía de máximo nivel que puede comunicarse con el usuario y es único. Este agente es el que se encarga de remitir la información pertinente al supervisor humano que pudiera estar siguiendo, más o menos cerca, todo el proceso de aprendizaje. Pueden existir otros agentes de control con tareas más concretas, pero siempre bajo la supervisión de éste.
- 2) Supervisor del aprendizaje, con la tarea de coordinar todo el proceso de aprendizaje. Se encuentra a cargo de las acciones de didáctica general y de obtener la formalización concreta del modelo del estudiante, considerando las evaluaciones llevadas a cabo por todos los subtutores, y de ejercer todas las funciones tutoriales no relacionadas con los micro-mundos de estos agentes.
- 3) Los agentes subtutores, encargados de un micro-mundo del dominio de aprendizaje y las tareas de realizar el análisis profundo de los errores del alumno, proporcionar las correcciones adecuadas y tácticas remediales, y realizar evaluaciones del alumno.
- 4) Agentes de las interfaces, al cargo de gestionar y personalizar la interfaz (o las interfaces) hombre/máquina, almacenar y actualizar los registros personales del estudiante.
- 5) Agentes para el entrenamiento de redes neuronales. De acuerdo con su denominación se ocupan estos agentes del entrenamiento de las redes neuronales usadas por los restantes agentes. Su número puede variar según los procesos que se lleven a cabo. En ocasiones uno de ellos se especializa en

el entrenamiento de las redes neuronales que trabajan para un sub-sistema o función específica.

A continuación daremos una somera descripción del diseño e instrumentación de los diferentes agentes ya construidos que integran el sub-sistema dedicado exclusivamente a búsqueda, filtrado y resumen de la información obtenida en Internet, que ha sido integrado en NEOCAMPUS.

2.3 Sub-sistema de búsqueda, filtrado y resumen de información

Los agentes específicos de este sub-sistema son: el agente para el entrenamiento de las redes neuronales, el agente de control de este sub-sistema, los agentes de búsqueda y filtrado de información y los agentes de resúmenes de información.

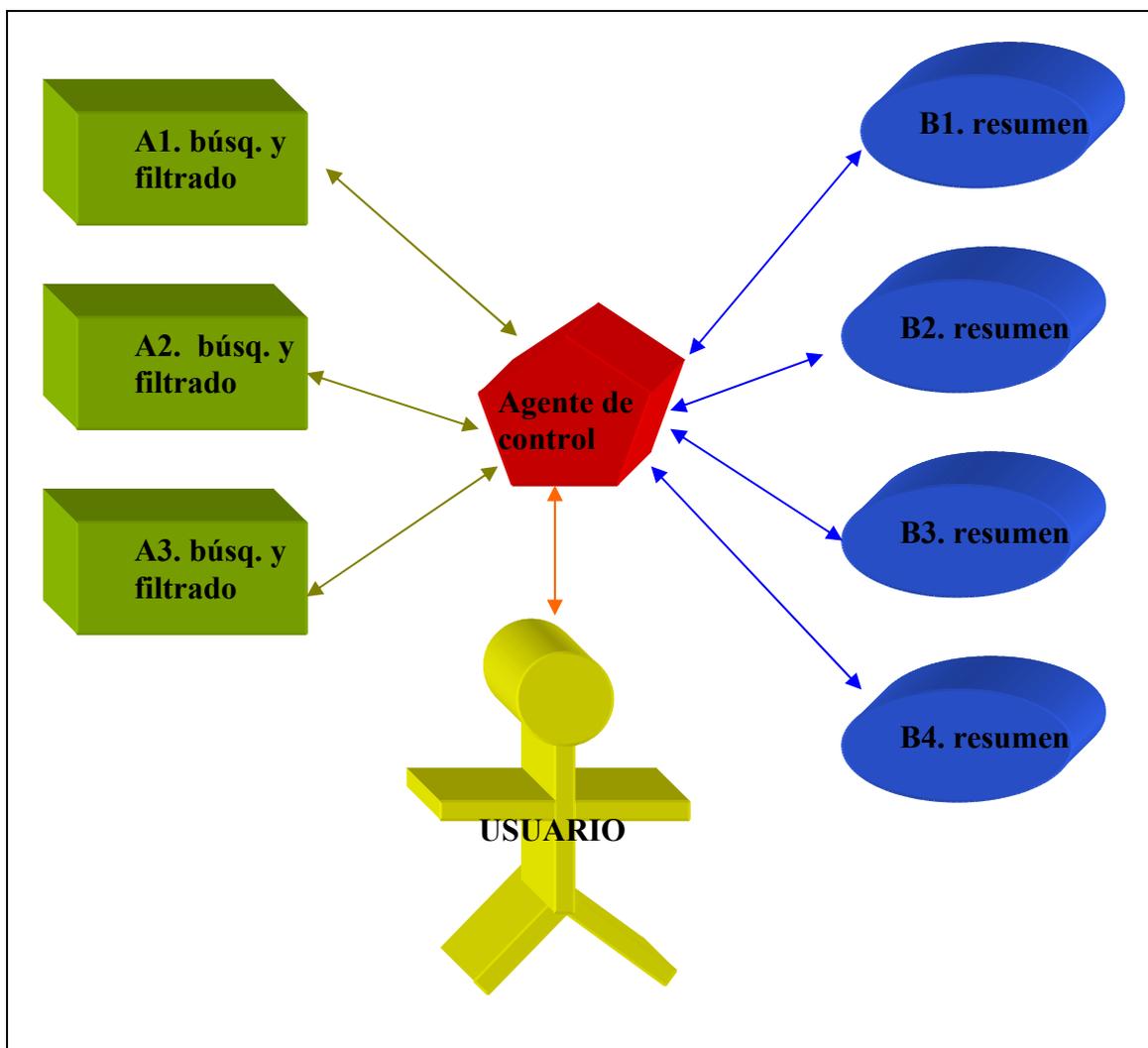
a) Agente para el entrenamiento de redes neuronales

El sistema desarrollado emplea las redes neuronales para efectuar el filtrado de información, de modo que son las redes entrenadas para este fin las que deciden si un cierto documento deberá ser tenido en cuenta por parte del sistema. Ahora bien, estas redes deben ser reentrenadas a medida que el sistema evoluciona (esto es, a medida que cambian las exigencias de las mismas, de acuerdo al análisis realizado sobre nuevos documentos). Los problemas a resolver en este proceso, a cargo de este agente son: la dimensión y topología de la red, las situaciones de falta de convergencia de la red y su inicialización.

Este agente solo dispone de sólo la capa reactiva del conocimiento específico, por lo que sólo hay una base de conocimiento correspondiente a esta capa. Las reglas empleadas tienen como objetivo solucionar los problemas comentados.

b) El agente de control del sub-sistema

Una posible forma de controlar los agentes que colaboran en el proceso de búsqueda, filtrado y resumen de información es mediante el uso de un agente que se ocupe de esta tarea. El primer paso que debe dar el agente de control es decidir cuántos agentes de búsqueda y cuántos agentes de resumen pueden soportar el sistema, de modo que el rendimiento del mismo sea satisfactorio. Para ello, el criterio básico a partir del cual se razona es cuál es el tipo de conexión de red de la que dispone el ordenador donde reside el sistema.



Relaciones del agente de control con el resto de agentes y usuario

En el caso de que el usuario haya especificado que no deben emplearse los servicios de motores de búsqueda, sino que se debe explorar una serie de sitios WWW, se estima el número de agentes de búsqueda en función de las características de la conexión. Esto se hace tal y como se muestra en la siguiente tabla de acuerdo con la experiencia:

<i>Tipo de conexión</i>	<i>Velocidad de la conexión</i>	<i>Número inicial de agentes</i>
PPP	33600 bps	3
PPP	28800 bps	2
PPP	56000 bps	5
PPP	64000 bps	6
LAN	10 Mbps	4
LAN	100 Mbps	7

Número inicial de agentes de búsqueda y filtrado en función del tipo de conexión disponible.

Una vez que los agentes gestionados ya están funcionando es necesario controlar el estado en el que se encuentran éstos. Esto es, si están llevando a cabo sus actividades de forma correcta y si lo están haciendo, en qué punto de las mismas se encuentran.

El comportamiento del agente de control viene determinado, como en el caso del resto de los agentes, por las reglas que están contenidas en la base de conocimiento. Las principales reglas que determinan la evolución del agente de control hacen referencia a su inicialización, inactividad o espera temporal mientras se realizan las tareas más largas de las búsquedas, y comunicación al usuario sobre las situaciones de las búsquedas u resúmenes.

Debe ser capaz también de detectar cuándo el usuario decide que la

búsqueda debe darse por acabada (éste la detiene de forma explícita). Cuando se dé esta condición deberá asegurar que todos los agentes acaben las tareas que tengan pendientes y que una vez hecho esto finalicen su ejecución.

c) Agentes de búsqueda y filtrado

El objetivo de este tipo de agentes es, en primer lugar, el de buscar enlaces (URLs) a documentos que puedan ser analizados, con el fin de determinar, en última instancia, si pueden resultar de interés para el usuario del sistema global. En segundo lugar, deben ser capaces de determinar si los documentos analizados son o no efectivamente “interesantes a priori”. En este punto se debe tener en cuenta que tanto la búsqueda como el análisis de documentos se realizan desde la perspectiva de un cierto tema (o perfil). Sus tareas son, por tanto:

- 1) Búsqueda de información (búsqueda de enlaces a documentos potencialmente relevantes). La búsqueda de enlaces a documentos potenciales es el punto de partida de todo el proceso usualmente a partir de una lista de URLs previas o mediante los motores de búsqueda disponibles en Internet (como pueden ser el caso de *lycos*, *yahoo*, *excite*, etc, por citar algunos de los más conocidos) pudiendo reiterarse la profundidad de la búsqueda hasta un nivel prefijado a partir de una colección de descriptores o perfil.
- 2) Evaluación (filtrado) de documentos. Una vez que ya se dispone de los enlaces que deben ser explorados, bien porque se han obtenido a través de la consulta a motores de búsqueda o porque los ha especificado el propio usuario, es posible evaluar los documentos a los que éstos apuntan.

En esta evaluación, juegan un papel fundamental las redes neuronales que se han ido entrenando a lo largo de la vida del sistema. Éstas funcionan

como auténticos filtros, en el sentido de que permiten que una cierta página WWW se identifique como relativa al tema para el cual se busca información. Dado que las redes utilizadas ofrecen una única salida binaria (0 ó 1), en principio sólo son capaces de tomar una decisión también binaria. Esto es, no son capaces de asignar valores intermedios al "interés" de un cierto documento (esto podría considerarse para una hipotética mejora del sistema). Como también se ha insinuado anteriormente, las entradas de las redes son las frecuencias relativas de aparición de los distintos términos clave del perfil dentro del texto evaluado.

En el caso de que se llegue a la conclusión de que una cierta página es "interesante", el agente deberá:

- a) Guardar los resultados estadísticos obtenidos sobre la misma (en concreto, la distribución de frecuencias relativas de los términos clave).
- b) Se envía una petición a los "agentes de resumen de información", que coexisten con los agentes de búsqueda y filtrado, para que alguno de éstos (el primero que esté disponible) proceda a intentar resumir el contenido del texto de la página. En el diagrama adjunto se representa la estructura de este tipo de agentes.

Nuevamente todos los componentes de la clase que representa a este tipo de agentes pueden ser serializados. Esto permite la posibilidad de que, si así se decidiera en un futuro, los agentes pudieran ser móviles.

d) Agentes de resumen de información

Desde el punto de vista del actual proyecto, puede definirse el resumen de información como el proceso de extracción de la información más importante de una cierta fuente (o fuentes) para generar una versión más breve

del texto, para un usuario (o usuarios) y una tarea (o tareas) particular. En definitiva, se trata de facilitar al usuario final la comprensión de textos que pueden tener una extensión notable, mediante la generación, de forma automática, de un resumen breve, que debe, al menos, dar una idea clara sobre el tema central sobre el que trata el texto original.

A la hora de llevar a cabo este resumen es posible seguir varios enfoques distintos denominados clásicos, basados en *corpus*, basados en la estructura del discurso, y basados en las particularidades del ámbito del texto. Sin embargo, en nuestra opinión, para poder elaborar un resumen correcto de un texto idealmente debería “comprenderse” cuál es el contenido del mismo. Con ello se facilitará de forma importante la tarea de localizar los elementos más importantes del texto (es decir, aquellos en los que reside la mayor parte de la información que éste contiene). Por tanto, lo que se plantea es el uso de técnicas de análisis del lenguaje natural, al menos hasta el nivel morfo-sintáctico (puesto que el análisis semántico suele ser extremadamente complejo y muy dependiente de la aplicación o ámbito específico del que se trate).

Todo esto puede ser aplicado, tanto para la extracción de frases que pasen a formar parte del resumen final, como para compactar éstas (de forma que su extensión sea la mínima para un contenido informativo máximo) o, incluso, generar las propias frases del resumen a partir de la información extraída (y “comprendida”) del texto.

El enfoque que se ha seguido supone la generación de un resumen a partir de la extracción de frases del texto original, puntuadas en función del análisis estadístico de la frase, un léxico específico para cada perfil, y potenciación de los términos clave del perfil que se considera.

Esta es la tarea a la que se dedican los “agentes de resumen”. Éstos toman

como entrada un documento HTML (en la práctica, el URL que lo representa) y ofrecen como resultado, entre otros elementos, una cadena de caracteres que representa el texto del resumen efectuado.

El proceso del resumen conlleva los siguientes pasos básicos:

- 1) Un agente de búsqueda deja en la pizarra adecuada una petición de resumen, al haber encontrado un documento que puede resultar interesante.
- 2) Un agente de resumen lee este documento y lo convierte desde la representación de éste en HTML a un simple texto. Éste es más fácil de tratar durante de las siguientes fases.
- 3) Se analizan las oraciones que componen el texto mediante la gramática utilizada. Se almacenan las frases que son reconocidas (total o parcialmente) por ella. Éstas serán las oraciones que se utilicen para la generación del resumen. También se actualiza (enriquece) el contenido del subléxico, que se va construyendo para el perfil en cuestión, a partir de los componentes reconocidos dentro del documento analizado.
- 4) Se puntúan las frases obtenidas en el punto anterior, según una serie de reglas que tratan de evaluar el contenido informativo de las mismas.
- 5) A partir de las frases ya puntuadas se genera el texto del resumen

Probablemente el aspecto más importante del modo en que se hace aquí el resumen de un texto se basa en el uso de una gramática, para el análisis de los componentes funcionales de una oración. Con esto se consigue no solo reconocer el papel de cada término en la frase y discriminar las palabras que desempeñan una función “importante”, sino también asegurar que todo lo analizado “tiene sentido”.

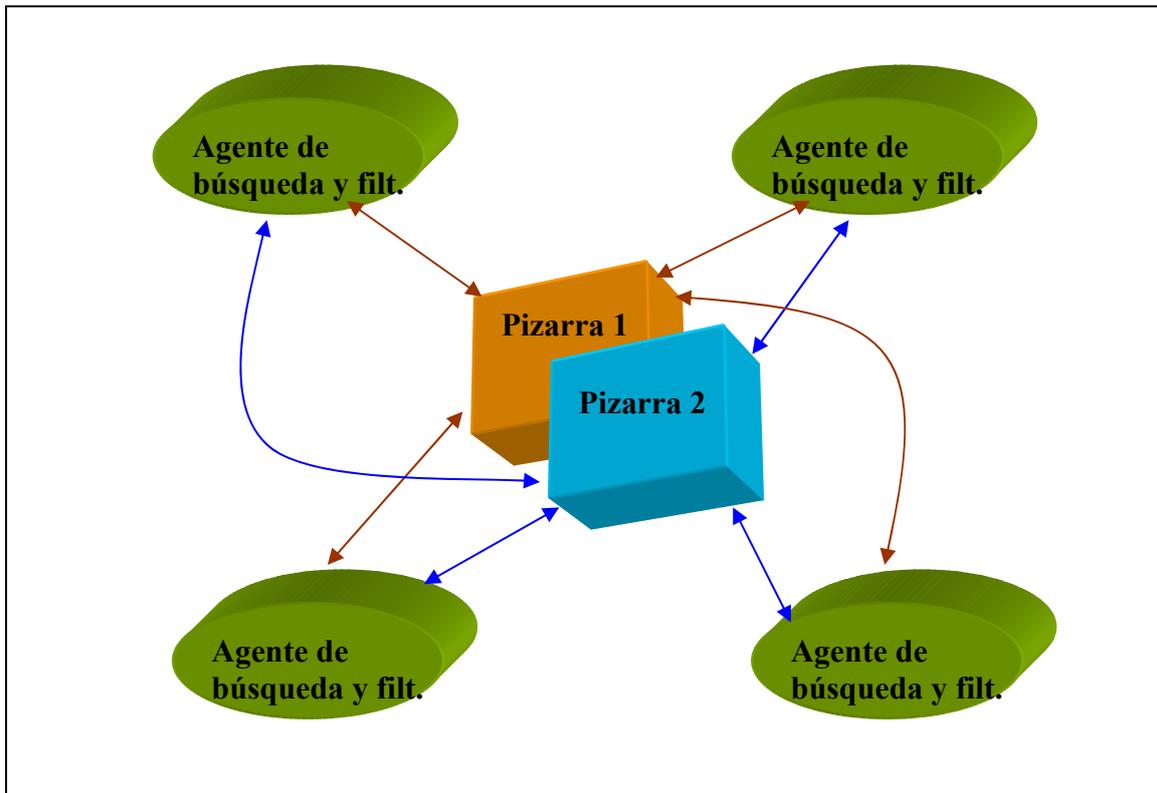
- 6) Gestión de la información del sistema

En este apartado se trata la forma en la que la información que maneja el sistema es almacenada y organizada. Entre dicha información se encuentra tanto las opciones de configuración del sistema, como los resultados obtenidos durante el proceso de búsqueda, resumen y recuperación de la información y la evaluación hecha por el usuario de los resultados obtenidos por el sistema.

Un requisito especialmente importante a la hora de gestionar la información del sistema consiste en la existencia de múltiples hebras de ejecución y de agentes que pueden intentar acceder de forma concurrente a los mismos datos. Se trata, por tanto, de asegurar la consistencia de los mismos, evitando, por ejemplo, que dos agentes o dos hebras modifiquen de forma simultánea un mismo dato.

En principio está previsto que en el sistema puedan operar varios agentes de búsqueda y filtrado de forma simultánea. Éstos, para que puedan funcionar eficientemente, deben intercambiar información, de forma que sea posible que un agente utilice resultados obtenidos por el resto de agentes del sistema. Así, por ejemplo, resulta muy interesante que uno de estos agentes pueda conocer qué enlaces han sido descubiertos por los demás. Con esto se podría evitar que se exploraran varias veces los mismos documentos, por parte de distintos agentes y que uno de éstos pueda analizar un documento cuya dirección ha sido descubierta por otro.

La forma más simple en la que esta información se comparte es por medio de la estructura de datos llamada pizarra o repositorio común de información al cual pueden acceder, de forma concurrente, un cierto conjunto de agentes. El hecho de que varios agentes puedan acceder a los contenidos de la pizarra al mismo tiempo exige unos ciertos mecanismos de control para evitar que se introduzcan inconsistencias.



Pizarras 1 y 2 compartidas por los agentes de búsqueda y filtrado. Las flechas indican el sentido del flujo de información (que en este caso es bidireccional entre agente y pizarra).

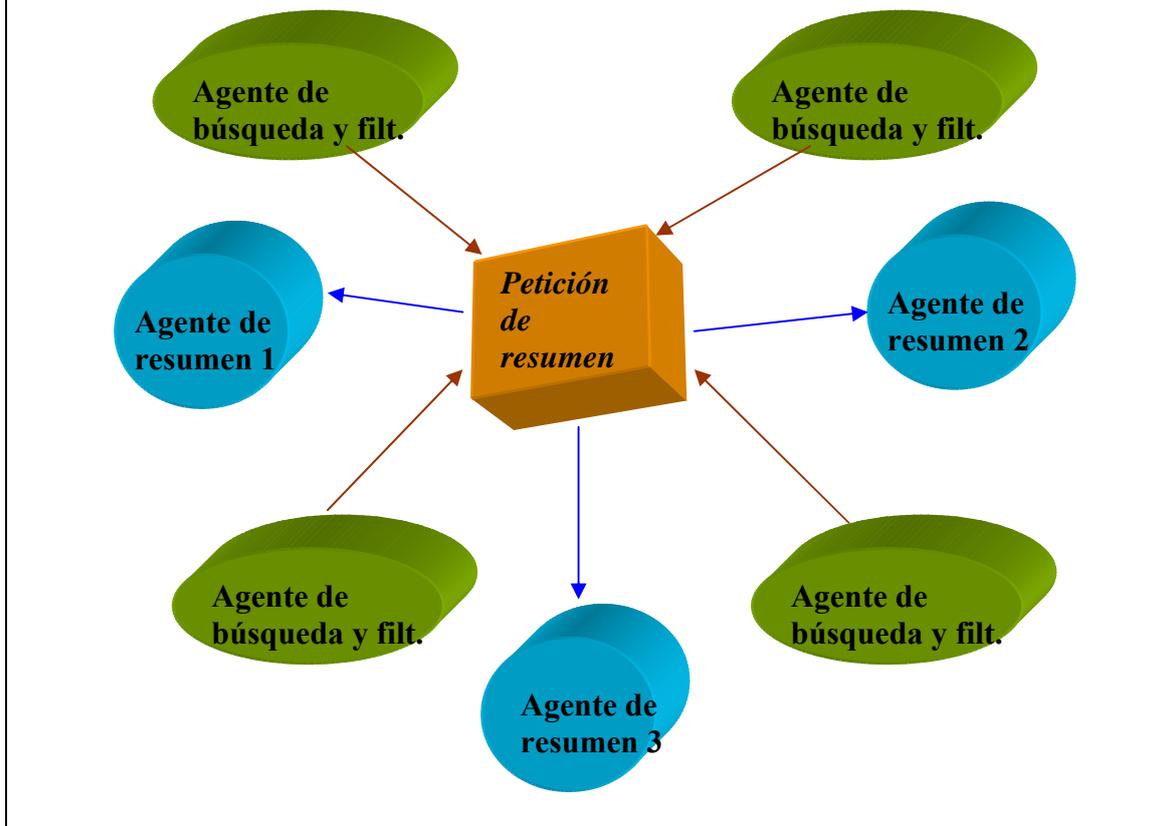
En concreto se utilizan tres pizarras distintas:

- una de ellas, sirve como repositorio común para los enlaces que los agentes de búsqueda han ido extrayendo de los buscadores de Internet (en el caso de que sea necesario consultarlos). Más específicamente, contienen las direcciones de nuevas consultas que se pueden hacer a los buscadores, para obtener más resultados de éstos.
- la segunda de las pizarras está destinada a contener las direcciones que identifican a los documentos que deben ser analizados por los agentes. Estas dos primeras pizarras sólo son compartidas por los agentes de

búsqueda (y filtrado)

- la tercera y última de las pizarras es aquella que sirve para la comunicación entre los agentes de búsqueda y de resumen. En ella los primeros, una vez que han identificado un cierto documento como “interesante a priori”, escriben una petición para que su contenido sea resumido por parte de algún agente de resumen. De esta última pizarra, por tanto, leen los agentes de resumen y los de búsqueda y filtrado sólo escriben en ella.

Un aspecto importante que debe tenerse en cuenta es que no hay ninguna limitación en cuanto al tiempo o el momento durante el cual pueden funcionar de forma paralela varios agentes. Éstos tienen una libertad prácticamente absoluta (supervisados siempre, pero de forma muy ligera, por el “agente de control”).

Pizarra 3**2.2.2 Pruebas**

Como ejemplo ilustrativo de la actividad de estos agentes mostraremos el comportamiento del sistema en captura de información y resúmenes sobre el tema "música clásica".

Definición del perfil "Música clásica": el primer paso que debe darse es definir un perfil de información que lo represente. Para ello bastará con elegir una serie de términos o palabras clave suficientemente representativas. En este caso se han elegido las siguientes palabras clave: *music, classical, concerto, opera, symphonic, tocata, cantata, sonata*

Como puede apreciarse, en este caso el número de palabras clave que sería posible definir es muy elevado. Se ha elegido un conjunto relativamente

pequeño, pero suficientemente representativo. En todo caso, el funcionamiento del sistema mejoraría aumentando el número de palabras clave que componen el perfil, lo que daría lugar a un filtrado aún más exacto. Para realizar la búsqueda y recopilación de información en esta prueba se ha elegido únicamente el uso de los servicios ofrecidos por los siguientes motores de búsqueda de Internet: *Yahoo, Google, Altavista, Lycos*.

En la primera búsqueda realizada se analizó un número relativamente pequeño de documentos (únicamente 50), a partir de los motores de búsqueda utilizados en este caso. Como era de esperar se obtuvieron tanto resultados correctos como incorrectos; a continuación se presentan algunos de éstos, junto al resumen que el sistema ha elaborado del mismo.

Se muestran algunos de los documentos recopilados que posteriormente serían evaluados como “interesantes” (esto es, que efectivamente se corresponden con el tema de la información que se quiere recopilar). En primer lugar se muestra el documento original completo, que es el que aparece a continuación, seguido por el resumen obtenido por el agente correspondiente. Los calificados como “no interesantes” permiten que la red neuronal mejore sus procesos futuros de búsqueda.

The Flying Inkpot

Reviews

Film

Classical Music

Theatre

Links

Zines

World News

Film Resources

Book Resource

Miscellaneous

Chantelle L'amour

Poetry Page

Letters Page

About The Inkpot

FUQ (Questions)

(Non)Updates

Masthead

Home

Johannes BRAHMS (1833-1897)



Violin Concerto in D major, op. 77
(with first movement cadenza by Vengerov)

Violin Sonata No. 3 in D minor, op. 108

MAXIM VENGEROV violin
Chicago Symphony Orchestra
conducted by **DANIEL BARENBOIM**
(piano)

TELDEC 0630-17144-2
[61:52] full-price

MORE VENGEROV

- [BRAHMS Violin Concerto, Violin Sonata No. 3](#) with the Chicago SO and Barenboim.
- [PROKOFIEV/SHOSTAKOVICH Violin Concertos No. 1](#) with the LSO and Rostropovich (Teldec).

PROKOFIEV

[an error occurred while processing this directive]

SHOSTAKOVICH

[an error occurred while processing this directive]

by **Derek Lim**

Interesting looking cover, I thought to myself as I went to test-drive this CD at Tower. Then I heard the gorgeous orchestral introduction to the Violin Concerto, and then the enervated playing, and the obvious musicality. After testing one or two other tracks, I decided to buy it.

What a rewarding purchase! The coupling may be odd (who has thought of doing such a programme before?) but ultimately very satisfying. Let's take a look at the Violin Concerto first. Barenboim starts the first movement with a simply gorgeous accompaniment (some may find it too gorgeous; I find it exquisite), with Brahmsian, rustling leaves in the strings. The view of the work is, not surprisingly for Barenboim, a full-blooded Romantic approach, hardly the lean approach espoused by Kremer or Harnoncourt. He finds his ideal collaborator in Vengerov; despite some places where Barenboim wants to linger on a phrase but Vengerov thinks it better to speed ahead, they fit hand-in-glove.



Vengerov (left) uses a 1723 Stradivarius in this recording, an instrument with a very lovely tone, and one which holds its own with his athletic style of performance. In terms of maturity of performance, Vengerov certainly acquits himself well; there is hardly a need to excuse him in this respect. Nevertheless there are spots where Barenboim's sure-footed experience in Brahmsian line and phrasing show Vengerov up a little, with a comparative lack of patience on Vengerov's side.

Vengerov's performance is itself passionate and with a touch of youthful abandon (sample the beginning of the last movement) which I find very attractive. He certainly turns a Brahmsian phrase well. Barenboim's conducting, as I said, is clear-headed and very creative as well (I defy you to listen to the last bit of the last movement and not smile afterwards!) The Chicago-ians prove themselves once again to be one of the world's greatest orchestras, very different from their Solti-era performances, with the emphasis now on the ensemble rather than solo parts (Bravo Barenboim!). Having said that, Alex Klein's second movement oboe solo is certainly marvelous, and very beautiful.

The duo of Barenboim and Vengerov pace the concerto expertly, and this performance is very high on my list. This is a wonderfully fresh performance, which I will return to very often, I suspect.

Some 31 opuses and eight years after the Violin Concerto is the Violin Sonata (1886). This is, as expected, given a very good performance as well. The view, shared apparently by the both musicians, is of an autumnal work, which bides well in the general placement of this sonata in Brahms' output (it ranks generally with the clarinet sonatas for example, as a late work). If sparks ever flew, they do here in the tempestuous last movement of the sonata, which in the delightful notes, was apparently too difficult for even Brahms and Joachim themselves when they tried to play it without rehearsal.



I once thought this sonata oblique and obtuse, which doesn't really work sometimes, but seen in the light of such an enervated, musically well-argued performance, with such frission, all doubts fly away. For those who really care about such things, the piano sound is well-balanced against that of the violin, making them equal (sparring?) partners from the outset. Playing is impeccable on Vengerov's side, and pacing is expert, with Vengerov using more portamento than in the violin concerto.

In sum, with music-making of such persuasion, I think that if you buy this CD (and I urge you to), you'll have many, many hours of delightful listening.



If you are in Singapore, this disc can be found at or ordered from Tower Records (Pacific Plaza & Suntec City), Borders (Wheelock Place), HMV (The Heeren), or Sing Discs (Raffles City).

B is for Bach and Beethoven, but mostly Brahms at the moment, for [Derek Lim](#)



[Click to Return to the Classical Index!](#)...
or [Visit the Inkvault archives!](#)

Add a comment to this article

465: 22.4.1999. up.29.5.1999 ©Derek Lim

Readers' Comments

From: [Juliane Boettger](#) (/ Sunday, January 2, 2000 at 20:46:24)

From: [Varun Ramdas](#) (rvarun@usa.net / Saturday, April 8, 2000 at 17:53:17)

GOOD!!! Very interesting article!

From: [Juliane Boettger](#) (juliane_boettger@gmx.de / Sunday, July 2, 2000 at 21:47:43)

RESUMEN

PERFIL: Classical music

TÍTULO: INKPOT#75 CLASSICAL MUSIC REVIEWS: BRAHMS Violin Concerto. Violin Sonata No.3. Vengerov/Chicago SO/Barenboim (Teldec)

URL: <http://www.inkpot.com/classical/brahmsvnconven.html>

Interesting looking cover, I thought to myself as I went to test-drive this CD at Tower. Then I heard the gorgeous orchestral introduction to the Violin Concerto, and then the enervated playing, and the obvious musicality. After testing one or two other tracks, I decided to buy it.

Vengerov (left) uses a 1723 Stradivarius in this recording, an instrument with a very lovely tone, and one which holds its own with his athletic style of performance. In terms of maturity of performance, Vengerov certainly acquits himself well;

Vengerov's performance is itself passionate and with a touch of youthful abandon (sample the beginning of the last movement) which I find very attractive. He certainly turns a Brahmsian phrase well. Barenboim's conducting, as I said, is clear-headed and very creative as well (I defy you to listen to the last bit of the last movement and not smile afterwards!) The Chicago-ians prove themselves once again to be one of the world's greatest orchestras, very different from their Solti-era performances, with the emphasis now on the ensemble rather than solo parts (Bravo Barenboim!). Having said that, Alex Klein's second movement oboe solo is certainly marvelous, and very beautiful.

I once thought this sonata oblique and obtuse, which doesn't really work sometimes, but seen in the light of such an enervated, musically well-argued performance, with such frission, all doubts fly away.

This article absolutely describes my own opinion!

Maxim Vengerov plays the concerto simply heavenly!

His interpretation is full of colours and very exciting!

I think Maxim Vengerov and Daniel Barenboim are a wonderful "pair".

This article also has a very charming style.

Music Reviews

Nótese cómo el resumen ha sido elaborado a partir del cuerpo central de texto del documento, dejando de lado el resto de elementos que lo forman

(como menús, enlaces a otras páginas, etc).

La primera parte de otro documento original (no se incluye en su totalidad, por ser demasiado extenso) es el siguiente:



Música checa clásica

TIENDA DE CD

TIENDA DE HOJAS MUSICALES

 ENGLISH
  DEUTSCH
  FRANÇAIS
  ČESKY

 SU CANASTA DE COMPRA

 SU PÁGINA PERSONAL DE ENTRADA

 CÓMO COMPRAR

 SISTEMA DE DESCUENTOS

 SEGURIDAD

 PROTECCIÓN DE LA PRIVACIDAD

Buscar en el catálogo

BUSCA

Buscar en el catálogo de CD
 Buscar en el catálogo de hojas musicales

Selección principal

[Música de Navidad](#)
[Compositores checos](#)
[Otros compositores](#)
[Antología y recitales](#)
[Nuevos títulos](#)
[Index](#)

Compositores checos

[Bachorek Milan](#) (*1939)
[Barton Hanus](#) (*1960)
[Benda Frantisek](#) (1709-1786)
[Benda Jan Jiri](#) (1713-1752)
[Benda Jiri Antonin](#) (1722-1795)
[Biber Heinrich I. Franz](#) (1644-1704)
[Bittmar Zbysek](#) (*1934)
[Blodek Vilem](#) (1834-1874)
[Bodorova Sylvie](#) (*1954)
[Borkovec Pavel](#) (1894-1972)
[Borovy Anton](#) (1755-1832)
[Bridi Frantisek Xaver](#) (1732-1771)
[Burghauser Jarmil](#) (1921-1997)
[Cari Jiri](#) (1708-1778)
[Cernohorsky Bohuslav Matej](#) (1684-1742)
[Drdla Frantisek](#) (1868-1944)
[Druzecky Jiri](#) (1745-1819)
[Dukat Josef Leopold Vaclav](#) (1684-1717)
[Dusik\(Dussek\) Jan Lad.](#) (1760-1812)
[Dvorak Antonin](#) (1841-1904)
[Eben Petr](#) (*1929)
[Feld Jindrich](#) (*1925)
[Fiala Josef](#) (1748-1816)
[Fiala Petr](#) (*1943)
[Fibich Zdenek](#) (1850-1900)
[Fischer Jan F.](#) (*1921)
[Fiser Lubos](#) (1935-1999)
[Foerster Josef Bohuslav](#) (1859-1951)
[Friml Rudolf](#) (1879-1972)
[Fucik Julius](#) (1872-1916)
[Gebauer Adolf](#) (*1941)
[Haas Pavel](#) (1899-1944)
[Haba Alois](#) (1893-1973)
[Hanus Jan](#) (*1915)
[Harant Krystof](#) (1564-1621)
[Hasler Karel](#) (1879-1941)
[Hassler Hans Leo](#) (1564-1612)
[Havelka Svatopluk](#) (*1925)
[Holan Rovensky Vaclav Karel](#) (1644-

Antonin Dvorak (1841-1904)

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 [Página siguiente](#)



1. Te Deum, Op. 103
2. American Suite, Op. 98b
3. Old Folks at Home
4. The American Flag, Op. 102
Eva Urbanova - soprano (1, 3), Roman Janal - baritone (1, 3), Drahomira Drobkova - alto (4), Leo Marian Vodicka - tenor (4), Milan Burger - bass (4)
Prague Philharmonic Choir, Pavel Kuhn
Prague Radio Symphony Orchestra, Vladimir Valek
 1 CD Clarton

SU CESTA DE COMPRA

Precio: US\$ 10.90

[Vea la información completa acerca de este título](#)



2 Waltzes, Op. 54
Skampa Quartet
 1 CD Supraphon

SU CESTA DE COMPRA

Precio: US\$ 11.90

[Vea la información completa acerca de este título](#)



4. Slavonic Dance No. 3
5. Slavonic Dance No. 12
6. Slavonic Dance No. 15
7. Legend No. 4 in C major
8. Humoresque
9. Hell's Dance from the opera Kate and the Devil
Prague Castle Guard and Police Wind Orchestra, Miroslav Hanzal (2, 6, 10, 11, 14, 15) / Libor Krmasek (1, 3, 5, 7, 9) / Rudolf Fyrdal (4, 8, 12, 13)
 1 CD Edit

SU CESTA DE COMPRA

Precio: US\$ 10.90

[Vea la información completa acerca de este título](#)



Armida
M. Subrtova, Z. Otava, I. Zidek etc
Prague Radio Chorus, Prague Radio Symphony Orchestra, V. Jiracek
World premiere on CD
 3 CD Multisonic

SU CESTA DE COMPRA

Precio: US\$ 26.90

[Vea la información completa acerca de este título](#)



Ave Maria
Petr Hlavaty - singing
Zuzana Nemeckova - organ
 1 CD MPAC

SU CESTA DE COMPRA

Precio: US\$ 9.90

[Vea la información completa acerca de este título](#)



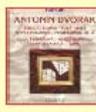
Biblical Songs
Eduard Haken - bass
Martin Gotthard Schneider - organ improvisations
 1 CD Rosa

SU CESTA DE COMPRA

Precio: US\$ 10.90

[Vea la información completa acerca de este título](#)

E-LEARNING INTELIGENTE:
UN INSTRUMENTO PARA LA FORMACIÓN PERMANENTE

<p>1717)</p> <p>Hurvík Ilja (*1922)</p> <p>Hurvík Lukáš (*1967)</p> <p>Husá Karel (*1921)</p> <p>István Miloslav (1928-1990)</p> <p>Janáček Leoš (1854-1928)</p> <p>Ježek Jaroslav (1906-1942)</p> <p>Jiráek Karel Boleslav (1891-1972)</p> <p>Jirasek Jan (*1955)</p> <p>Kabelac Miloslav (1908-1979)</p> <p>Kalabis Viktor (*1923)</p> <p>Kapralova Vitezslava (1915-1940)</p> <p>Karel Rudolf (1880-1945)</p> <p>Klein Gideon (1919-1945)</p> <p>Klicka Josef (1855-1937)</p> <p>Klusak Jan (*1934)</p> <p>Kodaly Zoltan (1882-1967)</p> <p>Kopelent Marek (*1932)</p> <p>Kopriva Karel Blazej (1756-1785)</p> <p>Korte Oldrich Frantisek (*1926)</p> <p>Kovarovic Karel (1862-1920)</p> <p>Kozeluh Leopold Antonin (1747-1818)</p> <p>Kraft Antonin (1749-1820)</p> <p>Kramar(Krummer) Frantisek (1759-1831)</p> <p>Krasa Hans (1899-1944)</p> <p>Kreeek Jaroslav (*1939)</p> <p>Krumpholtz Jan Krtitel (1747-1790)</p> <p>Kubelik Jan (1880-1940)</p> <p>Kubelik Rafael (1914-1996)</p> <p>Kuchar Jan Krtitel Josef (1751-1829)</p> <p>Kukal Ondrej (*1964)</p> <p>Kurz Ivan (*1947)</p> <p>Linek Jiri Ignac (1725-1791)</p> <p>Lokaj Jakub (1752-?)</p> <p>Loudova Ivana (*1941)</p> <p>Lucky Stepan (*1919)</p> <p>Lukas Zdenek (*1928)</p> <p>Macha Otmar (*1922)</p> <p>Mahler Gustav (1860-1911)</p> <p>Martinu Bohuslav (1890-1959)</p> <p>Masek Vincenc (1755-1831)</p> <p>Mateju Zbynek (*1958)</p> <p>Matousek Lukas (*1943)</p> <p>Mica Frantisek Adam Jan (1746-1811)</p> <p>Mica Frantisek Vaclav (1694-1744)</p> <p>Michna Adam Vaclav (1600-1676)</p> <p>Musil Frantisek (1852-1908)</p> <p>Myslivecek Josef (1737-1781)</p> <p>Nedbal Oskar (1874-1930)</p> <p>Novak Jan (1921-1984)</p> <p>Novak Roman Zdenek (*1967)</p> <p>Novak Vitezslav (1870-1949)</p> <p>Nudera Vojtech (1748-1811)</p> <p>Ostrcil Otakar (1879-1935)</p> <p>Pichl Vaclav (1741-1805)</p> <p>Planicky Josef Antonin (1691-1732)</p> <p>Pokorny Petr (*1932)</p> <p>Pudlak Miroslav (*1961)</p> <p>Raichl Miroslav (1930-1998)</p> <p>Rak Stepan (*1945)</p> <p>Rejcha Antonin (1770-1836)</p> <p>Rejcha Josef (1681-1767)</p> <p>Reznicek Petr (*1938)</p> <p>Richter Frantisek Xaver (1709-1789)</p> <p>Ropek Jiri (*1922)</p> <p>Rossler-Rosetti Frantisek (1746-1792)</p> <p>Ryba Jakub Simon Jan (1765-1815)</p> <p>Rybar Jaroslav (*1942)</p> <p>Rychlik Jan (1916-1964)</p> <p>Schulhoff Ervin (1894-1942)</p>	<div data-bbox="558 190 1340 369">  <p>Biblical Songs Gypsy Songs Three Modern Greek Poems <i>Ivan Kusnyer - baritone</i> <i>Marian Lapsansky - piano</i> 1 CD Supraphon Vea la información completa acerca de este título</p> <p> SU CESTA DE COMPRA</p> <p>Precio: US\$ 11.90</p> </div> <hr/> <div data-bbox="558 392 1340 548">  <p>Biblical Songs [Biblicke pisne], Op. 99 <i>Marta Krasova - alto, Vaclav Bednar - barytone</i> <i>Prague Radio Symphony Orchestra, Alois Klima</i> <i>Recorded in 1946</i> 1 CD Cesky rozhlas Vea la información completa acerca de este título</p> <p> SU CESTA DE COMPRA</p> <p>Precio: US\$ 9.90</p> </div> <hr/> <div data-bbox="558 571 1340 795">  <p>Biblical Songs, Op. 99 Gypsy Songs, Op. 55 Evening Songs, Op. 3 Love Songs, Op. 83 <i>Vera Soukupova - contraalto, Beno Blachut - tenor, Jindrich Jirak - baritone</i> <i>Ivan Moravec, Alfred Holecek, Ferdinand Pohltreich - pianos</i> 1 CD Supraphon Vea la información completa acerca de este título</p> <p> SU CESTA DE COMPRA</p> <p>Precio: US\$ 11.90</p> </div> <hr/> <div data-bbox="558 817 1340 1041">  <p>Biblical Songs, Op. 99 Four Songs to Words by Gustav Pfleger-Moravsky, Op. 2 In Folk Tone, Op. 73 Gypsy Songs, Op. 55 <i>Olga Stepanova - mezzosoprano</i> <i>Frantisek Maly - piano</i> 1 CD Panton Vea la información completa acerca de este título</p> <p> SU CESTA DE COMPRA</p> <p>Precio: US\$ 10.90</p> </div> <hr/> <div data-bbox="558 1064 1340 1220">  <p>Biblical Songs, Op. 99 Gypsy Melodies, Op. 55 <i>Eva Urbanova - soprano</i> <i>J. Pokorny - piano</i> 1 CD GZ Vea la información completa acerca de este título</p> <p> SU CESTA DE COMPRA</p> <p>Precio: US\$ 10.90</p> </div> <hr/> <div data-bbox="558 1243 1340 1400">  <p>Biblical Songs, Op. 99 Three Spiritual Songs, Op. 19b <i>Virginie Walter - mezzo-soprano</i> <i>Karel Hron - organ</i> 1 CD Panton Vea la información completa acerca de este título</p> <p> SU CESTA DE COMPRA</p> <p>Precio: US\$ 10.90</p> </div> <hr/> <div data-bbox="558 1422 1340 1624">  <p>Carnival, Op. 92 Humoresque No. 7 in G flat major, Op. 101 Slavonic Dance No. 15 in C major <i>Ivan Zenaty - violin (A Fairy Tale)</i> <i>Prague Philharmonic Orchestra, Bohumil Kulinsky / Vaclav Smetacek (Humoresque)</i> 1 CD Multisonic Vea la información completa acerca de este título</p> <p> SU CESTA DE COMPRA</p> <p>Precio: US\$ 10.90</p> </div> <hr/> <div data-bbox="558 1646 1340 1713">  <p>Cello Concerto in B minor, Op. 104 <i>Miroslav Petras - cello</i></p> <p> SU CESTA DE COMPRA</p> </div>
--	---

El resumen del anterior documento elaborado por el sistema es el que a

continuación se muestra:

RESUMEN
PERFIL: Classical music
TÍTULO: Antonin Dvorak - Venta de CD Musica Bona
URL: http://www.czechmusic.com/store5/~dvorak01.html
<p>Hell's Dance from the opera Kate and the Devil Prague Castle Guard and Police Wind Orchestra, Miroslav Hanzal (2, 6, 10, 11, 14, 15) / Libor Krmasek (1, 3, 5, 7, 9) / Rudolf Rydval (4, 8, 12, 13) 1 CD Edit Vea la información completa acerca de este título</p> <p>99 Marta Krasova - alto, Vaclav Bednar - barytone Prague Radio Symphony Orchestra, Alois Klima Recorded in 1946 1 CD Cesky rozhlas Vea la información completa acerca de este título</p> <p>Complete Chamber Works Panocha Quartet, Suk Trio, Josef Suk, Guarneri Trio Prague, etc.</p>

En este ejemplo vemos cómo de nuevo el resumen se forma únicamente a partir de las oraciones en inglés reconocidas correctamente (total o parcialmente), desechándose el resto del texto si se encuentra en cualquier otro idioma.

Ahora el documento original completo es:

The screenshot shows the AltaVista search results page for the query 'Armiliato, Fabio'. The page features a navigation bar with options like 'Search Home', 'Comparison Shop', 'Channels', 'Rewards', and 'Email & Tools'. A prominent banner at the top offers 'Find: A Loan for Me' with buttons for 'Refinancing', 'Second Mortgage', and 'Debt Consolidation'. Below this is a search bar with the query 'Armiliato, Fabio' and a 'Search' button. The results section is titled 'EXPLORE THE WEB' and lists three main links: 'Armiliato, Fabio - Official Homepage', 'Armiliato, Fabio - SF Opera Biography', and 'Armiliato, Fabio - Musichase'. Each link is accompanied by a brief description. On the right side, there are several promotional banners, including 'THE intelligent CHOICE FOR:' with links to business listings, city guides, and shopping guides; 'SMARTpages.com' with a search bar; 'eBay' with a link to find computers, toys, music, and collectibles; and 'looksmart Quality Content'. At the bottom, there is a footer with links for 'About AltaVista', 'Terms of Use', 'Privacy Policy', 'Help', 'Contact us', 'Text Only', 'Submit a Site', 'Advertise With Us', 'Jobs', 'List Your Products', and 'A CMGI Company'. The copyright notice states '© 2000 AltaVista Company'.

El resumen elaborado por el sistema es el que se muestra a continuación:

RESUMEN**PERFIL:** Classical music**TÍTULO:** AltaVista - Web Directory Results**URL:**http://jump.altavista.com/dir_topic.go?Entertainment/Arts_.26_Culture/Classical_Music/Vocal_Artists/Armiliato.2c_Fabio

Bilingual guide to this notable Italian tenor contains a biography, a collection of reviews, and a concert schedule.

Artist biography provided by the San Francisco Opera profiles this young Italian tenor.

Se muestra aquí nuevamente el resultado obtenido al tratar un documento de pequeño tamaño, con poco contenido textual.

b) Resultados incorrectos (documentos “no interesantes”)

Aquí se muestran algunos de los documentos recopilados por el sistema, pero que sin embargo no se correspondían con el tema definido por el perfil “música clásica”. Todos ellos han sido obtenidos, de nuevo, a través de los servicios ofrecidos por los diversos motores de búsqueda utilizados. Una buena parte de ellos se encuentran referidos a temas musicales, pero no relacionados con la música clásica. Por el contrario, otras páginas se refieren a temas que no tienen ninguna relación con la música, siendo su única relación con el perfil “Música clásica” el contener alguno de los términos clave que lo componen. Esto muestra la escasa selectividad de los motores de búsqueda a la hora de realizar búsquedas de información

El documento completo original es el siguiente:

BARRINGTON ATLAS *of the* GREEK AND ROMAN WORLD

Detail from Map 44,
"Latium - Campania"
showing Rome and environs
including Ostia and Portus.

Copyright 2000, Princeton University
Press

The *Barrington Atlas*, created by the Classical Atlas Project, is a reference work of permanent value. It has an exceptionally broad appeal to everyone worldwide with an interest in ancient Greeks and Romans, the lands they penetrated, and the peoples and cultures they encountered in Europe, North Africa and Western Asia. Scholars and libraries should all find it essential, although it is not just for them. It is also for students, travelers and lovers of fine cartography.

For the new millennium the *Barrington Atlas* brings the ancient past back to life in an unforgettably vivid and inspiring way.

The atlas was published in September 2000; pre-publication orders are already being shipped. You can read more about the publication, or **reserve your copy on-line now**, on Princeton University Press' [Barrington Atlas page](#). NB: the pre-publication price has been extended until 30 November 2000.

Frequently asked questions (FAQ) about use of the *Barrington Atlas*

The [Ancient World Mapping Center](#) has started a set of answers to frequently asked questions about using the atlas and its accompanying *Map-by-Map Directory*. Please review the FAQ at <http://www.unc.edu/depts/awmc/bafaq.html> before contacting us with questions, thereby improving our ability to respond quickly to new questions and concerns.

Comments, suggestions and critiques related to the *Barrington Atlas*?

Please check back at this address later in October 2000. The [Ancient World Mapping Center](#) (successor to the atlas project) is developing a web site to collect your comments and suggestions, and to field notices from scholars and the public about new discoveries and updated findings. This system will make it much easier to help us respond quickly and effectively to your concerns.

More About the *Atlas* and the Atlas Project:

[Latest News](#) (updated: 21 September 2000)
The latest reports from the project and what's new on the web site.

[Overview](#)
An introduction to the Classical Atlas Project and a list of frequently asked questions (FAQ).

[Background](#)
A list of useful classical history and map sites and a bibliography relating to the project.

[Locator Map, Layout & Map Order](#)
A graphical overview and annotated list of all the maps in the *Atlas*.

[Examples](#)
A sample from a map, the key for all the maps, and examples of an introduction to a map, a map's directory, and a map's bibliography from the directory.

[Credits](#) (updated: 13 September 2000)
The people and organizations behind the Classical Atlas Project and this web site.

[Awards & Kudos](#)
Organizations that have recommended or recognized this web site.

This site is copyrighted: © 1996-2000, The Classical Atlas Project. Pages last updated: 20 October 2000. Server space is provided by the [University of North Carolina at Chapel Hill](#). Please email suggestions or questions to us at mailto:classical_atlas@unc.edu?subject='atlas_web_site_suggestion'. Thank you.

This site employs cascading style sheets for some of its formatting. It has been tested with, and found to display properly in, the following web browsers: Internet Explorer, version 5.x and Netscape, version 4.x.

The pages that comprise this site include metadata to facilitate indexing, classification and searching, drawn from the [Dublin Core Element Set](#). The [Nordic Metadata Project's Dublin Core Generator](#) (DC-dot) was used to generate the tags.



El resumen que el sistema ha hecho del documento es el siguiente:

RESUMEN

PERFIL: Classical music

TÍTULO: Classical Atlas Project

URL: http://www.unc.edu/depts/cl_atlas

The Barrington Atlas, created by the Classical Atlas Project, is a reference work of permanent value.

It has an exceptionally broad appeal to everyone worldwide with an interest in ancient Greeks and Romans, the lands they penetrated, and the peoples and cultures they encountered in Europe, North Africa and Western Asia.

The atlas was published in September 2000;
pre-publication orders are already being shipped.

You can read more about the publication, or reserve your copy on-line now, on Princeton University Press' Barrington Atlas page.

Frequently asked questions (FAQ) about use of the Barrington Atlas

The Ancient World Mapping Center has started a set of answers to frequently asked questions about using the atlas and its accompanying Map-by-Map Directory.

The Ancient World Mapping Center (successor to the atlas project) is developing a web site to collect your comments and suggestions, and to field notices from scholars and the public about new discoveries and updated findings.

More About the Atlas and the Atlas Project:

Overview An introduction to the Classical Atlas Project and a list of frequently asked questions (FAQ).

This site is copyrighted:

Como puede verse el contenido del documento no tiene ninguna relación con el perfil "Música clásica", sino que sólo contiene algunos (no todos) de los términos clave que lo forman (especialmente el término *classical*).

En esta otra ocasión el comienzo del documento original (demasiado extenso para poder ser aquí mostrado) es:

Classical Electrodynamics Message Board

This message board is primarily intended for Physics students who are taking a course in Electricity and Magnetism at the [University of Tennessee](#). It will hopefully facilitate discussions on the subject as well as teaching issues. If you wish to participate, you may [post a message](#). Inappropriate messages will be removed by [me](#).

<http://enigma.phys.utk.edu/cgi-bin/ph541-2/wwwadmin.pl>

<http://enigma.phys.utk.edu/cgi-bin/ph541-2/wwwadmin.pl> **Maintained by: George Siopsis**

If you have any questions, please send a message to gsiopsis@utk.edu

- [Please Help!](#) - **Antonio** 11:53:41 6/29/99 (0)
- [Antigravity](#) - **Joshua Gulick** 05:17:33 4/25/99 (1)
 - [Re: Antigravity](#) - **Albert Kong** 12:29:03 6/10/99 (0)
- [Griffiths](#) - **Renee** 17:06:28 4/21/99 (0)
- [Solutions!!!!](#) - **ags** 17:52:26 4/05/99 (3)
 - [Re: Solutions!!!!](#) - **izzet sakalli** 18:15:59 5/04/99 (0)
 - [Re: Solutions!!!!](#) - **Renee** 17:02:51 4/21/99 (0)
 - [Re: Solutions!!!!](#) - **Renee** 17:02:29 4/21/99 (0)
- [Jackson 2nd Edition "Classical Electrodynamics" Solutions](#) - **Michael Hall** 17:18:04 3/05/99 (13)
 - [Re: Jackson 2nd Edition "Classical Electrodynamics" Solutions](#) - **sohrab hossain** 10:15:54 9/30/99 (0)
 - [Re: Jackson 2nd Edition "Classical Electrodynamics" Solutions](#) - **rahmi unalan** 07:07:29 9/29/99 (1)
 - [Re: Jackson 2nd Edition "Classical Electrodynamics" Solutions](#) - **TOLGA TASCI** 08:51:00 10/11/99 (0)
 - [Re: Jackson 2nd Edition "Classical Electrodynamics" Solutions](#) - **Jose Manuel Lara Bauche A.** 03:52:40 9/17/99 (0)
 - [Re: Jackson 2nd Edition "Classical Electrodynamics" Solutions](#) - **victor vasquez** 18:11:15 9/13/99 (0)
 - [Re: Jackson 2nd Edition "Classical Electrodynamics" Solutions](#) - **Carlos Alberto Pelaez Ayala** 14:53:51 9/09/99 (2)
 - [Re: Jackson 2nd Edition "Classical Electrodynamics" Solutions](#) - **huseyin kurt** 07:08:48 9/29/99 (0)
 - [Re: Jackson 2nd Edition "Classical Electrodynamics" Solutions](#) - **Jandir J. P. Sobrinho** 12:06:26 9/21/99 (0)
 - [Re: Jackson 2nd Edition "Classical Electrodynamics" Solutions](#) - **Carlos Alberto Pelaez Ayala** 14:48:54 9/09/99 (0)
 - [Re: Jackson 2nd Edition "Classical Electrodynamics" Solutions](#) - **Nicki** 21:23:54 3/30/99 (3)
 - [Re: Jackson 2nd Edition "Classical Electrodynamics" Solutions](#) - **Joel Trudeau** 02:17:08 6/12/99 (1)

- [Re: Jackson 2nd Edition "Classical Electrodynamics" Solutions - T.S. Ray 13:03:18 6/14/99 \(0\)](#)
[Re: Jackson 2nd Edition "Classical Electrodynamics" Solutions - Joel](#)

El resumen elaborado a partir del documento anterior se muestra a continuación:

RESUMEN
<p>PERFIL: Classical music</p> <p>TÍTULO: Classical Electrodynamics Message Board</p> <p>URL: http://enigma.phys.utk.edu/ph541-2/wwwboard/index.html</p>
<p>This message board is primarily intended for Physics students who are taking a course in Electricity and Magnetism at the University of Tennessee.</p> <p>Inappropriate messages will be removed by me.</p> <p>Insulators materials and how affect heat.</p> <p>About The online test - Chad Malott 22:50:10 10/21/97 (1)</p> <p>About The online test - leung 01:14:48 2/10/98 (0)</p> <p>homework and upcoming test!</p> <p>homework and upcoming test!</p> <p>I found a couple...http://cerberus.phys.uri.edu/~edward/physics.html - dan prater 22:12:33 2/14/99 (0)</p> <p>Scripts and WWWBoard created by Matt Wright and can be found at Matt's Script Archive.</p>

En este caso la propia estructura del documento (formado básicamente por una mera colección de enlaces) es la que motiva problemas al realizar el resumen y hace que éste sea muy difícil de obtener.

c) Resultados una vez realizado el entrenamiento

En la segunda búsqueda realizada, después de realizar la clasificación de

los resultados anteriores, los documentos obtenidos ya se encontraban más acordes con el tema de la música clásica. Sólo permanecían algunos resultados incorrectos, los cuales al realizar una nueva clasificación de los mismos (al indicar al sistema que dichas páginas no eran “interesantes”) fueron solventados, de modo que en posteriores búsquedas ya la corrección es prácticamente total. A continuación se muestran algunos de los resultados obtenidos durante esta segunda búsqueda, junto con los resúmenes confeccionados a partir de los mismos. El resumen elaborado por el sistema sobre el texto original es el siguiente:

RESUMEN
PERFIL: Classical music TÍTULO: Classical Electrodynamics Message Board URL: http://enigma.phys.utk.edu/ph541-2/wwwboard/index.html
<p>The opening concert will be A Bernstein Remembrance, marking the tenth anniversary of Leonard Bernstein's death.</p> <p>This concert is especially meaningful to me as Bernstein has always been a great inspiration and, along with Georg Solti, was one of my primary mentors.</p> <p>Many people said they wanted to hear more of these wonderful voices;</p> <p>I will give the pre-concert lecture this time and offer my perspective on Leonard Bernstein.</p> <p>Stanley Sperber, Music Director of the Haifa Symphony (which I conducted last year), our own Assistant Conductor Scott Parkman, and Kay George Roberts, who has worked with me at the GATEWAYS Music Festival at the Eastman School of Music.</p> <p>It should be helpful as I plan our next ten years.</p>

El documento completo original es el que se muestra a continuación:

**OAKLAND
EAST BAY
SYMPHONY**

Michael Morgan
Music Director

[Main Page](#)

[Email](#)

400 - 29th Street
Suite 501
Oakland CA
94609

ph 510-444-0801
fx 510-444-0863

Dear Friends,

Please join me for the 2000-2001 season, the start of my second decade with Oakland East Bay Symphony!

Once again, the orchestra will perform six concerts on Friday nights at the historic Paramount Theatre in Oakland, starting in November. The opening concert will be *A Bernstein Remembrance*, marking the tenth anniversary of Leonard Bernstein's death. This concert is especially meaningful to me as Bernstein has always been a great inspiration and, along with Georg Solti, was one of my primary mentors. The first half of the program will be all-Bernstein; the second half is the incomparable Mozart *Requiem*, featuring three soloists you heard last November in the final movement of Beethoven's Ninth. Many people said they wanted to hear more of these wonderful voices; you'll get that chance this November. I will give the pre-concert lecture this time and offer my perspective on Leonard Bernstein.



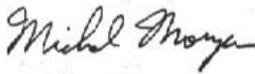
In January, we'll introduce a unique feature: the appearance of guest conductors on some of next season's programs. During the 2000-01 season, I will conduct three of the concerts, and the other three will feature exciting conductors I greatly admire: Stanley Sperber, Music Director of the Haifa Symphony (which I conducted last year), our own Assistant Conductor Scott Parkman, and Kay George Roberts, who has worked with me at the GATEWAYS Music Festival at the Eastman School of Music. I'll be present at all of these concerts to introduce these wonderful conductors and to experience - along with you - someone else on the podium. I'm very excited that, after ten years, I'm getting the opportunity to hear the orchestra from your perspective in the house. It should be helpful as I plan our next ten years.



Two of our concerts this season showcase talented young musicians. In February, on our "Side-by-Side" program, which I'll conduct, we'll be joined for one piece (Liszt's *Les Preludes*) by the Oakland Youth Orchestra. There is an excitement in listening to young people discover that they can tackle challenging and exacting music that simply can't be duplicated; you have to experience it in person. In March, the winner of our Young Artist Competition will perform a concerto with the orchestra - your chance to catch a rising young star perform with Oakland East Bay Symphony.

I'm very excited about the 2000-01 season and look forward to experiencing it with you.

With warm regards,



Michael Morgan

Education

Michael

Classic

Ticket

Para el documento original que se adjunta seguidamente:



Welcome to the website of the Vancouver Cantata Singers!

[The Choir](#)

[Recordings](#)

[Past Concerts](#)

[The Society](#)

[Corporate
Sponsors](#)

[E-News List](#)

[Tickets](#)



We have a new music director!

Peter Butterfield has recently been appointed music director of the Vancouver Cantata Singers. He will take over the post in September, 2001. Montreal-based conductor Wayne Riddell is acting as guest conductor for the 2000/2001 season. Read about Peter [here](#). Read about Wayne [here](#).

Our 2000/2001 Season

We'll be presenting the following concerts this season:

Music of the German Romantics

- Brahms: Four Songs for Women, with harp and french horn
- Schubert: Serenade for Men with mezzo soloist and piano
- Rheinberger: Cantus Missae, Opus 109
- four of Brahms' Quartets, Opus 52
- Mendelssohn: 8-part Sanctus

Saturday, October 28th at 8 pm: St. John's Shaughnessy

Sunday, October 29th at 3 pm: West Vancouver United Church

Handel's Messiah

- with Karina Gauvin, Daniel Taylor, Nils Brown, William Sharp and the Pacific Baroque Orchestra

Saturday, December 16th, 2000, at 7:30 pm: Orpheum Theatre

Sunday, December 17th, 2000, at 3 pm: Orpheum Theatre

Spanish Explorations, with the Vancouver Guitar Quartet

- Music of Spain and South America, Baroque to contemporary
- Morales: Magnificat
- Mompou: Cantar del Alma
- Rodrigo: Cantan por Belen Pastores
- Castelnuovo Tedesco: Romancero Gitano
- Berger: Brazilian Psalm
- Casals: O Vos Omnis
- and more.....

Saturday, March 31st, 2001, at 8 pm: St. John's, Shaughnessy

Sunday, April 1st, 2001, at 3 pm: West Vancouver United Church

News

- Welcome to our site! We're always interested in your comments and concerns, so please be in touch with us at dpwell@yahoo.com !
- Our [e-news list](#) can remind you of upcoming VCS events!

se muestra a continuación el resumen elaborado:

RESUMEN
PERFIL: Classical music TÍTULO: Vancouver Cantata Singers OnLine! URL: http://www.cantata.org
<p>We have a new music director!</p> <p>Peter Butterfield has recently been appointed music director of the Vancouver Cantata Singers.</p> <p>Montreal-based conductor Wayne Riddell is acting as guest conductor for the 2000/2001 season.</p> <p>We'll be presenting the following concerts this season:</p> <p>We're always interested in your comments and concerns, so please be in touch with us at dpwell@yahoo.com !</p>

Puede apreciarse que sólo aparecen frases correctamente construidas (con sujeto y predicado) en el comienzo del documento. Por ello, esta es la parte del mismo que es reconocida por agente encargado del resumen, por lo que el resumen está formado básicamente por estas oraciones.

d) Valoración de las pruebas

- El comportamiento del sistema es correcto incluso cuando el número de términos clave es reducido (como ocurre en los ejemplos mostrados en este artículo).
- El filtrado se adapta muy rápidamente al comportamiento esperado (basta con catalogar un número cercano a los 20 documentos para que los

resultados obtenidos correctos sean mayoritarios).

- El resumen de información parece ser más correcto cuanto mayor es el tamaño del texto. Además, la coherencia y consistencia de éste depende en gran medida de la estructura del documento original. Así, por ejemplo, son muy usuales las páginas WWW que consiste meramente en una colección a enlaces a otras páginas, careciendo de cualquier otro contenido textual (con lo que la elaboración automática de un resumen resulta especialmente complicado).
- Al realizar el resumen, efectivamente, sólo se incluyen en él oraciones con sentido. Esto permite, por ejemplo, evitar insertar palabras que aparecen de forma aislada, sin formar parte de una oración (formando parte de un menú que da acceso a otros documentos, de enlaces a otras páginas, etc.).
- Como era de esperar, el sistema, a la hora de realizar el resumen de los documentos encontrados, sólo tiene en cuenta los textos que están escritos en inglés (despreciando las secciones que se encuentran en otros idiomas).
- Además, sólo se tiene en cuenta el contenido textual (a la hora de realizar los resúmenes), sin tomar en consideración el resto de elementos del código HTML.

Se ha podido comprobar que las mejoras que introduce el sistema con respecto al servicio que ofrecen los motores de búsqueda son muy notables. Así, no sólo se evitan enlaces a páginas que ya han desaparecido (que suelen aparecer con gran frecuencia entre los resultados que muestran estos buscadores) y se organiza y resume la información recopilada, sino que el filtrado y la selección de información se consigue que sea mucho más exacta. Además, es enormemente flexible, adaptándose a las características y

preferencias del usuario del sistema.

3. Modelos del experto humano y del estudiante

Las potencialidades insertadas en los módulos de los agentes permiten ser ambiciosos en relación con la funcionalidad educativa y tutorial que se va a implantar. Ello aconseja almacenar y procesar toda la información que va a emitir el alumno en su interacción con el sistema, y a la vez desarrollar un dominio de conocimiento lo más estructurado y detallado posible.

De ahí que se trate de adquirir y representar con la mayor fiabilidad posible el comportamiento del experto humano que incluye no sólo conocimiento científico sino fundamentalmente experiencia de su manejo en la resolución de múltiples problemas y toma de decisiones.

3.1 Gestión de la experiencia

La gestión de la experiencia¹⁵² es un tipo particular de gestión del conocimiento (Knowledge Management) restringida a la sola experiencia, pero que puede ser tanto humana como de máquina. La experiencia es siempre un conocimiento específico, opuesto al conocimiento general que tiene un alcance mucho más amplio. La experiencia, incluso desde un punto de vista "naïf", debe ser considerada como un bien escaso que debe ser almacenado y posiblemente reusado en alguna otras situaciones. Entendemos por experiencia el conocimiento específico adquirido por un agente (humano o no) durante la resolución anterior de problemas. No obstante, esta definición debe ser clarificada y precisada si queremos convenir en lo que hablamos. Ante todo, el término conocimiento ha de ser confrontado con términos similares comodato e información.

¹⁵² F. de Arriaga, *E-Knowledge Management, E-Learning and E-Commerce: An Evaluation of their Situation and Tendencies*, International Computer Science Institute, University of California (Berkeley), 2004.

Los tres términos: dato, información y conocimiento designan cantidades específicas pero no concretadas de energía conceptual, que es lo que alimenta nuestra mente. Esta energía conceptual puede concretarse de maneras diferentes de acuerdo con su complejidad, lo cual puede entenderse cualitativamente usando elementos gramaticales.

Empezando con los caracteres alfabéticos, los átomos de un lenguaje natural, si se combinan léxicamente de acuerdo a ese lenguaje, obtenemos datos o palabras o términos, que pueden tener uno o varios significados. En principio, cada término es un dato; así, por ejemplo, en el caso del español, si decimos o escribimos "lunes" entendemos que se trata de un día de la semana. La combinación de datos o, también, un simple dato pero contenido en un entorno conocido producen información. Así, por ejemplo, la combinación de términos siguiente: "el cero es el menor número natural" proporciona información. En el anterior caso del término "lunes", si es la respuesta a la pregunta anterior hecha: "¿cuándo te marchas?", en ese caso el término tiene mucho más valor, aporta una información al considerar la respuesta en el contexto de la pregunta. Finalmente, cuando diversas informaciones se combinan relacionamente obtenemos una nueva estructura que denominamos conocimiento. Dato, información y conocimiento, son términos relativos no cuantificables exactamente (por el momento) que representan tres estadios de un continuo de situaciones posibles de la energía conceptual. El conocimiento se usa para razonar o para tomar decisiones.

El conocimiento puede tratar o referirse a un tema concreto ubicado en una situación muy estrecha, es el conocimiento específico. Por el contrario, el conocimiento general produce afirmaciones válidas dentro de un amplio campo de aplicación, usualmente mayor de un único dominio. A menudo se obtiene

como el resultado de un proceso inductivo o de generalización que empieza por el conocimiento específico. Dentro del conocimiento específico se encuentra la experiencia.

En principio se han desarrollado varios modelos^{153, 154} que podrían ser modificados y usados para la gestión de la experiencia, dependiendo del énfasis que se haga en los aspectos de su almacenamiento y uso. Los modelos vienen potenciados por métodos concretos que tratan de resolver los distintos problemas que se plantean tanto en su almacenamiento como en su procesamiento. Entre esos modelos hay que mencionar:

1) El Modelo de la Memoria Organizativa¹⁵⁵, basado en la siguiente lista de actividades:

- a) Identificar; determinar las competencias fundamentales de las instituciones de la compañía originando dominios de estrategias y conocimiento en uso.
- b) Capturar; formalización del conocimiento existente en la institución.
- c) Seleccionar; evaluando la relevancia del conocimiento, su valor y exactitud.
- d) Almacenar; representar la memoria corporativa y guardarla en el repositorio de conocimiento con diversos esquemas.
- e) Distribuir el conocimiento automáticamente a los usuarios en función de su interés y trabajo.
- f) Aplicar; recuperar y usar el conocimiento en la toma de decisiones, resolución de problemas, o apoyo al trabajo, ayudas y entrenamiento.

¹⁵³ F. de Arriaga, *E-Knowledge Management, E-Learning and E-Commerce: An Evaluation of their Situation and Tendencies*, International Computer Science Institute, University of California (Berkeley), pág. 1-53, 2003.

¹⁵⁴ F. de Arriaga, M. El Alami, "Experience Management: Models and Implementation", en *Current Developments in Technology-Assisted Education*, Formatex, 2006, pág. 342 a 350.

¹⁵⁵ H. Werthner, M. Bichler, (eds.), *Readings in E-Commerce*, Springer-Verlag, Berlin, 2001

Este punto señala una posible conexión dentro del modelo entre e-knowledge management (gestión electrónica del conocimiento) y e-learning.

g) Crear; descubrir nuevo conocimiento mediante investigación, experimentación, y pensamiento creativo

h) Vender; desarrollar y colocar en el mercado nuevos productos y servicios basados en el conocimiento.

Cuando se contemplan en una consideración preliminar las dependencias e interacciones existentes entre estas actividades se advierte como consecuencia la imposibilidad de ejecutarlas secuencialmente.

2) La fábrica de la experiencia¹⁵⁶ aparece motivada por la conclusión experimental de que cualquier negocio exitoso debe combinar soluciones técnicas y de gestión que permitan el cumplimiento de objetivos tales como: ayudar al desarrollador en la obtención de un conjunto de productos acorde con las necesidades del usuario, conseguir un conjunto bien definido de procesos para satisfacer las necesidades que deben ser satisfechas, controlar el desarrollo y mejorar negocios globales creando procesos en ciclo cerrado que soportan el aprendizaje y la retroalimentación.

Desde un punto de vista más práctico una fábrica de experiencia es una organización que soporta el desarrollo de proyectos analizando y sintetizando toda clase de experiencia, almacenándola y suministrándola bajo demanda. La experiencia en el desarrollo y ejecución de planes de proyecto es recogida en una base de experiencia que contiene modelos formales o informales de esa experiencia. Para permitir la reutilización mejor de esas experiencias se empaquetan mediante procesos de generalización y formalización. Esa

¹⁵⁶ A.Tiwana, *Knowledge Management Toolkit: Practical Techniques for Building a Knowledge Management System*, CRC Press, 2002.

experiencia se ofrece después a la organización de proyectos de la institución para mejorar su ejecución.

3) El paradigma de mejora de la calidad es un modelo que ha sido usado como modelo único o en combinación con el modelo de la fábrica de experiencia. Se basa en la ejecución de un proceso cíclico integrado por los pasos siguientes:

a) Caracterizar; a partir de la información disponible se caracterizan tanto el problema o proceso en desarrollo como su entorno. Esa caracterización utiliza un cierto número de parámetros, en función de lo disponible, como: dominio de aplicación, susceptibilidad a cambios, restricciones del problema, técnicas, herramientas, software existente, presupuesto, número de personas que intervienen, nivel de experiencia, etc.

b) Conjunto de metas; las metas medibles del proyecto deben ser definidas de acuerdo con los diferentes puntos de vista del usuario, cliente, gerente, corporación, etc.

c) Elección de procesos; a partir de los pasos previos y la experiencia base hay que elegir los elementos apropiados (procesos, métodos, herramientas, etc.) para la implementación del proyecto conducentes al plan general del mismo.

d) Ejecución; el plan ha de ser ejecutado tomando constancia escrita de los diversos aspectos de la ejecución.

e) Análisis; sobre la base de esta nueva experiencia de ejecución los diferentes modelos de experiencia deben ser analizados cuidadosamente para evaluar las prácticas actuales; las experiencias valiosas deben ser identificadas.

f) Empaquetado; a partir de la nueva experiencia los diversos modelos de experiencia deberían generalizarse o poder adecuarse a una situación particular para ser reutilizados en otros proyectos.

4) El modelo de razonamiento basado en casos^{157, 158}, procede de la Inteligencia Artificial y se usa en la resolución de problemas mediante uso directo de experiencias previas. La principal diferencia de este modelo con los anteriores es que no proporciona un modelo organizativo sino cognitivo y una arquitectura técnica. La experiencia previa se contempla en forma de casos, llamado caso a un par matemático constituido por un problema y su solución. Esos casos se almacenan en una base de conocimiento.

El modelo se basa en la ejecución del ciclo siguiente: se extrae de la base de conocimiento un caso similar al del problema que se resuelve, la técnica de solución encontrada se reutiliza para resolver el problema actual. Por tanto, los elementos integrantes del ciclo son:

a) Extraer; cuando al usuario se le presenta un nuevo problema introduce una pregunta al sistema facilitando la descripción del problema. Entonces se seleccionan uno o varios casos de la base de conocimiento considerados útiles para la resolución del nuevo problema, de acuerdo con su semejanza, bajo la hipótesis de que casos semejantes tienen soluciones semejantes. El proceso de formalización de la semejanza es muy importante para el éxito de este modelo. Este reconocimiento de semejanza puede ser difícil y costoso desde un punto de vista computacional.

b) Reusar; la reutilización de la solución extraída frecuentemente necesita una adaptación previa. Los métodos de adaptación suelen ser clasificados en transformacionales o generativos; los primeros dependen de un

¹⁵⁷ E. Wenger et al., *Harvard Business Review on Organizational Learning*, Harvard Business School Press, 2001.

¹⁵⁸ S. Tannenbaum, G. Alliger, *Knowledge Management Clarifying the Key Issues*, IHRIM, 2000.

conjunto de reglas de adaptación que describen cómo las diferencias entre el problema actual y el anterior conducen a las modificaciones requeridas para la solución. Los métodos de adaptación generativos necesitan de un solucionador de problemas generativo completo basado sólo en el conocimiento general.

c) Revisar; la revisión de la solución obtenida debe ser llevada a cabo, al menos inicialmente hasta que el sistema adquiriera más experiencia, por un experto humano.

d) Retener; éste es el caso típico de aprendizaje de este modelo que se realiza al agregar el caso revisado a la base de conocimiento ; de esta manera la experiencia del problema actual ya resuelto estará disponible para su reutilización en el futuro. Esta fase debe ser llevada a cabo muy cuidadosamente pues el incremento continuo de la base de conocimiento redundará en una disminución de la eficiencia en la extracción y selección. Para evitar este inconveniente se necesitan estrategias para añadir selectivamente casos y para anular casos ya almacenados.

5) El modelo de gestión de la experiencia relaciona las tareas diferentes involucradas en la gestión de la experiencia. Se compone de un núcleo de conocimiento y dos estructuras a su alrededor. El núcleo contiene no sólo la experiencia base sino también el conocimiento de uso relacionado incluyendo el vocabulario. La primera estructura alrededor del núcleo se compone de un ciclo de resolución de problemas que incluye: adquisición del problema, evaluación de la experiencia y recuperación, adaptación de la experiencia y presentación de la experiencia. La estructura segunda incluye la metodología de desarrollo y mantenimiento que trabaja con el núcleo de conocimiento y el ciclo de resolución de problemas. Los procesos diversos que ocurren en esta estructura

van dirigidos a la adquisición y mantenimiento del conocimiento del núcleo así como los aspectos gerenciales, técnicos y organizativos del ciclo de resolución de problemas y su implementación. Seguidamente se detallan someramente los elementos más destacados ya mencionados.

A) El ciclo de resolución de problemas soporta la resolución de problemas complejos proporcionando la experiencia adecuada. Contiene los elementos siguientes:

- a) Identificación del problema complejo; ayuda a identificar un problema del que se necesita ayuda para resolverlo.
- b) Adquisición del problema; con su ayuda se elabora y se describe el problema.
- c) Evaluación y recuperación de la experiencia; la experiencia disponible en la base de conocimiento es evaluada y recuperada si es adecuada para ayudar en la solución del problema actual.
- d) Adaptación de la experiencia; la experiencia recuperada ha de ser modificada para servir al problema actual.
- e) Presentación de la experiencia; la experiencia ya adaptada se presenta al usuario para la resolución posterior del problema.

B) El ciclo de la metodología de desarrollo y mantenimiento incluye varios procesos para adquirir y actualizar la experiencia requerida y adecuar el ciclo de resolución de problemas; requiere modelización y mantenimiento del núcleo de la experiencia. Los principales aspectos de este ciclo son:

- a) El proceso de gestión del proyecto incluyendo la evaluación de costes y recursos, plazos, planes, procedimientos de control de calidad, etc.
- b) La especificación de las diferentes clases de productos o “entregables” que

hay que producir.

- c) El proceso de desarrollo del producto y su mantenimiento incluyendo todas las tareas técnicas envueltas en el desarrollo y mantenimiento del software.
- d) El análisis y la organización del entorno en el que el sistema debería ser introducido.

Todos estos procesos se pueden clasificar como: procesos técnicos si describen la creación o modificación de los componentes software de la gestión de la experiencia o del conocimiento representado; procesos organizativos si se dirigen a aquellas partes del proceso del negocio de la organización en la que el sistema de software debe ser introducido, procesos de dirección cuando proporcionan un entorno y servicios para el desarrollo de software que satisfacen los requisitos del producto y metas del proyecto tales como planificación, supervisión y aseveramiento de la calidad. Estos procesos vienen integrados en el correspondiente ciclo:

C) Ciclo integrador. Contiene las etapas siguientes:

- a) Desarrollo y mantenimiento del vocabulario; es una tarea crucial puesto que el conocimiento descansa y se apoya en el vocabulario.
- b) Desarrollo y mantenimiento de conocimiento relacionado y reusado; incluye conocimiento de modelización para evaluar la relevancia de un aspecto o ítem de una experiencia para el problema actual. Suele basarse en la semejanza entre el problema en curso y el problema del que se ha recogido un ítem particular de experiencia que sirve para el caso actual. El proceso incluye también conocimiento de modelización y adaptación representado en forma de reglas, operadores o restricciones.
- c) Desarrollo y mantenimiento de la base de conocimiento; se realiza

inicialmente transformando e integrando otras fuentes existentes de experiencia. Si no existieran se requeriría un proceso de adquisición de experiencia manual que pueda integrarse en el proceso de solución del problema en curso.

Este modelo es el más completo para gestionar experiencias por lo que es preciso analizarlo más detenidamente para su implementación, particularmente habrá que precisar las técnicas viables para representar el conocimiento que se ha adoptado con carácter general.

3.2 Representación del comportamiento del experto humano

El experto humano maneja no sólo el conocimiento científico que ha aprendido sino también la experiencia que ha adquirido y que van a configurar el dominio de conocimiento (y experiencia) que hay que aprender.

En consecuencia, el dominio de aprendizaje contiene no sólo el conocimiento científico correspondiente a las disciplinas o materias en las que se basa ese dominio sino también el comportamiento y la experiencia acumulada por el experto humano (o expertos humanos) en su actuación personal de resolver eficientemente problemas del dominio o ejecutar tareas que deben ser aprendidas. Aunque muchos sistemas basados en el conocimiento incluyen sólo una pequeña porción del conocimiento básico y fundamental arguyendo que la representación del comportamiento experto puede hacerse hasta un cierto nivel sin usar una gran cantidad de conocimiento científico, es necesario incluirlo pues las explicaciones finales del comportamiento experto al estudiante requieren una justificación que muchas veces sólo puede hacerse mediante el conocimiento fundamental. Además, el diagnóstico de errores profundos necesita encontrar las carencias de conocimiento fundamental para elegir las tácticas remediales adecuadas. Por

tanto, los componentes principales del sistema que representa el comportamiento del experto humanos son:

1) El grafo del dominio conceptual. Este grafo dirigido o gráfica describe el conocimiento científico relacionado con la habilidad a adquirir, la tarea a ejecutar o los problemas a resolver. Los métodos, herramientas y tácticas están asociados a los nodos o a los arcos del grafo; las estrategias son más escasas pero también figuran, usualmente asociadas a nodos. Los nodos describen los conceptos, propiedades de distinto nivel y los ejemplos, prácticas, ejercicios y problemas asociados, tanto para comprensión de los diversos elementos como para tácticas remediales; también incluyen (como los arcos) información pragmática relativa al uso, utilidad, eficiencia, conveniencia, tiempo usual de aprendizaje en función de la intensidad del mismo, de esos elementos. Los arcos describen relaciones, frecuentemente de precedencia, entre nodos fundamentalmente y también llevan elementos cognitivos asociados como procedimientos, tácticas e información pragmática ya comentada.

2) El sistema de gestión de la experiencia del experto humano. Incluye los elementos cognitivos que han sido obtenidos mediante la técnica BCTA, relacionados por subhabilidades o subtareas o etapas de la solución de un problema. Los elementos fundamentales son las familias de modelos mentales. Cada familia contiene modelos similares en el sentido de tener el mismo objetivo, pero con complejidad creciente debido al mayor detalle, mayor número de variables o de circunstancias incluidas. Cada familia se representa por medio de un grafo; habitualmente cada modelo contiene solo un subconjunto del conjunto total de los nodos del grafo, pero en ocasiones cada modelo es sólo un nodo del grafo que como anexo incluye su descripción completa.

Cada modelo mental tiene asociado un conjunto de esquemas de

solución de problemas. Cada esquema contiene los procedimientos, métodos y herramientas tanto comportamentales como cognitivas para resolver una clase de problemas concretos de acuerdo con la técnica conocida como “razonamiento-basado-en-casos” que anteriormente fue comentada. El número de esquemas de problemas aumentará con la experiencia. De esta manera se abre la posibilidad de que el experto humano, aprovechando la interacción del usuario (estudiante) con el sistema, pueda aumentar su experiencia.

3) Las relaciones entre el grafo del dominio conceptual y el sistema de gestión de la experiencia del experto humano. Estas relaciones pueden cambiar dinámicamente de acuerdo con la experiencia acumulada hasta ese momento. De entre ellas destacan las relaciones de las familias de modelos mentales entre sí, y con el grafo del dominio conceptual. Estas relaciones van a ser usadas cuando haya que justificar la composición de algún modelo mental al alumno.

4) Las estrategias para elegir los modelos mentales adecuados para razonar con ellos y solucionar problemas o tomar decisiones. Algunas estrategias tratan de emparejar el problema o tarea actual con otro problema idéntico o muy parecido contenido en el esquema de soluciones. En el caso de que el esquema elegido no corresponda a un problema idéntico. Deberá modificarse el esquema de acuerdo con una colección de heurísticas para poder resolver el problema. La heurística más simple, la del vecino más próximo, consiste en la aplicación del operador que transforma el problema dado en el más similar de los que tienen su esquema de solución. Una vez llevada a cabo la solución del nuevo problema ese operador obtenido se incorpora al esquema usado como nuevo esquema. Las relaciones entre modelos mentales y el dominio conceptual se actualizan para tener en consideración este nuevo esquema.

5) Las tácticas y estrategias para el aprendizaje de los diferentes elementos cognitivos contenidos en el dominio conceptual y en el sistema de gestión de la

experiencia del experto humano. A veces el experto es totalmente consciente de estas tácticas y estrategias, particularmente si tiene experiencia educativa; sin embargo, en muchos casos las tácticas y estrategias de aprendizaje han de ser diseñadas y construidas mediante un proceso tutorial o educacional que incluye resultados de la experiencia.

3.3 Modelo del estudiante

El sistema va construyendo un modelo dinámico cognitivo del conocimiento y experiencia del alumno adquirido durante el proceso de aprendizaje en sus interacciones con el sistema que se reducen a sus acciones, respuestas al sistema, y decisiones adoptadas. Por tanto, todo movimiento del estudiante debe ser analizado cuidadosamente para obtener tanta información como sea posible.

El comportamiento del estudiante puede ser representado al menos por los componentes siguientes: el conocimiento inicial y habilidades cognitivas básicas antes de iniciar el proceso de aprendizaje. Se trata de conocimientos básicos y habilidades que se presuponen para poder llevar a cabo ese aprendizaje y que han sido obtenidos por técnicas de elicitación. Otro elemento importante es la interacción del estudiante con el sistema con todos los detalles y pormenores como:

- a) Tiempo de inicio y finalización de cada sesión, su número y duración.
- b) Puntos del dominio de conocimiento que han sido tratados, errores cometidos y tiempo en que se cometieron, análisis de cada error, cuestiones o ejercicios resueltos: aciertos y fallos, procedimientos usados.
- c) Estado afectivo y motivación del alumno, tácticas afectivas utilizadas.
- d) Decisiones adoptadas, preguntas planteadas, acciones tutoriales ofrecidas, procedimientos remediales y proactivos, tácticas cognitivas utilizadas en la

sesión. Estos elementos son relacionados con los elementos que describen el dominio de conocimiento.

Estos elementos descritos van a formar parte del elemento primordial del sistema que describimos a continuación.

El modelo cognitivo del estudiante que representa su estado mental e integra:

1) El estilo de aprendizaje. Se ha comentado ya que se han manejado cuatro estilos básicos: teórico o teorético, reflexivo, pragmático y activo. En realidad cada estudiante presenta los cuatro estilos aunque con intensidades diferentes; el estilo de aprendizaje se determina inicialmente al comenzar el aprendizaje pero suele cambiar a lo largo de este proceso. En consecuencia debe ser medido reiteradamente analizando todas las respuestas del estudiante para guardar la historia de la variación de este estilo.

2) El perfil del estudiante. Es un vector dinámico que representa entre otros aspectos particulares:

- a)-la motivación del estudiante y su historia;
- b)-el interés por el tema y su historia;
- c)-su capacidad, atención, seguridad y eficiencia en su trabajo;
- d)-grado de cansancio y posibles problemas psicológicos básicos.

A estos elementos se incorporan la historia del estilo de aprendizaje del alumno y los elementos administrativos de la historia de las sesiones tenidas, anteriormente detallada, es decir los tiempos e inicio y finalización de sesiones, número y duración.

3) El conocimiento y habilidades decisorias adquiridas por el alumno. Se representa como un grafo conceptual y de experiencia del dominio, similar al del experto humano, que muestra además del conocimiento inicial y habilidades básicas que tenía el alumno antes e iniciar su aprendizaje, los

conceptos, relaciones, propiedades, todo el conocimiento declarativo y habilidades aprendidas, así como el conocimiento, procedimientos, herramientas y estrategias de las que todavía carece. Unido a los nodos y arcos del grafo aparecen los métodos, procedimientos y estrategias aprendidas. Si el alumno no analizara, resolviera o ejecutara algún problema o cuestión asociada con ese procedimiento, el paso del tiempo iría automáticamente disminuyendo el nivel de experiencia y eficiencia asociada, modificando convenientemente el conjunto borroso correspondiente. El cambio trata de reproducir el proceso real que ocurre en la mente humana.

4) La experiencia adquirida por el estudiante, que también se representa paso a paso por medio de un sistema de gestión de experiencia. El sistema almacena para cada tarea llevada a cabo o problema resuelto el esquema de solución utilizado. Inicialmente esos esquemas no están ligados a ningún modelo mental o, a lo sumo, a uno complejo (esto es típico en aprendices), pero con la experiencia en obtener la solución de problemas adecuados o ejecutar determinados ejercicios, el alumno empieza a construir sus modelos mentales.

4. Análisis superficial y profundo de los errores cometidos

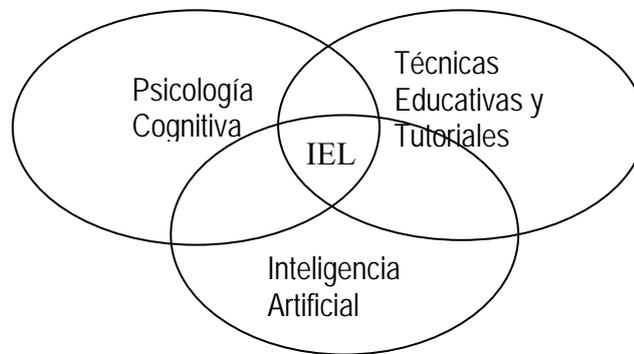
El análisis de errores es un factor clave para las prestaciones de los sistemas e-learning inteligentes. Reflejan los conocimientos, procedimientos, técnicas, estrategias y modelos mentales inexistentes o mal adquiridos por el estudiante durante el proceso de aprendizaje. El análisis de errores modifica el modelo del estudiante porque éste incluye un registro de los errores, fechas, ayuda necesitada, etc. También proporciona el análisis de errores los elementos básicos para la acción tutorial, tácticas remediales e incluso proacción. Es también el punto de arranque para la evaluación del alumno, e influye en la

personalización del sistema y sus interfaces. Por último, proporciona entradas para los mecanismos de arbitraje y control de los agentes cognitivos al cuidado de las funciones educativas del sistema.

El análisis de errores ha sufrido cambios importantes con la introducción de las técnicas de inteligencia artificial, pero su mejora incuestionable se ha conseguido con la nueva generación de sistemas e-learning inteligentes.

Ante todo conviene recordar que el dominio de los sistemas IELS aparece como intersección de tres campos importantes que intervienen fundamentalmente en ellos: la psicología cognitiva, las funciones educativas y tutoriales avanzadas, y las técnicas de inteligencia artificial en combinación con otras del procesamiento de la información. Aparecen representados en la figura adjunta. Por otra parte, todos los integrantes de los sistemas IELS pueden

Figura 12



agruparse, al menos desde un punto de vista operativo en los módulos o funciones siguientes: modelo del estudiante, módulo del experto humano, funciones educativas y tutoriales e interfaces. El análisis de errores se suele realizar comparando el comportamiento del alumno con el del experto humano, pero antes es preciso tener en cuenta los tres espacios de conocimiento que se

manejan en el modelo del estudiante y que pueden integrarse en:

1) El ancho de banda; se refiere a los diferentes tipos de información que permiten conocer lo que el estudiante hace o dice. Es importante la cantidad y calidad de esta información puesto que se la transfiere a los componentes de diagnóstico que la usa en sus inferencias en relación con el estado del alumno. Se pueden establecer niveles distintos de acuerdo con la información que proporcionan: los estados mentales constituyen el primer nivel, los estados intermedios integran el segundo nivel, y el tercero los estados finales. Los estados mentales que ocupan el nivel más alto, con usados para la solución del problema, así como los estados intermedios y los finales, precisamente los estados finales son las únicas situaciones posibles de la solución del problema.

En principio, cuanto más información disponga el módulo de diagnóstico mejor será el comportamiento del sistema.

2) El tipo de conocimiento tiene que ver con las diferentes técnicas de tratamiento del conocimiento de acuerdo con su clasificación en procedimental, declarativo y cualitativo. Para el conocimiento procedimental incluido en la solución del problema se necesita una especie de intérprete que relacione el modelo del estudiante con el conocimiento de la resolución del problema, porque el intérprete tiene que adoptar decisiones basadas en el conocimiento local o del estudiante. En principio pueden existir dos tipos de conocimiento procedimental: el jerárquico u ordenado, y el no ordenado.

El conocimiento ordenado incluye normalmente subobjetivos implícitos lo cual le relaciona con el tipo de diagnóstico usado puesto que es necesario conocer las condiciones que cambian el estado del problema así como el grupo total de estados y subobjetivos. El conocimiento delarativo que mayormente es no ordenado, se usa en la programación lógica para obtener el razonamiento deductivo mediante la lógica proposicional o de predicados.

3) Las diferencias entre el alumno y el experto se suelen obtener a partir del modelo del experto. Están integradas por los elementos cognitivos que el alumno no tiene aún (concepciones carentes) y el experto sí, y los elementos que el alumno tiene y no los tiene el experto (concepciones erróneas). La obtención de esas diferencias puede hacerse de varias formas: por la técnica de la comparación, mediante archivos de errores, y mediante librería de errores descompuestos en partes.

Con la técnica de la comparación se representa el conocimiento del modelo del estudiante como un subconjunto del que tiene el experto humano. Equivalentemente podría hacerse con el modelo del experto al que se agregaría una lista de los elementos cognitivos que el alumno aun no ha adquirido. Con la técnica de los archivos de errores las diferencias se obtiene considerando las concepciones erróneas y las concepciones carentes. El diagnóstico del alumno se hace al encontrar los errores en el archivo.

4.1 Técnicas de diagnóstico

VanLehn¹⁵⁹ establece hasta nueve técnicas de diagnóstico pero sólo consideraremos las que de alguna manera han sido utilizadas en este trabajo.

La técnica del “examen” del modelo supone que se puede acceder a los estados mentales significativos del estudiante. La idea básica consiste en usar un intérprete no determinista para modelar la solución del problema mediante un grupo de reglas aplicables en cada etapa del proceso de solución. La técnica de diagnóstico usará estas reglas y de esta manera obtendrá el grupo de estados sucesivos posibles (si el intérprete fuera determinista sólo se obtendría uno); uno de esos estados corresponderá a la solución del estudiante. Esta técnica tiene ventajas e inconvenientes; entre los últimos figura qué hacer si ninguno de los estados obtenidos coincide con el del estudiante, aunque este inconveniente

¹⁵⁹ K. VanLehn, “Student Modeling” en *Foundations of Intelligent Tutoring Systems*. (Eds.) Martha C. Polson and J. Jeffrey Richardson, Lea Hove & London, 1988.

no aparece en el caso de un intérprete determinista. Para la aplicación de esta técnica se requieren dos condiciones: el conocimiento debe ser procedimental y ordenado, y todos o casi todos los estados físicos observables del alumno deben estar disponibles puesto que pueden ser usados con esta técnica. El dominio se representa por un árbol en el que los nodos terminales son las acciones más primitivas, los nodos no terminales incorporan los subobjetivos y la raíz incluye el objetivo final. La técnica del plan de reconocimiento se basa en el análisis de episodios cortos de la solución del problema, dividiendo su observación en grupos de micro habilidades o materias que se han usado en el episodio. Este tipo de análisis no explica cómo interactúan estas materias, ni el papel que desempeñan en la solución global del problema, sólo si es o no de interés conocer si se han usado.

Como ejemplo de la inclusión de estas tres técnicas se ha descrito en el capítulo anterior un sistema sencillo: *ESTRUCT*, basado en agentes reactivos. Sin embargo, la complejidad tanto de los agentes que operan en *NEOCAMPUS* como la situaciones educativas que se plantean son bastante más complejas, por ello pasamos directamente a detallar la solución adoptada en este caso para el análisis de los errores que sigue el ciclo siguiente:

1) Determinación inicial del error. Depende de la clase de acción o decisión adoptada por el alumno; puede tratarse de una acción o decisión intermedia o final. En el caso de una decisión final, la determinación inicial del error se hace comparando todas las consecuencias obtenidas por el estudiante con las obtenidas por el experto (el sistema conoce las consecuencias de la decisión del experto, y es capaz de obtener las del estudiante). Para esa comparación se utilizan: un criterio (o varios), la métrica para medir esas diferencias que puede ser una o varias, y posiblemente un umbral del error. El criterio de comparación se elige de acuerdo con los objetivos o metas del problema o

entorno. En el caso de una decisión intermedia el sistema ensaya todas las sendas que podrían continuar esa decisión para alcanzar resultados finales; esos resultados se comparan con la del experto.

2) Evaluación inicial de errores. En el caso de decisiones finales los errores se clasifican en:

- a) fatales, cuando como consecuencia de la acción elegida se malogran uno o más objetivos de la tarea o problema.
- b) serios, cuando la diferencia entre las consecuencias del experto y del alumno son muy importantes.
- c) típicos, cuando se cometen usualmente durante el aprendizaje y las consecuencias no son tan importantes.
- d) ligeros, cuando la consecuencias obtenidas no son las mejores pero pueden ser aceptadas.

En el caso de acciones intermedias los errores se clasifican como:

- a) Fatales, cuando después de adoptar esa decisión es imposible llegar a la solución del problema.
- b) Tentativos, cuando es posible, pero difícil, llegar a la solución u objetivos del problema porque hay que tomar decisiones muy específicas no muy corrientes.
- c) Llamada de atención, cuando la acción o decisión es apropiada pero hay indicios de que no se ha entendido plenamente la situación, dando la impresión de estar situado, por casualidad, en la senda correcta.

3) Análisis de errores superficiales. Esta fase se dedica a obtener los componentes cognitivos directamente relacionados con el error y situados en el sistema de gerencia de la experiencia o en el grafo conceptual del experto humano. El sistema comprueba ahora que esos componentes no están en el modelo del estudiante, o si ya estaban no han sido adquiridos adecuadamente.

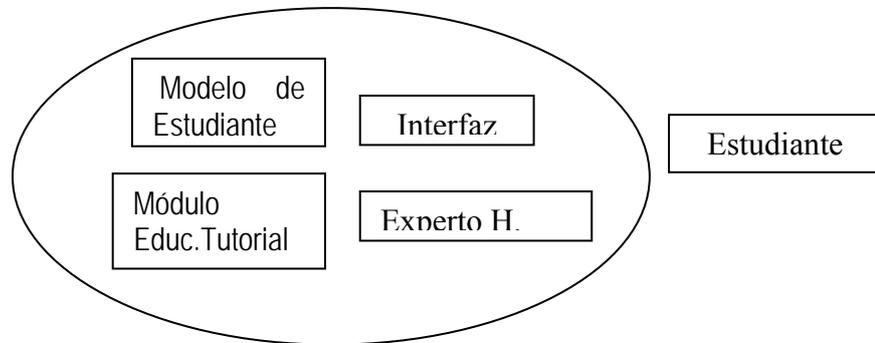
4) Análisis de errores profundos. El sistema empieza por buscar todas las acciones previas similares o relacionadas, no importa si fueron exitosas fracasaron, así como sus componentes cognitivos asociados (que son subgrafos), dentro del sistema de gestión de experiencia y del grafo del dominio conceptual. Entonces calcula la intersección de todos esos subgrafos cognitivos asociados al fallo presente y anteriores; esta intersección es considerada un punto “caliente” del proceso de aprendizaje puesto que subyace a todos los errores previos similares cometidos hasta el momento. Esa intersección no suele ser vacía porque esos fallos corresponden a acciones similares o relacionadas con muchos componentes cognitivos comunes. A partir de ese punto “caliente” (que en realidad es un subgrafo) cabe que los agentes, al cargo de los micro-mundos a los que pertenece el punto caliente, apliquen las tácticas remediales adecuadas.

Además el sistema busca en el modelo del experto uno o varios nodos comunes que son “padres” de los nodos de los elementos cognitivos asociados a los errores previos y actual. Estos nodos “padre” se consideran “puntos focales” del proceso de aprendizaje del estudiante y deben ser tomados seriamente en consideración por los agentes para la aplicación de tácticas remediales. Los puntos focales y calientes vienen así asociados a la última acción en consideración.

5) Evaluación final de errores. Ahora se reconsidera la evaluación inicial del error a la luz del análisis superficial y profundo llevado a cabo. La clasificación inicial se completa con los calificativos de: error directo, error indirecto y error focal. Se usa el calificativo de error directo cuando hay un componente cognitivo importante, usualmente un modelo mental, entre los componente asociados a la acción; se utiliza error indirecto cuando sólo aparecen componentes cognitivos secundarios asociados a la acción; y error focal cuando

se han detectado uno o varios puntos focales asociados a la acción.

Figura 11 Componentes de los sistemas IELS



5. NEOCAMPUS: control de agentes

Los principales mecanismos de control de agentes instalado en NEOCAMPUS están motivados por sus características educativas y tutoriales. Son los siguientes:

- 1) Basados en el análisis de errores del estudiante. El ciclo de análisis de estos errores, que según se vio pasa por la determinación inicial del error, la evaluación inicial de los errores superficiales, el análisis de los errores profundos y la evaluación final de errores, permite establecer, en cualquier caso del aprendizaje estricto, el orden de actuación de los agentes. Así:
 - a. Si no se ha producido error en la intervención del alumno, sólo cabe animarle por el éxito, lo cual no desata ningún conflicto entre agentes, pero si el número de éxitos que figuran en su registro supera entonces un cierto umbral el mecanismo desatará el comienzo de una estrategia de proacción; ante todo se iniciará una estrategia a favor de las habilidades más débiles (con menor intensidad de aprendizaje) que integran la habilidad global, y después una estrategia orientada a las subtareas más débiles.

- b. Cuando el sistema emite un veredicto final, y sólo se cuenta con errores superficiales sin que exista ningún error profundo, tratarán de intervenir los agentes subtutores encargados de los micro-mundos que contienen los elementos cognitivos asociados a los errores. Si todos ellos pertenecen a un único micro-mundo no se producirá ningún conflicto, de otra manera el agente de control decidirá el orden de actuación de los agentes de los micro-mundos en función de su situación relativa y relevancia en el dominio de aprendizaje. A su vez los agentes acomodará sus tácticas remediales en función de la severidad del error cometido.
- c. En el caso de decisiones intermedias del sistema afirmando la existencia de uno o varios errores superficiales con ausencia de errores profundos, se tratan los errores según su importancia. Los errores tentativos forzarán a los agentes subtutores a utilizar estrategias de proacción para evitar que el error sea consumado.
- d. Caso de errores profundos; en este caso se corrigen antes los errores asociados a “puntos focales”, y después los “puntos críticos” y entre ellos se establece el orden parcial marcado por el grafo del dominio conceptual. Si dos puntos focales no están ordenados (pues se trata de un orden parcial) el nodo padre común será el primer nodo a tratar, antes de los dos focales que seguirán el orden de comisión de los errores. Establecido el orden, los subtutores correspondientes propondrán las tácticas remediales correspondientes.
- e. Cuando el número de errores cometidos por el estudiante en todo su aprendizaje que figura en su registro rebasa un cierto umbral (que dependerá de la tarea o habilidad a aprender) o, paralelamente, el conjunto de evaluaciones llevadas a cabo es significativamente

deficiente (depende igualmente de la tarea o habilidad a aprender) se tratará de buscar la presencia e una situación problemática en el alumno, que será analizada y remediada como se indica en el apartado siguiente; además, posteriormente el agente de control del aprendizaje establece un programa concreto de superación que resume lo visto hasta el momento.

- 2) Basados en situaciones problemáticas del estudiante. Cuando el agente de control del aprendizaje determine que el estado el estudiante es problemático, y ese cálculo lo hace siempre que se inicia una intervención del alumno, reiteradas veces a lo largo de ella y al terminar, ese mismo agente, que está a cargo de la didáctica general, establecerá las preguntas necesarias para confirmar la situación y, en caso afirmativo, proponer los consejos y tácticas pertinentes.

Se alcanza alguna situación problemática cuando algunas de las características que describen al alumno, como su motivación, interés, cansancio, etc. rebasan un umbral previamente establecido que puede ser máximo (como el cansancio) o mínimo (como el interés).

6. El problema de la aceleración de la migración de aprendices al estado de expertos

Este problema arranca de las enormes diferencias existentes entre un aprendiz, que conoce el dominio de conocimiento que ha de aplicar pero que no sabe aún cómo utilizarlo de manera experta, y el experto humano que además de conocer ese dominio ha adquirido experiencia suficiente para moverse con soltura y eficiencia dentro del dominio en su ejecución práctica. Es un hecho real que un alumno puede terminar con éxito un ciclo superior de enseñanza, como la medicina, pero ello no le convierte en experto, pues es evidente que la

práctica profesional es algo distinto de lo que el alumno ha adquirido en el período de estudios. Se necesita un esfuerzo posterior para, con el tiempo y la práctica, irse convirtiendo paulatinamente en un experto. Ahora bien, el nuevo problema que planteamos es: ¿habría posibilidad de ayudar y acelerar ese proceso? Se trata ahora de analizar el problema y ver si cabe elaborar una herramienta general que colabore en ese proceso de aprendizaje específico.

Desde los estudios pioneros sobre la memoria de posiciones de ajedrez¹⁶⁰ se han venido realizando estudios concretos en entornos especializados como la medicina, las matemáticas¹⁶¹, las ciencias sociales¹⁶², la programación de ordenadores¹⁶³, pero sobre todo la solución de problemas de mecánica¹⁶⁴. Posteriormente se han empezado a establecer las relaciones existentes entre los modelos mentales y los modelos de ordenador¹⁶⁵. Sin embargo no resulta fácil comparar las diferencias entre aprendices y expertos en campos tan diversos. Por el momento no es fácil ir más allá de:

- 1) La diferencia entre aprendices y expertos no es básicamente una diferencia entre las respectivas capacidades generales de procesamiento sino del conocimiento que se posee. De ahí surge la importancia de la ingeniería del conocimiento.
- 2) La pericia es efecto de la práctica acumulada en áreas específicas de conocimiento, descartándose los factores innatos que puedan existir.
- 3) Las diferencias de conocimiento son, tanto cuantitativas (los expertos poseen más conocimiento y metaconocimiento) como cualitativas (los expertos tienen organizados los conocimientos de otra manera).

¹⁶⁰ W.Chase, H. Simon, "Perception in chess", *Cognitive Psychology*, 4, 1973, pág. 55 a 81.

¹⁶¹ J. Staszewski, "Skilled Memory and Expert Mental Calculation", en M. Chi, R. Glaser, M. Farr (eds.), *The Nature of Expertise*, Erlbaum, Nueva York, 1988.

¹⁶² J. Pozo, *Teorías cognitivas del aprendizaje*, Morata, Madrid, 1989.

¹⁶³ J. Anderson et al., "Learning to program recursive functions", en M. Chi, R. Glaser, M. Farr (eds.), *The Nature of Expertise*, Erlbaum, Nueva York, 1988.

¹⁶⁴ J. Larkin, "Understanding Problem Representation and Skill in Physics", en S.Chipman et al. (eds.), *Thinking and Learning Skills*, Erlbaum, Nueva York, 1985.

¹⁶⁵ D. Weld, "Planning-Based Control of Software Agents", *Proceedings 3rd International Conference on Artificial Intelligence Planning Systems*, AAAI Press, 1996, pág. 268 a 274.

Como diferencias cuantitativas aparecen:

- a) La realización o no de un análisis preliminar cualitativo previo en cada problema que se aborda.
- b) Aplicar conjuntamente todo un grupo de fórmulas o ecuaciones en vez de hacerlo una a una.
- c) Analizar o no cuál es la estrategia a seguir.

Como diferencias cualitativas surgen:

- a) El análisis adelante o hacia atrás de la solución.
- b) Realizar las clasificaciones en función de la estructura superficial o profunda de los elementos que intervienen.
- c) Utilizar diferentes jerarquías de modelos mentales. En relación con este apartado se comprueba que el aprendiz dispone de pocos modelos mentales que son complejos, frente al experto que posee diversas familias de modelos jerarquizadas que le permiten en cada ocasión moverse por la familia adecuada para elegir el modelo más conveniente de acuerdo con la situación que se analiza.
- d) Usar mayor o menor número de categorías básicas en los elementos que intervienen en el problema.

Todas estas diferencias motivan que hasta el momento no exista un modelo general de transferencia de aprendices a expertos a pesar de los diversos análisis e intentos parciales como los de Chi¹⁶⁶, Flavell¹⁶⁷ y Pozo¹⁶⁸.

A continuación se propone un modelo¹⁶⁹ cualitativo general basado en el espacio de estado, que con la ayuda del método BCTA ya mencionado, se encargaría de realizar la migración de aprendices a expertos en un caso general.

¹⁶⁶ M. T. Chi, R. Glaser, E. Rees, "Expertise in problem solving", en R. Sternberg (ed.), *Advances in the Psychology of Human Intelligence*, Erlbaum, Nueva York, 1982.

¹⁶⁷ J. Flavell, *Cognitive Development*, Prentice-Hall, Nueva York, 1985.

¹⁶⁸ J. Pozo, *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*, Visor, Madrid, 1987.

¹⁶⁹ F. de Arriaga, M. El Alami, A. Ugena, "Acceleration of the Transfer of Novices into Experts: The Problem of Decision Making", *Proceedings BITE'01 International Conference*, Eindhoven, 2001, pág. 151-178.

6.1 Modelo general de migración de aprendices a expertos

El modelo se desenvuelve a través de una serie de etapas operativas que son:

1) Determinación específica del estado inicial del aprendiz. En relación con este punto es necesario concretar en todos sus detalles cuál es la situación de partida del aprendiz desde el punto de vista cognitivo, motivacional y social. A partir de ese estado inicial de conocimientos y habilidades habrá que establecer hipótesis sobre las estrategias y tácticas que emplea así como sobre sus concepciones. Todo esto habrá que comprobarlo mediante una evaluación objetiva científica exhaustiva. Este apartado requiere, obviamente, un análisis detallado previo del dominio de conocimiento en el que actúan tanto el aprendiz como el experto, así como de sus componentes, estrategias y tácticas generales.

2) Especificación de los estados meta a alcanzar por el aprendiz. Esto se hace concretando el estado del experto, y específicamente los procesos, tácticas, estructuras, estrategias y modelos mentales que utiliza el experto para continuar aprendiendo, para recordar, para aplicar lo que saben y en general para resolver problemas. Para ello hay que tener en cuenta los componentes básicos de los comportamientos expertos, a saber:

- a) El desarrollo de procedimientos de reconocimiento de patrones mediante la mejor utilización de los recursos de la memoria.
- b) El desarrollo de procedimientos de secuencias de acciones.
- c) La mejora de las estrategias de búsqueda de soluciones; en general esta mejora suele ligarse con el razonamiento hacia delante, a partir de los datos, como suelen hacer los aprendices, en lugar de hacia atrás.
- d) La estructuración amplia y jerarquizada del conocimiento para

elaborar toda una jerarquía de modelos mentales y la búsqueda eficiente (¿heurística?) en el espacio del problema.

e) La consolidación y refinamiento del conocimiento adquirido mediante la asociación de patrones recurrentes con sus soluciones particulares (condición-acción) para mejorar la velocidad y la precisión.

3) Comparación entre el estado inicial y la meta. Las diferencias entre los comportamientos finales de expertos y aprendices deben ser traducidas en diferencias de ejecución de las tareas cognitivas que realizan ambos, incluyendo las diferencias entre sus respectivos modelos mentales. Se trata, en definitiva, de explicar los mecanismos subyacentes a la ejecución de expertos y aprendices y obtener sus diferencias.

Conviene recordar que una de las grandes diferencias entre aprendices y expertos es la habilidad que tienen éstos últimos para reconocer y recordar patrones significativos. Así, los jugadores expertos de ajedrez son capaces de recordar un número enorme de posiciones de fichas en el tablero con sólo una mirada rápida. En realidad, su aprendizaje perceptivo les permite reconocer todo un conjunto de piezas como una unidad perceptiva sola.

Otra de las grandes diferencias entre aprendices y expertos estriba en que éstos describen internamente el problema con una representación propiamente científica, es decir, usando categorías que se corresponden con principios científicos, en lugar de representaciones “ingenuas” que utiliza el aprendiz; esta representación guarda estrecha relación con los modelos mentales que usan unos y otros. Una vez más conviene insistir que sólo una evaluación objetiva y precisa permitirá establecer las diferencias entre ambos comportamientos: el del aprendiz y el del experto.

4) Diseño de los operadores de cambio de estado. En esta etapa se procede a la elaboración de cuestiones, ejercicios, problemas y proyectos, que incluyan en

mayor o menor cuantía los ingredientes que se necesitan para realizar los cambios de estado del aprendiz. Para ello, cada elemento que se elabore deberá ir caracterizado por una serie de parámetros relativos al proceso de cambio, y una estimación cuantitativa de su intensidad que podrá ser subjetiva si no se encuentran razones objetivas que la determinen.

La razón de estos parámetros y su cuantificación estriba en que es muy difícil elaborar un material pedagógico que directamente permita hacer la migración de aprendiz a experto. Por tanto ese proceso ha de hacerse gradualmente, lo cual exige la evaluación precisa de los estados intermedios, el cálculo de sus distancias al estado meta en términos cuantitativos relativos a los parámetros adoptados, y la aplicación de operadores (problemas, ejercicios, actuaciones en escenarios, etc.) que reduzcan la distancia al estado meta.

5) Aplicación de los operadores de cambio y evaluación de los nuevos estados intermedios por los que atraviesa el aprendiz. En esta etapa se realiza la aplicación de los instrumentos (operadores) diseñados en la etapa anterior. Dicha aplicación motivará el cambio sucesivo de estado del aprendiz que, de nuevo, deberá ser evaluado para obtener las diferencias de los parámetros establecidos que todavía hay que anular. Este ciclo de actuación de operadores y evaluación del nuevo estado conseguido termina cuando se ha llegado a la meta final, el estado experto.

6.2 Prototipo ENT: migración de aprendices a expertos

Este prototipo¹⁷⁰ guarda una importante relación tanto con el problema que acaba de describirse, el de la migración de aprendices a expertos, como con el generar conjuntos de preguntas, cuestiones y problemas que puedan constituir la base de la evaluación de los alumnos. Precisamente este último problema de evaluar alumnos ha sido siempre una cuestión de gran

¹⁷⁰ F. de Arriaga, M. El Alami, "Agent-Based Evaluation Generator", en *Advances in Technology-Based Education*, Vol. I, Formatex, 2003, pág. 316-322.

preocupación para las instituciones académicas tanto por sus consecuencias en el estudiante y su entorno, como por las dificultades asociadas al propio proceso de aprendizaje; la evaluación ha sido el camino para estimar el cambio originado en el estudiante por el aprendizaje.

Cuando se analiza la evaluación hay que tener en cuenta:

- 1) Ante todo los objetivos de la misma la manera de cumplirlos. Efectivamente no existe ningún medio (o sería difícil aplicarlo) de medir los cambios totales en conocimiento y habilidades que el aprendizaje ocasiona. Por otra parte los objetivos de la evaluación pueden variar por referirse a finalidades distintas específicas y, por otra parte, sus formas de estimación pueden ser cualitativas o cuantitativas.
- 2) Su concepción y diseño, incluyendo los cambios que hay que medir y cómo.
- 3) Su implementación, tratando de evitar variables y efectos externos que alteran el estado mental del alumno o sus reacciones medibles. Por ejemplo, las evaluaciones tradicionales de alumnos, concebidas como tests o exámenes, proporcionan importantes concentraciones de tensión en los estudiantes que pueden influir en los resultados de la evaluación.

Durante los últimos tiempos se han dedicado esfuerzos a la mejora de la evaluación clásica incluyendo técnicas de lógica borrosa anteriormente comentados por lo que pasaremos a explicar la fundamentación del prototipo.

6.2.1 Algunos objetivos posibles de la evaluación

El comportamiento general del alumno suele ser el único “input” para la mayoría de los sistemas de aprendizaje, de ahí que la evaluación del estudiante ha de usarse para las decisiones más importantes del sistema, que dependen también de las capacidades de éste. Los objetivos más importantes de la evaluación son:

1) En relación con el comportamiento del alumno:

a) Obtener y actualizar su estilo de aprendizaje¹⁷¹, dentro de los cuatro, ya mencionados: teórico, reflexivo, pragmático y activo. Los cuatro son adecuados para propósitos específicos aunque cada alumno usa uno de manera preponderante porque se siente más a gusto con él. Este objetivo trata de evaluar inicialmente el estilo de aprendizaje que tiene el alumno, no sólo para personalizar el aprendizaje de acuerdo con su estilo, sino también para hacerle mejorar en los restantes estilos; Por ello debe tratar de obtener con relativa frecuencia cómo ha ido variando este estilo.

b) Actualizar la historia del proceso de aprendizaje, frecuentemente estructurada en parámetros como: número de sesiones de aprendizaje, horas de inicio y finalización, duración, frecuencia de horas, número y tipo de errores por sesión, hora en que se cometen, número y tipo de ejercicios y cuestiones abordadas por sesión, etc.

c) Actualizar el grafo conceptual y de experiencia del estudiante incluido en el modelo del estudiante, detallando los nodos (conceptos, propiedades, procedimientos, estrategias, etc. y sus intensidades) adquiridos y dominados por el estudiante así como los nodos restantes aun no adquiridos.

d) Obtener regularmente los componentes cognitivos del estudiante en relación con la habilidad a obtener, tal como han sido adquiridos por éste. De acuerdo con la experiencia conseguida, ésta es una tarea clave, no sólo desde el punto de vista del diseño de la evaluación sino también para la aceleración de la migración de la transferencia de aprendices en expertos. Este objetivo requiere la determinación de esos elementos que en este trabajo se lleva a cabo mediante la técnica BCTA, tantas veces aludida en esta memoria.

e) Obtener las estrategias seguidas por el estudiante en la solución del problema, que deben ser inferidas del camino adoptado por el alumno para la

¹⁷¹ C. Alonso, D. Gallego, *Estilos de Aprendizaje*, Ed. Mensajero, Madrid, 1994

solución del mismo. Para ello es preciso disponer de modelos de inferencia adecuados.

f) Actualizar las habilidades de aprendizaje conceptuales adquiridas por el alumno que han de ser incluidas en el modelo del alumno. Para ello es necesario, previamente, estimar cuáles son las habilidades relevantes para esa tarea o problema, como: el razonamiento geométrico, la visión espacial, razonamiento aritmético, razonamiento lingüístico, razonamiento por analogía, etc. Estos elementos son muy elementales y generales para ser considerados como componentes cognitivos que integran la habilidad o problema en cuestión.

2) En relación con el experto humano o los agentes que desempeñan su tarea:

a) Determinación de los errores del estudiante como diferencia de comportamientos del experto humano y del alumno, así como el análisis elemental y profundo de esos errores.

b) Determinación de los nodos del grafo del dominio y de experiencia relacionados con los errores, y los componentes cognitivos que todavía no han sido adquiridos mediante el aprendizaje.

c) Determinación, usando el historial del alumno, de las causas profundas del error obteniendo los nodos de partida para las tácticas remediales.

3) En relación con un posible tutor humano o agentes al cuidado de las funciones educativas y tutoriales:

a) Arbitraje o control de los diferentes agentes que tratan de actuar simultáneamente, originando un conflicto, en el proceso de aprendizaje.

b) La intervención adecuada del agente al cargo de las funciones de didáctica general. Este agente monitoriza los aspectos generales del aprendizaje y situaciones del estado mental del alumno como: motivación, interés,

cansancio, fatiga, etc., y puede hasta sugerir el cierre de la sesión si encuentra ciertos aspectos negativos en la misma.

c) La intervención de los tutores al cargo de micromundos del dominio de aprendizaje para notificar al alumno sus errores y proponer diversas tácticas remediales. Si el avance del alumno es bueno y sin problemas estos agentes pueden proponer proacciones para su mejora.

d) La determinación de la evaluación final o global del alumno y la ordenación lineal del grupo de estudiantes.

4) En relación con la interfaz:

a) Personalización de toda o parte de la interfaz a fin de adaptar el intercambio de información al estilo de aprendizaje y estado mental del alumno.

6.2.2 Objetivos de ENT:

Aun cuando el empleo de ENT ha rebasado, a veces, los objetivos iniciales planteados, éstos podrían cifrarse en:

- 1) Diseñar una actividad de entrenamiento formada por un conjunto de ejercicios, cuestiones o preguntas, obtenidos de una Base de Conocimiento existente que constituyen la base de la evaluación a realizar al alumno.
- 2) Cada uno de estos ejercicios o cuestiones viene caracterizado por un número determinado de parámetros con su estimación de intensidad o certeza, el tiempo que requiere su respuesta o solución, etc.
- 3) A través de una colección de criterios el instructor, tutor o usuario de ENT establece las características de la evaluación a obtener como pueden ser: el número de cuestiones, los elementos cognitivos o tácticas que hay que utilizar para resolver esas cuestiones o problemas, la duración total de la evaluación,

etc.

4) Establecidas esas características, ENT obtiene una evaluación que las satisface.

Si no existiera posibilidad de encontrar esa evaluación porque las características de la misma fuesen muy restrictivas o la Base de Conocimiento fuese muy reducida, el sistema advierte que no es posible obtener la evaluación. Conviene advertir que si la evaluación es posible obtenerla, suele ser normal que no sea la única en cumplir esas restricciones, de manera que si se realiza una segunda petición el sistema obtiene otra distinta en la que puede haber cuestiones o problemas comunes o no. Se puede solicitar que esta segunda evaluación no contenga ningún problema o cuestión de la primera. En definitiva, si las características exigidas a la evaluación no son muy restrictivas o la base de conocimiento es amplia se pueden obtener varias evaluaciones que representan el mismo perfil cognitivo descrito por las características impuestas.

6.2.3 ENT: arquitectura de alto nivel

El prototipo ENT se compone de dos subsistemas: la base de conocimiento y el sistema multiagente.

1) La base de conocimiento, como es lógico, depende del dominio de conocimiento en el que se desee realizar la evaluación. Para su construcción no se vislumbran ayudas por el momento. Se compone de una colección (lo mayor posible) de cuestiones, preguntas y problemas relativos a ese dominio de conocimiento. La estructura del registro de cada elemento de la base de conocimiento (sea cuestión o problema) es la siguiente:

1) número de orden; 2) enunciado: incluye el texto completo que se ha de facilitar al alumno; 3) lista de parámetros y su valoración.

La lista de parámetros incluye un conjunto de pares en donde cada par está integrado por un parámetro y una valoración numérica. Los parámetros pueden ser los elementos que se deseen en número y tipo; suelen ser habilidades de aprendizaje, elementos cognitivos en los que se descompone la tarea global del dominio de aprendizaje, el tiempo para su ejecución, la importancia de la cuestión, el interés, etc. La valoración numérica sobre 100 (salvo la duración del ejercicio que vendrá en minutos), refleja la intensidad cuantitativa, cualitativa o borrosa del parámetro asociado para la solución de esa cuestión o problema; en el caso de una valoración cualitativa, ésta puede indicarse con los términos: ALTO, MEDIO, MUY ALTO, etc. Se pueden utilizar también los conjuntos borrosos equivalentes a estas etiquetas cualitativas.

Ejemplo:

Nº 45- Problema (Texto del problema)-((razonamiento geométrico, 55), (razonamiento aritmético, 80), (dificultad, 60), (importancia global, 20), (valor discriminante, 40), (elemento cognitivo 123, 20), (elemento cognitivo 236, 57), (duración, 30), (elemento cognitivo 315, MUY ALTO)).

Todos los problemas y cuestiones de ese dominio de conocimiento han de tener los mismos parámetros y colocados en el mismo orden.

Antes de describir el sistema multiagente hay que detallar algunos elementos importantes de su operativa:

2) Metacriterios y criterios. El más importante de los elementos es la confección de las características de la evaluación. Para ello ENT cuenta con una colección de metacriterios, así llamados porque contienen variables que habrá que emparejar posteriormente con parámetros usados en la descripción de los problemas y cuestiones de la base de conocimiento para llegar a concretar los

critérios.

Ejemplo de metacriterio:

Metacriterio 5:

“Seleccionar N cuestiones o problemas que contengan el parámetro XXX con la intensidad mayor que YYY, y el parámetro ZZZ con intensidad UUU, y el parámetro TTT con la intensidad VVV.”

Este metacriterio tiene como variables un primer número de ejercicios y tres parámetros y sus respectivas intensidades, por lo que si el usuario que quiere generar una evaluación lo escoge, debe agregar los números de orden de los tres parámetros y sus intensidades respectivas. Por tanto deberá indicar al sistema:

Metacriterio 5 + 2 + (2, 30) + (5, 65) + (7, 20)

Con esta información el metacriterio 5 se convierte en el criterio siguiente (en el dominio de conocimiento al que corresponde el problema anterior):

“Seleccionar 2 ejercicios de la base de conocimiento tales que:

-el razonamiento aritmético asociado sea mayor de 30; y

-el valor discriminante sea de 65; y

-la intensidad del elemento cognitivo 236 sea de 20”.

Como puede verse la obtención de criterios concretos a partir de metacriterios es sumamente intuitiva. Por otra parte, los metacriterios pueden ampliarse muy fácilmente para incluir mayor número de parámetros en el mismo. Entre los 14 metacriterios ya incluidos cabe citar:

“Seleccionar N ejercicios cuyos parámetros tienen TODOS una intensidad menor que

XXX”.

“Seleccionar N ejercicios tales que el la MEDIA del parámetro XXX sea YYY y la MEDIA del parámetro ZZZ sea UUU”.

Como se ve, ENT emplea en los metacriterios cotas de los valores de intensidad de los parámetros. Estas cotas pueden venir formuladas por los operadores de relación (que pueden mezclarse): “menor que”, “mayor que”, “menor o igual que”, “mayor o igual que”, y otros similares (fáciles de introducir y cambiar) que hacen relación bien a las intensidades de los parámetros, bien a los valores medios de cada parámetro.

De todas formas, cabe añadir que la construcción de nuevos metacriterios ya ha sido preparada y es tan elemental que se realiza de manera similar a la concreción del metacriterio con la selección de parámetros e intensidades.

Recapitulando: la elección de un metacriterio y la incorporación de la información paramétrica que lo complementa, produce un criterio concreto de selección de ejercicios. Pero existe la posibilidad de componer booleanamente (usando como operadores de combinación los términos “Y”, “O”) los metacriterios con la correspondiente asignación de parámetros con objeto de obtener un criterio final más específico.

Así cabe elegir:

(Metacriterio 3 + lista de parámetros e intensidades) Y (Metacriterio 5 + lista de parámetros e intensidades).

Se acepta que el número de ejercicios N es el mismo en los dos metacriterios. De esta manera los N ejercicios obtenidos satisfacen al metacriterio 3 con sus parámetros correspondientes a la primera lista asociada, y satisfacen al metacriterio 5 con sus parámetros correspondientes a la segunda

lista asociada.

En cualquier caso: “metacriterios + información adicional” producen criterios concretos. Pues bien, cabe agregar al criterio concreto obtenido cuantos adicionales se deseen, y la evaluación o conjunto de ejercicios y cuestiones resultantes, satisfará todos los criterios elegidos por el usuario. El peligro existente, ya comentado, es que si las exigencias son muy intensas puede que el problema de generar la evaluación no tenga solución posible.

3) Sistema multiagente.

El sistema viene integrado por los siguientes agentes:

a) Agente E1. Se encarga del control del sistema que en este caso es muy simple: interpretar la orden del usuario relativa a los metacriterios que quiere usar ya la información complementaria que agrega relativa a los parámetros y sus intensidades. Combina los metacriterios con los operadores lógicos boléanos para obtener así un criterio más específico. También acepta nuevos metacriterios del usuario según un procedimiento establecido. Apenas se necesitan las técnicas de procesamiento del lenguaje natural que alargarían el tiempo de ejecución del proceso. Igualmente superpone los criterios concretos para detallar así las características de la evaluación a generar.

El agente dispone de técnicas de lógica borrosa para operar con los conjuntos borrosos que representan las diversas etiquetas lingüísticas como: ALTO, MEDIO, MUY ALTO, MUY BAJO, etc. y realizar todo un cálculo borroso, “desborrosificando” al final para obtener un valor numérico si se necesita.

b) Agente E2. Está al cargo de la base de conocimiento, su actualización y

control. Obtiene del Agente E1 el perfil completo de la evaluación a generar y realiza un proceso de búsqueda para obtener el conjunto de ejercicios y cuestiones que responde a ese perfil. Si ello no es posible envía un mensaje al usuario advirtiéndole de esa imposibilidad. También el usuario puede solicitar una evaluación con un determinado perfil y la orden de excluir de la misma un determinado número de ejercicios y cuestiones.

c) Agente E3. Queda al cuidado de la interfaz y su posible personalización. Además es el que se ocupa de procesar los posibles mensajes del usuario en lenguaje natural.

6.2.4 ENT: ventajas obtenidas y pruebas realizadas

El prototipo ha sido usado regular e intensamente durante más de tres años y con funcionalidad creciente. Inicialmente no contenía las técnicas de lógica borrosa que fueron introducidas el último año. Ha sido utilizado fundamentalmente con dos objetivos concretos; el primero ha sido generar una evaluación de acuerdo con unas características concretas de la misma establecidas por un tutor humano o de máquina para obtener una calificación de los alumnos. En este caso cada cuestión, problema o elemento de aprendizaje de la base de conocimiento tenía asociado un conjunto de parámetros identificativos y sus intensidades tal como el ejemplo del problema visto anteriormente. Además el prototipo fue usado con propósitos de entrenamiento; en este caso se obtenía un conjunto de elementos de aprendizaje con el fin de que el alumno adquiriera o mejorara ciertos elementos cognitivos presentes en los ejercicios o cuestiones.

Las principales ventajas¹⁷² del sistema han sido:

- 1) Todas las evaluaciones diferentes obtenidas con un mismo perfil son equivalentes desde el punto de vista del aprendizaje porque ejecutan la misma función educativa expresada en términos cognitivos. De esta manera puede evitarse el hecho de que evaluaciones tradicionales, aparentemente similares, den lugar a calificaciones totalmente distintas.
- 2) Es posible la comparación de alumnos que emprenden actividades de aprendizaje similares pero distintas, incluso en tiempos distintos, utilizando evaluaciones que responden a un mismo perfil.
- 2) También es posible introducir en la base de conocimiento elementos de aprendizaje con determinadas intensidades de uno o varios modelos mentales del experto humano (aquí el modelo mental equivaldría a un parámetro).

6.2.4.1 Pruebas realizadas¹⁷³: aceleración de la transferencia de aprendices a expertos

En este sentido hay que constatar que cinco grupos experimentales de gerentes aprendices han estado usando ejercicios obtenidos por ENT para pasar a gerentes expertos (en paralelo siempre con otros cinco grupos de control), y después han sido evaluados también con ejercicios seleccionados por ENT. El tiempo de los grupos de control para alcanzar el nivel de experiencia fue entre el 89% y el 78% más que el de los grupos experimentales.

¹⁷² F. de Arriaga, M. El Alami, A. Ugena, "Aprendizaje Centrado en el Estudiante: Aprendizaje por Proyectos", *Psicología Educativa*, ed: S. Castañeda, México, 2003.

¹⁷³ F. de Arriaga, M. El Alami, A. Ugena, "Acceleration of the Transfer of Novices into Experts: The Problem of Decision Making", *Proceedings BITE'01 International Conference*, Eindhoven, 2001, pág. 349 a 261.

CAPÍTULO IV- PROTOTIPOS

En este capítulo se describen dos prototipos que han sido desarrollados a partir de los recursos y funcionalidad de NEOCAMPUS. El primero, MEDIC, se refiere a un tema de gran importancia, el aprendizaje de la toma de decisiones por parte de un alumno solo o de un grupo de alumnos. También puede usarse por un grupo de expertos para analizar las consecuencias de decisiones importantes antes de adoptarlas. El segundo prototipo, FINANCE, es de naturaleza más común pues su dominio de aprendizaje es un primer curso de una materia universitaria como es la contabilidad financiera.

Ambos prototipos han sufrido diversas modificaciones de ampliación de su funcionalidad a partir de técnicas que fueron posteriormente introducidas en NEOCAMPUS.

1. Simulación para la toma de decisiones

Los procesos de toma de decisiones involucran a la persona tanto en la vida cotidiana como en los temas científicos, tecnológicos y empresariales. El campo de la toma de decisiones es muy amplio y dentro de él entrarían problemas típicos como el planeamiento, el control, el diseño y el diagnóstico y recuperación de errores o fallas. Podríamos afirmar que desde que el hombre es hombre, comienza a decidir.

A pesar de la frecuencia y trascendencia en ocasiones de ese proceso de toma de decisiones, que por otra parte, suele diferenciar a un experto de un aprendiz, el aprendizaje de la toma de decisiones es un tema que no ha ocupado demasiados marcos operativos de la enseñanza tradicional. De la misma forma

que se ha dicho que “andando se aprende a andar”, se ha dicho o se ha asumido que “decidiendo se aprende a *decidir”. Esto último puede ser cierto, pero lo que se ignora es que ese aprendizaje, realizado sin preparación previa puede tener un coste enorme tanto de recursos materiales como incluso de vidas humanas.

La simulación, que por otra parte es un fenómeno desbordante tanto por su extensión como por su profundidad, se utiliza en multitud de dominios y de manera muy diversa aunque siempre en relación con el aprendizaje; esa amplitud de aplicaciones dificulta la adquisición de una idea aproximada de sus cometidos, y de los límites de su desarrollo.

El dilatado campo de la simulación ha estimulado muchas definiciones, la mayor parte con visión solo parcial de la misma. Cabría entender como simulación¹⁷⁴, *"la modelización o representación parcial del mundo físico, y su utilización con objeto de adquirir experiencia, o sobre el comportamiento de un fenómeno complejo, o para la adquisición de una habilidad de funcionamiento en un entorno operativo, o para la toma de decisiones en un cierto entorno real"*.

En términos más lacónicos podríamos decir que la simulación, se ocupa de la construcción y utilización de un modelo de la realidad, a efectos de un aprendizaje intensivo. Con esa definición se pretende acotar el concepto de simulación y diferenciarlo del de ciencia empírica, también empeñada en la elaboración de modelos del mundo real desde una cierta óptica.

En consecuencia con esta definición, simulador será el sistema que reproduzca o en el que se apoye el modelo utilizado en la simulación; a veces, en el terreno técnico, y por abuso del lenguaje, recibe el nombre de simulador el propio modelo elaborado. Eso es lógico, particularmente en los casos en que se trata de un modelo que se instrumenta por completo en el ordenador, es decir, éste contiene todo lo que requiere la simulación. Dejando aparte estos casos, el

¹⁷⁴ F. de Arriaga, *Simulación e Inteligencia Artificial: Aplicaciones a la Defensa*, Estado Mayor de la Armada, Madrid, 1985.

simulador será la colección de aparatos y herramientas con los que se realiza la simulación. Como ejemplo muy representativo citaremos los simuladores de vuelo.

Los objetivos inmediatos de la simulación pueden ser muy variados dentro de la meta final del aprendizaje; cabe el interés por analizar con mayor o menor profundidad un sistema real para determinar y concretar su estructura interna, puede existir interés por conocer la influencia del cambio cualitativo o cuantitativo de ciertos parámetros, cabe el deseo de comparar diversas estrategias de actuación del sistema para elegir la mejor desde un cierto punto de vista, puede haber interés por lograr un diseño aceptable, o realizar un diagnóstico de averías, etc.

De todo ello se deduce que la simulación presenta, entre otras, las siguientes ventajas:

- Permite reducir el coste de los experimentos, en el caso de que el sistema real incluya equipos o instalaciones importantes o valiosas.
- Disminuye o anula el riesgo de accidentes en personas o bienes.
- Reduce los riesgos ecológicos y medioambientales producidos por ciertos experimentos reales, como prácticas de tiro con fuego real, etc.
- Aumenta la eficacia del entrenamiento: al permitir intensificarlo, al poder realizarlo con independencia de las condiciones climáticas y otras, al reducir el tiempo de aprendizaje.
- Además, presenta ventajas indiscutibles de tipo pedagógico, como: poder ajustar la velocidad de su ejecución, la repetición total o parcial del ejercicio, con las mismas condiciones, poder realizar un análisis detallado y exhaustivo del ejercicio.

No obstante, a pesar de las ventajas mencionadas, y otras varias, también se le han achacado inconvenientes, como que:

- La obtención de buenos resultados en simulación puede ser un proceso largo y caro. Forrester habla de unos tres a diez años, para conseguir un buen modelo de planificación.
- La imitación del proceso real puede ser solo aparente, en el sentido de que el modelo puede carecer, por defecto de concepción, de algunas de las características importantes del sistema real, en relación con el problema planteado.
- Cabe atribuir ficticiamente a los resultados de la simulación, que frecuentemente pueden ser obtenidos con muchas cifras decimales, una precisión mayor de la real.
- Por último, el modelo está siempre sometido a limitaciones, de un tipo u otro. Esa imprecisión puede ser paliada, a veces, con un análisis de la sensibilidad del modelo a cambios en los parámetros. Estos inconvenientes y otros similares, no han restado interés por las aplicaciones a una gran cantidad de disciplinas.

El modelo es el ingrediente básico de la simulación, y como anteriormente se ha manifestado, es un intento de representación parcial de la realidad que se simula. Del modelo destacan como características principales:

- Referencia; se trata de la entidad real o conceptual que se modela.
- Correspondencia; relación existente entre el modelo y la entidad.
- Propósito; se refiere a la función cognitiva del modelo. Como funciones importantes destacan: la comunicativa, descriptiva, explicativa, predictiva, de diagnóstico, decisoria, de control, de entrenamiento, de diseño, de optimización.
- Factibilidad/Economía; para el propósito elegido, ha de ser más factible/económico utilizar el modelo que la realidad. Esta característica pragmática no puede obviarse por cuanto será determinante sobre el

posible empleo de la simulación.

Ante todo, el modelo debe ser fácilmente comprensible por el usuario, sobre todo si relegamos a sus espaldas la responsabilidad del aprendizaje, y él debe elegir los supuestos que debe utilizar para ese objetivo. Si esa responsabilidad no recae sobre él, solo bastaría una interfaz amistosa con el usuario y adecuadas explicaciones sobre la solución obtenida, pues existiría algún instructor (hombre o máquina), encargado de escoger los ejercicios adecuados para el aprendizaje.

Además, el modelo debe ir plenamente encaminado hacia la meta u objetivo prefijado, sin que éste aparezca como un subproducto de otras metas, que pueden enmascarar o al menos entorpecer el aprendizaje previsto.

Es muy conveniente también que el modelo sea robusto, es decir, que pueda seguir funcionando aunque sea parcialmente en situaciones anómalas o no previstas inicialmente. Ante todo, porque no es fácil determinar "*a priori*" y con precisión, los límites de un objetivo de aprendizaje. Además porque las situaciones límites del problema suelen tener a veces gran interés, incluso para contrastar la teoría base o las hipótesis que fundamentan el modelo. Y, por último, porque en ocasiones se requiere hacer rápidamente ciertas ampliaciones al problema y puede que no haya mucho tiempo para cambiar el modelo.

El modelo debe ser fácilmente controlable y manipulable, sin que se necesite mucho tiempo o esfuerzo para aprender a manejarlo. Es obvio que la finalidad del aprendizaje no es el funcionamiento del modelo, sino la resolución del problema en cuestión. Igualmente, la modificación o adaptación del modelo a otras circunstancias, debería hacerse sin gran esfuerzo, particularmente en el caso de su evolución hacia uno más complejo o de mayor detalle.

En cuanto a la formulación o diseño del modelo y particularmente en el caso de modelos conceptuales, conviene advertir sobre los peligros iniciales de

considerar elementos o variables que contribuyan poco o nada a los resultados del mismo. Es necesario incluir sólo los aspectos relevantes para los objetivos de la simulación; pues se advierte con frecuencia la tendencia a transferir todas las dificultades de la realidad al modelo, con la secreta esperanza de que el ordenador resolverá todo. En este aspecto, es interesante recordar la Ley de Pareto: en todo grupo hay unos "*pocos esenciales*" y unos "*muchos triviales*". No obstante, se pueden dar algunas pautas que ayudan al diseño y construcción de modelos conceptuales, como son:

- El análisis de flujos de productos, de personas, de dinero, de información... que existen en la realidad; el análisis funcional del sistema real que se realiza de acuerdo con determinadas ópticas, para obtener subfunciones, actividades, tareas.
- El método de descomposición por el que el problema en cuestión se descompone en un conjunto de subproblemas, y cada uno de éstos, a su vez, se trata de descomponer igualmente.
- El método del espacio de estado que estriba en la determinación de un vector de estado, que sintetiza la historia pasada del sistema real, y que, conociendo su estado inicial y las acciones en el tiempo sobre el sistema real, permite determinar el estado del sistema en cualquier instante, si contamos con el operador adecuado de transición de estado.
- El método axiomático que conduce a la creación de un modelo lógico del sistema, constituido por una colección de términos primitivos, que no se definen; un conjunto de axiomas que detalla el manejo de esos términos primitivos; y una interpretación o relación biunívoca de términos no definidos, con objetos del mundo real, y funciones o relaciones del modelo, con procesos reales, de forma que los axiomas se conviertan en hechos conocidos como verdaderos en el mundo real, con su carácter de

observables y verificables. La interpretación elegida es la que concreta el modelo lógico, de forma que un mismo sistema axiomático, podría dar lugar a infinitos modelos lógicos. Las consecuencias lógicas de los axiomas, o teoremas, detallan en este caso el comportamiento del sistema.

El modelo diseñado ha de ser validado en todos los casos. El propósito básico e intuitivo de la validación no es solo privarle de errores y comprobar que representa a la realidad, sino también que el modelo consiga un nivel aceptable de confianza, por parte del usuario, sobre las inferencias internas realizadas en la simulación; pues hay que tener en cuenta que importa sobre todo la utilidad operacional del modelo más que la veracidad de su estructura. Más que un test preciso de validez, existe toda una serie de tests que van creando la confianza del usuario. Sus objetivos son diversos: por una parte demostrar la razonabilidad del modelo, bien por el carácter casi-evidente de sus asertos, por sus consecuencias inmediatas, valores extremos, etc.; además pueden aportar pruebas de las hipótesis asumidas o de las transformaciones de entrada/salida que realiza el modelo.

Fishman y Kiviat¹⁷⁵ establecen distintas categorías dentro de la validación en sentido general. Son éstas: 1) verificación, o adecuación del comportamiento del modelo a su diseño; 2) validación estricta, o identificación entre el comportamiento del modelo y el sistema físico; 3) análisis del problema, con obtención de inferencias significativas relativas a su solución

2. La simulación inteligente

En los últimos años, hemos asistido a una serie de descubrimientos y desarrollos importantes como el incremento y difusión del multiproceso, el desarrollo de las redes locales, la expansión de la orientación a objetos, etc., todos ellos han constituido una ampliación del paradigma de la simulación,

¹⁷⁵ G. Fishman, P. Kiviat, *Statistical Considerations*, The Rand Corporation, 1967.

pero ha sido, sin duda la inteligencia artificial la que con más éxito ha contribuido a enriquecer el paradigma merced a sus posibilidades de nuevos métodos de solución de problemas, la búsqueda heurística, la inferencia inductiva, la deducción lógica y el meta-razonamiento.

Las principales aportaciones de la inteligencia artificial a la simulación, pueden esquematizarse de la manera siguiente:

- Una mejora de la representación del sistema real que puede hacerse de forma variada como combinando el procesamiento numérico con el simbólico o cualitativo;
- Modelizando la toma de decisiones complejas en forma similar a la de las personas o considerando información semicuantitativa e incierta¹⁷⁶;
- Proporcionando ayudas para el diseño del modelo;
- Identificando los parámetros mediante un análisis estadístico; reduciendo la carga computacional del modelo;
- Sobre todas ellas puede llegar a ser importante la ayuda que puede proporcionar en la verificación y validación del modelo.

2.1 Algunas experiencias de la simulación inteligente

No es fácil elegir algún trabajo práctico de simulación entre los miles existentes, por tanto, adoptando un punto de vista personal hemos seleccionado algunos en los que inciden peculiarmente las aportaciones de la inteligencia artificial. Entre ellos mencionaremos:

1)-el proyecto KBS (Knowledge-Based Simulation), desarrollado durante bastantes años en la Universidad Carnegie-Mellon. Entre otras ayudas, el sistema dispone de: un sistema experto que evalúa cuánto se aproxima la simulación realizada a los objetivos deseados, teniendo en cuenta la presencia de restricciones; un mecanismo que supervisa el proceso tratando de

¹⁷⁶ B. D'Ambrosio, "Extending the Mathematics in Qualitative Process Theory", *Proceedings of the 6th National Conference on AI*, Morgan & Kaufmann, 1987.

determinar relaciones causales entre las variables que se manejan; un sistema experto que sugiere cambios en el modelo, para estar más cerca de las metas buscadas; un sistema experto para ejecutar el modelo automáticamente, de acuerdo con los cambios sugeridos por el sistema anterior; un sistema experto para interpretar las preguntas del usuario relativas a los resultados de la simulación.

2)-ARIADNE, desarrollado por Sage y White. Se trata de un entorno de simulación inteligente, que integra algunas técnicas de modelar con ciertas herramientas para resolver una gama de problemas relacionados con el planeamiento y la toma de decisiones en general.

3)-El proyecto HYDRA, de la Universidad Tecnológica de Delft, por Kerckhoffs y colaboradores¹⁷⁷. Es, tal vez, el sistema más representativo de la Simulación inteligente y paralela, dedicado entre otros objetivos, al análisis de las arquitecturas idóneas de computadoras para la simulación en paralelo. Utiliza un ordenador multiproceso hecho específicamente como parte del proyecto

D)-PROSS; el sistema de simulación basada en el conocimiento, de la Rand Corporation, debido a Rothenberg¹⁷⁸.

3. Prototipo MEDIC

3.1 Objetivos del sistema.

Se pretende la simulación de un sistema natural, representado por un modelo de tiempo discreto, para la ayuda en la toma de decisiones a la Dirección del Organismo.

La Gerencia, al más alto nivel, se ocupa de las decisiones de mayor alcance y plazo, que son las menos estructuradas; por ello, además de los documentos contables, requiere una serie de ayudas de diversos tipos como la simulación, que

¹⁷⁷ E. Kerckhoffs et al., "Toward Parallel Intelligent Simulator", en L. Widman et al. (eds.) *Artificial Intelligence Simulation and Modeling*, John Wiley, 1989, pág. 207 a 230.

¹⁷⁸ J. Rothenberg, "The nature of modeling", en L. Widman et al. (eds.) *Artificial Intelligence Simulation and Modeling*, John Wiley, 1989, pág. 75 a 92.

le permitan ensayar no solo las medidas a adoptar antes de su puesta en marcha, sino también los retrasos que se producen en la consecución de los efectos deseados, la interrelación no lineal existente entre sus diversas variables, etc.

Entre estas variables destacan:

- a) El número de pacientes que es capaz de atender el Centro Médico en sus distintas modalidades: internos y externos, y el que realmente atiende.
- b) Ciertos gastos corrientes del Centro, como: proveedores de suministros y servicios externos necesarios para su buena marcha.
- c) Los recursos humanos en sus distintas categorías y clases, de acuerdo con las funciones desempeñadas.
- d) Los recursos materiales internos: inversiones y consumibles.

Además de las decisiones específicas de la Dirección, existen otras de menor nivel, que suponemos son adoptadas por delegación, por los responsables de cada unidad administrativa, autónomamente, pero dentro de su cometido preciso.

Como sistema natural se ha elegido para simular un Centro Médico privado, por diversas razones; ante todo porque ha sido posible tener acceso a toda su organización interior, incluso a sus circuitos de flujo de información, necesarios para poder construir esta versión del prototipo con un cierto realismo. Otras razones para su elección han sido: la diversidad funcional interior de este Centro, que rebasa la normal de una empresa, y su complejidad en relación con su tamaño.

Precisamente por la complejidad interna del Centro y el nivel de resolución que se pretende en el prototipo, éste no abarcará todos los detalles funcionales, pero sí los más relevantes, con objeto de que el tiempo de ejecución en máquina de la simulación no se dispare.

Se supone que los usuarios del prototipo serán Directores del Centro, es

decir, expertos que conocen en profundidad los detalles de funcionamiento del Centro y que, por tanto, no necesitan de formación de perfeccionamiento.

Aunque implícitamente el modelo se refiere a un Centro Médico concreto, se pretende no solo abordar un Centro arbitrario, sino obtener todas las posibilidades de simular en multitarea diversos Centros similares, con capacidad de detener la simulación cuando interese, almacenar los resultados parciales y reanudar en otro momento a partir de la situación existente en la parada.

También se pretende que con ocasión de alguna de estas paradas, puedan cambiarse los parámetros del problema (medidas de la Dirección) para comprobar el efecto de su implantación en ese determinado momento. Así mismo, el incremento de tiempo que constituye la base de la simulación, podrá ser cambiado para acelerar o decelerar el proceso.

3.2 Organización del centro

Los servicios clínicos y médicos que el Centro proporciona son los de, prácticamente, cualquier Centro Médico importante, por lo que, por brevedad, no serán detallados ahora. Sin embargo, los más esenciales aparecerán reflejados al describir los distintos Departamentos funcionales y sus interrelaciones.

Dentro de los Departamentos que vamos a describir, existen tareas similares de comunicación e información, mediante el paso de mensajes, que serán detalladas cuando hablemos de la instrumentación del prototipo.

Los Departamentos del Centro Médico son:

1)-Director General.

Es el máximo responsable de la Organización, con dependencia del Consejo de Administración. Las tareas a tener en cuenta son:

Tarea 1a-

Elabora, o mejor, aprueba, el presupuesto global del Centro, y el de cada Departamento así como las líneas básicas de las políticas de éstos.

Entradas:

Los informes que cada Departamento elabora de seguimiento mensual, como el anual, resumen de actividad, así como la información contable. Esta información, de momento no se materializa en el prototipo, sino que se supone que el usuario del mismo, dispone de ella.

Salidas:

Los presupuestos de cada Departamento y líneas generales de actuación. Dado que el prototipo se construye para que el usuario asuma el papel del Director General, esta información presupuestaria y de actuación es introducida directamente como parámetros de la Simulación por el usuario, bien antes de iniciarse el proceso, bien al iniciarse la Simulación o durante su ejecución.

Tarea 1b-

La modificación de los presupuestos o políticas, en cualquier momento del año, previa aprobación del Consejo de Administración.

La ejecución de esta tarea se engloba con la anterior, habida cuenta de las posibilidades con que se instrumenta la tarea.

Tarea 1c-

La representación del Centro, cuando no la ostenta el Presidente del Consejo. Esta tarea no será considerada en el prototipo.

2)-Comercial y Marketing

Este Departamento define y propone los objetivos comerciales como parte de los empresariales que serán aprobados por la Dirección General, así como de las actividades de estudio, análisis e investigación del mercado, campañas de publicidad y promoción, relaciones con la prensa y medios de comunicación social, así como de los servicios post-venta a clientes e investigación de la calidad

conseguida. Entre las campañas de promoción, se incluyen la realización de Conferencias y Congresos médicos, que tienen lugar en el Centro, o fuera de él, pero bajo su patrocinio y organización.

Conviene tener en cuenta la existencia de dos tipos distintos de clientes:

- los pacientes, internos o externos, que acuden en demanda de servicios médicos, clínicos u hospitalarios;
- los médicos que no están incluidos en la nómina del personal, que llevan a sus pacientes y los atienden, interna o externamente en el Centro Médico y que fundamentalmente son pagados por sus clientes, aunque reciben comisiones del Centro por los servicios que éste presta a los pacientes del médico.

Ambos tipos de clientes son de interés para el Centro, pues repercuten tanto en la ocupación y rendimiento económico del mismo, como en el prestigio y calidad de los servicios dispensados.

Dentro de las actividades de potenciación de la calidad, se incluye el análisis y recomendación de:

- adquisición de nuevos equipos tanto de ayuda al diagnóstico como a las operaciones y recuperación de enfermos;
- cambios funcionales en las instalaciones del Centro para prestar mejor y más rápidos servicios;
- adquisición de nuevas técnicas y productos farmacéuticos;
- creación de nuevos laboratorios o instalaciones.

Como en el caso de la Dirección General, prescindiremos de describir aquí, las tareas de análisis y propuestas e información, que serán desempeñadas total o parcialmente por las tareas de comunicación, descritas posteriormente. Por lo que como tarea específica consideraremos:

Tarea 2a-

Ejecutar las campañas de promoción, publicidad y Congresos Médicos, de

acuerdo con la política establecida por la Dirección General y presupuestos aprobados.

Entradas:

Los datos presupuestarios y autorizaciones relativas a publicidad y Congresos.

Salidas:

Registro de las actividades realizadas así como de su importe unitario y acumulado.

3)-Recursos Humanos

Desempeña las funciones típicas de este género de Departamentos, y específicamente las de contratación de personal nuevo, las relaciones laborales en toda su extensión, incluyendo la promoción interna, y servicios de protección y ayuda, así como la formación, y valoración del personal.

En consecuencia, analiza las necesidades presentes y futuras de personal, y realiza las actividades pertinentes de selección para completar los cuadros autorizados por la Dirección General en los momentos precisos.

Se encarga, por delegación de la Dirección General, de las relaciones con el Comité de Empresa y negociación de convenios colectivos. Igualmente asume las funciones de ajuste de plantilla, cuando llega ese extremo, y realiza las actividades de información y comunicación con los trabajadores del Centro.

Se ocupa de la elaboración de la nómina y de las relaciones y pagos con la Seguridad Social.

Recibe las peticiones de aumentos de plantilla de los diversos Departamentos, que somete a la Dirección General junto con su informe, relativo a la adecuación y necesidad de esos incrementos.

Prescindiendo aquí de las tareas de asesoramiento o información general, las que consideraremos son:

Tarea 3a-

Elaboración de la nómina y pago al personal del Centro, incluyendo las comisiones a los médicos.

Entradas:

Los datos de la plantilla existente y los costes mensuales por categoría laboral, etc. Cantidades a abonar como comisión a médicos por servicios prestados por el Centro a propuesta de ellos.

Salidas:

Registro del gasto total y su acumulación trimestral, etc, y total de todo el período de la simulación.

Tarea 3b-

Contratación del nuevo personal aprobado.

Entradas:

Catálogo numérico de nuevos puestos por categoría, previa aprobación por la Dirección General.

Salidas:

Aumento de las cifras de plantilla. Registro de los gastos ocasionados por la contratación de nuevo personal.

Tarea 3c-

Ajuste de una determinada plantilla.

Entradas:

Relación numérica de los puestos a amortizar, determinados por la Dirección General.

Salidas:

Disminución numérica de la plantilla. Registro de los costes de jubilación anticipada y despido.

Tarea 3d-

Formación y perfeccionamiento del personal. Dispone de un módulo por persona para gastos de formación que administra.

Entradas:

Dato numérico del módulo a invertir en formación.

Salidas:

Registro con las cantidades invertidas que se acumulan en función de la labor realizada.

4)-Compras

Como su nombre indica, realiza todo tipo de compras salvo las de productos farmacéuticos que realiza el propio Departamento de Farmacia.

Las compras se refieren tanto a las relativas a inversiones como a gastos corrientes, de acuerdo con las necesidades y previsiones de los Departamentos. Realiza todas las funciones relativas a la gestión de compras y gestión de almacenes. Solicita ofertas de proveedores y las analiza, para cubrir las necesidades del Centro con el mínimo desembolso.

Aparte de las tareas de asesoramiento e información, las tareas que se consideran son:

Tarea 4a-

Toda la gestión de compras de acuerdo con las necesidades, previsiones y presupuestos.

Entradas:

Las previsiones y presupuestos, así como las necesidades planteadas por el consumo de inputs en la prestación de servicios. Las compras de consumibles, que son consecuencia de servicios solicitados por los clientes, se realizan siempre. En cuanto a las inversiones, solo se realizan las aprobadas en el presupuesto anual, o extraordinariamente por la Dirección General.

Salidas:

Registro de las compras realizadas, y sus estados acumulados. Incremento de la cifra de almacenes, que luego se irá descargando cuando los Departamentos pertinentes proporcionen los servicios requeridos.

Tarea 4b-

Gestión de las devoluciones de material defectuoso. Se instrumenta dentro de la tarea anterior, como minusvaloraciones de material y de la cifra desembolsada.

5)-Farmacia

Realiza funciones análogas al Departamento de Compras, pero solo de productos farmacéuticos y material clínico, de los que mantiene el oportuno almacén en función de las previsiones de consumo, plazos de caducidad de los medicamentos y depósitos de seguridad para evitar la ruptura.

Realiza las tareas 5a y 5b enteramente análogas a 4a y 4b, pero relativas a los productos mencionados.

6)-Secretaría General

Asume buena parte de los trabajos administrativos del Centro, aunque, como veremos, auxiliado por otros Departamentos. Es el colaborador directo del Director General, de quien recibe delegación para emitir documentos y convocar reuniones.

Las funciones ordinarias que realiza son: administración general, caja, administración de clientes, facturación, asesoramiento fiscal, asesoramiento jurídico, etc.

Dejando aparte las tareas de información y asesoramiento, las tareas que consideraremos son:

Tarea 6a-

Gestión de Caja y Bancos; para ello se ocupa de:

-cobros a clientes, al terminar los servicios o cesar como cliente. En una primera

aproximación no se tienen en cuenta las diferencias en los plazos de cobro entre los clientes particulares con pago al contado, y los clientes afiliados a una sociedad mutual, que paga con alguna demora convenida;

-pagos a proveedores, aprobados anteriormente por el Director de Compras (dentro de la política y presupuesto anual) o Director General, y de los que una parte se abona a 30 días y otra a 60 días;

-en esta aproximación se supone un porcentaje determinado de morosos, cuyo cobro total o parcial implica unos gastos que se registran.

Entradas:

Facturación emitida y recibida. Información sobre los períodos de pago.

Salidas:

Registro de las cantidades abonadas o percibidas y su acumulación progresiva. Control de cuentas. Anotaciones de los saldos pendientes de cobro y de pago a 30 y 60 días. Anotaciones de morosos y su cobro parcial o total.

Tarea 6b-

Emisión de la facturación con todos los cargos procedentes de: comidas, estancias, farmacia, quirófanos y material quirúrgico, análisis y otras pruebas de laboratorio, etc.

Entradas:

Las tarifas son aprobadas por la Dirección General previo informe y propuesta de la Secretaría General. Con ellas y los registros de estancias y servicios proporcionados a los clientes, se elaboran las facturas.

Salidas:

Volumen numérico de servicios prestados e importes a cobrar.

7)-Financiero

Es un Departamento colaborador de Secretaría General que fundamentalmente se ocupa de la Contabilidad y Finanzas del Centro. En

consecuencia se ocupa de elaborar toda la información contable a la Dirección General, Consejo de Administración y situación de los Departamentos, así como la información fiscal.

Se encarga de evaluar la situación financiera del Centro, tanto a corto plazo, analizando su liquidez y necesidades de tesorería, como a medio y largo plazo previendo la obtención de los recursos necesarios.

Está en comunicación con todos los Departamentos, de los que recibe toda la información de clientes, servicios, personal, compras, facturación, cobros, pagos, préstamos, créditos, etc.

Las tareas que el prototipo considera, dejando aparte las asesoras e informativas, son:

Tarea 7a-

Dado que se presupone que el usuario del prototipo dispone de información relevante como la económica-financiera, éste no elabora una verdadera contabilidad. Podría hacerlo si se le incorporara uno de los programas existentes en el mercado que se encargan de esa elaboración, pero ello complicaría innecesariamente al prototipo, por tanto lo que realiza es una acumulación de registros a la manera del control presupuestario.

Entradas:

La información de los Departamentos relativa a las estancias y servicios prestados, facturación emitida y recibida, cobros, pagos, etc.

Salidas:

Los saldos de grandes cuentas y un cierto desglose, como costes de personal (total, por Departamento, por categoría, etc.), compras por Departamento (con desgloses), venta de servicios, liquidez, rendimiento económico, etc.

Tarea 7b-

A partir de los datos de facturación y períodos de cobro, se calculan las cantidades a cobrar en cada uno de los plazos: 30 y 60 días.

Entradas:

Datos de facturación y períodos de cobro.

Salidas:

Registro de cantidades a cobrar en los distintos plazos, que se van acumulando a las anteriormente existentes, y disminuyendo por las cantidades cobradas.

8) Dirección Técnica

Realiza funciones de coordinación y control del personal médico permanente del Centro Médico, así como de los médicos externos que trabajan en el mismo, responsabilizándose médicamente de cualquier acontecimiento que suceda en el Centro.

Sus tareas fundamentales son las de coordinación, estableciendo turnos, suplencias, etc. de los médicos y servicios en los Laboratorios y dependencias que no cuentan con un jefe concreto, por lo que mantiene relaciones con numerosos Departamentos.

Al detectar anomalías en los servicios autónomos del Centro, entra en contacto con sus responsables para canalizar la solución adecuada que permita lo más rápidamente posible recuperar la normalidad.

Vigila la calidad de los servicios prestados, informando a la Dirección General y proponiéndole las medidas adecuadas con detalle de sus costes e incidencias, tendentes a esa mejora de la calidad.

Informa a la Dirección sobre las necesidades médicas y los posibles candidatos a contratar, supervisa la documentación y archivo clínico, aprueba las comidas tanto generales como específicas de acuerdo con el médico de cada paciente, así como las personalidades que van a intervenir en los diferentes

Congresos organizados por el Centro.

Autoriza las peticiones de compras de material auxiliar y farmacéutico. Sus tareas informativas de asesoramiento y control, serán asumidas por las tareas de comunicación del Departamento, descritas más adelante.

Seguidamente describiremos los Departamentos de Producción del Centro.

9) Servicios clínicos

Este Departamento es el más numeroso puesto que incluye a los médicos permanentes, personal A.T.S., auxiliares de clínica, mozos y personal administrativo.

En cuanto a espacios que atiende hay que incluir: las plantas o zona de habitaciones, quirófanos, Unidad de Cuidados Intensivos, Unidad Coronaria, salas de parto, urgencias, nido, y bancos de sangre. Una parte de este personal trabaja destacado en diversos Laboratorios y Servicios del Centro.

La Jefatura del Departamento tiene a su cargo el establecimiento de turnos, servicios de guardia y sustituciones del personal no médico del Departamento. Informa de los servicios prestados, consumos realizados y necesidades de reposición del material que se encuentra a disposición del Departamento, necesidades de mantenimiento y reposición, comidas a suministrar, y elabora o mantiene el historial médico y clínico de cada paciente. En consecuencia, se relaciona con todos los Departamentos del Centro.

Una gran parte de sus tareas son asumidas por las tareas de comunicación.

Además señalaremos:

Tarea 9a-

Realización de los servicios clínicos solicitados, que corresponden al Departamento.

Entradas:

Datos sobre pacientes, tratamientos y comidas.

Salidas:

Se registran las medicinas y otros productos gastados, que son descargados de los existentes, con información a Secretaría General para la oportuna facturación.

Tarea 9b-

Se gestionan las operaciones quirúrgicas en los quirófanos.

Entradas:

Información sobre los quirófanos en servicio y operaciones programadas.

Salidas:

Registros de operaciones con importe y demás consumos para su facturación posterior por Secretaría General

10) Laboratorios y Servicios Generales

Este Departamento agrupa a las siguientes unidades:

- Urgencias;
- Unidad de cuidados intensivos;
- Laboratorio de Análisis Clínicos;
- Radiología;
- Medicina nuclear;

Puesto que el prototipo no va a entrar en el detalle de cada caso clínico, sus tareas, que se hacen fundamentalmente en términos estadísticos, se incluyen en las de comunicación con los restantes Departamentos.

11) Fisioterapia

Se encarga de realizar los servicios asistenciales de este género, y gestionar las instalaciones que para ello cuenta el Centro.

Su funcionamiento administrativo para nosotros es similar al Departamento anterior. Sus tareas se incluyen también en las de comunicación entre Departamentos.

A continuación nos referiremos a los Departamentos de apoyo al Centro.

12) Procesamiento de Información

Cubre todas las tareas informáticas del Centro, desde la admisión de enfermos, registro de las eventualidades médicas y clínicas, contabilidad, facturación, pedidos, etc.

Se encarga de realizar las propuestas de nuevas adquisiciones de equipos o programas, que han de ser aprobados por la Dirección General. Lo propio ocurre con las propuestas de aumentos de plantilla.

Desde nuestro punto de vista y aparte de las tareas de información, realiza:

Tarea 12a-

Exploata y gestiona un material “*hardware*” diverso, cuyo gasto gravita sobre el Departamento.

Entradas:

Equipos servidores, ordenadores PC y equipos auxiliares.

Salidas:

Registro del gasto consumido en cada clase de equipo.

Tarea 12b-

Exploata y gestiona diversos programas comerciales y específicos, de cuyo gasto es responsable.

Entradas:

Programas de ordenador, divididos en tres categorías: sistemas operativos, *software* comercial y *software* de aplicación específico.

Salidas:

Registro del gasto consumido en cada clase de programas.

13) Archivo

Se ocupa de mantener toda la información actual e histórica del Centro. Incluye los historiales médicos e informes de realización anual de los distintos

Departamentos.

Sus tareas no han sido tenidas en cuenta en nuestro prototipo.

14) Reparación y mantenimiento

De acuerdo con su denominación se ocupa de la reparación de equipos y mantenimiento de las instalaciones de las que no existe un contrato de mantenimiento o reparación externos.

En relación con estos últimos servicios prestados por empresas externas, se encarga de su supervisión y de hacer valer las cláusulas de garantía en la compra de equipos.

Sus tareas de mantenimiento y reparación son consideradas por el prototipo en términos estadísticos, englobadas dentro de las tareas de comunicación con otros Departamentos.

15) Limpieza

Es un Departamento más importante de lo que puede pensarse a primera vista, pues se encarga no solo de la limpieza y lavandería, que constituye un servicio permanente, sino también de la esterilización de quirófanos y determinados entornos y equipos.

Tiene un determinado número de personas, que en ocasiones puede resultar excesivo o insuficiente, en cuyo caso solicitará la ampliación de su plantilla y contratación del personal oportuno.

Envía información a Compras relativa a los productos que necesita, recepciona los productos recibidos que anota en su Inventario. Remite parte diario a Secretaría General sobre los servicios prestados, aunque la mayor parte no son facturados al paciente al estar incluidos en el precio de habitación o gastos de quirófano. Sí son facturados los servicios de lavado de la ropa particular del paciente.

Está en comunicación permanente con los Servicios Clínicos para conocer,

entre otros datos, el momento en que una habitación ha quedado libre, para su limpieza y desinfección extraordinaria. Recibe de este Departamento los materiales para su lavado y limpieza.

Aparte de las tareas de comunicación, asume las tareas:

Tarea 15a-

Realiza las tareas de limpieza y lavandería. A la vista de las peticiones recibidas, o lo que es lo mismo, la relación de habitaciones ocupadas, operaciones quirúrgicas, Congresos, etc. Trata de llevarlas a cabo con el personal existente; para saber si ello es posible existe un "ratio" de servicios por persona, del que dispone. Si no fuera posible atender los servicios, además de proponer los aumentos de plantilla, emite un mensaje de imposibilidad de atender el servicio.

Entradas:

Información sobre habitaciones ocupadas, operaciones quirúrgicas a realizar y Congresos, número de habitaciones atendidas por persona de limpieza, número de quirófanos desinfectados por persona de limpieza.

Salidas:

Registro de servicios realizados y su acumulado, saldo de servicios residuales a realizar y acumulado.

16)-Restauración

Se ocupa de atender los servicios de comidas y bebidas de los pacientes en sus habitaciones. Estos servicios no son facturados a clientes porque entran en el precio de la habitación, pero sí contabilizados por un módulo fijo para conocimiento de los gastos y costes del Centro, pues se trata de un servicio exterior arrendado. A pesar de ello, dispone de un reducido personal propio para el suministro. En el caso de no poder atender todos los servicios, solicita aumento de plantilla.

También se encarga de atender en sus propias instalaciones al personal del

Centro, familiares de pacientes y visitantes, a los que cobra directamente.

Aparte de las tareas de información, se encarga de:

Tarea 16a-

Suministro de comidas y refrigerios a pacientes en su habitación por un módulo diario.

Entradas:

De Secretaría General recibe diariamente el número de habitaciones ocupadas, y plan dietético específico de cada enfermo. Módulo a cobrar por enfermo y día.

Salidas:

Número de habitaciones atendidas y cantidades diarias facturadas al Centro.

3.3. Diseño preliminar del prototipo

Para llevar a cabo el prototipo en el entorno de Simulación, hemos adoptado la siguiente arquitectura fundamental multiagente.

En primer lugar hemos creado un agente (AgenteF1) que representa al usuario en la ejecución de las tareas de la Dirección General, es decir: este agente recibe las políticas y objetivos del usuario a través de la interfaz, para comunicárselas a los restantes agentes. Se encarga de gestionar la interfaz, pues conviene recordar que dado el tipo de usuarios aceptado, gerentes con experiencia, no es necesario facilitar componentes cognitivos ni facilitar mecanismos de transferencia de aprendices a expertos.

En principio, este agente ya fue definido en el Capítulo 4, al tratar de la interfaz del entorno, pero como ya anunciamos en su momento, necesitaba de una mayor concreción en cada caso específico, lo cual ha sido realizado. Dentro de esos detalles incluidos destacan las particularidades de las distintas ventanas de la

interfaz y las tareas de comunicación que describiremos más adelante en forma global.

Para el resto de la arquitectura hemos tenido en cuenta que se trata de un sistema natural que hemos descrito con una aproximación funcional. Dichas tareas podrían agruparse de una manera más coherente, sobre todo teniendo en cuenta que se trata de una simulación, pero hemos preferido mantener la separación natural de los Departamentos del Centro por una razón importante. En el momento actual la misión del prototipo es facilitar la toma de decisiones de la Dirección General, pero también que todo un equipo formado por los Jefes de Departamento y el Director General, los reales o un equipo de estudiantes, ensayaran sus respectivas actuaciones a la manera como lo hacen los Estados Mayores en un Centro de Mando y Control.

En consecuencia, y como no hemos querido aumentar excesivamente el número de agentes, hemos establecido un agente deliberativo por cada Departamento, que actúa autónomamente, pero de acuerdo con las políticas y objetivos que recibe de la Dirección General. Dicho agente asume además de las tareas de comunicación, las tareas específicas que han sido señaladas.

Estos agentes están en constante comunicación mediante el intercambio de mensajes con los que:

- se informan mutuamente;
- se comunican metas u objetivos;
- se comunican sobre la consecución total o parcial de las metas;
- se piden ayuda, solicitando recursos de otros Departamentos o su ampliación por parte de la Dirección General.

Los agentes integran una jerarquía de dos niveles: el más alto lo integra exclusivamente el agente M1 que hace el papel de Director General; los restantes agentes (2 a 16), representando a los Departamentos, integran el nivel más bajo.

3.4 Diseño detallado del prototipo .

En el Apéndice A se incluyen detalles del diseño detallado de MEDIC relativos a las funciones y clases construidas.

3.4.1 Orientacion a agentes

Se trata, como ya hemos enunciado anteriormente de una arquitectura de dos niveles de agentes, que se comunican y cooperan mediante el paso de mensajes.

- La simulación se realiza día a día, y para ello cada agente va procesando los mensajes recibidos y ejecutando sus tareas secuencialmente, cediéndose el control. De todas formas cabe que la Simulación se realice por períodos más largos de tiempo (semanas). Cada agente posee además un control local que determina la consecución o no de las metas, y en caso necesario pide ayuda solicitando aumento de recursos.
- Disponen todos ellos de un mismo motor de inferencia que les permite obtener sus conclusiones y realizar sus tareas no reactivas;

1) Nivel 1; agente F1.

Asume el papel del Director General en las tareas no asumidas por el usuario; es decir, recibe los objetivos y decisiones del usuario y las ejecuta dentro del sistema.

A las tareas y módulos del agente cognitivo genérico de NEOCAMPUS hay que agregar:

Módulo de estado.

- Se ocupa de asimilar los objetivos establecidos interactivamente por el usuario.

Módulo de conocimiento específico: Capa Nivel 2:

Tarea de la gestión de la ventana principal y ventanas sucesivas.

Módulo de comunicación.

- Este agente se comunica con todos los restantes, modificándoles e imponiéndoles sus metas.
- Ejecuta las tareas 1a, 1b y 1c, descritas en el apartado 3.2 Organización del Centro de este capítulo.
- También incluye detalle de costes y algunos de los parámetros iniciales del Centro, número de habitaciones, número de quirófanos, día, mes y año de la simulación.
- Recibe también la información concreta de cada Departamento, que presenta en la ventana correspondiente.

2) Nivel 2: agentes 2 a 16.

- Cada agente recibe en su módulo de estado los objetivos pertinentes. Ejecuta en su nivel táctico, las tareas descritas en 6.2 sobre Organización del Centro. Para ello cuenta con detalles del inventario correspondiente, de costes, así como de los otros Departamentos con los que se comunica.
- Igualmente, cuenta con la lista de personal y equipamiento propia y las que les corresponda por comunicación, como el Departamento de Recursos Humanos que dispone de toda la información y detalle del personal del Centro.

Módulo de comunicación: tareas de comunicación

Este es un módulo muy específico e importante para cada agente puesto que realiza muchas tareas que, como se vio, fueron relegadas a comunicaciones.

En consecuencia se detallan seguidamente las clases de mensajes existentes enviados y recibidos por cada Departamento.

3.4.2 Comunicaciones entre agentes

1) Dirección General

Envía:

- presupuestos y objetivos mensuales/anuales a todos los Departamentos;
- estructura departamental mensual/anual;
- autorización de nuevos recursos mensuales/anuales de todos los Departamentos.

Recibe:

- el estado de cada Departamento mensual/anual;
- petición de nuevos recursos mensuales/anuales de cada Departamento.
- petición de nuevos recursos de cada Departamento.

2) Comercial

Envía:

- a Dirección General el estado mensual/anual del Departamento;
- petición de recursos y necesidades a Dirección General (mensual);
- petición de recursos hardware, software, formación, al Departamento de Procesamiento de Información (mensual);
- petición de recursos de refrigerios para Congresos al Departamento de Restauración (semanal);
- petición de reparaciones a Departamento de Mantenimiento (semanal);
- petición de recursos humanos al Departamento de Recursos Humanos (mensual);
- petición de material fungible a Compras (semanal);
- petición de limpieza de salones de Congresos a Limpieza (semanal);

- petición de pagos a proveedores a Secretaría General (diaria).

Recibe:

- vencimiento de contratos de Recursos Humanos (diario);
- presupuestos anuales y objetivos de Dirección General;
- estructura departamental (mensual).

3) Recursos Humanos

Envía:

- estado mensual del Departamento a Dirección General;
- petición de recursos y necesidades a Dirección General (mensual);
- petición de pago de nóminas a Secretaría General (mensual);
- petición de otros pagos de personal a Secretaría General (diario);
- petición de reparaciones a Mantenimiento (diario);
- petición de material fungible a Compras (semanal);
- petición de recursos hardware, software, formación, a Procesamiento de Información (mensual);
- vencimiento de contratos de personal a todos los Departamentos (diario).

Recibe:

- presupuestos y objetivos anuales, de Dirección General;
- estructura departamental, de Dirección General (mensual);
- petición de recursos humanos, de todos los Departamentos;
- petición de formación en recursos humanos, de todos los Departamentos.

4) Compras

Envía:

- estado mensual del Departamento a Dirección General;
- petición de recursos y necesidades a Dirección General (mensual);
- petición de pagos a proveedores de material fungible y aparatos a Secretaría General (diario);

- petición de recursos humanos, personal, formación a Recursos Humanos (mensual);
- petición de recursos de hardware, software y formación a Procesamiento de Información (mensual);
- almacén de fungibles a Servicios Clínicos;
- información de Inventario para Finanzas;
- compras a exterior (diaria);

Recibe:

- los presupuestos anuales y objetivos de Dirección General;
- estructura departamental de Dirección General (mensual);
- vencimiento de contratos de Recursos Humanos (diario);
- petición de recursos de fungibles de Procesamiento de Información, Servicios Clínicos, Fisioterapia, Reparación, Limpieza, Hostelería, Comercial, Documentación y Recursos Humanos, Dirección Técnica (también aparataje) (semanal);
- petición de material de oficina de Secretaría General y Finanzas (semanal).

5) Farmacia

Envía:

- estado mensual del Departamento a Dirección General;
- petición de recursos y necesidades a Dirección General (mensual);
- petición de pagos a proveedores de medicamentos a Secretaría General (diario);
- petición de recursos humanos a Recursos Humanos (mensual);
- petición de recursos de hardware, software, formación de Procesamiento de Información (mensual);
- almacén de productos farmacéuticos a Servicios Clínicos y Fisioterapia (diario);

- compra al exterior de medicamentos y aparatos.

Recibe:

- presupuestos y objetivos anuales de Dirección General;
- estructura departamental de Dirección General (mensual);
- vencimientos de contratos de Recursos Humanos (diario);
- petición de medicamentos de Servicios Clínicos, Fisioterapia, Dirección Técnica (diaria).

6) Secretaría General

Envía:

- estado mensual del Departamento a Dirección General;
- petición de recursos y necesidades a Dirección General (mensual);
- petición de reparaciones a Reparación (diaria);
- petición de recursos de hardware, software, formación a Procesamiento de Información (mensual);
- petición de recursos de personal a Recursos Humanos (mensual);
- petición de material de oficina a Compras (semanal);
- información de facturación, compras a proveedores, ingresos y pagos a Finanzas (diaria);
- información de pagos de nóminas de Finanzas (mensual);

Recibe:

- presupuestos y objetivos anuales de Dirección General;
- estructura departamental de Dirección General (mensual);
- vencimientos de contratos de personal de Recursos Humanos (diaria);
- pagos a proveedores de hardware, software, servicios y formación de Procesamiento de Información (diario);
- pagos a contratos de mantenimiento de Reparación (diario);
- pagos a créditos financieros de Finanzas (diario);

- pagos a proveedores de Comercial (diario);
- pagos a proveedores de medicamentos de Farmacia (diario);
- pagos a proveedores de material fungible de Compras (diario);
- pagos de salarios de Recursos Humanos (mensual);
- otros pagos a personal de Recursos Humanos (diario);
- material de limpieza consumido de Limpieza (diario);
- consumos de pacientes (refrigerios extraordinarios) de Restauración (diario);
- consumos de pacientes en medicamentos, quirófanos, materiales, laboratorios, de Servicios Clínicos, Laboratorios y Fisioterapia (diario).

7) Financiero

Envía:

- estado mensual del Departamento a Dirección General;
- petición de recursos y necesidades a Dirección General (mensual);
- petición de recursos hardware, software, formación a Procesamiento de Información (mensual);
- petición de recursos humanos a Recursos Humanos (mensual);
- petición de material de oficina a Compras (semanal);
- pagos a entidades financieras a Secretaría General (diario).

Recibe:

- presupuesto y objetivos anuales, de Dirección General;
- estructura departamental, de Dirección General (mensual);
- vencimientos de contratos, de Recursos Humanos (diario);
- información de ingresos, pagos, facturación, compras de Secretaría General (diario);
- información de pago de nóminas, de Secretaría General (mensual);
- información de inventario y existencias, de Compras (mensual);

- créditos de entidades financieras.

8) Dirección Técnica

Envía:

- estado mensual del Departamento a Dirección General;
- petición de recursos y necesidades a Dirección General (mensual);
- petición de reparaciones a Mantenimiento (diaria);
- petición de recursos de hardware, software y formación de Procesamiento de Información (mensual);
- petición de medicamentos de Farmacia (diaria);
- petición de recursos de material y aparatos de Compras (semana);

Recibe:

- presupuestos anuales y objetivos de Dirección General;
- estructura departamental de Dirección General (mensual);
- vencimiento de contratos (diario);
- peticiones de Laboratorios (mensual).

9) Servicios Clínicos

Envía:

- estado mensual del Departamento a Dirección General;
- peticiones de recursos y necesidades a Dirección General;
- petición de reparaciones a Reparación (diario);
- petición de recursos de hardware, software, formación a Procesamiento de Información (mensual);
- petición de material fungible a Compras (semanal);
- petición de limpieza a Limpieza (diario);
- petición de comidas a Restauración (diario);
- petición de servicios a Laboratorios (diario);
- petición de medicamentos a Farmacia (diario);

- petición de recursos humanos a Recursos Humanos (mensual);
- petición de servicios a Fisioterapia (diario);
- petición de servicios a Archivo (diario);
- quirófanos, medicamentos, servicios y fungible consumidos o utilizados por los pacientes (diario)

Recibe:

- presupuestos y objetivos anuales de Dirección General;
- estructura departamental de Dirección General (mensual);
- vencimiento de contratos de Recursos Humanos (diario);
- niveles de almacén de fungibles de Compras (diario);
- niveles de almacén de medicamentos de Farmacia (diario).

10) Laboratorios y Servicios

Envía:

- estado mensual del Departamento a Dirección General;
- peticiones de recursos y necesidades a Dirección General (mensual);
- consumos de pacientes y servicios a Secretaría General (diario);
- peticiones de recursos humanos a Recursos Humanos (mensual);
- petición de material de oficina a Compras (semanal).

Recibe:

- presupuestos y objetivos anuales de Dirección General;
- estructura departamental de Dirección General (mensual);
- vencimiento de contratos de Recursos Humanos (diario);
- petición de servicios de Servicios Clínicos (diario).

11) Fisioterapia

Envía:

- estado departamental a Dirección General (mensual);
- petición de recursos y necesidades a Dirección General (mensual);

- materiales y servicios consumidos por pacientes a Secretaría General (diario);
- petición de recursos humanos a Recursos Humanos (mensual);
- petición de limpieza a Limpieza (diario);
- petición de recursos de hardware, software, formación a Procesamiento de Información (mensual);
- petición de servicios de archivo a Archivo (diario);
- petición de medicamentos a Farmacia (diario);
- petición de fungibles a Compras (semanal);
- petición de reparaciones a Reparación (diario).

Recibe:

- presupuestos y objetivos anuales, de Dirección General;
- estructura departamental, de Dirección General (mensual);
- vencimiento de contratos de personal, de Recursos Humanos (diario);
- petición de servicios, de Servicios Clínicos (diario);
- almacenes de fungibles, de Compras (diario);
- almacén de medicamentos, de Farmacia (diario).

12) Procesamiento de Información

Envía:

- estado mensual del Departamento a Dirección General;
- petición de recursos y necesidades a Dirección General (mensual);
- petición de recursos humanos a Recursos Humanos (mensual);
- petición de fungibles a Compras (semanal);
- petición de reparaciones a Reparación (diario);
- pagos a proveedores de hardware, software, servicios a Secretaría General (diario);

Recibe:

- presupuestos y objetivos anuales de Dirección General;
- estructura departamental de Dirección General (mensual);
- vencimiento de contratos de personal de Recursos Humanos (diario);
- petición de recursos de hardware, software, formación de los restantes Departamentos (mensual);
- nuevos equipos informáticos y aplicaciones.

13) Archivo

Envía:

- estado mensual del Departamento a Dirección General;
- petición de recursos y necesidades a Dirección General (mensual);
- petición de recursos humanos a Recursos Humanos (mensual);
- petición de fungibles a Compras (semanal);
- petición de reparaciones a Reparación (diario);
- petición de recursos de hardware, software, formación a Procesamiento de Información (mensual).

Recibe:

- presupuestos y objetivos anuales de Dirección General;
- estructura departamental de Dirección General (mensual);
- vencimiento de contratos de personal de Recursos Humanos (diario);
- petición de recursos de archivo de Servicios Clínicos y Fisioterapia (diario).

14) Reparación y Mantenimiento

Envía:

- estado mensual del Departamento a Dirección General;
- petición de recursos y necesidades a Dirección General (mensual);
- petición de recursos humanos a Recursos Humanos (mensual);
- petición de fungibles a Compras (semanal);
- pagos a contratos externos de mantenimiento a Secretaría General (diario).

Recibe:

- presupuestos y objetivos anuales de Dirección General;
- estructura departamental de Dirección General (mensual);
- vencimientos de contratos de personal de Recursos Humanos (diario);
- petición de reparaciones y mantenimiento del resto de Departamentos (diario).

15) Limpieza y Lavandería

Envía:

- estado mensual del Departamento a Dirección General;
- petición de recursos y necesidades a Dirección General;
- petición de recursos humanos a Recursos Humanos (mensual);
- petición de fungibles a Compras (semanal);
- petición de recursos de hardware, software, formación a Procesamiento de Información (mensual);
- petición de reparaciones a Reparación (diario);
- consumos en limpieza a Secretaría General (diario).

Recibe:

- presupuestos y objetivos anuales de Dirección General;
- estructura departamental de Dirección General (mensual);
- vencimiento de contratos de personal de Recursos Humanos (diario);
- petición de limpiezas de Servicios Clínicos, Fisioterapia y Comercial (diario);
- materiales de limpieza.

16) Restauración

Envía:

- estado mensual del Departamento a Dirección General;
- petición de recursos y necesidades a Dirección General (mensual);

- petición de recursos de personal a Recursos Humanos (mensual);
- petición de reparaciones a Reparación (diario);
- petición de recursos de hardware, software, formación a Procesamiento de Información (mensual);
- petición de fungibles a Compras (semanal);
- consumos de pacientes en refrigerios, etc. a Secretaría General (diario);

Recibe:

- presupuestos y objetivos anuales de Dirección General;
- estructura departamental de Dirección General (mensual);
- vencimiento de contratos de personal de Recursos Humanos (diario);
- petición de refrigerios para congresos de Comercial (semanal);
- petición de recursos de Servicios Clínicos (diario).

3.4.3. Comunicación con el usuario

La comunicación del usuario con el prototipo presenta aspectos distintos; nosotros los agruparemos en:

- entrada de datos y manejo de la simulación;
- aprendizaje de los usuarios y ejercicios de simulación.

3.4.3.1. Entrada de datos.

Las interfaces del prototipo se caracterizan por disponer de un sistema de ventanas.

La primera ventana o básica, presenta como primera línea un clásico menú Windows formado por:

1)-Archivo 2)-Edición 3)-Departamento 4)-Simulación

Las dos primeras opciones, son típicas de Windows y al seleccionarlas presentan sendos menús conocidos:

1)-Archivo

- Nuevo
- Abrir
- Cerrar
- Guardar
- Guardar como...
- Configuración de impresora
- Salir

2)-Edición

- Deshacer el último cambio
- Cortar
- Copiar
- Pegar
- Borrar

Al pulsar la subopción “nuevo”, el sistema ayuda a la introducción de los datos del Centro que se desea introducir.

El prototipo permite introducir Centros distintos, que se almacenan en sus ficheros correspondientes, y que pueden ejecutarse como multitarea.

3)-Departamento gestiona las distintas ventanas correspondientes a los distintos Departamentos para obtener la información adecuada. La ventana correspondiente a la Dirección General

4)-Simulación se encarga a través de un submenú, de controlar el proceso de Simulación, con las opciones:

- a)-Empezar, que permite establecer la fecha de inicio y de fin de la Simulación, y su comienzo.
- b)-Continuar, para reanudar el proceso detenido.
- c)-Detener, que permite interrumpir en cualquier momento el proceso. Durante la detención, cabe modificar los datos de la Simulación, y continuarla bajo esos nuevos parámetros. La forma más cómoda de introducir estos cambios es hacerlo directamente en las ventanas correspondientes a los Departamentos, que se encuentran preparadas para ello.

Tanto en la ventana de Dirección General como en la de cada

Departamento aparecen los resultados de la Simulación en las subventanas oportunas. Como ocurre en las aplicaciones Windows, es posible desplegar simultáneamente las distintas ventanas de la interfaz, para mejor comprensión del proceso.

La segunda línea está constituida por una barra de iconos que representan opciones que pueden actuarse con ratón, y que previamente, al marcarlas, presentan una explicación de su naturaleza.

3.4.3.2. Aprendizaje y ejercicios del usuario.

Aun cuando el tipo de usuario convenido es el de experto, que antes de adoptar ciertas medidas, las ensaya en el simulador, y que por tanto, no necesita ayudas de tipo cognitivo, es preciso pensar en los procesos conceptuales que va a realizar para tratar de ayudarlo en lo relacionado con el aprendizaje.

Dos cuestiones fundamentales se plantean en relación con este tema: los modelos mentales del experto y su posible mejora, y los ejercicios a realizar para que se incremente su experiencia.

En relación con los modelos mentales que maneja el experto, son fundamentalmente de dos tipos:

- A) Económico-financieros, relacionados con los objetivos empresariales de supervivencia, beneficio y rentabilidad;
- B) Organizativo-operativos, relacionados con la buena marcha funcional de la empresa y la calidad de los servicios.

Respecto a los modelos mentales económico-financieros, existe toda una jerarquía de modelos, de mayor a menor complejidad, fundamentalmente estáticos, cuyo esquema general sería:

$$A1) \textit{Beneficio} = \textit{Ingresos} - \textit{Gastos}$$

A2)a) $\text{Ingresos} = \text{Habit.ocupad} \times \text{precio1} + \text{Oper.quir.} \times \text{precio2} + \text{Labor} \times \text{precio3}$

b) $\text{Gastos} = \text{Sueldos} + \text{Otros gastos generales}$

c) $\text{Beneficio} = \text{Habit.ocupad} \times \text{precio1} + \text{Oper.quir} \times \text{precio2} + \text{Labor} \times \text{precio3} -$
 $- (\text{Sueldos} + \text{Otros gastos generales})$

A3) a) $\text{Ingresos} = \%ocup1 \times n^{\circ}\text{habit} \times \text{precio1} + \%ocup2 \times \text{Quirof} \times$
 $\times \text{precio2} + \%ocup3 \times \text{Labor} \times \text{precio3}$

b) $\text{Gastos} = n^{\circ}\text{categ1} \times \text{sueldo1} + n^{\circ}\text{categ2} \times \text{sueldo2} +$
 $\text{gastfinanc} + \text{amort} + \text{gastmedic} + \text{gastgen}$

Como se puede apreciar, los modelos de esta familia parten de A1) y van aumentando el detalle de los ingresos y de los gastos. Esta familia podría aumentarse hasta llegar a incluir los elementos que se precisen para realizar el análisis.

A'4) $\text{Rentab} = \text{Benef} / \text{Cap.propio}$

A'5) $\text{Rentab} = \text{Benef} / (\text{Pasivo} - \text{Deudas/corto} - \text{Deudas/largo})$

De manera análoga, esta familia que se inicia en A'4) podría aumentarse incluyendo mayor detalle de Beneficios o de Capital propio.

Estos modelos mentales se complementan con otros modelos de extrapolación de datos históricos, que permiten conocer la tendencia o el futuro inmediato "*ceteris paribus*", es decir, si todos los influjos y variables fundamentales continúan actuando como anteriormente.

En cuanto a los modelos mentales operativos, suelen guardar relación con las capacidades de los distintos servicios o Departamentos, y sus ocupaciones reales. Así, por ejemplo, si nos fijamos en los Servicios Clínicos, un elemento importante en relación con la calidad de los servicios lo constituye el grupo de

ATS; su número mínimo vendría dado por:

$$B1) \text{MinATS} = a \times n^{\circ}\text{habit} + b \times n^{\circ}\text{quiroy} + c \times \text{capacid_Laborat} + n^{\circ}\text{vacaciones} + n^{\circ}\text{enferm}$$

en donde a, b, c, serían el nº de ATS necesario para atender a 1 habitación, 1 quirófano y 1 laboratorio respectivamente; el Mínimo ha de tener en cuenta las vacaciones y enfermedades. A partir de ahí se calcula el excedente de ATS

$$n^{\circ}\text{ATS} - \text{MinATS} = \text{excedente de ATS}$$

Lo propio podría hacerse con otros Departamentos. Así, para el de Limpieza:

$$B2) \text{Limp.neces} = r \times \%ocup1 \times n^{\circ}\text{habit} + t \times \%ocup2 \times n^{\circ}\text{quiroy} + s \times \%ocup3 \times \text{capacid_Laborat}$$

Con todos estos modelos mentales se podría elaborar una sencilla aplicación (si se necesitara), que permitiera al usuario profundizar en estas líneas y contar con modelos similares de tipo económico-contable, que por su mayor detalle numérico u operativo excedan de las posibilidades memorísticas del experto humano, para utilizarlos en sus procesos de toma de decisiones.

En cuanto a los ejercicios programados, no serían las tradicionales baterías de problemas de complejidad creciente, sino más bien la secuencia siguiente:

A) Análisis de la situación planteada. Implica estudiar y comprobar el cumplimiento de:

- la situación económica, y particularmente la del beneficio y tesorería;
- la situación financiera tanto a corto como a largo plazo;
- la situación operativa de los Departamentos; sus excesos o faltas de capacidad.

B) Diagnóstico de la situación. Como consecuencia del análisis efectuado debería emitirse un diagnóstico de las razones o causas que justifican esa situación, la mayor parte de las veces anómala. Ese diagnóstico debe incluir calificaciones que concreten la situación, como:

- alteración temporal por alguna deficiencia interior que pueda solucionarse en plazo corto;
- situación correcta; indica un funcionamiento económico y organizativo aceptable;
- problema estructural; manifiesta la existencia de problemas que pueden convertirse en endémicos, y que requieren modificaciones profundas del Centro;
- perturbación pasajera; suele aplicarse al efecto de un factor externo que por alguna razón especial se ha alterado temporalmente, como pudiera ocurrir en un caso de una epidemia temporal, cuyo efecto desaparece al finalizar ésta;
- etc.

En cualquier caso sería conveniente intentar obtener las situaciones límites a las que se podría acceder, provocadas por esas coyunturas, con objeto de impedir su aparición, puesto que usualmente las situaciones límites suelen ser difícilmente controlables.

C) Ensayo de medidas a adoptar. Ante todo conviene tener una idea muy precisa del alcance y limitaciones del prototipo en la gestación de las medidas a adoptar, pues en ocasiones, la adopción de ciertas medidas provocan efectos no visibles en el prototipo, o sencillamente no son realizables.

Así, por ejemplo, en problemas económicos de escasos beneficios o incluso pérdidas en el Centro Médico, no cabe duda de que el incremento del precio de la estancia y los servicios prestados por el Centro, resolvería el problema

rápidamente; pero en muchas ocasiones, eso no podría realizarse por existir convenios con las sociedades mutualistas, o tendría una consecuencia inmediata que el prototipo no contempla, en la disminución del número de pacientes que acudiría al Centro.

En cualquier caso, una primera consideración a tener en cuenta sería la aplicación de medidas totales, o sea en su cuantía deseada, o medidas incrementales que permitieran ir aproximándonos paulatinamente a la solución deseada. En este sentido conviene añadir que dada la no linealidad de la situación real, el prototipo, que también refleja esa no linealidad, es muy conveniente para ensayar y comparar ambas posibilidades: acciones globales o acciones incrementales.

Entre las acciones a considerar habrá que tener en cuenta:

- un aumento de precios de los servicios, ya aludido, y que deberá acompañarse de otras repercusiones o consecuencias, no consideradas automáticamente por el prototipo;
- el aumento o reducción de determinadas capacidades del Centro, incluyendo la celebración de Congresos;
- la potenciación de las capacidades estratégicas del Centro, no necesariamente vinculadas al tema médico o clínico;
- "outsourcing" o subcontratación de determinados servicios o capacidades;
- a introducción de determinadas innovaciones tecnológicas;
- los cambios organizativos tendentes a una reducción de gastos;
- las operaciones financieras tendentes a mejorar la estructura de capital del Centro:
- etc.

La simulación de estas medidas implica no solo la adopción cualitativa de la misma, sino también su nivel cuantitativo, que conllevará un estudio de

optimización y sensibilidad respecto a este nivel óptimo.

De nuevo habrá que considerar las repercusiones de la adopción de estas medidas, particularmente las repercusiones no consideradas por el prototipo.

D) Efecto de otras acciones exteriores posibles. Independientemente de las repercusiones mencionadas, cabe que en cualquier momento se presenten acciones externas que puedan poner en peligro la eficacia de las medidas a adoptar, por ello, conviene tantear el efecto de algunas de estas acciones, como:

- aumento de gastos de personal por nuevos convenios. Aunque no es corriente, un aumento importante y no previsto de estos gastos, puede cambiar drásticamente la situación económica del Centro;
- aumento de gastos de Seguridad Social; es análogo al anterior efecto;
- aumento de precios de medicamentos. Este gasto suele repercutirse al paciente, pero su incremento importante podría tener otros efectos no deseados sobre el número de pacientes, etc.;
- aumento de tasas de interés en créditos. Tendrían una repercusión inmediata sobre los gastos financieros;
- aumento de impuesto de sociedades u otros impuestos.

También tendrían repercusiones sobre la rentabilidad del capital.

E) Medidas a adoptar y su comprobación experimental. La culminación de estos ejercicios despeja el camino a la concreción de las medidas a adoptar en la realidad. A la vez, la experimentación llevada a cabo en el prototipo, permite conocer cuáles son las variables o los efectos inmediatos de dichas medidas. La variación similar de estas variables y efectos en el caso real, serán semáforos que darán confianza en el estudio realizado y en el benéfico efecto de las medidas adoptadas.

3.5 Evaluación de MEDIC

Será detallada en el capítulo VII.

4. Prototipo: FINANCE

FINANCE es un prototipo, también “hijo” de NEOCAMPUS, más tradicional que MEDIC, por su dominio de aprendizaje, dedicado a la contabilidad financiera. FINANCE no surge de la nada pues con anterioridad, incluso antes de construirse NEOCAMPUS, se ha elaborado un sistema inteligente autónomo, PACIOLI^{179, 180} dedicado al aprendizaje de la contabilidad financiera. Los objetivos que FINANCE pretende son:

4.1 FINANCE: objetivos

El prototipo está diseñado para la ayuda, gestión y tutoría del proceso de aprendizaje de lo que viene a constituir un primer curso de contabilidad financiera de la empresa. En consecuencia se supone que el alumno tiene un nivel de primer curso de universidad aunque no se le exigen conocimientos previos de contabilidad. Se supone que el sistema es capaz de atender a un grupo de hasta 25 alumnos trabajando individualmente. El prototipo va guiando gradualmente al alumno en el aprendizaje de esta ciencia hasta conseguir que éste sea capaz, entre otras cosas, de:

- 1) Realizar los apuntes contables del diario y mayor, relativos a supuestos diversos que reflejen distintas situaciones de empresas.
- 2) Realizar balances de sumas y saldos.
- 3) Elaborar las cuentas anuales de una empresa con especial atención a la cuenta de pérdidas y ganancias y al balance.

¹⁷⁹ F. de Arriaga, M. El Alami, “PACIOLI: An Intelligent Environment for Learning Accounting”, *Proceedings EDINEB International Conference*, Orlando, 1996, pág. 517-528.

¹⁸⁰ M. El Alami, A. Cuadrado, J. Sosa, F. de Arriaga, “From Computer-Aided Instruction to Multi-Agent Systems for Decision Making”, *Proceedings 5th EDINEB International Conference*, Cleveland, 1998, pág. 37-50.

- 4) Elaborar el margen comercial, producción, valor añadido, excedente bruto de explotación, resultado de explotación, resultados extraordinarios, cuadro de financiación y otros saldos intermedios.
- 5) Interpretar elementalmente el balance y cuenta de resultados de una empresa.

4.2 Dominio de aprendizaje

4.2.1 Grafo de conocimiento del experto

El prototipo ha pasado por diversas concreciones del dominio de aprendizaje. Inicialmente se pensó en adoptar un plan contable (Plan Contable General Empresarial, Perú) que pudiera servir a gran cantidad de países de iberoamérica, pero ante la dificultad de conseguirlo por la heterogeneidad encontrada, se centró el dominio en el marco español. Por ello se decidió adoptar el plan contable de 2008, aprobado por Real Decreto 1514/2007 de 16 de Noviembre, adaptado a la normativa contable europea.

La existencia de buenos textos y estudios monográficos importantes sobre contabilidad financiera entre los que se encuentran los manuales de Paloma del Campo¹⁸¹, Arquero y Jiménez¹⁸², Montesinos¹⁸³, supuestos de contabilidad financiera como los de Amparo Cuadrado y Antonio Prado¹⁸⁴, y estudios especializados como el de Leandro Cañibano y Ana Gisbert¹⁸⁵ han permitido estructurar el grafo genético del dominio de conocimiento y experiencia del experto prácticamente sin necesidad de recurrir esta vez a la herramienta BCTA. No obstante, para la interpretación de balances sí se ha recurrido a esa herramienta, dado que es el tema en el que los alumnos suelen tener mayor dificultad en realizarlo. Los modelos mentales del experto han producido unas observaciones sobre la situación efectiva de muchas cuentas del plan, así como el

¹⁸¹ P. del Campo, *Contabilidad Financiera*, Ediciones Académicas, Madrid, 2010.

¹⁸² J. L. Arquero, S. Jiménez, *Introducción a la contabilidad financiera*, Pirámide, Madrid, 2011.

¹⁸³ V. Montesinos, *Fundamentos de contabilidad financiera*, Pirámide, Madrid, 2010.

¹⁸⁴ A. Cuadrado, A. Prado, *Casos prácticos de contabilidad financiera para economistas*, Editorial Complutense, Madrid, 2004.

¹⁸⁵ L. Cañibano, A. Gisbert, "Los activos intangibles en el Nuevo plan general contable", *Revista del Instituto de Estudios Económicos*, nº 2-3, 2007.

establecimiento de relaciones a comprobar entre diversas cuentas cuya existencia cambiaría incluso drásticamente la valoración de la empresa cuyo balance se interpreta.

Se concibe, por tanto el dominio de conocimiento como un grafo constituido por 9 nodos fundamentales. Cada nodo se refiere a un grupo de cuentas: 5 de ellos son patrimoniales y 4 corresponden a cuentas de gestión; llevan asignados un solo dígito, de acuerdo con el atribuido por el plan contable. Así existen los nodos: 1-Financiación básica; 2-Inmovilizado; 3-Existencias; 4-Acreedores y deudores por operaciones de tráfico; 5-Cuentas financieras; 6-Compras y gastos; 7-Ventas e ingresos; 8-Gastos imputados al patrimonio neto; 9-Ingresos imputados al patrimonio neto.

De manera análoga de cada nodo de primer orden cuelgan los nodos de segundo orden correspondientes a sus cuentas, y de los de segundo orden los de tercero, siempre de acuerdo con el referido plan contable de 2008. Así, por ejemplo, del nodo 6-Compras y gastos, colgarían como nodos de segundo orden: 61-Compras; 62-Variación de existencias; 63-Servicios exteriores, etc., y del nodo 61 colgarían los de tercer orden: 611-Compras de...; 612-Descuentos sobre compras por pronto pago; 613-Devoluciones de compras; 614-“Rappels” por compras; etc.

Cada nodo lleva asociado la definición de la cuenta, posibles relaciones con otras cuentas y, en su caso, normas o recomendaciones sobre su valoración, registro y desdoblamiento. Igualmente lleva asociado un registro en el que se contabilizan las partidas en debe y haber, y un conjunto de observaciones que permiten interpretar con la mayor realidad posible la situación de esa cuenta. Por último hay que añadir que cada nodo presenta una relación (ligadura) con los ejercicios de la base de conocimiento, que ahora describiremos, en los que se requiere su utilización.

4.2.2 Gestión de experiencia del experto humano

Este conocimiento se detalla más adelante en la descripción del agente C2.

4.2.3 Base de conocimiento.

Incluye una colección de ejercicios, cuestiones y problemas, tal como se requiere para su empleo por el prototipo ENT y se describe en el capítulo III, apartado 6.2. Conviene mencionar que en la última versión de ENT que supuso la incorporación de técnicas de lógica borrosa, los elementos de la base de conocimiento sobre los que puede actuar ENT disponen de diversos conjuntos borrosos que expresan, por ejemplo, la intensidad requerida de cada elemento cognitivo necesaria para la resolución de ese problema, ejercicio o cuestión.

4.3 Modelo del estudiante

El modelo del estudiante es en todo análogo al descrito para MEDIC, que en muy buena parte es herencia de NEOCAMPUS.

4.3.1 Grafo de conocimiento.

Es una reproducción del grafo de conocimiento del experto que incorpora para cada elemento cognitivo una indicación de su aprendizaje y la fecha de su realización, en su caso. Posteriormente esta indicación fue realizada mediante un conjunto borroso que es manejable gracias a las técnicas de lógica borrosa heredadas de NEOCAMPUS.

4.3.2 Gestión de experiencia del alumno.

El sistema dispone aquí de una copia del sistema de experiencia del experto en la que va anotando los elementos captados por el alumno en cuanto a

imputación, valoración y registro en cuentas pero, particularmente, cómo va captando las observaciones sobre la situación real de cada cuenta y de la interpretación de balance que tienen que ver con los modelos mentales del experto. Precisamente en función de esas carencias (o errores cometidos) los tutores propondrán las oportunas técnicas cognitivas remediales o de proacción.

4.4 FINANCE: estructura del sistema multiagente

Los agentes que integran FINANCE son los siguientes:

1) Agente C1- Control general del sistema. Realiza las siguientes funciones:

a) Asume la tarea general de control del prototipo; es único aunque un grupo de alumnos utilice el sistema.

b) Una tarea importante que realiza es la de crear (clonar) los agentes necesarios al grupo de alumnos y el tipo de cada uno de ellos, así como su desaparición cuando no son necesarios.

c) Dispone del conocimiento necesario para la comunicación y el control de los agentes que realizan la coordinación del aprendizaje de cada usuario y al agente o agentes de interfaz del tutor humano y/o experto humano.

d) Se comunica con el tutor humano y experto, si existen, que supervisan al grupo, aunque la información de cada alumno la recibe del agente que controla el aprendizaje del mismo.

2) Agente C2-Control del proceso de aprendizaje y didáctica general. Existe un agente de este tipo por cada alumno. Las funciones que desempeña son:

a) Controlar en todo momento el proceso de aprendizaje del alumno y concretamente los elementos cognitivos que han sido adquiridos y sus intensidades de aprendizaje, así como los restantes.

b) Controlar a los agentes tutores encargados de cada grupo de cuentas, al agente cognitivo que monitoriza el estado afectivo del alumno, y al agente de interfaz de alumno, de acuerdo en parte con la información obtenida en el apartado anterior.

c) Comunicar al agente C1 de control general la información de cada alumno del grupo que deba conocer el tutor o experto humano que supervise al grupo, sintetizando la que aportan los agentes tutores tipo C3.

d) Asumir las funciones de la didáctica general emitiendo los oportunos mensajes o cuestiones para que el alumno responda, que son insertadas en el modelo del estudiante.

c) Comunicarse con el agente C4, que está al cuidado de la base de conocimiento, para demandar los elementos cognitivos pertinentes.

d) Solicitar del agente C4 la elaboración de una evaluación con las características que determine según la situación del aprendizaje, para que sea ENT quien la obtenga.

e) Ordenar la colaboración de los agentes C3 para el análisis de los errores profundos del alumno.

e) Solicitar de los agentes C3 la calificación de esa evaluación e insertarla en el modelo del estudiante.

f) Proponer las tácticas cognitivas remediales que corrijan los errores profundos e insertarlas en el modelo del estudiante.

g) Registrar en el modelo del estudiante las diversas características de la historia del aprendizaje que se van acumulando con el tiempo.

h) Dispone del conocimiento experiencial del experto que se descompone en:

-Principios de obligado cumplimiento. Estos principios se concretan en reglas de producción que originan su vigilancia, cumplimiento y resolución

de posibles conflictos, y son:

- Principio de empresa en funcionamiento.
 - Principio de devengo.
 - Principio de uniformidad.
 - Principio de prudencia.
 - Principio de no compensación.
 - Principio de importancia relativa.
- Criterios de valoración usados en el plan, también desarrollados en reglas de producción: coste histórico, valor razonable, valor neto realizable, valor actual, valor en uso, coste de venta, coste amortizado, costes de transacción, valor contable y valor residual.
- Normas de registro y valoración: las veintitrés normas del plan contable se articulan también en reglas.
- Normas para la elaboración de las cuentas anuales: cuenta de pérdidas y ganancias, balance, memoria, estado de cambios del patrimonio neto, estado de flujo de efectivo. Se encuentran estas normas en el propio plan contable, en el Código de Comercio, Texto Refundido de la Ley de Sociedades Anónimas, y Ley de Sociedades de Responsabilidad Limitada. También han sido formuladas como reglas de producción.
- Definiciones y relaciones contables con las definiciones de las partidas a incorporar al balance, cuenta de pérdidas y ganancias y en el estado del patrimonio neto.
- Recomendaciones y observaciones de buena práctica contable. Obtenidas en buena parte de manuales.
- Modelos mentales del experto obtenidos con BCTA relativos a la interpretación del balance y cuenta de pérdidas y ganancias. Los modelos mentales del experto a este respecto han sido convertidos en reglas de

producción que vigilan la situación efectiva de muchas cuentas del plan, y establecen relaciones entre ellas que hay que comprobar. Su existencia modifica incluso drásticamente la valoración de la empresa cuyo balance se interpreta.

En consecuencia, tiene a su cargo el dominio de aprendizaje relativo a las cuentas anuales de la empresa y vigila y tutoriza su elaboración por el alumno.

i) Solicitar del tutor/experto humano la elaboración de nuevos ejercicios, cuestiones o problemas y sus elementos cognitivos asociados, a la vista de la información facilitada por el agente C4 sobre la situación de la base de conocimiento.

3) Agentes C3-1 a C3-9. Tutores encargados de los microcosmos del dominio de aprendizaje; cada microcosmos es un grupo de cuentas del plan contable.

Cada uno de estos agentes asume el control del microcosmos formado por un grupo de cuentas del plan contable. Son por tanto 9 agentes de este tipo para cada alumno, que deberán aumentarse proporcionalmente al número de estudiantes del grupo. Las tareas de cada uno de estos agentes son:

a) Conducir al alumno en el aprendizaje de la materia de su microcosmos (grupo de cuentas) proponiendo los elementos de aprendizaje más adecuados para cada situación, tras comprobar los elementos adquiridos y los todavía ausentes.

b) Disponen de parte del conocimiento experiencial del experto referido a ese microcosmos que controlan, y que se concreta en:

-Los principios de obligado cumplimiento.

-Los criterios de valoración usados en el plan.

-Normas de registro y valoración.

-Recomendaciones complementarias de buena práctica relativas a su microcosmos o grupo de cuentas.

c) Analizar los errores superficiales del alumno e insertarlos en el modelo del estudiante.

d) Proponer las tácticas cognitivas remediales oportunas para corregir los errores superficiales producidos.

e) Informar al agente C2, que controla el aprendizaje del alumno, de las situaciones que deban ser comunicadas al tutor/experto humano.

f) Solicitar al agente C4, encargado de la base de conocimiento que elabore una evaluación con las características que convengan en ese momento y referida a determinados elementos cognitivos de su microcosmos.

g) Realizar la calificación de la evaluación propuesta al alumno. A ese respecto, disponen por herencia de NEOCAMPUS (en la última versión del prototipo) de las técnicas de lógica borrosa que les facultan para llevar a cabo esa calificación borrosa.

4) Agente C4. Al cuidado de la base de conocimiento. Sus funciones primordiales son:

a) Controlar la base de conocimiento y su incremento por suministro de nuevos ejercicios, problemas o cuestiones que deben cumplir los requisitos explicitados al describir el prototipo ENT.

b) Controlar las relaciones existentes entre los diversos elementos contenidos en la base y los nodos del grafo genético del dominio de conocimiento.

c) Cuenta con el prototipo ENT con el que puede genera evaluaciones solicitadas por otros agentes de acuerdo con las características remitidas.

d) Comunicar al agente C2 la situación de la base de conocimiento y

concretamente los ejercicios, problemas y cuestiones referidas a cada elemento cognitivo (nodo del grafo del dominio de conocimiento).

5) Agentes C5 –Agentes afectivos. No existen en la versión inicial. Posteriormente heredan la plataforma AFFECTION de NEOCAMPUS, tal como se describe en el capítulo V, apartado 1.2. Allí se detallan las tareas de estos agentes; de ellas queremos ahora destacar como síntesis:

- a) Vigilar las interacciones del alumno con el sistema para deducir de ellas su estado afectivo de acuerdo con el modelo OOC implementado.
- b) Cuando el estado afectivo lo requiere proponer inmediatamente tácticas afectivas que traten de llevar el estado a una situación de normalidad.
- c) Registrar en el modelo del estudiante las incidencias producidas a lo largo del tiempo en relación con su estado afectivo.

6) Agentes C6. Son agentes al cuidado de las distintas interfaces.

En principio existe una interfaz (y un agente) para cada alumno, y otra u otras para el tutor y/o experto humanos que supervisan el proceso de aprendizaje del grupo de alumnos.

En el caso de las interfaces de alumnos, corre a cargo del agente:

- a) La presentación en pantalla de los ejercicios, cuestiones y problemas para su resolución por el alumno, y transmisión de las respuestas del alumno a los agentes tutores o al agente encargado del aprendizaje del alumno, según los casos.
- b) La presentación en pantalla de las preguntas que los agentes tutores o agente afectivo realicen para conocer con mayor detalle la situación afectiva, y estado mental y motivacional del alumno.
- c) La interpretación de las preguntas que realice el alumno para su traslado

a los agentes encargados de responderlas.

d) La comunicación al alumno de las tácticas remediales o de proacción dispuestas por los agentes tutores y las respuestas sucesivas del alumno a los medios que se le proponen.

e) La transmisión al alumno de las evaluaciones encargadas por los agentes tutores y a éstos de las respuestas del alumno, así como de la comunicación al alumno de los resultados obtenidos.

f) Solicitar inicialmente al alumno de su identificación, claves de acceso y restantes elementos de la gestión administrativa del sistema y transmitirlos al agente C1.

g) La transmisión al alumno de las tácticas de didáctica general arbitradas por el agente C2 de control del aprendizaje y las respuesta del alumno al susodicho agente.

Para cada Departamento y Dirección General existe una interfaz concretada en una pantalla inicial que incluye los datos básicos de la operativa e incidencias del Departamento o Dirección General. Además presenta unos desplegables mediante los cuales el responsable del Departamento o Dirección General puede ir solicitando datos adicionales del Centro con la profundidad que necesite. La última línea de esa pantalla inicial refiere la situación del Departamento y en ella aparecen los problemas y situaciones conflictivas detectadas para tomar las soluciones pertinentes que resuelvan las situaciones, decisiones que se plasman en las pantallas correspondientes. De ordinario cada interfaz aparece en la pantalla de un ordenador distinto pero, excepcionalmente, cabría la posibilidad de que todas se proyectaran en la pantalla de un solo ordenador.

En el caso de la interfaz del tutor humano y/o experto, las funciones son:

a) Transmitir al tutor/experto las notificaciones dictadas por el agente C1 de control del prototipo relativas a la marcha de un alumno o del grupo en su

conjunto, o en respuesta a solicitudes del tutor/experto. En todo caso, los resultados de las evaluaciones de los alumnos serán siempre remitidas al tutor/experto.

b) Interpretar las solicitudes del tutor/experto al sistema y transmitir las al agente de control C1.

c) Transmitir al tutor/experto la solicitud del agente C2 de control del aprendizaje de incrementar la base de conocimiento con ejercicios, cuestiones y problemas relacionados con determinados elementos cognitivos. En el caso de una respuesta en este sentido, transmitir la información recibida al agente C4 a cargo de la base de conocimiento.

7) Agente C7. Entrenamiento de redes neuronales.

En principio el aprendizaje del sistema mediante redes neuronales se utiliza para mejorar el conocimiento que el sistema tiene del alumno a partir de la experiencia adquirida con el comportamiento de éste, por lo que sólo se requiere uno por alumno. Este agente dispone del conocimiento para seleccionar el modelo de red neuronal de ligadura funcional, codificar las entradas a la red con el conjunto de funciones elegido, y de interpretar la salida e la red.

4.5 Evaluación de FINANCE.

La evaluación global de FINANCE se detalla en el capítulo VII, apartado 5.

CAPÍTULO V- MEJORAS EN NEOCAMPUS Y PROTOTIPOS

En este capítulo se describe la incorporación particular que se hace de tres técnicas específicas a NEOCAMPUS, y que posteriormente son heredadas por varios prototipos como MEDIC y FINANCE. Esta incorporación tiene por objeto aumentar la fiabilidad y eficiencia de la factoría de software y los prototipos construidos mediante una aproximación más cercana que ahora puede hacerse a diversos aspectos del proceso de aprendizaje. Las tres técnicas que se incorporan son la computación de la afectividad, la lógica borrosa y la construcción automática de ontologías.

La computación afectiva va a permitir introducirse de una manera en el estado afectivo del alumno para detectarlo y analizarlo sin eludir la realización de preguntas, cuando se requieren, para confirmar de alguna manera el tipo de estado detectado. Se intenta además, mediante técnicas afectivas apropiadas, tratar de ayudar al alumno influyendo en él para modificar ese estado afectivo y aproximarle a una situación normal.

La lógica borrosa permite introducir mayor detalle y fiabilidad tanto en la representación de algunos datos, que de numéricos puros pasan a ser “borrosos”, como en el propio razonamiento, pues la consideración de un grado de veracidad para las proposiciones, en lugar de aceptarlas como verdaderas o falsas, permite considerar los colores de un paisaje, en lugar de creer que todo es exclusivamente blanco o negro. Es una forma científica de aceptar la incertidumbre, tan presente en el mundo que nos rodea.

La construcción automática de ontologías pretende dar un paso más en la automatización de los dominios de aprendizaje. Hasta el momento lo

conseguido era el incremento automático de las bases de conocimiento de que se dispone mediante la búsqueda, filtrado y resumen de información obtenida de Internet. Pero el incremento automático conseguido mediante los agentes dedicados a búsqueda y resumen de información no representa una integración completa con el conocimiento ya existente en la base de conocimiento. Es cierto que con el incremento y resumen los agentes aportan árboles sintácticos y semánticos de ese incremento con los que ellos realizan su tarea, pero no queda garantizada la compatibilidad de estos árboles sintácticos y semánticos con las ya existentes relativos al conocimiento que existe en la base; es más, puede ue ese conocimiento disponible, del que no se sabe cómo ha sido introducido en la base de conocimiento no disponga de información complementaria sintáctica y semántica. En cambio, el método propuesto para construir automáticamente ontologías, está basado en un modelo formal (lógico y automatizable) que incluye la definición y elaboración de funciones tan importantes como la fusión, la intersección, y poda de redes ontológicas que vienen a realizarse de manera unívoca, lo cual garantiza las compatibilidades de todos los incrementos automáticos que se produzcan. Puede además construirse la ontología del conocimiento previo ya existente, que será compatible con el de los incrementos sucesivos. De esta manera se contempla como inicialmente realizable la automatización del dominio de aprendizaje.

El capítulo también incluye a FILTR, prototipo obtenido por desarrollo de una parte del subsistema de NEOCAMPUS dedicado a filtrado y resumen de información por la importancia que en él han adquirido las técnicas de lógica borrosa.

1. Computación afectiva

La computación afectiva, según Picard¹⁸⁶, puede definirse como “la

¹⁸⁶ R. W. Picard, *Affective computing*. The MIT Press, Cambridge MA, 1997.

computación que se relaciona con, surge de, o deliberadamente influye en la emoción". Los trabajos publicados hasta ahora sobre el tema afirman que juega un papel extremadamente importante no sólo en la toma de decisiones sino también en los seres humanos puesto que afecta a todos los procesos cognitivos¹⁸⁷. En los últimos años se ha producido un importante incremento de la investigación en este tema procurando agregar componentes afectivos a la interacción hombre/máquina, campo de aplicación obvio de este tema.

Los principales problemas de investigación relacionados con la computación afectiva son: ¿qué es un estado afectivo? Esta cuestión está relacionada con la psicología que trata de la naturaleza de los estados afectivos, su descripción en términos de parámetros medibles y las posibilidades de automatizar su captura. Pero, más aún, ¿qué causa y afecta los estados afectivos? Y todavía más, ¿sería posible automatizar el análisis y causas de influencia de los estados afectivos¹⁸⁸?

Abordar esos problemas no es tarea fácil, aunque todo el mundo reconocerá que los sensores afectivos y sus medidas e interpretaciones automáticas serían muy útiles en muchas áreas de diferentes campos de aplicación. Sin embargo, la evaluación e interpretación afectivas constituyen todo un desafío por las muchas ambigüedades presentes en la definición, comunicación e interpretación del afecto. Estas cuestiones pueden ayudar a clasificar una buena cantidad de trabajos de investigación.

Una primera línea de trabajos está dedicada al uso de sensores para tratar de elicitar las emociones humanas. El trabajo de D'Mello y colaboradores¹⁸⁹ sigue esta línea; integra la tecnología no intrusiva de sensores

¹⁸⁷E. M. Kinard, "Perceived and actual academic competence in maltreated children", *Child Abuse and Neglect*, Vol. 25, 1, 2001, pág. 33-45.

J. LeDoux, *The emotional brain: The mysterious underpinnings of emotional life*. Weidenfeld and Nicholson, London, 1998.

¹⁸⁸M. Panitc, *Affective Computing*, Idea Group Inc., 2005.

¹⁸⁹J. D'Mello et al., "Integrating Affect Sensors in an Intelligent Tutoring System", *Proceedings International Conference on Affect Computing and Intelligent Interaction*, Beijing, Springer Verlag, 2005.

de afecto con un tutor en un intento de clasificar emociones sobre la base de expresiones faciales, movimientos y signos conversacionales. Otros artículos se concentran en la evaluación de interacciones afectivas¹⁹⁰ relacionadas principalmente con comportamientos basados en acciones. Pero para tener una buena imagen del estado del arte de la computación afectiva y sus desafíos hay que considerar el artículo (white paper) de Picard¹⁹¹ que trata con muchos aspectos del tema incluyendo la ética. De todo ello cabe deducir que el campo de aplicación presumible de la computación afectiva es extenso, desde la interacción hombre/máquina hasta la tele-medicina, pasando por el aprendizaje humano.

1.1 Computación afectiva y aprendizaje humano

En relación con el aprendizaje la observación básica que puede hacerse es que todo un rango de emociones variadas ocurre naturalmente en un proceso real de aprendizaje humano, desde emociones positivas como: alegría, satisfacción, etc., hasta otras muy negativas como: vergüenza, desánimo, disgusto, etc. El aprendizaje es un campo específico en el que el afecto tiene mucho que ver. Probablemente en esa línea uno de los artículos más interesantes dando una aproximación completa al estado del arte de la computación afectiva es el “manifiesto” escrito en 2004 por Picard y otros nueve autores significativos¹⁹².

1.2 AFFECTION: una plataforma para la computación afectiva en NEOCAMPUS

¹⁹⁰ R. W. Picard, S. B. Daily, “Evaluating Affective Interactions: Alternatives to asking what users feel,” Proceedings International Conference on Affect Computing and Intelligent Interaction, Beijing, Springer Verlag, 2005.

¹⁹¹ R. W. Picard, *Affective Computing: Challenges*, White Paper, MIT Technical Report, 2003.

¹⁹² R. W. Picard et al., “Affective Learning—A Manifesto”, *BT Technology Journal*, Vol. 22 (4), 2004, pág. 253-269.

Los estados emocionales del estudiante pueden obtenerse de varios mecanismos y aparatos capaces de detectar la emoción por la voz, expresiones faciales, y por señales biológicas como la respiración, pulso y presión sanguínea, electromiograma, tensión muscular, y conductividad de la piel. En el caso que nos atañe, ante la necesidad de usar los sistemas de aprendizaje “hijos” de NEOCAMPUS en entornos y dominios de conocimiento muy diferentes, el agente al cargo de la interfaz hombre/máquina sólo va a poder captar el estado afectivo del alumno a partir de su comportamiento observable, es decir, las interacciones del estudiante con la interfaz del sistema de aprendizaje. En algunas circunstancias se necesitarán otras operaciones para inferir la emoción del estudiante porque su acción puede mostrar más de una emoción; en este caso el agente hará las preguntas al alumno para definir más precisamente sus estados emocionales. Las preguntas pueden ser de varios tipos: relacionadas directa o indirectamente a la acción; las capacidades de los agentes de procesar el lenguaje natural pueden colaborar intensamente en inferir los estados emocionales del alumno y escoger las tácticas afectivas con las que actuar.

Antes de tratar el modo usado de inferir los estados afectivos es preciso considerar las metas generales de los estudiantes. De acuerdo con Ames¹⁹³ los alumnos tienden a una meta general de competencia o de ejecución; una meta de dominio del aprendizaje significa que el alumno se orienta al desarrollo de nuevas habilidades para mejorar su nivel de competencia. A estas personas les encantan las tareas nuevas y desafiantes; ante las dificultades aumentan sus esfuerzos porque creen que el éxito sólo se obtiene mediante el esfuerzo; están intrínsecamente motivados.

Los estudiantes con metas de ejecución creen que ésta es muy importante y desean mostrar que son capaces de ello. Quieren siempre agradar al

¹⁹³ C. Ames, “Motivation: What Teachers Need to Know”, *Teachers College Record*, 91(3), 1990, pág. 409-421.

instructor. Si experimentan dificultades aumentan el esfuerzo porque según su manera de pensar si no lo hacen podría mostrarse una menor habilidad; su motivación es extrínseca. El tipo de meta de un alumno puede obtenerse mediante un cuestionario¹⁹⁴ con ocho preguntas basadas en una visión cognitiva del aprendizaje y la motivación. Pero ¿cuáles son los estados afectivos importantes que deben ser modelados en una situación de aprendizaje contando con un sistema multiagente? Autores diversos han hablado de frustración, satisfacción, etc.; en este caso se considerarán los cuatro estados afectivos siguientes: alegría, y disgusto, satisfacción y desagrado, gratitud y rabia, así como orgullo y vergüenza puesto que es posible medirlos e interactuar con ellos. ¿Cómo pueden ser reconocidas estas emociones?

Se ha contado con el modelo OCC de Ortony, Clore y Collins¹⁹⁵ que basado en la teoría cognitiva de las emociones, es un modelo operativo en el sentido de que puede ser implementado en el ordenador. Este modelo proporciona información sobre cómo construir una interpretación de una situación desde el punto de vista del usuario. Las emociones aparecen como el resultado de un proceso de evaluación; el modelo asume que las emociones surgen al evaluar tres aspectos del mundo: sucesos, agentes (son agentes reales del mundo, no agentes de software) y objetos. Sucesos son todo lo que las personas advierten en lo que sucede. Los agentes pueden ser personas, animales, objetos inanimados e incluso abstracciones, si pueden interactuar. Los objetos son cosas pasivas. La elicitación de una emoción depende de la percepción que del mundo tiene una persona. Si una emoción como el desánimo es una reacción a un suceso desagradable, el suceso debe ser catalogado como desagradable.

¹⁹⁴ P. Pintich et al., *A Manual for the Use of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire*. Michigan., Technical Report 91-B-004, The Regents of The University of Michigan, 1991.

¹⁹⁵ A. Ortony, G. Clore, A. Collins, *The Cognitive Structure of Emotions*, Cambridge, UK, Cambridge University Press, 1988.

Como ejemplo, el modo que tiene el modelo OCC de reconocer las emociones alegría/desánimo es el siguiente: el sistema evalúa un suceso del mundo considerando las metas del usuario para obtener un resultado agradable o desagradable. En el primer caso (agradable) el usuario está contento y el sistema infiere una emoción de alegría (valencia positiva); si el resultado es desagradable el sistema siente desagrado y el sistema infiere una emoción de desánimo (valencia negativa). En cuanto a las emociones orgullo/vergüenza, el modelo OCC las reconoce de la manera siguiente: el sistema evalúa la acción de un agente considerando los estándares sociales, morales o comportamentales del usuario para obtener alabanza o crítica; en el primer caso el resultado es aprobado por el usuario, y el sistema infiere una emoción de orgullo (valencia positiva); en el segundo caso el usuario desaprueba el resultado y el sistema infiere una emoción de vergüenza (valencia negativa).

El paso siguiente ha sido la producción en nuestro entorno de aprendizaje de una lista de sucesos pedagógicos posibles y su clasificación de acuerdo al tipo de emoción que eliciten. Como ejemplo de suceso: el agente puede decidir ofrecer una ayuda al estudiante o, equivalentemente, el estudiante puede pedir ayuda. El alumno puede aceptar la ayuda genérica o la específica (gratitud) o no aceptarla (rabia). De esta manera se han considerado hasta veinte sucesos pedagógicos diferentes incluyendo el caso en que el alumno abandona la tarea.

El último paso es analizar completamente cada suceso pedagógico como una función de sus variables de intensidad y deseo como la realización y la sorpresa. En algunos casos el deseo debe ser obtenido mediante una pregunta adicional al estudiante tomando siempre en consideración la clase de meta del estudiante. La realización puede inferirse de la calificación obtenida por el estudiante. El grado de sorpresa puede estimarse de la ejecución real del

alumno. Así, por ejemplo, en el caso de alumnos con meta de competencia, si el estudiante ejecuta la tarea incorrectamente o no la acaba, es necesario conocer la importancia del aprendizaje de la tarea, si para el es importante el tema que aprende entonces se produce un suceso desagradable que elicitaba desánimo. La intensidad de éste depende del grado de realización del suceso, de su sorpresa y del deseo del suceso. La variable realización puede determinarse por la calificación del alumno en el ejercicio. Los grados de realización y de sorpresa determinan la intensidad del desánimo.

El resultado del análisis de los sucesos pedagógicos produce un conjunto de reglas de producción que se insertan en el módulo del conocimiento específico del agente cognitivo (de software) que está al cargo de cada interfaz del sistema. Estas reglas de producción lo capacitan para inferir o elicitarse las emociones del estudiante y su intensidad para cada suceso pedagógico. Además, se ha diseñado una colección de tácticas afectivas para motivar siempre al alumno en cualquier situación.

Las tácticas afectivas tienen que usarse en combinación con las tácticas de didáctica general y tácticas cognitivas de acuerdo con el siguiente régimen de selección y control de agentes: los agentes subtutores proporcionan tácticas cognitivas y el agente que cuida de la didáctica general también proporciona tácticas generales al agente de cada interfaz que produce tácticas cognitivas. Pero la relevancia o prioridad de orden es:

- 1) tácticas afectivas; 2) tácticas de didáctica general; 3) tácticas cognitivas.

1.3 Modificaciones en la arquitectura general del agente de NEOCAMPUS

A fin de implementar estas características de la computación afectiva ha sido preciso mejorar la arquitectura general del agente cognitivo producido por NEOCAMPUS, particularmente los módulos modificados son:

1) Módulo de estado. Incluye la capacidad deliberativa del agente que tiene un estado mental estático y dinámico que puede ser modificado por el propio razonamiento del agente y las influencias del mundo exterior. Como elementos importantes aparecen:

a) El estado mental estático del agente. Se han modificado las creencias y expectativas, las metas definidas, las funciones de preferencia que describen la motivación del agente y las funciones de intención para acoger a todo lo que define en cada situación al estado afectivo del agente.

b) El estado mental dinámico que contiene la variación en el tiempo de los estados del agente, de las funciones de preferencia y de intenciones ha tenido que ser modificado, así como la evolución del mundo exterior para incluir los estados afectivos, causas e influencias. También las metas han sufrido cambios para albergar a metas puramente afectivas.

2) El sistema de control. El subsistema de control general que es común a todas las capas del agente ha sufrido modificaciones en su ciclo de actuación pues en el análisis de la situación pueden aparecer ahora metas afectivas para las que hay que planificar la respuesta adecuada en términos de submetas, hay que planificar estas nuevas ejecuciones, no contempladas anteriormente, y vigilar y controlar su ejecución. También el motor de inferencia, a pesar de su flexibilidad ha sufrido alguna mínima modificación particularmente en su control atrás para aceptar situaciones no previstas.

En cuanto al subsistema de control específico localizado en cada nivel, también ha sufrido modificaciones menores en el control de errores para aceptar las nuevas situaciones afectivas.

3) Módulo de comunicación. Nada ha habido que modificar en cuanto al empleo del lenguaje natural por el tratamiento irrestricto que de él se hace, pero en cuanto a los mensajes pre-estructurados entre agentes, que se utilizan con

frecuencia para evitar el gasto de los recursos informáticos que supone nel procesamiento del lenguaje natural, ha habido que introducir los que se refieren a la determinación del estado afectivo del alumno, sus causas y los relacionados con las tácticas afectivas que se utilizan.

4) Módulo de aprendizaje. No ha sufrido ninguna modificación, tan sólo se han introducido nuevas codificaciones de las situaciones afectivas para la posible utilización de las redes neuronales en el aprendizaje de nuevas situaciones de este tipo a partir de las anteriores.

5) Módulo de conocimiento específico. Manteniendo la estructura anterior se ha creado una nueva estructura (estructura afectiva) con objeto de alojar en el primer nivel los conceptos, propiedades y reglas inmediatas que presentan los estados afectivos; el segundo nivel incluye las distintas situaciones que considera el modelo OOC utilizado y las tácticas tanto de apoyo al modelo como de respuesta a la situación detectada en forma de reglas de producción; el tercer nivel contiene las estrategias de más largo plazo que conviene plantear y seguir para tratar de modificar el estado afectivo del estudiante.

6) Módulo de planificación. Las modificaciones sufridas por este módulo tienen que ver con la introducción de nuevos operadores que permitan la descomposición de una situación afectiva en componentes, según las recomendaciones del modelo OOC.

7) Base de conocimiento. La base de conocimiento particular del agente donde almacena la información que va procesando en sus actividades, no ha sido modificada.

1.4 Pruebas: AFFECTION en MEDIC

La plataforma AFFECTION ha sido importada a MEDIC para analizar las mejoras que puede aportar. A fin de comprobar su influencia se han

realizado varias pruebas; puede que la más importante y representativa sea la llevada a cabo con cinco grupos experimentales de treinta alumnos cada uno que han usado MEDIC con AFFECTION, mientras que otro grupos de control del mismo número de alumnos usaba solamente MEDIC. Los resultados obtenidos pueden resumirse en:

- 1) Drástica reducción del número de estudiantes que abandonaron el aprendizaje, pues del 5% que ocurrió en los grupos de control, se redujo a sólo 0,1% en los grupos experimentales. Este resultado ha de valorarse, sin duda, como muy positivo.
- 2) El grado de satisfacción de los alumnos tras el aprendizaje aumentó un 25% en los grupos experimentales en relación con el de los grupos de control.
- 3) En cuanto a las calificaciones finales, la media de los grupos experimentales creció un 18% por encima de la media de los grupos de control.
- 4) La aceptación o no de las tácticas y procedimientos afectivos de AFFECTION por parte de los alumnos es un dato importante que resultó positivamente pero que, lamentablemente, no puede ser comparado con algo equivalente en los grupos de control. Es un tema que necesita mayor análisis y experimentación.

2. Lógica borrosa

En este apartado se resumen los trabajos llevados a cabo para la introducción de la lógica borrosa en NEOCAMPUS y en los prototipos desarrollados, que ha seguido los siguientes pasos:

En primer lugar y a la vista de los resultados ya obtenidos se han analizado las posibles técnicas a utilizar, en qué problemas podrían aplicarse y su alcance. Ante todo se ha pensado en el empleo de conjuntos borrosos con la mayor intensidad posible, teniendo en cuenta que son mucho más descriptivos que los conjuntos ordinarios; intuitivamente el cambio equivaldría a pasar de

una representación en blanco y negro a una representación en colores. Por otra parte, si en algún momento no es posible continuar con el cálculo borroso porque se llegue a una situación de difícil interpretación, siempre cabe usar las técnicas de “desborrosificación” para convertir el conjunto borroso en un solo número, al estilo tradicional.

Como es lógico, se ha prestado atención a los operadores de conjuntos como la unión, la intersección, diferencia, etc., pues en el caso de conjuntos borrosos existen infinitos posibles operadores unión, otros infinitos posibles operadores intersección, negación, etc. Es cierto que el efecto de esos infinitos operadores está acotado entre los de dos de ellos (el operador max. y el operador min.), pero en cualquier caso hay que justificar su elección.

Para ello se han realizado pruebas diversas en diversos prototipos para comprobar las diferencias que podrían introducirse en función de la elección de esos operadores, y se ha obtenido empíricamente que el rango total de las diferencias es reducido cuando se utilizan esos operadores máximo y mínimo, y sus consecuencias fueron irrelevantes, razón por la que se decidió adoptar como operadores unión, intersección y negación los operadores de la teoría clásica de conjuntos, que son de fácil manejo, pero actuando sobre conjuntos borrosos de manera que para cada abscisa concreta el valor de la ordenada del conjunto unión ($A \cup B$) sea la mayor de las ordenadas de A o de B para esa abscisa. Lo análogo se ha hecho con los restantes operadores de conjuntos. Y como técnica fundamental de “desborrosificación” se utiliza la abscisa del centro de gravedad del conjunto borroso.

El paso siguiente ha sido la elección de las técnicas de razonamiento borroso y su empleo, que serán descritas más adelante.

2.1 Utilización de conjuntos borrosos

Los conjuntos borrosos se pueden utilizar inicialmente en el modelo del estudiante asociando a cada elemento cognitivo adquirido un conjunto borroso que indica la intensidad del aprendizaje llevado a cabo y su fecha de realización. Nuevos aprendizajes sobre el mismo elemento cognitivo modificarían el conjunto borroso asociado para dejar constancia del aumento de intensidad del aprendizaje. También se conseguiría hacer actuar el paso del tiempo que, no mediar nuevo aprendizaje, ocasionaría un debilitamiento de su intensidad; de esta manera se trataría de representar el olvido que acontece en la realidad con el paso del tiempo. Esta introducción de conjuntos borrosos en la representación del conocimiento y experiencia del alumno obliga a realizarlo de manera análoga en los ejercicios y problemas que aparecen descritos con parámetros asociados, y varios de ellos son los elementos cognitivos que inciden en la resolución del problema. Ahora esos elementos cognitivos que actúan como parámetros de los ejercicios tendrán que llevar asociados conjuntos borrosos que indiquen la intensidad de aprendizaje de esos elementos que promueven con su resolución.

De la misma manera que lo expuesto con los elementos cognitivos y su aprendizaje, se pueden también expresar diversas características personales del alumno, como su estilo de aprendizaje mediante un conjunto borroso que contempla los cuatro estilos distintos que se consideran en este trabajo. De esa forma se obtendría un mayor realismo en esa representación, sobre todo si se tiene en cuenta que en la realidad todo alumno participa en mayor o menor intensidad de los cuatro estilos de aprendizaje. Esta introducción obligaría también a continuarla en los ejercicios y problemas, en los que uno de los parámetros que los caracterizan es el estilo de aprendizaje fundamental que implican; ese estilo vendría ahora también representado por un conjunto borroso.

Una consecuencia importante e ineludible es que si el conocimiento adquirido del alumno incluye conjuntos borrosos, así como los ejercicios y problemas, se impone obligatoriamente realizar una evaluación borrosa del alumno puesto que la tradicional ya no es posible llevarla a cabo.

2.2 Técnicas de razonamiento borroso y su empleo^{196, 197}

La introducción de conjuntos borrosos en los aspectos comentados relativos a NEOCAMPUS y heredables a los prototipos posteriores, obliga a tener que dar capacidades a los agentes para razonar con proposiciones borrosas. Se han considerado dos tipos de proposiciones condicionales (reglas de producción) borrosas; la usual que lleva asociado un coeficiente de veracidad de la misma, y otra particular en las que además el antecedente o el consecuente o ambos llevan asociados conjuntos borrosos.

Para razonar con este tipo de proposiciones se han elaborado dos tipos de esquemas borrosos de inducción para ser utilizados con el tipo correspondiente de proposición condicional borrosa correspondiente. En cada tipo se ha desarrollado un “modus ponens” borroso, un “modus tollens” borroso y una descomposición de la unión o intersección borrosas en sus ramas integrantes. Seguidamente se detallará, como ejemplo, los esquemas correspondientes al “modus ponens” borroso.

Tipo I) Modus ponens con proposiciones borrosas usuales. Ejemplo:

$$A \rightarrow B \quad y \quad A (0.7) \quad \text{producen} \quad B (0.8 \times 0.7) = B (0.56)$$

$$0.8$$

Tipo II) Modus ponens con proposiciones borrosas con conjuntos borrosos

$$A \rightarrow B (\beta) \quad y \quad A (\gamma) \quad \text{producen} \quad B (\beta \cap \gamma)$$

¹⁹⁶ T. Ross, *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, John Wiley, 3ª ed., New York, 2010.

¹⁹⁷ G. Klir, B. Yuan, *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*, World Scientific Press, 1995.

Además, como los prototipos abordan la toma de decisiones y los dominios de los problemas incluyen conjuntos borrosos, se ha implantado también en NEOCAMPUS la técnica de toma borrosa de las decisiones¹⁹⁸. En este punto se ha seguido textualmente la idea de Bellman y Zadeh¹⁹⁹.

2.3 Control borroso

Se ha analizado en diversos momentos las posibilidades de introducir el control borroso^{200,201} en diversos aspectos de los prototipos, pero tan sólo se ha llevado a cabo esa introducción en algunos mecanismos de control de los agentes; más concretamente en los mecanismos que se basan en los errores de los alumnos al tener en cuenta que la estimación de esos errores es “borrosa” al venir las intensidades del aprendizaje del alumno expresado mediante un conjunto borroso. Para esos casos se ha diseñado un control borroso particular mediante reglas de producción en las que el antecedente contiene elementos borrosos, pero el consecuente no los tiene puesto que debe proporcionar una ordenación clara (no borrosa) de los agentes.

2.4 Prototipo FILTR: Filtrado automático de información a usuarios

En este apartado se pretende describir el prototipo FILTR, surgido como un desarrollo de parte del subsistema de filtrado y resumen de información de NEOCAMPUS. La importancia adquirida recientemente por el tema de filtrado de documentos y las posibilidades de aplicación en muchos otros campos, incluso ajenos al aprendizaje, han sido algunas de las causas que motivaron su desarrollo como prototipo autónomo en una primera fase^{202,203} y en una

¹⁹⁸ B. Ayyub, M. Gupta, L. Kanal, *Analysis and Management of Uncertainty: Theory and Applications*, North-Holland, New York, 1992.

¹⁹⁹ R. Bellman, L. Zadeh, “Decision making in a fuzzy environment”, *Management Science*, 17 (4), 1970, pág. 141-164.

²⁰⁰ W. Pedrycz, *Fuzzy Sets Engineering*, CRC Press, Boca Raton, 1995.

²⁰¹ J. Lilly, *Fuzzy Control and Identification*, John Wiley, New York, 2010.

²⁰² F. de Arriaga, M. El Alami, A. Arriaga, M. Romero, “Connectionist Multi-Agent Environment for Filtering Massive Internet Information”, en *Innovation, Technology and Research in Networks*, Iadat, 2004, pág. 176-181.

segunda con la inclusión de técnicas de lógica borrosa²⁰⁴ y ampliación de su cometido, que pasa a dar servicio a todo un colectivo de usuarios. Precisamente por esta última razón se incluye FILTR en este capítulo.

2.4.1 El problema del filtrado de información

Puede que haya sido la red Internet la que haya puesto sobre el tapete la necesidad perentoria de filtrar la información buscada, y ello es necesario tanto para el científico como para las personas no científicas. Para facilitar la obtención de la información deseada se utilizan todo un conjunto de buscadores, de sobra conocidos, pero se necesita una gran cantidad de tiempo a causa de la heterogeneidad de la información obtenida y los documentos espúreos que aparecen, en buena parte por razones de marketing. En consecuencia, para quedarse sólo con la información adecuada relativa al perfil de un usuario concreto es obligado filtrar los documentos. La explosión exponencial del conocimiento y la subsiguiente sobrecarga de información que gravita sobre los seres humanos hace que ese filtrado sea necesario para todo el mundo en un futuro muy próximo.

No existe una definición universalmente aceptada del filtrado de información, relacionado con lo que se conoce como “recuperación” de la información; por ello es preciso concretar algunos de los términos que van a usarse.

La recuperación de la información suele utilizarse para expresar el acceso a una colección estática o cuasi-estática de documentos (base de datos) con el fin de obtener la respuesta a determinadas cuestiones; se ha usado durante bastante tiempo incluso antes de la llegada de Internet. Por otra parte, el filtrado de la información se asocia a una colección dinámica de documentos,

²⁰³ F. de Arriaga, M. El Alami, A. Arriaga, M. Romero, “FILTR: A Multi-Agent System for Solving the Information Filtering Problem”, *Journal of Advanced Technology on Networks*, Vol. 1(1), 2005, pág. 23-29.

²⁰⁴ F. de Arriaga, M. El Alami, “A Fuzzy Multi-Agent System for the Solution of the Multi-User Information Filtering Problem”, *Proceedings International Conference ICERI'08*, 2008, pág. 253-258.

como los que aparecen en TV; aquí la búsqueda viene guiada por perfiles o filtros complejos de larga duración. El énfasis se sitúa en la selección de documentos: ¿cuáles?, ¿demasiados?, ¿pocos?

Aquí no va a tratarse el problema de la recuperación de la información aunque algunos de sus métodos son también útiles para el objetivo que nos ocupa. Un resumen interesante del problema y técnicas de solución relacionadas con este planteamiento puede verse en el trabajo de H. Chen²⁰⁵.

El problema del filtrado implica un cúmulo de decisiones adicionales tales como la determinación del perfil del usuario, la evaluación de la relevancia o calidad de un documento de acuerdo con el perfil, la selección de reglas de filtrado que se aplican a los atributos de los documentos, la adopción de un umbral de filtrado, cuántos documentos requiere el usuario y quien va a usar el filtrado si una persona sola o un grupo conjuntamente.

Las primeras aproximaciones al filtrado se realizaron mediante métodos probabilísticos y con escasos resultados²⁰⁶; les era difícil estimar correctamente los parámetros de ocurrencia de términos. Ejemplos representativos de esta aproximación lo constituyen los sistemas CoalSORT²⁰⁷ e IOTA²⁰⁸. A pesar de un éxito conseguido en algunos dominios el proceso de desarrollo es a menudo lento y laborioso.

En cuanto a la aplicación de las técnicas de aprendizaje de máquina para resolver el filtrado, hay que mencionar algunas aproximaciones; las primeras tienen que ver con la producción de herramientas para filtrados especiales, como el filtrado de "spam" y otros varios, y sistemas importantes como PICS que es una iniciativa del M.I.T. para el filtrado de contenidos. En los años

²⁰⁵ H. Chen, "Machine Learning for Information Retrieval: Neural Networks, Symbolic Learning, and Genetic Algorithms", *Journal of the American Society for Information Science*, John Wiley & Sons, 46(3), 1995, pág. 194-216.

²⁰⁶ D. Blair, M. Maron, "An evaluation of retrieval effectiveness for a full-text document-retrieval system", *Communications of the ACM*, 28, 1985, pág. 289-299.

²⁰⁷ I. Monarch, J. Carbonell, "CoalSORT: A Knowledge-based interface", *IEEE Expert*, 1987, pág. 39-53.

²⁰⁸ Y. Chiramella, B. Defude, "A prototype of an intelligent system for information retrieval: IOTA", *Information Processing and Management*, 23, 1987, pág. 285-303.

últimos ha habido aproximaciones importantes al problema global de filtrado como el proyecto “Value Filtering Project” de la universidad Stanford dirigido no sólo al filtrado de información textual sino también de información contenida en audio o video clips. Precisamente en conexión con las técnicas de aprendizaje de máquina, Doszkocs, Reggia y Lin²⁰⁹ han hecho una buena revisión de los modelos conexionistas pero restringido a redes con propagación “hacia atrás” que tienen los inconvenientes de una posible inestabilidad, y necesitan un alto número de pares de entrenamiento. Chen y colaboradores²¹⁰ introdujeron la red de Hopfield para elaborar los tesauros de diferentes bases de datos de dominios específicos. Por otra parte, Kai Yu²¹¹ ha realizado un trabajo interesante de combinar métodos estadísticos con métodos de aprendizaje de máquina. Sin embargo, a pesar de estos y otros intentos interesantes, el problema de filtrar eficientemente cualquier dominio, adaptándose dinámicamente a posibles cambios del perfil del usuario sigue abierto; a él se han dedicado estos esfuerzos.

2.4.2 FILTR: requisitos y primeras decisiones

Se pretende que FILTR proporcione a un número considerable de personas documentos adecuados extraídos de Internet, de acuerdo con sus diferentes perfiles de interés (pueden ser distintos todos los perfiles). El sistema ha de ser robusto, flexible, adaptable a posibles cambios de necesidad de los usuarios, y amistoso en el sentido de que la comunicación de los usuarios con el sistema para comunicar sus intereses de búsqueda o para evaluar los resultados del sistema sea simple y sencillo. No se trata de un problema de tiempo real,

²⁰⁹ T. E. Doszkocs, J. Reggia, X. Lin, “Connectionist models and information retrieval”, en *Annual Review of Information Science and Technology*, Elsevier, Vol. 25, 1990, pp. 209-260

²¹⁰ H. Chen, K. J. Lynch, H. Basu, T. Ng, “Generating, integrating, and activating thesauri for concept-based document retrieval”, *IEEE Expert*, 8(2), 1993, pág. 25-34

²¹¹ K. Yu, *Statistical Learning Approaches to Information Filtering*, Tesis Doctoral, Facultad de Matemáticas, Computación y Estadística, Universidad LMU, Munich, 2004.

pero hay que prestar atención para presentar los documentos obtenidos a los usuarios en unas pocas horas.

La primera decisión a adoptar para cumplir esos requisitos es la especificación del interés del usuario mediante un conjunto sencillo de palabras clave que son relevantes para obtener la información deseada, puesto que éste es procedimiento usual para clasificar documentos y artículos de revistas; como palabras clave se entienden no sólo palabras sueltas sino pequeños conjuntos de palabras que pueden aparecer juntos en textos, como “contabilidad financiera”. Los documentos que han de ser analizados se pueden obtener directamente de buscadores como Yahoo, Lycos, Google, etc. El usuario puede cambiar sus intereses de manera brusca especificando un nuevo conjunto de palabras clave o de manera suave, manteniendo el mismo conjunto de palabras. El usuario puede tener más de un perfil específico como interés de información.

El proceso de filtrado ha de ser adaptativo en el sentido de poder cambiar dinámicamente de acuerdo con las preferencias del usuario considerando la evaluación previa que el usuario hace de los resultados del sistema. En otras palabras, el sistema aprende las posibles relaciones implícitas entre las palabras clave considerando los éxitos y fallos obtenidos en búsquedas previas y adaptando sus parámetros para mejorar sus éxitos y evitar los fallos. En esencia, se simplifica la tarea del usuario de definir su perfil de búsqueda pero se le fuerza a decir “sí” o “no” para cada documento filtrado con objeto de conseguir la adaptación del sistema que debe incluir posibles cambios en el perfil del usuario.

En cuanto al método de filtrado, no se puede usar la técnica usual de evaluar la frecuencia relativa de las palabras en un documento específico y obtener la media ponderada de esas frecuencias tomando como pesos correspondientes la frecuencia media obtenida previamente en todos los

documentos filtrados. Es el esquema tradicional usado en muchos navegadores de Internet. Pero este esquema no es muy apropiado porque: a) requerirá almacenar un gran número de documentos; b) el sistema no considera las relaciones implícitas, siempre existentes, entre las palabras clave; y c) no existe un modo fácil de adaptar el sistema a los cambios en el perfil del usuario. Estos inconvenientes se pueden evitar dotando al sistema de capacidad de aprendizaje de su propia experiencia suministrada por las redes neuronales.

En cuanto al sistema de cómputo, está claro que se requieren técnicas de inteligencia artificial para resolver el problema apoyándonos en un sistema multiagente que en este caso presenta ventajas indudables: los datos pueden descentralizarse y distribuirse, la computación puede ser síncrona permitiendo a los agentes trabajar en paralelo, cada agente no necesita disponer de toda la información puesto que puede tener un punto de vista limitado, los agentes pueden interactuar e interoperar con otros agentes u otras entidades de software, y además cabe distribuir grandes volúmenes de información entre un número adecuado de agentes (creados por clonación) de acuerdo a sus tareas.

2.4.3 FILTR: el sistema multiagente

FILTR como los restantes prototipos es “hijo” de NEOCAMPUS, por lo que sus agentes heredan toda la funcionalidad de la factoría de agentes. Pero en este caso particular el conexionismo proporcionado por las redes neuronales juega un papel fundamental en el aprendizaje del sistema. Por tanto se ha dedicado atención especial al análisis de las redes neuronales de ligadura funcional que utiliza obteniendo resultados relativos a su comportamiento como aproximadores de funciones continuas a trozos en conjuntos compactos²¹². También se analizó el empleo de diversos tipos de funciones de

²¹² A. Ugena, F. de Arriaga, “The Fourier Flat Net: An Approximator on Compact Sets”, *International Mathematical Journal*, Vol. 2, n. 10, 2002, pág. 971-989.

entrada a estas redes neuronales en problemas de tiempo real,²¹³ para poder garantizar el empleo de FILTR en problemas de filtrado con respuesta rápida al usuario.

FILTR ha requerido también herramientas adicionales que permitieran a los agentes la navegación rápida por Internet. Las más importantes han tenido por objeto: a) identificar y extraer las ligaduras (“links”) existentes en un documento HTML y reconocer las ligaduras apuntan a otro documento HTML, a una imagen, o a “applets” (de Java); b) usar automáticamente un navegador específico para hacer una copia local del documento HTML para un análisis posterior; c) convertir el fichero HTML en texto llano sin perder la información contenida en las etiquetas; d) acceder a un sitio concreto.

En su última versión este prototipo ha heredado las técnicas de lógica borrosa incorporadas a NEOCAMPUS. No ha sido necesario realizar ninguna adaptación especial. Su empleo fundamental ha sido el siguiente:

- a) El perfil de interés del usuario ha sido categorizado en diferentes patrones o subcampos del campo del interés propio.
- b) Para cada documento obtenido el sistema lo ha evaluado por medio de un conjunto borroso definido sobre esos patrones o subcampos. Previamente ha sido preciso seleccionar ese conjunto de patrones sintácticos de acuerdo con el campo general de interés. Precisamente la presencia de estos patrones (u otros equivalentes) con una cierta intensidad o frecuencia en el documento extraído es lo que permite construir el conjunto borroso.
- c) Se calcula ahora la intersección de ese conjunto borroso con los diversos patrones ideales de interés del usuario (también conjuntos

²¹³ A Ugena, F. de Arriaga, M. El Alami, “Neural Network Architectures: New Strategies for Real Time Problems”, en *Computing and Information Technologies: Exploring Emerging Technologies*, World Scientific Publishing, 2001, pág. 146-159.

borrosos) y se “desborrosifican” esas intersecciones produciendo valores numéricos.

d) Si al menos uno de esos valores numéricos obtenidos supera un umbral previamente establecido (a base de las primeras pruebas del sistema), se retiene el documento y en caso contrario se le rechaza.

Los patrones ideales de interés del usuario se obtienen durante la fase de entrenamiento del sistema como consecuencia de la aceptación o rechazo por parte del usuario de documentos seleccionados por el sistema.

Conviene agregar que a pesar del uso intenso de las técnicas de lógica borrosa, en ningún momento se pensó en introducir redes neuronales borrosas teniendo en cuenta los resultados obtenidos.

Los agentes integrados en el prototipo son los siguientes:

1) Agente F1. Es el agente de control del sistema. Se trata de un único agente que controla la gestión de todo el proceso. Sus tareas fundamentales son:

a) Escoger dinámicamente los tipos de agentes y su número de acuerdo con las incidencias del proceso.

b) Crear por clonación nuevos agentes para una tarea voluminosa e introducirlos en el proceso, vigilar sus actividades, anularlos cuando no se necesitan.

c) Determinar cuántos agentes están activos en cada momento y a qué tipo pertenecen.

d) Notificar cuándo se ha terminado la búsqueda y el filtrado.

2) Agentes F2. Son agentes de búsqueda y filtrado. Ejecutan dos tareas fundamentales:

a) Buscar ligaduras a documentos potencialmente relevantes. Inicialmente todas las ligaduras son relevantes, pero el sistema por aprendizaje va excluyendo las que no han producido documentos de

interés.

b) Evaluar esos documentos.

En principio, el número de estos agentes, que trabajarían simultáneamente, depende de parámetros tales como la velocidad de las ligaduras de Internet disponibles, y el número de ligaduras adicionales que apuntan a documentos nuevos.

3) Agentes F3. Su tarea es el entrenamiento de redes neuronales. Esta tarea no es un proceso simple pues durante la misma pueden aparecer problemas muy diversos que impidan una situación estable de aprendizaje, cosa que en muchos casos depende de la topología de la red neuronal. Estos agentes poseen el conocimiento suficiente, expresado en reglas de producción, para construir las redes y controlar el proceso de entrenamiento, incluyendo la posibilidad de cambiar el diseño si los resultados obtenidos lo aconsejan. El número de estos agentes dependerá también del número de los agentes existentes de tipo F2 y de las incidencias del propio proceso de entrenamiento.

4) Agentes de interfaz. Para cada usuario hay un agente encargado de esa interfaz que muestra una ventana principal en la que el usuario puede controlar el proceso de filtrado. Además se pueden desplegar diferentes ventanas con propósitos distintos como: gestionar las opciones relativas a los parámetros del sistema, gestionar los perfiles de usuario incluyendo la edición y el cambio de un perfil, ordenar el inicio del proceso de búsqueda de documentos, visualizar las propiedades y ligaduras de un documento, notificar las condiciones de error, desplegar documentos HTML en el caso de que no se haya asignado ningún navegador a la búsqueda, solicitar la evaluación de un documento por parte del usuario aceptándolo o rechazándolo.

2.4.4 FILTR: pruebas y resultados

El prototipo ha estado en funcionamiento durante más de tres años sirviendo a un número de usuarios que ha variado entre 70 y 350. La mayoría tenía un solo perfil pero algunos disponían de dos y hasta cinco perfiles distintos.

El número de documentos analizado ha rebasado los dos millones. Los resultados obtenidos han sido evaluados por todos los usuarios de manera que los números obtenidos no corresponden a una muestra sino a la totalidad de la población.

El número medio de documentos que ha evaluado cada usuario para entrenar la red neuronal de ligadura funcional ha sido de 51 con un rango de 35 a 65. En otras palabras, después de comunicar al sistema la aceptación o rechazo de esa media de 50 documentos filtrados, el sistema ha alcanzado un error del 3%. Se han realizado también pruebas similares usando perceptrones lineales en vez de las redes de ligadura funcional, y en este caso fue necesaria una media de 512 evaluaciones por parte del usuario.

Cuando se producía un cambio abrupto del perfil del usuario, el número medio de documentos para volver a entrenar al sistema coincidía sensiblemente con 51; a partir de ese momento se volvía a alcanzar el error del 3%. En el caso de cambios suaves del perfil del usuario, el error podía ascender momentáneamente al 12%, y después de evaluar hasta unos 20 documentos alcanzaba de nuevo el 3% de error.

Los documentos siempre fueron entregados al usuario en un plazo inferior a dos horas.

El análisis de estos resultados permite afirmar que estas técnicas conexionistas y borrosas son sumamente adecuadas para resolver el problema del filtrado por su capacidad de aprendizaje y de adaptación al usuario. Por otra parte, el sistema multiagente permite una flexibilidad y robustez difícil de

conseguir por otros medios al permitir incrementar la “fuerza de trabajo” en la medida de las necesidades del proceso.

3. Plataforma ONTOS: Construcción automática de ontologías

3.1 Primera etapa: construcción automática de patrones semánticos

3.1.1 “Knowledge Management” (gestión del conocimiento) y ontologías

“Knowledge Management” (KM) es una disciplina científica que puede considerarse una combinación de métodos y conceptos de distintas áreas como ciencias de la computación y específicamente sistemas basados en el conocimiento e inteligencia artificial, reingeniería de procesos de negocios, gestión de recursos humanos y análisis del comportamiento organizativo y que está orientada, como indica su denominación, a la gestión en su sentido más amplio del conocimiento^{214, 215}.

Por otra parte, las ontologías están incrementando continuamente su importancia en todo tipo de sistema basado en el conocimiento; entre ellos aparecen los sistemas e-learning inteligentes como muy adecuados para el uso de ontologías pues de esta manera no sólo podrían comunicarse sistemas Ee-learning diferentes si comparten una determinada ontología, sino que también se simplificaría la actualización e incremento de sus bases de conocimiento.

Empezaremos por definir una ontología, de acuerdo con Gruber²¹⁶, como *una especificación formal de una conceptualización en un cierto dominio de interés*. Esa conceptualización suele expresarse mediante un conjunto de términos (conceptos) y relaciones entre ellos²¹⁷. El objetivo principal de la

²¹⁴ F. de Arriaga, M. El Alami, “E-Knowledge Management: Its Role for the Development of Intelligent E-Learning Systems”, en A. Mendez, J. Mesa (ed.), *Recent Developments in Learning Technologies*, Vol. III, Formatex, 2005, pág. 917-922.

²¹⁵ F. de Arriaga, *E-Knowledge Management, E-Learning, and E-Commerce: An Evaluation of their Situation and Tendencies*, Tech. Rep., International Computer Science Institute, University of California, Berkeley, 2003.

²¹⁶ T. Gruber, “A Translation Approach to Portable Ontologies”, *Knowledge Acquisition* 5(2), 1993, pág. 199-220.

²¹⁷ D. Downey, S. Etzioni, S. Soderland, D. S. Weld, “Learning Text Patterns for Web Information Extraction”, *Proceedings AAAIA-04, Workshop on Adaptive Text Extraction and Mining*, 2004, pág. 50-55.

ontología es obtener un modelo formal que permita el razonamiento automático²¹⁸. Inicialmente se ha planteado la construcción automática de patrones semánticos, que son elementos o partes de las ontologías, y su generalización hasta encontrar el conjunto más general de patrones o jerarquía de patrones que se adecua a un determinado texto o textos, con vistas a su inserción o coordinación con otros ya existentes sobre el mismo dominio de interés.

Hasta el presente la obtención de los términos y relaciones se ha hecho mediante dos grupos de técnicas: análisis estadístico o aplicación de patrones de reconocimiento. El primer grupo, el análisis estadístico, requiere la presencia de uno o varios “*corpora*” conteniendo un gran número de documentos convenientemente escogidos²¹⁹, mientras que el segundo, presenta la dificultad de generar esos patrones^{220, 221}. La generación puede hacerse manualmente pero no es viable la elaboración de un número importante de patrones de reconocimiento por el tiempo que conlleva esa elaboración, de ahí que se proponga en este trabajo una generación automática de esos patrones, lo cual significa el aprendizaje o la extracción de la información sintáctica y semántica implícita contenida en un conjunto de documentos.

3.1.2 Patrones semánticos y recuperación de la información

El procedimiento de recuperación de información aplicando patrones en frases de lenguaje natural consiste en obtener ciertos componentes lingüísticos que permiten la identificación de los términos principales y de sus interrelaciones. La meta es obtener la representación del contenido semántico

²¹⁸ J. Davies, R. Studer, P. Warren, *Semantic Web Technologies: Trends and Research in Ontology-Based Systems*, J. Wiley, 2006.

²¹⁹ C. D. Manning, H. Schütze, *Foundations of Statistical Natural Language Processing*, M.I. T. Press, 1999.

²²⁰ M. Califf, R. Mooney, “Relational Learning of Pattern-Match rules for Information Extraction”, *Proceedings of the 16th National Conference on Artificial Intelligence*, 1999, pág. 328-334.

²²¹ D. Downey, S. Etzioni, S. Soderland, D. S. Weld, “Learning Text Patterns for Web Information Extraction and Assessment”, *Proceedings AAAI-04 Workshop on Adaptive Text Extraction and Mining*, 2004, pág. 50-55.

de una frase como un conjunto de relaciones entre los términos constitutivos, de manera que, en general, cabe suponer que para cada frase se puede establecer al menos una relación entre sujeto (S) y predicado (P) que viene gobernada por el verbo (V) el cual representa la etiqueta de la relación. En resumen, esa relación puede representarse simbólicamente como

$$V(S, P)$$

Esta relación puede ser más compleja como, por ejemplo:

- Cuando el sujeto es compuesto. En este caso la relación subsistiría para cada miembro del sujeto.
- Cuando el predicado aparece integrado por varios objetos. En este caso la relación global viene “modulada” por el tipo de objeto (directo, indirecto, etc.) Cabría así hablar de varias sub-relaciones.
- La flexibilidad del lenguaje natural puede producir relaciones similares aunque representadas de forma diferente. Por otra parte, las relaciones pueden depender de factores múltiples como la naturaleza del verbo (transitivo o no) y la presencia de oraciones subordinadas, etc.

Estas razones convierten la generación de patrones semánticos en una tarea mucho más compleja. Se necesita necesariamente obtener un elevado número de patrones para interpretar un número importante de sentencias.

No obstante, esta generación puede aprovechar la información procedente de un análisis sintáctico previo, y ésta es la aproximación seguida en este trabajo: suponer que se ha hecho un preprocesamiento previo del texto mediante un analizador sintáctico. Sin embargo, hay que aclarar que a pesar de las ventajas que puedan obtenerse de este uso, el uso previo de una gramática o de un analizador sintáctico puede ocasionar dificultades adicionales por el hecho de que estas herramientas pueden suministrar resultados que no siempre son plenamente correctos. Esto es debido a la imposibilidad de diseñar un

analizador sintáctico totalmente correcto sin usar información semántica. El aprendizaje automático que aquí se propone contribuye también a la solución de este problema porque los sistemas de generación de patrones pueden ser adaptados a las características de la gramática o analizador usado para preprocesar los textos.

3.1.3 Representación de patrones semánticos

Previamente es necesario establecer un método formal para definir el concepto de patrón, sus elementos y relaciones. De ese modo podrán ser usados con cualquier tipo de sentencia y, a la vez, podrán ser usados por agentes inteligentes capaces de automatizar el proceso y ejecutarlo de manera distribuida si fuera necesario. Se omite la descripción de este método formal por su tecnicismo para, en su lugar, proporcionar una visión intuitiva y descriptiva de este trabajo.

El punto de arranque es la representación de sentencias en forma de árboles sintácticos (tal como suelen aparecer tras la aplicación de un analizador sintáctico). De esta manera un patrón semántico será una estructura de datos que, aplicada al árbol sintáctico de una sentencia, proporciona un conjunto de relaciones identificables en la sentencia. Si la estructura de datos no fuese aplicable a esa sentencia, al actuar sobre ella produciría un conjunto vacío de relaciones.

Un árbol sintáctico es un árbol que representa la estructura sintáctica de una sentencia de acuerdo con una gramática que ha sido definida en el dominio de interés que se estudia. En lo sucesivo nos referiremos a frases o sentencias en inglés porque ése va a ser el idioma en el que venimos trabajando con la información que se obtiene de Internet.

Así una representación usual de la frase "John hit the ball" es:

(S (NP John) (VP (V hit) (NP (Det the) (N ball))))

en la que *NP* representa una frase nominal y *VP* una frase verbal, *S* es el sujeto, *V* el verbo, *N* el sustantivo y *Det* el determinante. Existen y se han utilizado a veces otras representaciones de las sentencias como, por ejemplo, la proporcionada por Hearst²²². Por otra parte, el método formal a usar ha de definir conceptos tales como: nodo, nodo completo, nodo hijo, nodo hermano, nodo descendiente de nivel *k*, concatenación de *n*-plas de nodo y árbol sintáctico, pero aquí por sencillez continuaremos con la aproximación intuitiva.

Pasemos ahora a patrones semánticos pero partiendo del modelo usado de los árboles sintácticos para que pueda aplicarse el concepto a estos árboles. Desde un punto de vista general definiremos árbol semántico al árbol formado por nodos que son extensión de los nodos del árbol sintáctico. Por extensión entendemos al nodo junto con una etiqueta que pertenece a un conjunto previamente definido. Entre las etiquetas posibles hemos de incluir dos comodines: el comodín “+” que puede aplicarse a cualquier nodo (sin sus descendientes), y el comodín “*” que puede aplicarse a cualquier nodo (incluyendo sus descendientes). Ambos juegan un papel importante en el proceso de generalización posterior. También habrá que definir formalmente otros conceptos como la aplicabilidad de un nodo extendido, la aplicabilidad de un patrón semántico a un árbol sintáctico y sus resultados.

Veamos ahora algún ejemplo de la aplicación de patrones semánticos a árboles sintácticos obtenidos de frases reales. Así, sobre el árbol sintáctico:

(S (NP (DT The) (NN lithosphere)) (VP (VBZ is) (VP (VBN broken) (PRT (RP up)) (PP (IN into) (NP (NP (JJ different) (NNS plates)) (VP (ADVP (IN as)) (VBN shown) (PP (IN by) (NP (DT the) (NN picture))))))))))

se pueden aplicar los patrones:

²²² M. A. Hearst, “Automatic Acquisition of Hyponyms From Large Text Corpora”, *Proceedings of the 14th International Conference on Computational Linguistics*, Nantes, 1992, pág. 156-163.

- (S (#**subject**#NP (DT The) (NN lithosphere)) (VP (#**verb**#VBZ is) (VP (#**verb**#VBN broken) (#**verb**#PRT (RP up)) (PP (#**verb**#IN into) (NP (#**comp**#NP (JJ different) (NNS plates)) (VP (ADVP (IN as)) (VBN shown) (PP (IN by) (NP (DT the) (NN picture.))))))))))
- (S (#**subject**#NP *) (VP (#**verb**#VBZ *) (VP (#**verb**#VBN *) (#**verb**#PRT *) (PP (#**verb**#IN *) (NP (#**comp**#NP *) *))))))

En ambos casos el resultado de estas aplicaciones es:

(**subject** (NP (DT The) (NN lithosphere))) (**verb** (VBZ is)) (**verb** (VBN broken)) (**verb** (PRT (RP up))) (**verb** (IN into)) (**comp** (NP (JJ different) (NNS plates)))

Agrupando ahora los nodos que tienen el mismo identificador resulta:

- **verb**: (**verb** (VBZ is) (VBN broken) (PRT (RP up)) (IN into))
- **subject**: (**subject** (NP (DT The) (NN lithosphere)))
- **comp**: (**comp** (NP (JJ different) (NNS plates)))

3.1.4 Aprendizaje automático de patrones semánticos

El objetivo final del trabajo concreto de esta etapa es el proceso de aprendizaje de patrones de reconocimiento a partir de un conjunto de ejemplos, dado previamente. Los requisitos de este proceso de aprendizaje son:

- Obtener patrones de reconocimiento adecuados capaces de producir resultados esperados del conjunto de entrenamiento.
- Obtener los patrones de reconocimiento más generales para que sean aplicables al mayor número posible de árboles sintácticos. Este el punto crucial del proceso de aprendizaje.

En línea con esta línea de pensamiento se concibe un proceso en dos pasos: a) generación de patrones concretos a partir de los ejemplos; b) generalizar los patrones obtenidos.

El primer paso se hace fácilmente partiendo de los ejemplos dados, pues

si partimos del siguiente árbol sintáctico:

(S (NP (NP (DT This) (NN movement)) (PP (IN of) (NP (JJ lithospheric) (NNS plates)))) (VP (VBZ is) (VP (VBN described) (PP (IN as) (NP (NN plate) (NN tectonics))))))

de él se obtienen los siguientes resultados:

verb: *(verb (VBZ is) (VBN described) (IN as))*

subject: *(subject (NP (NP (DT This) (NN movement)) (PP (IN of) (NP (JJ lithospheric) (NNS plates))))*

comp: *(comp (NP (NN plate) (NN tectonics)))*

De aquí se puede generar un patrón correcto añadiendo a cada nodo la etiqueta correspondiente:

(S (#subject#NP (NP (DT This) (NN movement)) (PP (IN of) (NP (JJ lithospheric) (NNS plates)))) (VP (#verb#VBZ is) (VP (#verb#VBN described) (PP (#verb#IN as) (#comp#NP (NN plate) (NN tectonics))))))

Puede comprobarse que este patrón concreto sólo puede aplicarse a un único árbol sintáctico que es del que procede. Se necesita, por tanto, desarrollar una generalización de estos patrones.

3.1.5 Generalización de patrones semánticos

La formalización del proceso de generalización sigue los siguientes pasos:

- Ante todo es necesario definir los conceptos de árbol sintáctico asociado a un patrón que, intuitivamente, es el árbol sintáctico definido por el patrón aunque sin las etiquetas asociadas a los nodos extendidos.
- Después se considerará que un patrón R es aplicable a otro R' si es aplicable al árbol asociado al segundo patrón R' . Con estas ideas se puede ahora afirmar que un patrón R es más general que R' si y solo si R es aplicable a R' . Es posible demostrar que esta relación de aplicabilidad es una relación de

orden parcial.

- La idea de aplicación de un conjunto de patrones a un árbol sintáctico es posible si al menos existe en el conjunto un patrón que sea aplicable al árbol. En consecuencia, el resultado de aplicar un conjunto de patrones a un árbol sintáctico puede definirse como el resultado de aplicar el patrón menos general (entre los aplicables) al árbol.

En suma, el problema de aprendizaje de patrones a partir de ejemplos consiste en:

- Obtener a patrón concreto de cada uno de los ejemplos aportados.
- Agregar esos patrones en un conjunto.
- Generalizar el conjunto de patrones obtenidos para producir un nuevo conjunto de patrones capaz de obtener los mismos resultados que el conjunto original cuando se les aplica a los ejemplos dados.

El verdadero aprendizaje se lleva a cabo en el proceso de generalización del conjunto, no en la generalización de un patrón solo. Este proceso de generalización puede ser considerado como una búsqueda en un espacio multi-dimensional integrado por las combinaciones múltiples de posibles patrones aplicables al conjunto de ejemplos.

3.1.6 Generalización de patrones mediante algoritmos genéticos

El problema principal que se plantea en el proceso de generalización es la posibilidad de obtener varias jerarquías de patrones porque dependen del orden relativo de sustitución/eliminación de nodos en los patrones originales. Por otra parte, cada uno de estos grupos puede mostrar distintos grados de generalidad. El problema es encontrar la jerarquía de patrones más general.

Para encontrarla es posible usar una función que mida la generalidad de un patrón, pero debido a que el dominio de esta función no es numérico y que la función no es expresable fácilmente mediante parámetros, no cabe utilizar

redes neuronales para ese propósito sino que se usarán algoritmos genéticos por ser más adecuados.

La función de generalidad puede establecerse considerando que el conjunto de patrones analizados procede de la generalización de un conjunto de patrones concretos, por tanto cabe expresarla como la suma (para cada patrón) de una constante K y la media generalizada (para cada patrón) de nodos substituidos por el comodín "*" o el comodín "+", afectado por el cociente del número de nodos del patrón final del conjunto dividido por el número de nodos del patrón original. De esta forma y de acuerdo con la imagen intuitiva que estamos dando, la generalidad de un patrón aumenta con el número de comodines y con la disminución de nodos de patrón relativos al número de nodos del patrón original.

Este problema de generalización de patrones puede considerarse como el problema de mínimo de una función de energía que puede resolverse por la técnica de "recocido simulado" (simulated annealing). La función energía es la inversa de la función de generalidad aludida anteriormente; no obstante, debido a la naturaleza del dominio (no numérico) de la función y a los problemas derivados del proceso de generalización de patrones, conviene utilizar, como ya se ha dicho, algoritmos genéticos.

3.1.7 Algoritmo genético

Las características principales del algoritmo genético utilizado para el proceso de generalización son:

- Genotipo: Se considera la evolución de genotipos formados por un simple cromosoma. Estos patrones juegan el papel de genes en el algoritmo genético.
- Función de evaluación: se considera como función de evaluación a la función de generalidad anteriormente descrita.

- Mutaciones: considerando que el proceso de generalización consiste fundamentalmente en sustituir nodos por comodines, se consideran como mutaciones los tipos siguientes:
 - Tipo +: sustituir un nodo por un comodín +
 - Tipo *: sustituir uno o varios nodos por un comodín *
 - Mutaciones inversas: sustituir uno o varios nodos * o + por los nodos del patrón original.

Los dos primeros tipos son necesarios para aumentar el aprendizaje y el tercero para evitar que el algoritmo se atasque en un mínimo local. Además, la intensidad de la mutación se puede definir como el número de nodos afectados del patrón; así cabe expresar las mutaciones mediante parámetros como: velocidad general de mutaciones, cociente de mutaciones +, cociente de mutaciones *, cociente de mutaciones inversas e intensidad de la mutación o media de los nodos mutados en cada paso.

- Cruce genético: la técnica usada ha sido la de cruce de punto fijo que elige aleatoriamente el punto del cromosoma para el cruce.
- Selección: el objetivo principal es impulsar el avance del algoritmo genético seleccionando un grupo de individuos dentro de la población como función de su valor de adecuación. Como métodos de selección se han usado:
 - Rueda de la ruleta: la probabilidad de la selección es proporcional a la función de evaluación para cada individuo.
 - Selección mixta: se seleccionan los miembros mejores de la población y para elegir a los que faltan para completar el tamaño final de la generación siguiente se seleccionan mediante la rueda de la ruleta.
 - Selección continua de los mejores miembros hasta completar a la generación siguiente.
- Patrones ocultos (Hidden patterns): durante el proceso de generalización un

grupo de patrones puede ser aplicable a más de un árbol sintáctico de aprendizaje, también cabe que algún grupo de patrones no sea aplicable a ningún árbol de entrenamiento; estos patrones no aplicables se llaman patrones ocultos. Conviene que estos patrones ocultos continúen en el proceso hasta el final del aprendizaje porque contienen información relevante para el proceso de generalización, pues si se cancelan prematuramente podría impedirse al algoritmo realizar una marcha atrás (mediante mutaciones inversas) con lo que quedaría atascado en un mínimo local. Por otra parte, los patrones ocultos proporcionan que la función de adecuación sea suave contribuyendo así a evitar los no deseados mínimos locales. En general cabe afirmar que los patrones ocultos aparecen en casos donde hay redundancia en el conjunto de los árboles sintácticos de entrenamiento o cuando al partir de ese conjunto es posible obtener patrones aplicables a varios ejemplos.

3.1.8 Algunos resultados obtenidos

Como ejemplo concreto de la actuación del algoritmo genético frente a otras técnicas conocidas partiremos del conjunto de los siete ejemplos siguientes para el aprendizaje:

1) *The beginning of the Holocene was punctuated by the Younger Dryas cold period*
 (S (NP (NP (DT The) (NN beginning)) (PP (IN of) (NP (DT the) (NNP Holocene)))) (VP (VBZ is)
 (VP (VBN punctuated) (PP (IN by) (NP (DT the) (NNP Younger) (NNP Dryas) (JJ cold) (NN period))))))
subject_pas: *The beginning of the Holocene*
verb: *is punctuated by*
comp_ag: *the Younger Dryas cold period*

2) *The Pliocene was named by Sir Charles Lyell.*
 (S (NP (DT The) (NNP Pliocene)) (VP (VBZ is) (VP (VBN named) (PP (IN by) (NP (NNP Sir) (NNP Charles) (NNP Lyell))))))
subject_pas: *The Pliocene*

verb: is named by
comp_ag: Sir Charles Lyell

3) Galena is known as lead sulfide.
 (S (NP (NNP Galena)) (VP (VBZ is) (VP (VBN known) (PP (IN as) (NP (JJ lead) (NN sulfide))))))
subject: Galena
verb: is known as
comp: lead sulfide

4) Galena is associated with the minerals sphalerite and fluorite.
 (S (NP (NNP Galena)) (VP (VBZ is) (VP (VBN associated) (PP (IN with) (NP (NP (DT the) (NNS minerals)) (ADJP (JJ sphalerite) (CC and) (JJ fluorite))))))
subject: Galena
verb: is associated with
comp: the minerals sphalerite and fluorite

5) Galena was used as a semiconductor in crystal radio sets.
 (S (NP (NNP Galena)) (VP (VBZ is) (VP (VBN used) (PP (IN as) (NP (NP (DT a) (NN semiconductor)) (PP (IN in) (NP (NN crystal) (NN radio) (NN sets))))))
subject: Galena
verb: is used as
comp: a semiconductor in crystal radio sets

6) Each carbon atom is bonded to three other surrounding carbon atoms
 (S (NP (DT Each) (NN carbon) (NN atom)) (VP (VBZ is) (ADJP (JJ bonded) (PP (TO to) (NP (CD three) (JJ other) (NNP surrounding) (NN carbon) (NN atoms))))))
subject: Each carbon atom
verb: is bonded to
comp: three other surrounding carbon atoms

7) Graphite powder is used as a dry lubricant.
 (S (NP (JJ Graphite) (NN powder)) (VP (VBZ is) (VP (VBN used) (PP (IN as) (NP (DT a) (JJ dry) (NN lubricant))))))
subject: Graphite powder
verb: is used as
comp: a dry lubricant

En primer lugar se muestran los resultados obtenidos mediante la técnica de “escalado” o subida simple.

A: (+ (#subject#NP *) (+ (#verb#VBZ *) (+ (#verb#VBN *) (+ (#verb#IN *) (#comp#NP * (+ lubricant))))))

B: (+ (#subject_pas#NP *) (+ (#verb#VBZ *) (+ (#verb#VBN *) (+ (#verb#IN *) (#comp_ag#NP * (+ period))))))

C: (+ (#subject_pas#NP *) (+ (#verb#VBZ *) (+ (#verb#VBN *) (+ (#verb#IN *) (#comp_ag#NP * (+ Lyell))))))

D: (+ (#subject#NP *) (+ (#verb#VBZ *) (+ (#verb#VBN *) (+ (#verb#IN *) (#comp#NP * (+ * (+ * (+ +))))))))

E: (+ (#subject#NP *) (+ (#verb#VBZ *) (+ (#verb#JJ *) (+ (#verb#TO *) (#comp#NP *))))

F: (+ (#subject#NP *) (+ (#verb#VBZ *) (+ (#verb#VBN *) (+ (#verb#IN *) (#comp#NP * (+ sulfide))))))

G: (+ (#subject#NP *) (+ (#verb#VBZ *) (+ (#verb#VBN *) (+ (#verb#IN *) (#comp#NP * (+ * (+ +))))))

Valor de la función de generalidad: **411.19**

Este valor obtenido de la función de generalidad está muy lejos del óptimo, y además los patrones generados no muestran ninguna relación jerárquica. En cambio vemos seguidamente que los patrones generados por el algoritmo genético son óptimos. Éstos son:

A: (+ (#subject_pas#NP *) (+ (#verb#VBZ *) (+ (#verb#VBN *) (+ (#verb#IN by) (#comp_ag#NP *))))

B: (+ (#subject#NP *) (+ (#verb#VBZ *) (+ (#verb#VBN *) (+ (#verb#IN *) (#comp#NP *))))

C: (+ (#subject#NP *) (+ (#verb#VBZ *) (+ (#verb#JJ *) (+ (#verb#TO *) (#comp#NP *))))

(+ (#subject_pas#NP (+ *) (+ *)) *) **hidden pattern (patrón oculto)**

(+ (#subject#NP *) (+ (#verb#VBZ *) (+ (#verb#VBN *) *))) **hidden pattern (patrón oculto)**

Valor de la función de generalidad: **725.57**

De los siete patrones originales, dados como ejemplos, el algoritmo

genético ha obtenido tres patrones finales y dos patrones ocultos. Como puede verse no es necesario con esta técnica utilizar extensos “corpora” textuales para obtener trozos de la ontología adecuada sino que para ello basta un reducido número de ejemplos.

3.2 Construcción automática de ontologías

Con los resultados obtenidos se plantea ahora una meta más importante que es la construcción automática mediante un sistema multi-agente de una ontología. El objetivo importante del uso de ontologías es compartir conocimiento acerca del universo del discurso de interés. El objetivo final es asegurar una correcta interacción entre aplicaciones o sistemas que comparten una misma ontología o grupo de ontologías, lo cual redundará una vez más en la centralidad de la ontología a la hora del desarrollo de futuros sistemas basados en conocimiento.

La construcción de ontologías no es, en absoluto, una tarea sencilla. Conlleva un profundo conocimiento del universo del discurso. De hecho, el *ingeniero del conocimiento*, que sería el encargado de la correcta definición de la ontología, precisará en la mayor parte de las ocasiones del auxilio de un experto en el ámbito concreto que se trate en cada caso. Además, a diferentes dominios les deben corresponder distintas ontologías (de hecho, puede plantearse la existencia de varias ontologías posibles para un mismo dominio, dotadas de mayor o menor compatibilidad). Por lo tanto para la construcción automática se puede partir de fuentes de información preexistentes sobre el ámbito de interés tales como:

- Colecciones de documentos del dominio de interés (que generalmente contienen información textual no estructurada).
- Diccionarios del dominio, consistentes en conjuntos de definiciones de

términos propios de dicho dominio.

- Bases de datos.
- Otras fuentes de conocimiento estructurado o semiestructurado.

El presente trabajo se va a limitar al problema de la construcción de ontologías a partir de documentos de texto genéricos, es decir, no estructurados a priori, que es, en realidad, la fuente de información más extensa en la realidad. Pero, ya inicialmente conviene tener en cuenta las etapas más importantes que conllevaría la construcción de una ontología, que serían:

- 1) Identificación y extracción de conceptos (construcción de terminología).
- 2) Identificación y extracción de relaciones taxonómicas (relaciones de hipernimia / hiponimia).
- 3) Identificación y extracción de otras relaciones (no taxonómicas):
 - a. Relaciones estándar: meronimia, sinonimia, etc.
 - b. Nuevas relaciones específicas del discurso de interés del que se trate en cada caso.

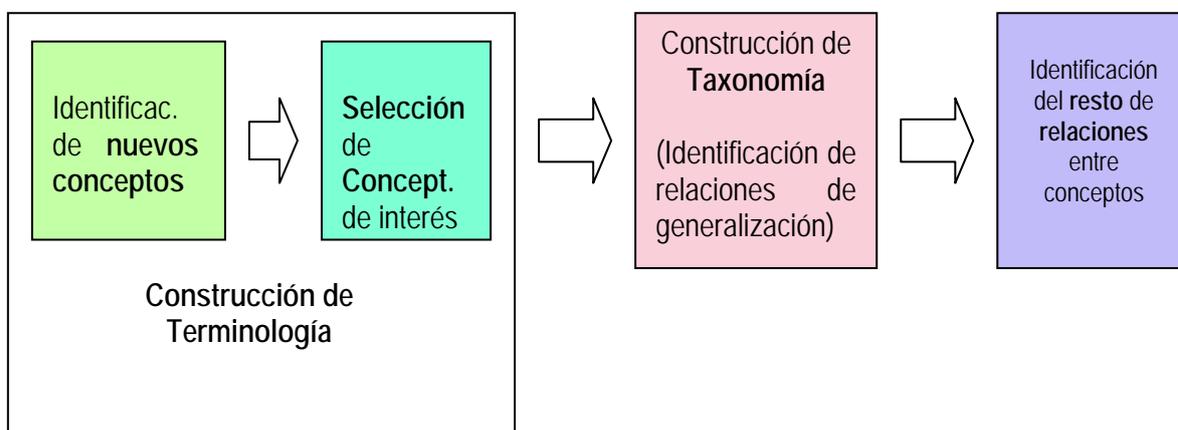


Figura 13: Principales etapas en la construcción automática de ontologías.

Para identificar el conjunto de términos de una ontología se suelen seguir enfoques estadísticos, como los de Roux²²³, Maedche y Staab²²⁴, y Navigli y

²²³ C. Roux et al., "An Ontology Enrichment Method for a Pragmatic Information Extraction System gathering Data on Genetic Interactions", 1999.

colaboradores²²⁵. En primer lugar se determinan las frecuencias de aparición dentro de los documentos del dominio de los conceptos involucrados. A continuación se determinan también estas frecuencias de aparición de estos conceptos para el *corpus* formado por documentos genéricos, no relacionados con el dominio tratado. La selección se realiza en función de todas estas frecuencias. Se considerará que deben formar parte de la ontología aquellos documentos cuya frecuencia de aparición es netamente superior en los documentos del dominio de interés que en el resto de documentos de carácter genérico. Esto puede ser evaluado de diferentes formas. Entre éstas se encuentran medidas estándar tales como TF (*term frequency*) o TFIDF (*term frequency – inverted document frequency*). Pueden utilizarse también otras medidas más elaboradas.

Para la construcción de la jerarquía conceptual se suelen utilizar para este fin también patrones léxico-sintácticos. Estos consisten básicamente en el uso de métodos heurísticos que utilizan expresiones regulares para la extracción de información. Se trata de definir expresiones regulares que capturen expresiones recurrentes y permitan realizar el mapeo de las mismas a estructuras semánticas (como por ejemplo relaciones taxonómicas entre conceptos²²⁶).

Otro de los métodos que pueden utilizarse para la construcción de la jerarquía conceptual de una ontología es el *clustering* jerárquico, que, de nuevo, se trata de un método netamente estadístico.

Para la identificación de otro tipo de relaciones no taxonómicas frecuentemente se recurre a:

- Uso de patrones léxico-sintácticos, que suelen ser específicos del ámbito o universo del discurso.

²²⁴ A. Maedche, S. Staab, “Discovering conceptual relations from text”, *Proceedings ECAI-2000 – European Conference on Artificial Intelligence*, IOS Press, Amsterdam, 2000.

²²⁵ R. Navigli et al., “Ontology Learning and Its Application to Automated Terminology Translation”, *IEEE Intelligent Systems*, 18(1), 2003, pág. 22-31.

²²⁶ M. Hearst, “Automatic Acquisition of Hyponyms From Large Text Corpora”, *Proceedings of the 14th International Conference on Computational Linguistics*, Nantes, France, 1992.

- Uso de patrones semánticos, que generalmente consisten en patrones verbales, igualmente dependientes del universo del discurso tratado.
- Extracción de reglas generales de asociación. Ésta es una técnica frecuentemente utilizada en minería de datos para localizar relaciones implícitas dentro de un conjunto amplio de datos. El análisis se basa en un análisis estadístico que, por supuesto no permite obtener la naturaleza de las relaciones localizadas. Sería tarea del experto supervisor del proceso la de nombrar y clasificar las relaciones localizadas.
- Uso de otras técnicas meramente estadísticas. Éstas están dirigidas a localizar pares de conceptos entre los cuales es posible inferir la existencia de algún tipo de relación por hallarse algún tipo de acoplamiento frecuente entre los mismos dentro de las frases analizadas de los documentos del dominio de interés.

3.2.1 Nuevo planteamiento

Los métodos hasta ahora más utilizados de construcción de ontologías, como se acaba de ver resumidamente, o bien se basan en métodos estadísticos, en cuyo caso requieren del procesamiento de grandes *corpora* de documentos, o bien son dependientes del ámbito específico de la ontología que se pretende construir. Esto dificulta enormemente su aplicación generalizada debido al esfuerzo que requiere tanto la construcción de *corpora* adecuados de documentos como adaptar los métodos para los distintos posibles ámbitos de interés.

Ahora bien, si tenemos en cuenta que la principal herramienta de adquisición de conocimiento de los seres humanos es el propio lenguaje, cabe preguntarse si partiendo meramente de un adecuado conocimiento del mismo es posible la extracción de información ontológica.

Se plantea en este trabajo la posibilidad de construir ontologías directamente a partir del conocimiento del lenguaje natural. Dicho conocimiento será fundamentalmente sintáctico. Se trata, además de huir de los métodos estadísticos, que precisan de grandes colecciones de textos. Además, se pretende obtener un método genérico de extracción de información ontológica, independiente del universo del discurso (ya que se parte meramente del conocimiento estructural del lenguaje natural).

Además se plantea que el método de construcción de ontologías pueda ser distribuido y escalable, de modo que pueda ser desempeñado por parte de un sistema multiagente de recuperación de información.

Por supuesto el método de extracción de información ontológica que aquí se describe es complementario a otros posibles métodos que pueden completarlo.

El método está basado en el concepto de *red ontológica* anteriormente definido. Ésta no es más que una representación de una ontología, apta para su tratamiento y construcción distribuida. En concreto, permite la realización de operaciones de agregación de varias redes ontológicas, para obtener una red más general a partir de las redes originales. También permite la evaluación de la relevancia de componentes de las redes así como efectuar podas de las mismas, para seleccionar los elementos que realmente tienen contenido informativo de interés.

La construcción de las redes ontológicas se basará en un análisis meramente sintáctico de los textos tratados, así como algunos principios semánticos básicos. En todo caso se va a partir de información exclusiva del lenguaje natural utilizado en los documentos, independiente del ámbito o universo del discurso de los mismos.

El funcionamiento básico es el siguiente:

- Existen varios agentes dedicados a la construcción de la ontología correspondiente a un cierto ámbito o dominio.
- Cada uno de estos agentes va a realizar el análisis de una serie de documentos candidatos a pertenecer al dominio. A partir del análisis de cada documento es capaz de construir una red ontológica correspondiente al mismo.
- Cada agente combinará entre sí las redes ontológicas construidas para cada uno de los documentos que ha procesado, con el fin de elaborar una red ontológica más extensa que encierre información relativa a la colección de documentos tratada. Llamaremos a dicha red *Red Final Propia*.
- Los agentes finalmente se comunican entre sí para intercambiar las redes finales propias construidas, de modo que sea posible elaborar una red final global que incluya la información ontológica obtenida por todos los agentes del sistema, nuevamente mediante una operación de agregación. Llamaremos a esta última *Red Final Agregada*.
- La red final agregada, será puntuada y podada con el fin de seleccionar los elementos realmente relevantes que den lugar a la ontología buscada.

La coordinación de los agentes que forman el sistema se podrá realizar de dos modos:

- De forma centralizada, de modo que haya un agente central encargado del control de las actividades del resto de los agentes.
- De forma distribuida, en cuyo caso cada agente es responsable no sólo del análisis de sus propios documentos y construcción de las redes ontológicas derivadas de ello, sino también de la obtención de la red ontológica final, resultado de todo el proceso.

A) Coordinación por agente central

En este caso existe un agente central A_c que se encarga de:

- Controlar las actividades del resto de los agentes que componen el sistema.
- Asignar los documentos candidatos que deben ser procesados por cada uno de los agentes.
- Construir la red ontológica final, resultado de la agregación de las redes finales propias elaboradas por los agentes.

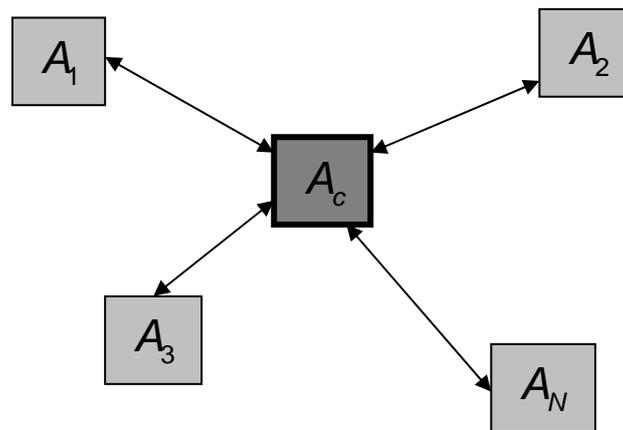


Figura 11: modelo coordinado por un agente central

De este modo, sería necesaria una primera fase de inicialización de los agentes, por parte del agente central, en la que éste se encargaría de asignar documentos candidatos del ámbito de interés, para ser procesados por los distintos agentes del sistema. Una vez que éstos hayan terminado su proceso, o bien, a iniciativa del agente central, este último obtendría las redes propias finales construidas a modo de resumen por los agentes. A partir de estas redes sería ya posible construir la red ontológica final.

Como puede apreciarse en la figura anterior, sólo habría comunicación entre el agente central y cada uno de los agentes restantes del sistema. Éstos últimos no se comunicarían entre sí, y no sería más que meros elementos de

procesamiento, sin capacidad de decisión. Además, en este modelo se está suponiendo que todos los agentes pertenecen al mismo *fabricante* y tienen el mismo objetivo, lo cual, en un ambiente general no tiene porqué cumplirse.

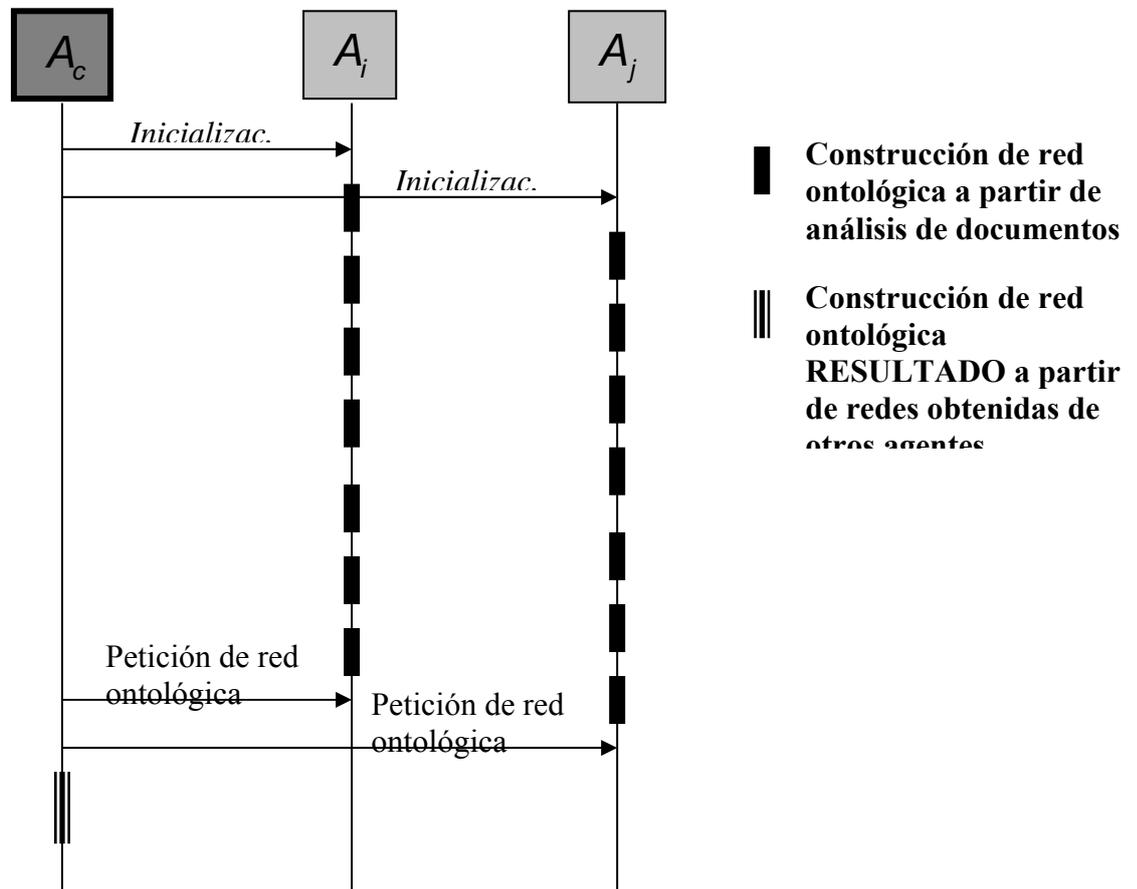


Figura 12: principales comunicaciones entre agentes en el modelo coordinado por un agente central

Cada agente de procesamiento, para construir su red final propia, llevará a cabo las siguientes tareas:

- 1) Elección de documentos candidatos. En este caso dichos documentos vendrían dados por el agente central, aunque en otros entornos podría ser el propio agente el encargado de seleccionarlos.
- 2) Análisis de cada documento candidato y construcción de una red ontológica

para cada uno de ellos.

- 3) Agregación de las redes ontológicas construidas para los documentos candidatos, que da como resultado la *red final propia*.

El agente central finalmente:

- 1) Obtendrá las redes finales propias construidas por cada uno de los agentes subordinados
- 2) Combinará estas redes mediante agregación y obtendrá la *Red Final Agregada*.
- 3) Realizará la selección de los elementos de relevancia de la red final agregada con el fin de obtener la red ontológica final, resultado de todo el proceso.

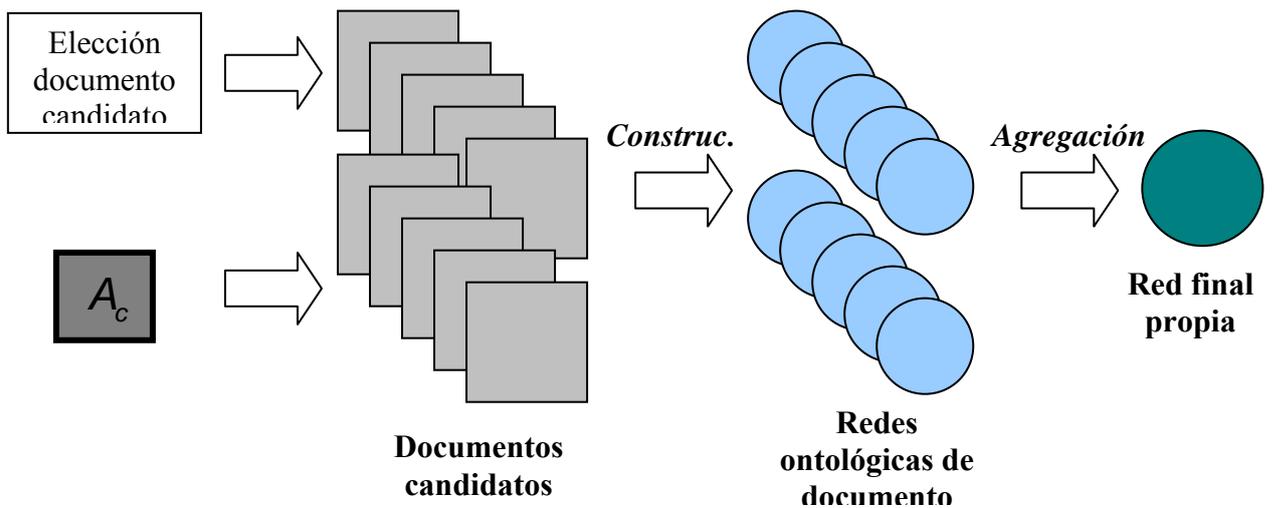


Figura 13: procesamiento de los agentes subordinados

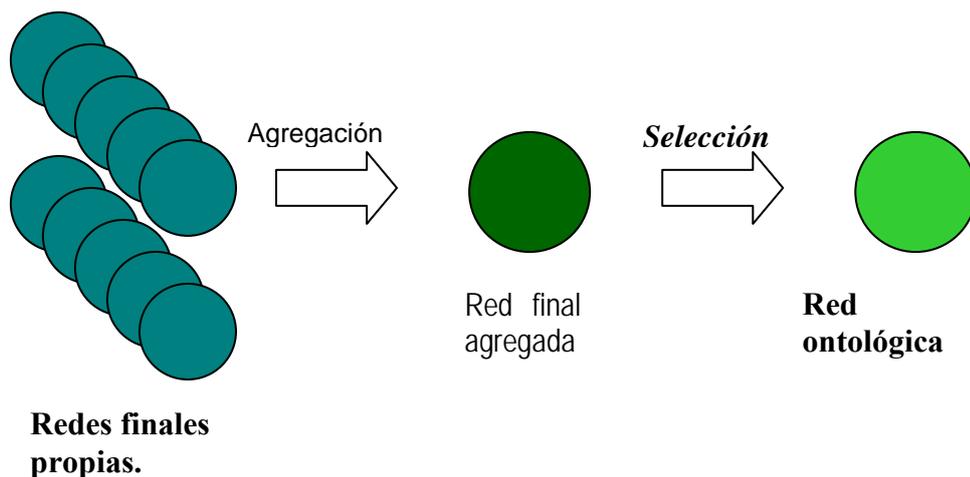


Figura 14: procesamiento del agente central.

B) Construcción de redes ontológicas a partir de documentos

Se trata del primer paso en la obtención de redes ontológicas, en el que a partir del análisis de una colección de documentos se obtiene una serie de redes ontológicas. En principio, por cada texto se obtendrá una red ontológica, aunque este hecho no es estrictamente necesario. Por simplicidad en adelante

consideraremos que se da este hecho.

El análisis que se hará de los textos será fundamentalmente de tipo sintáctico. Se trata de identificar los elementos principales de la ontología (y de la red ontológica correspondiente). Para ello se han considerado como términos candidatos los siguientes elementos sintácticos:

- sustantivos: simples o compuestos
- sintagmas nominales

En concreto, sólo se han tomado los sintagmas nominales centrales de los siguientes componentes de las frases:

- sujeto
- predicado
- complemento directo / atributo
- complemento indirecto

Se considera que las relaciones que se van a incorporar a las redes ontológicas están regidas por el verbo de la frase en las que aparecen. Será el verbo el que identifique el tipo de relación de la que se trata (y su significado). Se han considerado como posibles relaciones de interés, dentro de cada frase, las formadas por los términos que forman parte del sujeto, el verbo (considerado como etiqueta de la relación) y los términos que integran el predicado. De este modo, cada relación estará formada por:

- primer término: término del sujeto
- segundo término: término del predicado
- verbo

Si el verbo de las relaciones tiene una forma compleja se toma únicamente el verbo principal, obviando el verbo modal o auxiliar. También se prescinde del tiempo verbal. Sin embargo podría ser necesario tener en cuenta éste, aunque en una primera aproximación no se haya hecho: las ontologías

contienen información *atemporal* sobre el universo del discurso, por lo que podría ser necesario descartar relaciones regidas por verbos en tiempos distintos del presente (ya que el tiempo presente se suele utilizar para explicar o afirmar hechos independientes del momento).

En todos los casos se lematizan o categorizan los distintos elementos analizados, tanto sustantivos como verbos, de los que sólo se considera su raíz; para ello se ha utilizado el algoritmo de Porter²²⁷.

También se utiliza parte de información del nivel semántico, aunque muy escasa. Más concretamente, se tiene en cuenta cuál es el significado a priori de algunos de los verbos que frecuentemente rigen relaciones que desempeñan un papel importante dentro de las ontologías. Así, por ejemplo, se ha tenido en cuenta que el verbo *to be* (ser) suele dar lugar a relaciones de generalización (que forman la taxonomía de la ontología). Por su parte, el verbo *to have* (tener) suele dar lugar a relaciones de meronimia. Por supuesto, puede ampliarse la colección de verbos que denotan relaciones espaciales y podrán identificarse distintos verbos sinónimos que identifiquen relaciones equivalentes (a través, por ejemplo de WordNet).

En la construcción de las redes ontológicas a partir de documentos, se incluyen únicamente los términos que forman parte de relaciones relevantes. Entre las relaciones relevantes se toma aquellas que:

- están regidas por un verbo “especial”
- la frecuencia con la que el verbo que las rigen aparece dentro del texto supera un cierto umbral mínimo. Esto último no sería necesario si la herramienta utilizada para realiza el análisis sintáctico no cometiese errores (o la tasa de éstos fuera baja). Dado que se ha utilizado un analizador sintáctico real, que comete errores con cierta frecuencia, se ha decidido incorporar esta salvaguarda para tratar de filtrar elementos

²²⁷ M. F. Porter, “An Algorithm for Suffix Stripping”, *Program*, 14, 1980, pág. 130-137.

espurios.

El resultado de todo esto es una red ontológica simple por cada documento analizado. Para poder ser utilizadas en operaciones de agregación son convertidas en redes extendidas, mediante la función de ampliación de redes simples.

C) Construcción de redes ontológicas resultados finales

Una vez que se han obtenido las redes ontológicas iniciales éstas se combinarán entre sí para obtener la red ontológica final del ámbito tratado. Para ello se utilizarán las operaciones explicadas anteriormente.

Cada agente obtendrá su red ontológica final propia usando la operación de agregación. De este modo, si $\{O_1, O_2, \dots, O_N\}$ es el conjunto de redes ontológicas iniciales de un agente, la red final propia vendrá dada por $O_A = \bigoplus_{i=1}^N O_i$, es decir por la agregación de todas ellas.

La forma de combinar las redes ontológicas procedentes de otros agentes también consiste en su agregación, de modo que si $\{O'_1, O'_2, \dots, O'_M\}$ son las redes obtenidas de otros agentes, junto con la red final propia elaborada por el propio agente (es decir, $O_A \in \{O'_1, O'_2, \dots, O'_M\}$), entonces la red combinada será

$$O_B = \bigoplus_{i=1}^M O'_i.$$

Una vez obtenida la combinación de todas las redes ontológicas disponibles por el agente será necesario seleccionar los elementos de auténtico interés. De este modo se seguirán los siguientes pasos:

- 1) Puntuación de la red agregada final para dar pesos a sus distintos elementos. Se pueden aplicar distintas funciones de puntuación basadas en términos estadísticos o en el razonamiento de expertos en ese dominio.
- 2) Poda de la red ontológica puntuada. Para hacer esto es necesario fijar un

umbral mínimo de puntuación para los elementos de la red que van a ser podados.

- 3) Se obtiene la partición de la red ontológica procedente de la poda. Con esto se localizan los elementos de la red que están ligados entre sí, situándose en las diferentes subredes de la partición. Es decir, se obtiene la partición $P = \pi(O_B)$.
- 4) Finalmente se elige la red de la partición que resulte más significativa. Para ello se puede utilizar el concepto de tamaño de una red ontológica, como medida del contenido informativo de una red.

3.3 Pruebas

Para ello se han tomado dos conjuntos de documentos correspondientes a dichos ámbitos, compuestos, respectivamente por 70 y 115 textos.

Las pruebas se han realizado sobre textos en inglés, por las siguientes razones:

- La disponibilidad de herramientas de análisis sintáctico. Dado que el objetivo de este trabajo no es el desarrollo de un analizador sintáctico se ha partido de uno ya elaborado. En concreto se ha utilizado el proporcionado por el *Stanford Natural Language Processing Group*. En concreto, se ha utilizado el analizador probabilístico "StPar".
- La mayor parte de los documentos disponibles en Internet (que finalmente sería la principal fuente de información de la que se podría partir para la construcción de ontologías) están escritos en inglés.

Sin embargo, el método aquí presentado es independiente del lenguaje natural que se toma como base.

Los documentos utilizados consisten básicamente en artículos relativos a diferentes aspectos del ámbito de interés. También se han introducido en los

conjuntos de pruebas algunos textos ajenos al universo del discurso con el fin de probar la capacidad del método de construcción de ontologías para seleccionar la información apropiada. Además, los documentos utilizados en las pruebas no son totalmente homogéneos en cuanto a su contenido: presentan algunos elementos ajenos al mismo, que podrían confundir a métodos de construcción de ontologías basadas en un simple análisis estadístico.

Las reglas para identificar los términos que se han utilizado son bastante simples. Esencialmente consisten en la identificación de sustantivos simples, compuestos y sintagmas nominales que actúan como núcleos, respectivamente, de sujeto y los principales complementos de las oraciones analizadas.

No se ha recurrido a la resolución de anáforas, siendo ésta otra mejora que podría aumentar en buena medida la efectividad del método descrito.

En cuanto al reconocimiento de relaciones entre términos se incluyen todas aquellas que corresponden a relaciones de generalización y meronimia. Para el resto, con el fin de evitar la incorporación de relaciones espurias, debido a limitaciones del análisis sintáctico, se establece un umbral para la frecuencia de aparición de los términos relacionados.

Una vez construida la red ontológica inicial, se hace una partición de la misma y se eliminan las subredes que no superan un tamaño crítico (que en la práctica, siendo conservadores, se ha fijado en un mínimo de tres términos relacionados entre sí).

Se ha utilizado como función de puntuación la siguiente la función que se denomina *P*. Esta función tiene en cuenta para cada término tanto su valor de extensión como las puntuaciones del resto de los términos con los que se relaciona directamente. Esto hace que se dé mayor importancia a los términos situados *próximos* que a otros términos con puntuación alta.

Se han realizado varias pruebas con cada uno de los conjuntos de

documentos indicados. En cada una de ellas se han variado algunos de los parámetros de las mismas. En concreto, los resultados obtenidos parecen ser especialmente sensibles a la elección del umbral de puntuación elegido para hacer la poda de la red ontológica agregada final. De hecho, un valor demasiado bajo puede dar como resultado una red ontológica con demasiados términos y relaciones, parte de los cuales no deberían presentarse dentro de la ontología final.

En todo caso se ha podido comprobar que, a pesar de que los métodos de extracción de información utilizados son bastante sencillos, los resultados son alentadores.

Podrían obtenerse mejores resultados con solo perfeccionar el analizador sintáctico utilizado. También podrían mejorarse ampliando la información de nivel semántico utilizada, esencialmente en lo referente al sentido de los verbos que rigen las distintas relaciones identificadas en los textos. Para ello se podría recurrir a herramientas.

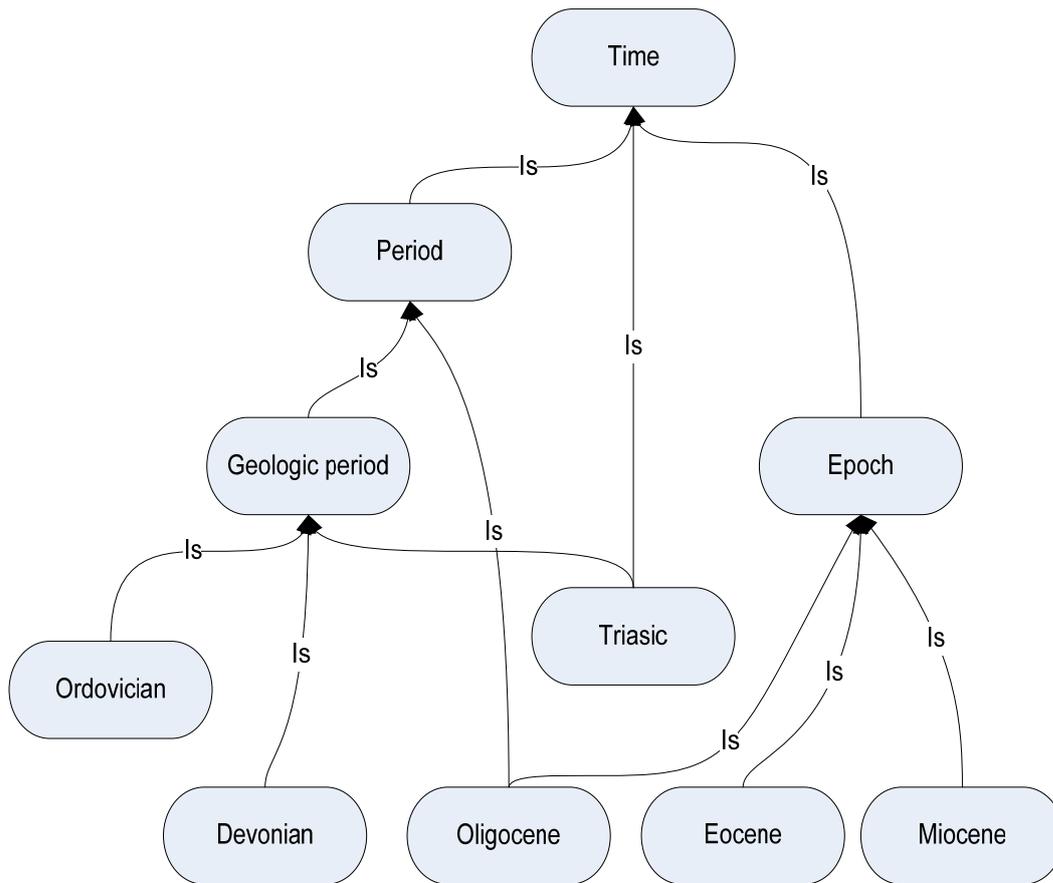


Figura 15: fragmento de una red ontológica generada automáticamente: “geology”

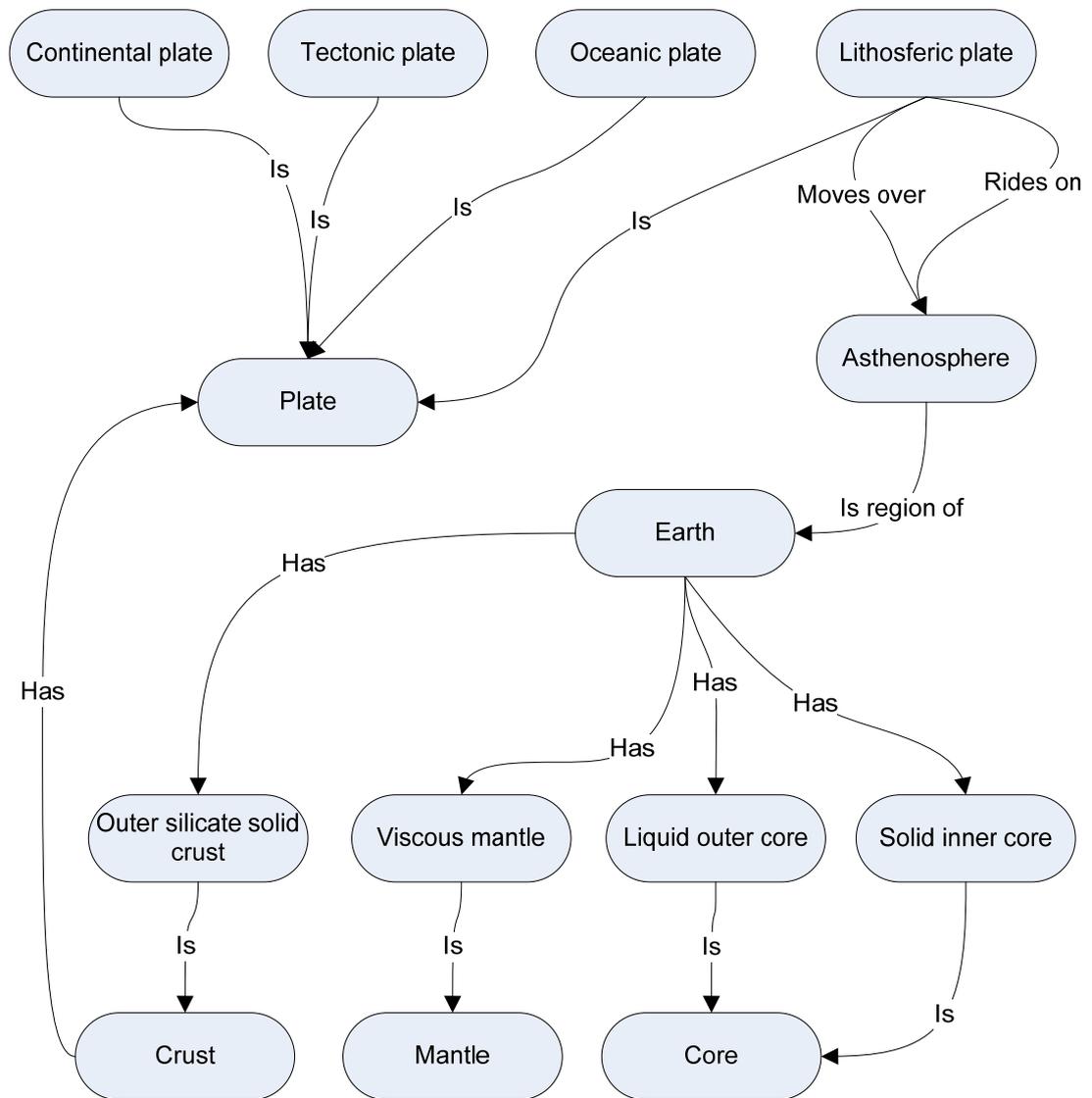


Figura 16. Fragmento de una ontología generada automáticamente: “geology”

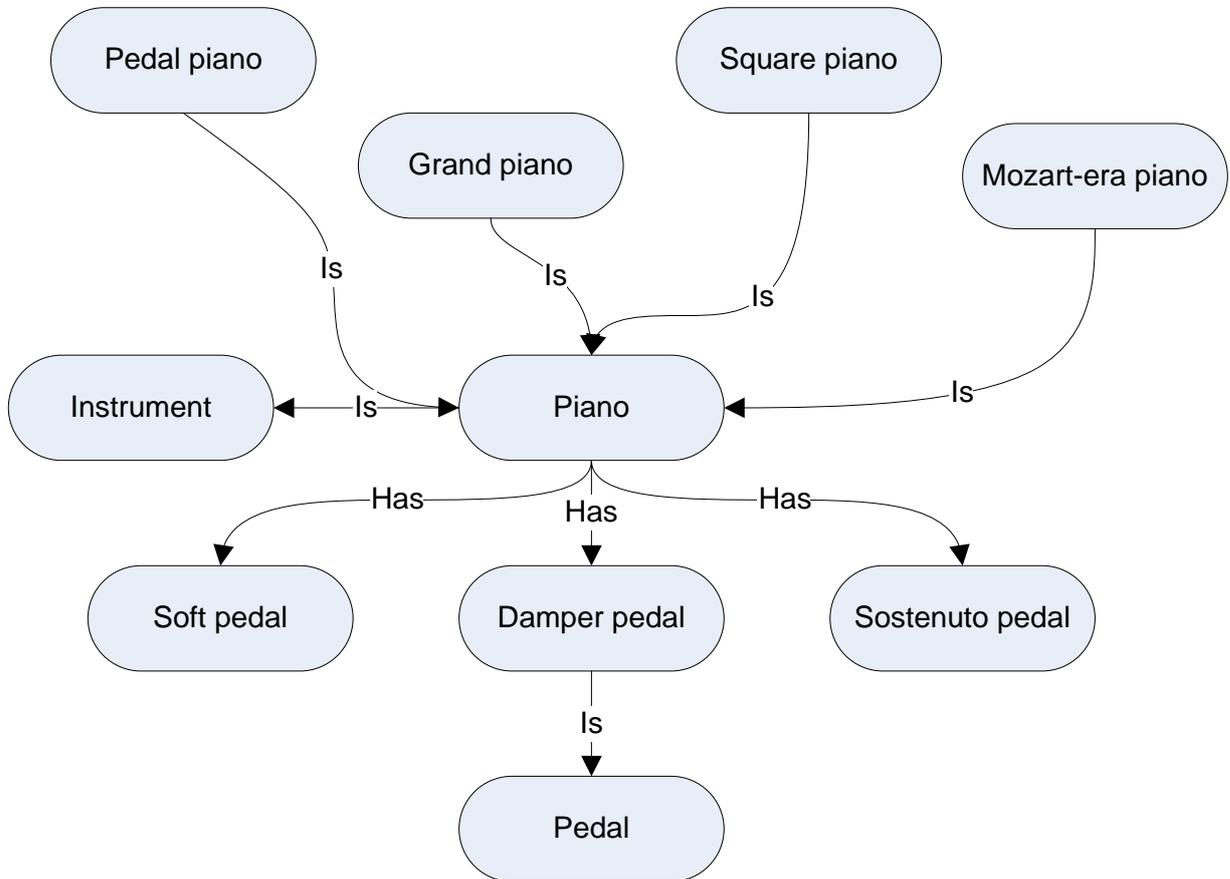


Figura 17: Fragmento de una ontología generada automáticamente: “music”

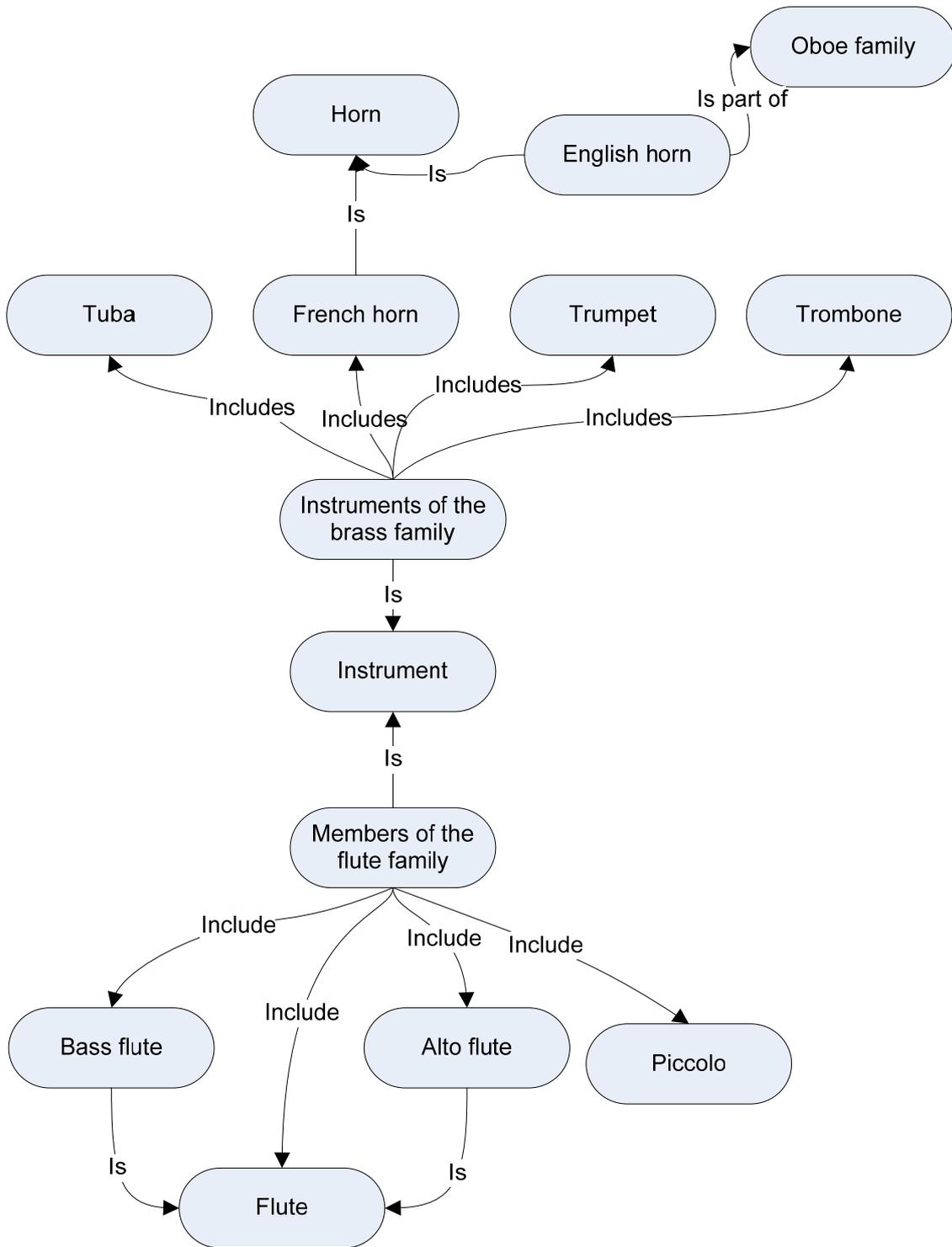


Figura 18. Fragmento de una ontología generada automáticamente: “music”

La selección de los términos que integran la red ontológica final es muy

buena (con el umbral adecuado para la poda). Además, parecen recogerse adecuadamente las principales relaciones entre los términos. Sin embargo, además de las relaciones ontológicamente relevantes suelen aparecer otras de menos interés o incluso erróneas. Esto parece deberse a dos principales motivos:

- deficiencias en el análisis sintáctico
- en el método que se ha explicado se realiza la poda de términos de una red ontológica, pero no se puntúan directamente ni se podan las relaciones establecidas entre ellos. Es decir, hasta ahora se han dado todas ellas como buenas. Sería necesario, por tanto, ampliar el modelo descrito para incluir esta posibilidad.

En todo caso, los resultados obtenidos, a pesar de la aparente simplicidad del análisis inicial de los documentos, han sido bastante buenos. Además debe tenerse en cuenta que se ha recurrido deliberadamente al análisis de un número relativamente pequeño de documentos. Este era otro de los objetivos propuestos al plantear el problema: que el método de construcción no tuviera que partir de un análisis extensivo de un gran número de textos (y que no fuera necesario disponer de un gran *corpus* de los mismos) para que éste fuera efectivo. De hecho se ha podido comprobar que es posible una construcción parcial relativamente buena de una ontología a partir de un pequeño número de documentos.

Por supuesto es necesario supervisar los resultados obtenidos. A partir de las pruebas realizadas esta supervisión consistiría esencialmente en la eliminación de relaciones superfluas o la reordenación de la taxonomía de ciertos términos. Así, por ejemplo, podría llegarse a la conclusión de que los términos *geologic period* y *epoch* son equivalentes, simplificando la jerarquía.

CAPÍTULO VI- METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE SISTEMAS E-LEARNING INTELIGENTES

La evaluación de todo tipo de sistemas que entran en conexión con el hombre de alguna manera, es siempre una tarea importante puesto que sus fallos pueden ocasionar graves consecuencias, incluso la pérdida de vidas humanas. En el caso que nos ocupa, los sistemas e-learning inteligentes, parece que sus errores y fracasos no ocasionan, en general, tan graves pérdidas, pero es fácil imaginar situaciones en las que los fallos en el aprendizaje de determinadas tareas podrían causar enormes perjuicios para la vida y los bienes de que disponemos, si las decisiones generadas de acuerdo con el sistema de aprendizaje son erróneas o inapropiadas. Por otra parte, si el sistema no se comporta de acuerdo con nuestras expectativas, y el usuario reconociera la mala calidad del sistema, éste dejaría de usarse y su viabilidad a largo plazo quedaría comprometida. En cualquier caso, sin evaluación de sistemas no puede haber ni buen funcionamiento, ni aprendizaje serio, ni mejoras importantes pues el primer paso para el incremento de prestaciones pasa por advertir las limitaciones y contingencias de la situación presente. De todas formas, la evaluación adquiere un papel aún más importante en sistemas que pretenden funcionar autónomamente y en interacción con usuarios humanos.

En el presente capítulo se desarrolla una metodología extensa e intensa de evaluación de sistemas e-learning inteligentes, pero conviene antes tener en cuenta que en este trabajo, que incluye tantos elementos heterogéneos y un enfoque pluridisciplinar, las evaluaciones comenzaron ya el primer día de actuación cubriendo multitud de aspectos. Esas evaluaciones han ido

asumiendo con el tiempo una mayor cantidad de facetas y problemas, así como sus interrelaciones, particularmente cuando se han introducido en los prototipos técnicas tan particulares como la lógica borrosa, la computación afectiva o la construcción automática de ontologías.

Por todo ello la metodología de evaluación que se ha desarrollado ha tenido un crecimiento incremental y ha sido experimentándose en paralelo con alguno o algunos de los prototipos elaborados; cabe mencionar al respecto que pasó por ser en algunos momentos sólo un conjunto de directrices²²⁸ para su realización, directrices que se fueron completando posteriormente. Por tanto, la metodología que ahora se expone es el resultado final de ese crecimiento. Por eso en los capítulos anteriores, aunque se ha hablado de pruebas llevadas a cabo, no se han explicado con la cobertura y rigor que ahora se comentarán.

La metodología desarrollada ha sido aplicada, como es lógico, a todos los prototipos elaborados. Sus resultados han sido muy similares, lo cual entra en consonancia con el hecho de ser “hijos” de NEOCAMPUS y de heredar sus características y funcionalidades, por ello se incluye la evaluación global de MEDIC (en su última versión que incluye técnicas afectivas y borrosas) por sus características peculiares de simulación, se dan los resultados más importantes y específicos de FINANCE²²⁹ (también en su última versión), pues tanto en la evaluación funcional como en la de la fiabilidad y la validez evidencial los resultados fueron prácticamente los mismos. Cabría agregar a este capítulo las evaluaciones de FILTR y de ENT, pero por tener cometidos más concretos se ha optado por dejarlas en el capítulo anterior, dada la importancia que en ellos han adquirido las técnicas de lógica borrosa.

1. Introducción

²²⁸ F. de Arriaga, M. El Alami, “Guidelines for the Evaluation of Intelligent E-learning Systems, IADAT 05.

²²⁹ F de Arriaga, M. El Alami, “Evaluation of Fuzzy Intelligent E-Learning Systems”, en *Recent Research Developments in Learning Technologies*, Formatex, 2005.

Las causas de error y malfuncionamiento de un sistema pueden ser múltiples, desde errores y omisiones por parte de su constructor y diseñador por no comprender completamente la tarea a realizar, pasando por todo tipo de errores informáticos hasta llegar a limitaciones de tiempo o de presupuesto. A ellas hay que incluir la falta de atención al propio proceso de evaluación, que para muchos no es agradable o no requiere grandes esfuerzos.

Muchos investigadores han analizado aspectos de la verificación y validación de otros tipos de sistemas; así, por ejemplo, toda la programación informática sufre una verificación y validación; de manera similar, la validación es parte importante de la elaboración de modelos, particularmente en los modelos econométricos, estadísticos y de investigación operativa. Ya hace años, Naylor y Finger²³⁰ analizaron la verificación de los modelos de simulación, Gass²³¹ publicó un estudio interesante sobre la validación y evaluación de modelos de energía, y Landry y colaboradores²³² aportaron un modelo conceptual para la validación de modelos.

En cuanto a sistemas de aprendizaje, a pesar de la proliferación de tutores a distancia basados en la web y sistemas e-learning, su incremento no ha corrido en paralelo con las tareas subsiguientes de su evaluación. Es cierto que ha habido sistemas de aprendizaje que han prestado cierta atención a su evaluación pero a menudo esa evaluación ha sido un análisis simple de los resultados obtenidos usando el sistema y desde el punto de vista de las ventajas presumibles aportadas por el sistema. Más aun, en bastantes ocasiones ese análisis preliminar se ha llevado a cabo en una muestra reducida de alumnos, no muy representativa desde el punto de vista estadístico, o se ha hecho sin usar un grupo de control que no utiliza el sistema pero sí otras técnicas

²³⁰ T. Taylor, J. Finger, "Verification of Computer Simulation Models", *Management Science*, 14 (2), 1968, pág. 92-101.

²³¹ S. Gass, *Validation and Assessment Issues of Energy Models*, U. S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, 1980.

²³² M. Landry et al., "Model Validation in Operations Research" *European Journal of Operation Research*, 14, 1983, pág. 207-220.

tradicionales de ayuda al aprendizaje para comparar con ellas, pues está claro que, en principio, toda ayuda al aprendizaje por mínima atención que se le preste va a tener influencias positivas en el mismo; por tanto no tiene sentido hablar de las ventajas de un sistema (que van a ser obvias) si no se las compara con las de otra técnica de ayuda. En ambas situaciones los resultados que se obtienen no son significativos, pues en el primer caso las extrapolaciones de los resultados obtenidos a toda una población no son válidas. Lo análogo ocurre en la segunda situación pero por razones distintas pues en este caso al no comparar los resultados con otra técnica no puede precisarse si las ventajas aportadas son importantes o no.

Durante los últimos años ha habido ciertos intentos de llevar a cabo evaluaciones más realistas, aunque en 1996 llegó Wu a afirmar que coexistían directrices para la evaluación de los sistemas inteligentes de tutoría. En algunos casos la evaluación se refería únicamente a la comparación de versiones distintas de un módulo de un sistema²³³ o de todo el sistema²³⁴.

Una experiencia interesante de evaluación de un sistema de evaluaciones se debe a VanLehn²³⁵. Tras comprobar que los Estándares para las Pruebas Educativas y Psicológicas de 1985 propuestas por APA y otras instituciones no incluyen elementos para la evaluación de resultados, parte del principio de validez de Messick²³⁶ y lo descompone en: validez evidencial, validez consecuencial y fiabilidad.

Iqbal y colaboradores²³⁷ analizan los métodos de evaluación en su momento, y los clasifican de acuerdo con sus posibilidades de evaluación

²³³ G. Webb, B. Chiu, M. Kuzmycz, "Comparative Evaluation of Alternative Induction Engines for Feature Based Modelling", *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, Vol. 8, 1997, 97-115

²³⁴ R. Luckin, B. du Boulay, "Ecolab: The development and evaluation of a Vygotskian design framework", *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, Vol. 10, nº 2, 1999, 198-220

²³⁵ K. VanLehn, J. Martin, "Evaluation of an assessment system based on Bayesian student modeling", *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 8, 1997, pág. 179-221

²³⁶ S. Messick, "The interplay of evidence and consequences in the validation of performance assessment", *Educational Researcher*, 23 (2), 1994, pág. 13-23

²³⁷ A. Iqbal, R. Oppermann, A. Patel, A. Kinshuk, "A Classification of Evaluation Methods for Intelligent Tutoring Systems", *Software Ergonomie '99*, eds: U. Arend et al., Teubner, Stuttgart, 1999, pág. 169-181.

interna o externa y también de acuerdo con la profundidad del análisis utilizado. Ese mismo año las instituciones APA, AERA y NCME publican los Estándares de 1999 para las Pruebas Educativas y Psicológicas; se trata de una edición anterior revisada, basada también en los conceptos de validez y fiabilidad, pero que no incluye métodos apropiados para la evaluación de resultados en entornos complejos.

Murray²³⁸ reconoce que existen muy pocas evaluaciones de las llamadas “herramientas de autor” que facilitaban la construcción de sistemas inteligentes de tutoría aportando módulos ya diseñados y elaborados del sistema final, debido a sus características complejas y a la dificultad de medir el efecto de características individuales así como de crear situaciones de control que permitiera comparar los resultados. VanLehn y Niu²³⁹ realizan un análisis de sensibilidad del modelo de estudiante que utiliza el sistema ANDES; para ello variaron los parámetros y rasgos estructurales del módulo evaluador. Utilizan estudiantes simulados con diferentes grados (aleatoriamente generados) de conocimiento para así tener en cuenta las diversas condiciones requeridas por el análisis de sensibilidad. De esta manera pudieron obtener medidas de la exactitud global y media de la evaluación.

También Mayo y Mitrovic²⁴⁰ utilizaron estudiantes simulados para la evaluación informal de CAPIT, un tutor normativo para el aprendizaje de la puntuación y empleo de mayúsculas en inglés. La evaluación informal fue seguida de una extensa evaluación en clase, validada mediante análisis estadístico.

Aparentemente el término evaluación es un concepto unitario, pero puede ser descompuesto de diversas maneras, como hacen no sólo Messick sino

²³⁸ T. Murray, “Authoring Intelligent Tutoring Systems: An Analysis of the State of the Art”, *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, Vol. 10, 1999, 98-129

²³⁹ K. VanLehn, Z. Niu, “Bayesian student modeling, user interfaces and feedback: A sensitivity analysis,” *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 12, 2001, pp. 154-184

²⁴⁰ M. Mayo, A. Mitrovic, “Optimising ITS Behavior with Bayesian Networks and Decision Theory,” *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, Vol. 12, 2001, 124-153

también Linn²⁴¹ y otros varios. En el caso que nos ocupa conviene recordar que estos sistemas inteligentes de e-learning tratan de manera directa o indirecta con una evaluación de resultados. Más aún, el resultado se cifra en términos de una evaluación borrosa²⁴² o de un grafo borroso²⁴³, lo que dificulta aún más la evaluación de esos sistemas. Por otra parte, la evaluación del sistema proporciona una medida de la confianza en el sistema, por tanto, el comportamiento general del sistema es completamente relevante para esa evaluación. Además la confianza es también el resultado de un buen comportamiento funcional del sistema, de ahí que esta metodología que se propone introduzca dos niveles para la evaluación de la calidad de los sistemas e-learning inteligentes, que son: el comportamiento funcional, y el comportamiento global general.

El problema de la evaluación de esta calidad se hace más complicado debido a la inexistencia de estándares para el diseño e implementación de estos sistemas y para la evaluación de alumnos. Dentro de esta situación prestaremos atención a los módulos clásicos que existían en los sistemas inteligentes de tutoría (aun a sabiendas que no existen como tales en el E-learning inteligente) para establecer consideraciones funcionales.

2. Metodología de evaluación de la calidad de sistemas e-learning inteligentes

Como hemos anticipado estableceremos seguidamente los puntos fundamentales de esta metodología dividiéndola en dos niveles: el funcional y el general. El nivel funcional sigue de cerca metodologías clásicas por su alcance

²⁴¹ R. L. Linn et al., "Complex, performance-based assessment: Expectations and validation criteria", *Educational Researcher*, 20 (8), 1991, pp. 15-21

²⁴² F. de Arriaga, A. L. Laureano, M. El Alami, "Some Applications of Fuzzy Logic to Intelligent Tutoring Systems", *Proceedings International Conference on Technology and Education*, Badajoz, 2002, pág. 1222-1227.

²⁴³ F. de Arriaga, M. El Alami, A. L. Laureano, J. Ramírez, "Fuzzy Logic Applications to Student's Evaluation", *Proceedings II ANIEI International Congress on Informatics and Computing*, Vol. 1, La Paz, 2003, pág. 161-167.

limitado; el nivel general global requiere una aproximación más creativa. Por conveniencia no es posible detallar y comentar cada ítem que ha de ser incluido en la evaluación y su forma de llevarla a cabo; por otra parte la consideración o no de un determinado ítem depende tanto del diseño del sistema como de la filosofía adoptada tanto educativa como tutorial, por eso nos referiremos siempre a ítems generales. La mayor parte de ellos puede analizarse comparando los resultados del sistema con los valores obtenidos por métodos tradicionales, con o sin instructores que los apliquen. Sin embargo, algunos ítems podrían requerir un grupo de expertos humanos para que realizaran un detallado análisis del sistema. A fin de obtener un valor global de esa evaluación de la calidad cada ítem debe ser afectado de un peso o coeficiente que debe ser especificado de acuerdo con las metas y objetivos del sistema, antes de iniciarse ésta.

2.1 Etapa 1-Conocimiento general del sistema

En esta primera etapa el equipo evaluador de la calidad debe adquirir un conocimiento lo más extenso posible del sistema E-learning inteligente, familiarizándose con el enfoque particular que adopta en relación con:

- 1) Las pruebas realizadas en el sistema durante su construcción, puesta a punto y validación, así como la filosofía o clase de diseño adoptado. Como todo sistema informático esas pruebas debieron realizarse y constituyen el primer punto de aproximación a la evaluación del sistema. Esas pruebas, que no sólo incluyeron aspectos informáticos sino otros muchos, deberán ser analizadas desde el punto de vista de su intensidad, posible valoración estadística, completitud e integración.
- 2) El modelo del estudiante y, en su caso, del grupo de estudiantes, sus características e historial, su acceso al sistema en forma de sesiones; las formas

de evaluación del estudiante, su número y circunstancias.

- 3) El dominio de conocimiento que se ha de aprender, su representación, características y detalles y, en su caso, el modelo del experto humano adoptado y la representación de su experiencia.
- 4) Las técnicas educativas tanto de guiado del estudiante como de la determinación y corrección de errores, procedimientos remediales y preactivos.
- 5) Las posibilidades de obtener información de todo el proceso de aprendizaje que el sistema otorga.
- 6) La comunicación ordenador/usuario durante todo el proceso mediante la interfaz, y las posibilidades de intervención de un tutor humano que supervise todo el proceso, ejecutado automáticamente por los agentes en contacto con el usuario.

En esta etapa no se realiza ninguna prueba sino sólo ese análisis general que termina con unas reuniones de discusión del equipo evaluador y la redacción de un informe que describe escuetamente su impresión inicial general sobre el estado aparente de la calidad del sistema.

2.2 Etapa 2: Evaluación de la calidad funcional

Como indica su nombre, en esta etapa se evalúan, por separado, las calidades de las distintas funciones principales del sistema, a saber:

- 1) La infraestructura informática. Teniendo en cuenta su complejidad habrá que realizar las pruebas siguientes que garanticen su verificación y en algún punto concreto su validación parcial, pues la validación total se realiza al poner el sistema a disposición de alumnos e instructores.
 - a) Pruebas de las distintas funciones, subrutinas y módulos informáticos con datos iniciales en posiciones límites y fuera de su rango normal para comprobar

no sólo su buen funcionamiento sino el envío de mensajes y alarmas ante situaciones inesperadas.

b) Pruebas en la transmisión de información entre funciones, rutinas y módulos, así como de la codificación que transforma los datos reales en las entradas oportunas a esos elementos informáticos y sus salidas en datos asumibles.

c) Comprobación de posibles errores en las distintas bases de conocimiento iniciales o formadas durante el proceso de aprendizaje y su consistencia. Estas pruebas incluyen diversas modalidades como:

- determinación de reglas redundantes; su existencia no ocasiona, en principio, problemas lógicos pero sí afecta a la eficiencia del sistema. No obstante, se pueden originar problemas en las futuras versiones del sistema si se cambia sólo una regla y no también la redundante;

- determinación de reglas conflictivas, es decir, con conclusiones contradictorias;

- existencia de atributos no referenciados en las reglas. Si uno solo de los atributos que aparecen en los antecedentes de las reglas no es referenciado, no podrá hacerse ninguna inferencia cuando ese atributo ocurra realmente;

- atributos ilegales o que no pertenecen a su rango de definición;

- existencia de conclusiones inalcanzables o condiciones terminales.

La realización más conveniente de estas pruebas pasa por la construcción inicial de "ventanas de información" en el sistema que permitan la fácil obtención de lo que allí ocurre en cualquier instantes del proceso. Se comprueba que aunque el diseño y construcción del sistema las tenga previstas, nunca son suficientes para las necesidades que se plantean en la evaluación de la calidad, por lo que esta instalación de nuevas

ventanas de información resulta algo ineludible. A partir de estas ventanas es fácil elaborar una pequeña colección de subrutinas que automaticen las pruebas descritas y las que aparecerán posteriormente.

d) Comprobación de los módulos de cada agente cognitivo en función de las tareas asignadas y más concretamente:

-Comprobación de su estado mental, evolución, colaboración con otros agentes, descripción del mundo exterior.

-Comprobación del módulo de aprendizaje, bastaría comprobar las técnicas realmente utilizadas por el sistema concreto, por ejemplo: el submódulo de redes neuronales incluyendo las técnicas para codificar los datos de entrada a la red y decodificar la salida.

-Comprobación del módulo de planificación general, particularmente el número de operadores para realizar la división de la tarea y sus clases, así como las ayudas para la modificación de los operadores existentes; comprobar la respuesta del sistema ante una situación difícilmente planificable.

-Comprobación del módulo de procesamiento del lenguaje natural, si se permite ese medio de comunicación, u otras técnicas estructuradas "a priori".

-Comprobación de las técnicas de arbitraje o control de agentes que permitan garantizar la no existencia de conflictos en sus respectivas actuaciones.

2) El modelo del estudiante. Se pretende en este caso la comprobación exhaustiva de cada elemento que interviene en la elaboración de este modelo. Entre esas comprobaciones destacan:

a) Los rasgos y características del estudiante, su codificación adecuada, carácter

estático o dinámico, la determinación inicial, su medida y actualización.

b) La historia del estudiante incluyendo las sesiones de trabajo con el sistema, tiempo de inicio y finalización de cada una, duración, errores con el tiempo en que fueron cometidos y elementos cognitivos asociados, interacciones.

c) Modelización cognitiva del estudiante: grafos de conocimiento y experiencia adquiridos, su relevancia e intensidad, evaluaciones del alumno.

d) Modelización del grupo a que pertenece (en su caso, si se pretende un aprendizaje cooperativo), estructura, evaluación del grupo, comunicaciones en el grupo, integración, colaboración.

3) El dominio de aprendizaje. En este apartado se comprueban todos los elementos que intervienen en la representación de este dominio y fundamentalmente:

a) El grafo de conocimiento científico, su completitud, conceptos incluidos y su expresión, relaciones entre los distintos nodos del grafo, estratificación del conocimiento, relevancia de los distintos elementos, tácticas, estrategias, su actualización, información pragmática.

b) El sistema de gestión de la experiencia del experto humano, bien sea en forma de grafo u otro modelo equivalente; su actualización, procedimientos, tácticas y modelos mentales.

4) El análisis de errores y la evaluación del alumno y del grupo de alumnos. Comprobación del procedimiento de obtención de errores, su clasificación, importancia, errores superficiales y profundos, determinación de sus causas, elementos cognitivos asociados.

5) Las funciones educativas y tutoriales. Determinación de la motivación del

alumno y su mejora; actividad de los agentes pedagógicos al cargo del dominio científico, ayudas, pistas, consejos, tácticas cognitivas: remediales y preactivas, determinación y mejora de la afectividad, tácticas afectivas,

6) La interfaz de comunicación ordenador/usuario. Clase de interfaz, opacidad, personalización, carácter amistoso.

Las comprobaciones a realizar se llevan a cabo, bien por análisis directo de los contenidos del sistema de aprendizaje que realiza el equipo evaluador, bien por consulta a un experto humano o equipo de expertos en ese dominio de conocimiento, bien auscultando el sistema a través de las ventanas de información o mediante subrutinas básicas disponibles muchas de ellas en Internet que permiten que el propio sistema responda a multitud de cuestiones.

2.3 Etapa 3- Evaluación de la calidad global

Para la evaluación de la calidad global hay que considerar los siguientes aspectos, pero siempre relacionados con el cumplimiento de los objetivos del propio sistema de aprendizaje.

1) Funcionalidad global. Teniendo en cuenta los resultados de la etapa anterior en lo que se refiere a la funcionalidad parcial, es preciso ahora estimar diversas características generales como son:

a) Disponibilidad, velocidad o tiempo de respuesta, facilidad de aprendizaje del manejo del sistema, personalización, carácter amistoso.

b) Posibilidades de comunicación, información complementaria, ayudas concretas y ayuda general para el aprendizaje.

c) Vigilancia y seguimiento del alumno y del grupo de alumnos en su caso, satisfacción con su uso.

2) Fiabilidad. Para ello hay que comprobar la inexistencia de errores aleatorios de medida en el módulo del alumno. Usualmente eso se comprueba aplicando la misma prueba evaluatoria dos veces y correlacionando los resultados obtenidos. Pero eso no es aplicable en sistemas de aprendizaje porque el alumno recordaría sus respuestas a la primera prueba y podría repetirlas o modificarlas en caso de error en la segunda. Para solucionar este inconveniente pueden aplicarse las dos pruebas en paralelo y comparar así su resultado. Ya veremos que NEOCAMPUS se encuentra con dificultades adicionales por aplicar técnicas borrosas y cómo las resuelve.

3) Validez evidencial. Este término expresa el grado de apoyo que encuentra la evaluación que realiza el sistema del estudiante. Se puede obtener contemplando tres concreciones de esa validez:

a) Validez de contenido, que refleja la relación existente entre la selección de la prueba evaluatoria y el dominio del conocimiento o habilidad que hay que aprender. En otros términos, trata de responder a las preguntas: ¿hasta qué punto la prueba elaborada es representativa del dominio de conocimiento?; quien realiza satisfactoriamente la prueba ¿ha aprendido ese dominio de conocimiento? En principio este tema debería ser contestado por un equipo de expertos, aunque de manera elemental también podría verse la cobertura que la prueba hace del dominio de conocimiento de acuerdo con la relevancia y extensión de los temas.

b) Validez mediante criterios. Esta cuestión no es nada fácil puesto que ante la complejidad de los actuales sistemas e-learning inteligentes no es nada evidente que puedan encontrarse criterios que permitan fundar la idea de validez del sistema. Cabría aplicar criterios pedagógicos basados en las funciones

educativas y tutoriales insertas en el sistema pero siempre podría discutirse la preferencia de unos criterios frente a otros.

c) Validez del constructo. Ésta es una categoría “cajón” que incluye cualquier otro método que pueda aportar desde indicios hasta certeza de la calidad del sistema. Es un campo amplio de investigación que puede incluir los métodos que revelan defectos del sistema. Cabe, utilizando métodos de análisis superficial y profundo de errores, diseñar métodos para encontrar errores de alumnos que no son debidos a faltas de competencia, sino a otras circunstancias ajenas al dominio de aprendizaje.

4) Validez consecuencial. Trata de evaluar de alguna manera el impacto del sistema en su entorno. Es un tema muy creativo pero puede introducir diferencias entre sistemas de aprendizaje ubicados en entornos radicalmente distintos, aunque en relación con este tema esa comparación no sería relevante.

3. NEOCAMPUS: posibilidades de evaluación

NEOCAMPUS es una factoría de software, capaz de producir agentes inteligentes con una arquitectura común que posee funcionalidades interesantes que con el tiempo han ido aumentando hasta incluir posibilidades afectivas y de tratamiento de lógica borrosa, pero sin embargo, estos agentes no poseen conocimiento específico, puesto que éste ha de serle introducido en los prototipos concretos que disponen de misión, objetivos concretos y un dominio de aprendizaje. Por esta razón no cabe realizar una evaluación global de acuerdo con la metodología elaborada; sólo caben evaluaciones de su funcionalidad, tal como se ha venido haciendo en el capítulo III y en el capítulo V al introducir nuevas técnicas de inteligencia artificial. Por ello se pasará a

realizar la evaluación de prototipos.

4. MEDIC: evaluación de la calidad global

Consideramos ahora la evaluación de MEDIC. Como ya se dijo, es un “hijo” de NEOCAMPUS y está dedicado al aprendizaje de la habilidad gerencial que se desarrolla en un centro médico, bien a nivel de dirección general, bien a nivel de jefatura de departamento. Su objetivo principal es el entrenamiento y las actividades más importantes del estudiante son la solución cualitativa y cuantitativa de problemas, la respuesta a cuestiones diversas y particularmente la toma de decisiones. Dada la extensión y complejidad de esta evaluación esta descripción se centrará en los puntos más significativos.

4.1 Evaluación de la calidad funcional: Modelo del estudiante

Aun cuando se ha realizado una evaluación completa de la calidad funcional, sólo se incluirá un detalle de la evaluación del modelo del estudiante como elemento más representativo. La evaluación del dominio de aprendizaje se incluye en su totalidad práctica en la anterior, dado que el modelo el alumno incluye el grafo genético del dominio y del sistema de experiencia. Por otra parte el análisis de errores se hereda (conceptual y operativamente) de NEOCAMPUS, así como la mayoría de las funciones tutoriales, y fueron intensamente probadas en la factoría de software, al igual que la infraestructura informática.

De acuerdo con la metodología de NEOCAMPUS, MEDIC no proporciona un valor numérico final de la evaluación del estudiante sino todo un modelo basado en su comportamiento durante el aprendizaje y el conocimiento y experiencia del experto humano. Mediante la herramienta BCTA se han obtenido los diferentes elementos integrantes de la competencia

humana gerencial en un centro médico, teniendo en cuenta las tres fases principales del proceso de aprendizaje de una habilidad: la fase de familiarización, la fase de ejecución normal de la habilidad, y la fase de ejecución experta.

Para cada una de esas fases, usando técnicas de elicitación del conocimiento se ha obtenido un grafo de gestión de la experiencia humana que contiene no sólo procedimientos, estrategias sino también los modelos mentales. Como MEDIC tiene introducidas en su funcionamiento técnicas de lógica borrosa, cada elemento del grafo lleva asociado un conjunto borroso que indica su relevancia.

El sistema ha ido construyendo un modelo dinámico cognitivo del conocimiento y experiencia del alumno adquirido durante el proceso de aprendizaje en sus interacciones con el sistema que se reducen a sus acciones, respuestas al sistema, y decisiones adoptadas. Por tanto, todo movimiento del estudiante debe ser analizado cuidadosamente para obtener tanta información como sea posible.

El comportamiento del estudiante puede ser representado al menos por los componentes siguientes: el conocimiento inicial y habilidades cognitivas básicas antes de iniciar el proceso de aprendizaje. Se trata de conocimientos básicos y habilidades que se presuponen para poder llevar a cabo ese aprendizaje y que han sido obtenidos por técnicas de elicitación. Otro elemento importante es la interacción del estudiante con el sistema con todos los detalles y pormenores como:

- a) Tiempo de inicio y finalización de cada sesión, su número y duración.
- b) Puntos del dominio de conocimiento que han sido tratados, errores cometidos y tiempo en que se cometieron, análisis de cada error, cuestiones o ejercicios resueltos: aciertos y fallos, procedimientos usados.

- c) Estado afectivo y motivación del alumno, tácticas afectivas utilizadas.
- d) Decisiones adoptadas, preguntas planteadas, acciones tutoriales ofrecidas, procedimientos remediales y proactivos, tácticas cognitivas utilizadas en la sesión. Estos elementos son relacionados con los elementos que describen el dominio de conocimiento.

Estos elementos descritos van a formar parte del elemento primordial del sistema que describimos a continuación.

El modelo cognitivo y afectivo del estudiante que representa su estado mental e integra:

1) El estilo de aprendizaje. Se ha comentado ya que se han manejado cuatro estilos básicos: teórico o teorético, reflexivo, pragmático y activo. En realidad cada estudiante presenta los cuatro estilos aunque con intensidades diferentes; el estilo de aprendizaje se determina inicialmente al comenzar el aprendizaje pero suele cambiar a lo largo de este proceso. En consecuencia debe ser medido reiteradamente analizando todas las respuestas del estudiante. La historia de la variación de este estilo se formula como un conjunto ordenado de conjuntos borrosos, representando cada uno de ellos en abscisas los cuatro estados básicos de aprendizaje y en ordenadas la intensidad de cada uno de ellos.

2) El perfil del estudiante. Es un vector dinámico que representa entre otros aspectos particulares:

- a)-la motivación del estudiante y su historia;
- b)-el estado afectivo y su historia;
- c)-el interés por el tema y su historia;
- d)-su capacidad, atención, seguridad y eficiencia en su trabajo;
- e)-grado de cansancio y posibles problemas psicológicos básicos.

Todos estos elementos vienen también representados como conjuntos borrosos, y a ellos se incorporan la historia del estilo de aprendizaje del alumno

y los elementos administrativos de la historia de las sesiones tenidas por el estudiante con MEDIC, anteriormente detallada, es decir los tiempos e inicio y finalización de sesiones, número y duración. Todos los elementos descritos suelen marcar una tendencia del alumno, en general bastante estable. Cambios rápidos de esta tendencia proporcionan información sobre posibles cambios problemáticos en el estado mental o afectivo del alumno y motivarán la actuación inmediata de agentes inteligentes que tratan de averiguar lo que ocurre y sus causas para aplicar las tácticas remediales cognitivas o afectivas pertinentes.

3) El conocimiento y habilidades decisorias adquiridas por el alumno. Se representa como un grafo conceptual y de experiencia del dominio, similar al del experto humano, que muestra además del conocimiento inicial y habilidades básicas que tenía el alumno antes e iniciar su aprendizaje, los conceptos, relaciones, propiedades, todo el conocimiento declarativo y habilidades aprendidas, así como el conocimiento, procedimientos, herramientas y estrategias de las que todavía carece. Unido a los nodos y arcos del grafo aparecen los métodos, procedimientos y estrategias aprendidas; cada uno de los elementos adquiridos lleva anejo un conjunto borroso que indica el nivel de experiencia adquirido y su fecha de adquisición. Si el alumno no analizara, resolviera o ejecutara algún problema o cuestión asociada con ese procedimiento, el paso del tiempo iría automáticamente disminuyendo el nivel de experiencia y eficiencia asociada, modificando convenientemente el conjunto borroso correspondiente. El cambio trata de reproducir el proceso real que ocurre en la mente humana.

4) La experiencia adquirida por el estudiante, que también se representa paso a paso por medio de un sistema de gestión de experiencia. El sistema almacena para cada tarea llevada a cabo o problema resuelto el esquema de solución

utilizado. Inicialmente esos esquemas no están ligados a ningún modelo mental o, a lo sumo, a uno complejo (esto es típico en aprendices), pero con la experiencia en obtener la solución de problemas adecuados o ejecutar determinados ejercicios, el alumno empieza a construir sus modelos mentales. Todos esos elementos cognitivos de experiencia también llevan asociados un conjunto borroso que indica la relevancia y la intensidad del aprendizaje realizado.

Las diferencias entre los sistemas de gestión de experiencia del alumno y del experto humano serán empleadas por los agentes encargados de la tutoría para elegir las tácticas y los ejercicios siguientes a fin de promover una migración más rápida de los aprendices a expertos.

Cuando el estudiante encara un nuevo problema o ejercicio de ejecución de la tarea, el sistema le ayuda a encontrar el problema o ejercicio más similar al actual entre los que ya ha resuelto adecuadamente. Si el problema o ejercicio encontrado no se parece al actual es preciso buscar nuevos operadores de solución entre los ya existentes o modificar algunos de ellos para resolver el problema actual. Para esta última labor el sistema proporciona ayudas.

4.2 Fiabilidad

Para llevar a cabo esta evaluación hay que comprobar hasta qué punto el modelo de estudiante está libre de errores aleatorios de medida. El procedimiento para verificar esta fiabilidad usual en casos simples es evaluar dos veces a los estudiantes y obtener la correlación existente entre las dos evaluaciones realizadas. Pero cuando se habla de competencia conceptual no tiene mucho sentido aplicar la prueba dos veces porque el estudiante puede recordar varias respuestas de la primera prueba y usarlas tal cual o modificarlas en la segunda, alterando así la fiabilidad del test. Para evitar eso se pueden

realizar en paralelo las dos pruebas, o en otras palabras, combinar las pospruebas en una prueba única de manera que una parte sirviera de comprobación a la segunda.

Pero todavía hay un problema más; normalmente el procedimiento para obtener la fiabilidad que acaba de describirse se utiliza sólo cuando al evaluar al alumno se obtiene un número global, pero MEDIC obtiene formalmente la evaluación de la competencia mediante un modelo complejo del estudiante, estableciendo así un problema teórico y práctico. En el primer caso, el tradicional, ese número mide la competencia del alumno incluyendo un error de medida, pero MEDIC obtiene formalmente la evaluación de la competencia como el dominio de diversas piezas de conocimiento, dejando la puerta abierta a una situación en la que diferentes problemas pueden referirse a diferentes piezas de conocimiento ¿cómo y cuándo, pues, puede hacerse la evaluación?

Este problema teórico puede resolverse de la manera siguiente. Todo problema cualitativo o cuantitativo que se propone a los alumnos ha sido analizado con ayuda de la técnica BCTA, ya mencionada, para obtener todos los componentes de la habilidad que se aprende que son necesarios para resolverlo. Estos componentes cognitivos, asociados a cada problema o cuestión, son utilizados por el generador de evaluaciones para obtener pruebas evaluadoras que cumplen un conjunto de criterios elegidos por el evaluador; uno de esos criterios para seleccionar problemas establece los elementos cognitivos que hay que usar para su solución y su relevancia e intensidad expresados mediante conjuntos borrosos. Por tanto, es posible obtener dos tests diferentes compuestos por el mismo número de problemas y que necesitan los mismos elementos cognitivos y la misma relevancia e intensidad. De esta manera, esos dos tests superados deben representar la

misma competencia del estudiante aunque los problemas del primer test sean diferentes de los del segundo y al aplicarlos producen dos modelos borrosos diferentes del estudiante, y ahora viene el problema práctico; hay que comparar los dos modelos borrosos considerando que cada nodo de los grafos conceptual o de experiencia llevan asociados conjuntos borrosos. Esa comparación puede realizarse de varias formas; la más sencilla sería obtener la media “desborrosificada” de ambos conjuntos borrosos y calcular los coeficientes de correlación existentes entre ellos. El mínimo de esos coeficientes es una medida fuerte de la fiabilidad, aunque se podrían utilizar otras medidas, como la media de estos coeficientes.

Este método ha sido aplicado a seis conjuntos de treinta y ocho estudiantes en cada una de las tres fases de aprendizaje de la ejecución de la tarea de MEDIC. Los resultados obtenidos para los seis conjuntos proporcionaron un rango duro de fiabilidad entre 75 y 98, con una media de 90. En cuanto a la fiabilidad media, su rango está determinado por 85 y 99 con una media de 94.

4.3 Validez evidencial

De acuerdo con el espíritu de los estándares APA, la validez evidencial es el grado de apoyo de la evaluación obtenida por el sistema. Ese grado de apoyo puede conseguirse en tres direcciones distintas conocidas como: validez de contenido, validez relacionada con criterios y validez del constructo.

1) Validez de contenido

Tradicionalmente se ocupa de la relación existente entre la selección de la prueba de evaluación y la habilidad o tareas del dominio real. Puede obtenerse preguntando a expertos humanos sobre la relevancia de cada ítem de la prueba.

Pero en el caso que nos ocupa que se trata de la producción de un modelo de estudiante detallado, la cuestión debe ser reformulada. Ante todo, los problemas cualitativos y cuantitativos y cuestiones que el sistema utiliza para entrenamiento, son muy similares (a veces idénticos) a los que ofrecen los instructores en clase y a los contenidos en libros de texto, por tanto, la validez de contenido de MEDIC es al menos la misma que la evaluación tradicional.

Además, dado que se ha descompuesto la tarea o la habilidad en un conjunto completo de elementos cognitivos, se comprueba experimentalmente y se adquiere ahora la certeza de cubrir todo el entorno de aprendizaje. Por otra parte, puesto que se dispone del generador de evaluaciones ENT, es posible ir más allá y seleccionar los ejercicios que respondiendo a criterios científicos, están relacionados con los elementos cognitivos que se deseen con la relevancia adecuada. En definitiva, no existe ninguna duda de que la validez de contenido de MEDIC es muy superior a la de la evaluación clásica.

2) Validez relacionada con criterios

Trata de relacionar los resultados conseguidos por el sistema con otros obtenidos usando algún otro criterio para medir la competencia. Ésta es una cuestión complicada teniendo en cuenta la complejidad de los resultados obtenidos por el sistema y la dificultad de encontrar otro método, usarlo y comparar los resultados de los dos. En consecuencia se ha tratado de comparar los resultados que produce el sistema a partir de los elementos cognitivos de la persona humana experta en la habilidad que hay que aprender con los resultados de la evaluación tradicional.

Varias técnicas se han usado con ese propósito. Una manera fácil ha sido obtener ante todo una media borrosa ponderada del modelo del estudiante; para ello un equipo de expertos humanos han escogido pesos y los han aplicado

a todos los conjuntos borrosos de intensidad de aprendizaje asociados a los nodos de los grafos conceptuales y de experiencia del estudiante; esa media es a su vez un conjunto borroso que ha sido “desborrosificado” produciendo un valor concreto de evaluación del alumno que puede compararse con el que se obtiene con la evaluación tradicional. El método ha sido usado con cinco conjuntos de treinta y cinco alumnos, cada uno, y el factor de correlación entre esos dos valores ha sido 0.92. Por tanto, desde este punto de vista, la validez de MEDIC es similar a la evaluación tradicional, aunque no puede negarse que la información que proporciona MEDIC es mucho más relevante y completa.

3) Validez del constructo

De acuerdo con el espíritu de los Estándares APA, la validez del constructo es una categoría residual que recoge cualquier otro método que pueda probar las argumentaciones del proceso evaluatorio. En realidad es todo un campo de investigación porque puede incluir todos los métodos que revelan fallos de la evaluación.

En el presente trabajo, en el que los agentes al cargo de las diferentes funciones tutoriales han realizado un análisis de los errores superficiales y profundos, se han usado además varios métodos para determinar la posibilidad de errores que no son debidos a falta de competencia sino a otras razones. En esa dirección se ha encontrado que en el caso de estudiantes extranjeros, entre el 5% y 15% de sus equivocaciones durante las dos primeras fases del aprendizaje de una tarea (familiarización y ejecución normal) fueron debidas a una mala comprensión de los términos técnicos; pues bien, una definición clara y completa de los mismos ha sido incluida como ayuda adicional en el sistema y ha conseguido reducir esa causa a sólo un 2%.

Otra fuente de errores, independiente de la falta de conocimiento, ha

sido una especie de “alergia al ordenador”; algunos estudiantes, aunque conseguían pasar las pruebas de “alfabetización” informática, no se encontraban a gusto con el ordenador. En consecuencia, no prestaban la atención debida a la pantalla y cometían frecuentes equivocaciones; el porcentaje de estos alumnos ha variado de grupo a grupo, pero los errores que cometían por esta razón podían llegar al 15% del total. Lo que se ha hecho en este caso ha sido tratar de detectar la situación lo antes posible y después aconsejar que hicieran algunos cursos sencillos de ordenador para principiantes. De este modo el porcentaje de errores debido a esta razón bajó hasta el 4%.

4.4 Validez consecencial

MEDIC ha sido usado en cursos reales de entrenamiento durante más e cuatro años por lo que es posible en este momento hacer una estimación de su impacto. Ante todo cabe afirmar que puesto que las actividades de MEDIC: resolución de problemas cualitativos y cuantitativos y solución de cuestiones, se usan ordinariamente en la instrucción tradicional, el sistema no exige ningún cambio en el sistema educativo para que éste se adecue a MEDIC. Pero existen otros métodos más interesantes para estimar el impacto de MEDIC.

Ante todo, se ha comparado cinco veces la eficiencia de MEDIC estableciendo cada vez dos grupos diferentes de alumnos: el grupo experimental y el grupo de control. Los alumnos de ambos fueron siempre elegidos aleatoriamente y con una distribución de calificaciones similar. Cada grupo experimental ha usado MEDIC durante treinta y ocho sesiones de dos horas cada una, y el grupo de control dedicó el mismo número de sesiones y de horas a la resolución de problemas a la manera tradicional sin usar el sistema. Después de cada experimento se obtenía para cada alumno del grupo

experimental la media “desborrosificada”, mientras que los alumnos del grupo de control eran evaluados a la manera clásica. Pues bien, el rango de valores de la media “desborrosificada” fue siempre superior por lo menos en 60% a los valores obtenidos en el grupo de control, y la media del grupo experimental fue entre un 90% y un 79% más alta de la media del grupo de control.

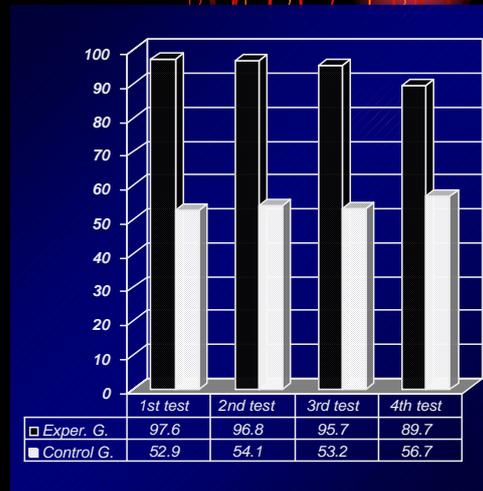
El gráfico adjunto correspondiente al Experimento nº 47 representa los resultados obtenidos por cuatro grupos experimentales (en negro) y cuatro de control (en blanco). Las barras indican los niveles de experiencia alcanzados por unos y otros con un mismo tiempo de aprendizaje. En estos casos concretos los grupos experimentales alcanzaron niveles de experiencia que eran 100%, 85%, 84% y 80% superiores a los de control.

El gráfico correspondiente al Experimento nº 24 refleja los tiempos necesarios para que el grupo experimental (en negro) y el grupo de control (en blanco) alcancen los mismos niveles de experiencia en las tres fases en las que se divide el aprendizaje de una tarea: la de familiarización, la de ejecución normal y la de ejecución experta. Los tiempos del grupo de control son siempre superiores y llegan hasta un 50% del experimental.

RESULTADOS CON MEDIC

Experimento nº 47

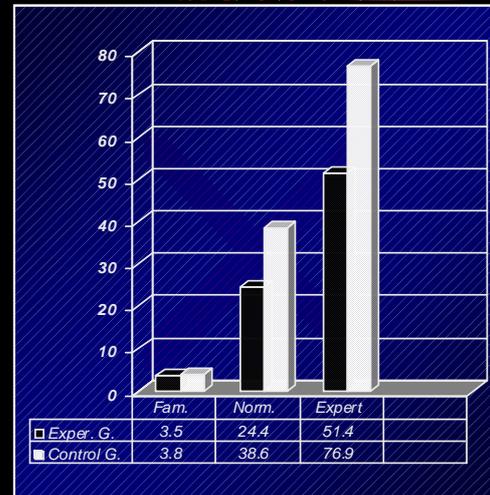
- Resultados obtenidos con 4 conjuntos de grupos experimentales y de control.
- El tiempo de aprendizaje es el mismo en todos los grupos.
- Los niveles de experiencia alcanzados son diferentes.



RESULTADOS CON MEDIC!

Experimento nº 24

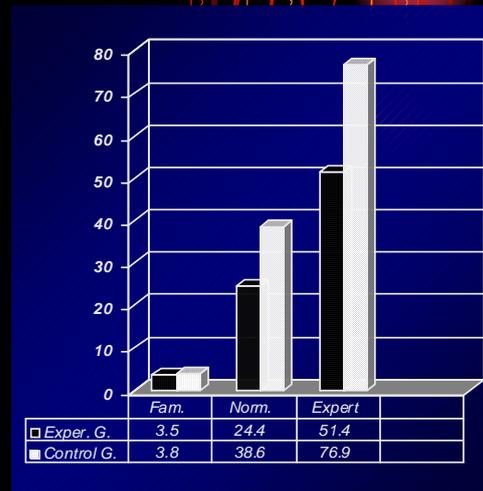
- El grupo experimental usa MEDIC.
- El grupo de control usa otros métodos tradicionales de aprendizaje.
- Ambos alcanzan los mismos niveles de experiencia:
 - Familiarización
 - Ejecución normal
 - Ejecución experta
- Pero necesitan un tiempo diferente.



En realidad todos los experimentos realizados han sido muy similares produciendo una varianza muy baja; por eso completamos los gráficos con el de la media de todos los experimentos en los que se midieron tiempos de alcanzar un cierto nivel de experiencia. Como puede apreciarse en el gráfico, la media del tiempo del grupo de control excedía un 50% de la media del grupo experimental.

RESULTADOS CON MEDIC: MEDIA de todos los experimentos

- Todos los experimentos conducen a resultados similares (varianza pequeña).
- La media de tiempo muestra las mismas diferencias entre los grupos experimental y control.



También se han llevado a cabo otras pruebas con MEDIC para comprobar la rápida migración de aprendices a expertos usando, como en los casos anteriores grupos experimentales y de control. Los grupos de control han seguido una enseñanza en aula con las ayudas tradicionales para tratar de convertirse en expertos directores o jefes de departamento de un centro médico. Los grupos experimentales han seguido una enseñanza con MEDIC en la que el generador de evaluaciones ENT proponía los ejercicios más adecuados en función de los elementos cognitivos que incluían, y las cuestiones más apropiadas para alcanzar cuanto antes la competencia experta. También aquí se obtuvo la media “desborrosificada” de cada estudiante del grupo experimental. En síntesis los resultados fueron los siguientes: la media del grupo experimental fue siempre entre un 92% y un 83% más alta que la correspondiente del grupo

de control. Después de estos experimentos, la enseñanza tradicional en los grupos de control continuó para conseguir los niveles de competencia de los grupos experimentales. Se obtuvieron esos niveles pero se necesitó entre un 58% y un 76% más de tiempo.

Las principales conclusiones que pueden extraerse de la evaluación de la calidad de MEDIC son las siguientes:

- 1) Aunque los estándares publicados, como los de APA, no aportan métodos y técnicas específicas para la evaluación de la calidad de los sistemas que proporcionan competencia, es posible seguir, al menos, el espíritu de esos estándares y realizar evaluaciones de la calidad funcional y global de los sistemas e-learning inteligentes en términos de fiabilidad, validez evidencial y consecucional.
- 2) Aunque la complejidad de estos sistemas aumenta con la introducción de la lógica borrosa y, concretamente de los conjuntos borrosos para especificar la relevancia y la intensidad del aprendizaje de cada elemento cognitivo, y reglas borrosas que establecen o modifican conjuntos borrosos, no ocasionan demasiados inconvenientes para la evaluación de la calidad de sistemas de aprendizaje que en vez de aportar un número final para la evaluación de un alumno, proporcionan un complejo modelo del estudiante.
- 3) El sistema MEDIC, "hijo" de NEOCAMPUS, es un sistema e-learning inteligente dedicado al entrenamiento de estudiantes que quieren llegar a ser expertos directores o jefes de departamento de un centro médico. MEDIC ha demostrado tener alta fiabilidad, y una validez evidencial y consecucional bastante más alta que la enseñanza tradicional.
- 4) Posiblemente uno de los mayores méritos de MEDIC sea su capacidad operativa importante para acelerar el proceso de aprendizaje y migración de aprendices a expertos.

5. FINANCE: algunos aspectos de su evaluación

La evaluación global de FINANCE sigue muy de cerca los pasos y los resultados de MEDIC, lo cual es lógico teniendo en cuenta que ambos participan de la misma filosofía de construcción y heredan las propiedades y funcionalidades de NEOCAMPUS. Por ello destacaremos los puntos más particulares de esta evaluación para no referir aspectos ya detallados en la de MEDIC.

5.1 Evaluación del estudiante

Dado que el modelo del estudiante es enteramente análogo al de MEDIC, pues sólo cambia el contenido del grafo de conocimiento y el de gestión de experiencia al tener dominios de aprendizaje completamente distintos, y permanecen el estilo de aprendizaje, el perfil del estudiante y la misma estructura (no los contenidos) de los grafos de conocimiento y experiencia. Por tanto se reproducen aquí los mismos resultados que se obtuvieron en el apartado 4.1 para MEDIC.

5.2 Fiabilidad

El procedimiento de evaluación de la fiabilidad va a ser el mismo que en MEDIC. Como FINANCE también produce como resultado obtenido por el alumno todo un modelo que detalla la competencia adquirida a partir del dominio de varias piezas de conocimiento, dejando la puerta abierta a que como problemas diferentes utilizan conocimientos distintos, es difícil comparar globalmente las competencias distintas.

Tal como se hizo en MEDIC se han realizado dos evaluaciones distintas al mismo estudiante en donde esas evaluaciones, obtenidas con ENT responden

a las mismas características. Los resultados de esas evaluaciones han sido dos conjuntos borrosos que han sido “desborrosificados” para convertirlos en puros resultados numéricos que han sido correlacionados estadísticamente; el mínimo de estos tres coeficientes de correlación se ha tomado como medida estricta de la fiabilidad. Este método ha sido aplicado a cinco grupos de cuarenta y cinco alumnos cada uno al finalizar las tres fases de adquisición del aprendizaje: familiarización, ejecución normal y ejecución experta. Los resultados obtenidos para la fiabilidad estricta muestran un rango de 0.79 a 0.98 con una media de 0.90. Para la fiabilidad media el rango obtenido es de 0.85 a 0.99, con una media de 0.94.

5.3 Validez evidencial

En cuanto a la validez de contenido, los procedimientos y resultados son exactamente los mismos que los de MEDIC, es decir, que esta validez es mayor que en la enseñanza tradicional.

Para la validez por criterios se ha procedido de manera análoga. El procedimiento ha sido obtener una media ponderada borrosa del modelo del grafo de conocimiento y de experiencia del estudiante a partir de pesos obtenidos por expertos en esta habilidad global; posteriormente esta media se “desborrosifica” y se compara con el valor simple de la evaluación tradicional. Este procedimiento fue aplicado a tres conjuntos de cuarenta y cinco alumnos y el factor de correlación obtenido fue de 0.95. En definitiva se obtuvo que la validez evidencial de FINANCE es al menos similar al de la evaluación tradicional.

El método seguido para estimar la validez del constructo ha sido enteramente el mismo que en MEDIC así como los resultados obtenidos.

5.4 Validez consecucional

Éste es, sin duda, uno de los puntos más específicos de la evaluación de FINANCE. Para estimar el impacto de FINANCE se han formado hasta nueve grupos de veintiocho alumnos cada uno que han usado el prototipo, en paralelo con nueve grupos de control, también de veintiocho alumnos, que han usado las técnicas tradicionales de resolver supuestos contables. Cada grupo experimental ha usado el sistema un total de treinta sesiones de dos horas dedicando el mismo tiempo los grupos de control a esas prácticas contables. Tras el aprendizaje se calculó la media “desborrosificada” de cada miembro del grupo experimental. El rango de valores de esta media fue siempre al menos 36% más alta que la de los miembros del equipo de control, y la media de todo el grupo experimental estuvo entre un 27% y un 54% más alta que la del grupo de control.

Se abordó también el problema de la migración de aprendices a expertos a partir de experiencias seguidas con cuatro grupos experimentales y cuatro de control de veintiséis alumnos cada uno, seleccionados como siempre aleatoriamente. Los grupos experimentales sufrieron un proceso de aprendizaje mediante la adquisición de los elementos cognitivos del dominio de aprendizaje y experiencia a través de cuestiones, ejercicios y problemas adecuados, aportados por ENT con objeto de alcanzar tan pronto como fuese posible el estado de experto, mientras que los grupos de control seguían durante el mismo tiempo prácticas tradicionales. La diferencia metodológica con los ensayos anteriores estriba en que en este caso no se reforzó el aprendizaje de los diversos elementos cognitivos con ejercicios de repaso, como se hizo en los ensayos anteriores, sino sólo en los casos de error y como tácticas remediales. El resultado de estos experimentos fue que la media “desborrosificada” de los estudiantes de los grupos experimentales fue entre un 43% y un 56% más alta

que la media correspondiente de los grupos e control. El experimento continuó sólo con los grupos de control hasta que obtuvieron los mismos valores alcanzados por los grupos experimentales. Fue necesario en media un 38% más de tiempo para alcanzar esos niveles.

Las conclusiones más importantes que pueden deducirse de esta evaluación son:

- 1) Sigue siendo un problema importante el de evaluar globalmente un sistema e-learning de aprendizaje. En realidad, la evaluación debería constituirse como un proceso continuo que perdura a lo largo de la vida del sistema, pero es posible adquirir una idea suficiente del comportamiento del mismo en términos de fiabilidad, validez evidencial y validez consecucional.
- 2) La inclusión de técnicas no tradicionales de inteligencia artificial como computación afectiva y lógica borrosa, aunque introducen complejidades en el proceso de evaluación, no invalida la ejecución de la metodología que se propone para la evaluación global de estos sistemas.
- 3) Los resultados obtenidos han demostrado que FINANCE tiene alta fiabilidad, y una validez evidencial y consecucional bastante más alta que la enseñanza tradicional.

CAPÍTULO VII- ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En este capítulo se va a tratar de sintetizar todo lo realizado, matizando los resultados obtenidos, su alcance y limitaciones, para poder establecer unas conclusiones tentativas y los futuros trabajos que se contemplan.

1. Resultados obtenidos

1.1 Óptica utilizada

En primer lugar hay que hacer notar que se ha aplicado, tal como especificaban los objetivos de esta investigación, una óptica tetravalente que ha tratado de desarrollar, dar coherencia, e integrar cuatro aspectos distintos que constituyen los verdaderos pilares de esta nueva aproximación a los sistemas e-learning inteligentes. Se trata de diseñar y construir una arquitectura informática potente, de analizar profundamente el proceso de aprendizaje humano considerando en su mayor extensión posible las funciones educativas y tutoriales implicadas en el aprendizaje, de analizar con detalle lo que constituye el dominio de aprendizaje contando con la experiencia de un experto humano, y tratar de integrar esos resultados con el mayor automatismo y eficiencia posible.

Frente a otras ópticas existentes que podrían calificarse de “ingenuas” o de muy pragmáticas y por tanto válidas sólo en ciertos dominios de aplicación, la adoptada en este trabajo es una óptica interdisciplinar, muy interesante, porque ha permitido tener en cuenta y coordinar todos los aspectos que integran el aprendizaje humano auxiliado y tutorizado por ordenador. Sin

embargo, hay que reconocer que es una óptica “trabajosa” y de difícil progreso, puesto que es preciso manejar disciplinas distintas con cierta profundidad, y se verifica además que *todo influye en todo*, lo cual se traduce en que el menor cambio introducido en el menos significativo de los aspectos, influye obligatoriamente en todos los restantes. Por otra parte, el reto de la automaticidad y de la eficiencia práctica conllevan toda una serie de cuestiones que por su talante excesivamente informático no han sido ni analizadas ni comentadas en esta memoria, pero que ha habido que tener en cuenta para resolver sus exigencias. A la vista de los resultados obtenidos en pruebas que después serán analizadas, la óptica resulta muy viable y digna de ser utilizada con más intensidad, aunque costosa por el momento.

En relación con la infraestructura informática y el sistema multiagente diseñado, se puede afirmar que la arquitectura adoptada ha sido la precisa, es decir, suficiente para abordar y resolver los problemas planteados. No contiene recursos no utilizados ni técnicas no usadas con profusión, ni procedimientos que no hayan mostrado su utilidad y eficiencia, sin tecnicismos excesivos que posiblemente hubieran complicado más el sistema, aunque apenas hubieran contribuido a mejorar su eficiencia. Tal vez por estas razones no se han introducido las redes neuronales borrosas. Sin embargo, las de ligadura funcional y los restantes métodos de aprendizaje incluidos en la arquitectura general del agente cognitivo utilizado, han tenido mucho que ver con la capacidad autónoma de aprendizaje del sistema a partir de su propia experiencia.

En cuanto al aprendizaje humano, se ha mostrado un enorme cuidado del alumno al prestar gran atención a su modelización, que incluye una gran cantidad de características personales y su historia como el estilo de aprendizaje, interés, motivación, cansancio, etc., para conseguir un seguimiento

completo del alumno. También se incluye en ese modelo tanto el conocimiento como la experiencia que va adquiriendo (en forma de grafos) a la luz de los que posee el experto humano, con registro de la intensidad del aprendizaje y fecha en que se llevó a cabo, incluyendo los errores que comete. Precisamente para poder influir más en el aprendizaje del alumno, se han considerado tanto el estado afectivo de éste y su posible modificación, como la inclusión de técnicas de lógica borrosa que permitan flexibilizar tanto la calificación de las evaluaciones del alumno, como la intensidad del conocimiento y experiencia adquiridos.

El experto humano y los dominios de conocimiento han sido temas a los que se le ha dedicado mucha atención. Es de agradecer la importante colaboración prestada por los anónimos expertos humanos, al permitir que mediante la técnica BCTA, tan utilizada en este trabajo, les haya sido elicitado (extraído) su conocimiento y experiencia para permitir que estudiantes pudieran adquirir ese conocimiento y esa experiencia con mayor facilidad. Este trabajo de elicitación no ha sido fácil ni corto, pero siempre ha sido instructivo sobre la forma de funcionar el entendimiento humano, sobre el dominio de aprendizaje y los mecanismos concretos que se utilizan para resolver problemas, aprender habilidades, y ejecutar tareas con seguridad y destreza.

El análisis del proceso de aprendizaje realizado a partir de las contribuciones existentes en la literatura científica ha permitido insistir en las funciones educativas y tutoriales que los agentes deben asumir al tratar de sustituir al instructor y tutor humano. Desde la didáctica general, que trata de abordar las cuestiones generales del aprendizaje del alumno que sean independientes del contexto concreto que se aprende, y que ha cristalizado en un número importante de mecanismos de detección de situaciones particulares y posibles problemas del alumno, y de recomendaciones, encapsuladas en

reglas de producción, se ha llegado a las didácticas específicas que han producido también abundantes técnicas cognitivas y de guiado, tácticas remediales y de proacción.

El automatismo del sistema y del proceso de aprendizaje ha sido una lucha continua y ha permitido llenar “agujeros” existentes, bien en el conocimiento de los agentes, que se veían obligados a “preguntar” sobre cuestiones triviales que no “conocían” (demostrándose de esta manera la importancia práctica del “sentido común” del que, en principio, carecen los agentes), bien en su conexión e intercambio de información, bien en el manejo de las herramientas técnicas de que disponían. También ha permitido ajustar los tiempos de proceso y de intercambio de información hombre/máquina a fin de que el alumno no tuviera que esperar y que la información intercambiada hombre/máquina fuese la precisa.

1.2 Problemas abordados

Se han abordado un número importante de problemas que por su naturaleza interdisciplinar parece que no hubieran podido analizarse con detalle con otra óptica distinta de la adoptada. De todos ellos destacan por su importancia relativa:

1) La descomposición de una tarea, habilidad o problema, objetos del aprendizaje, en sus componentes cognitivos. Hasta el presente no se vislumbra una manera mejor de favorecer el aprendizaje de una habilidad, tarea o resolución de un problema, que impulsando al alumno hacia el conocimiento y uso intensivo de los elementos cognitivos que integran esa tarea, habilidad o problema. Para llevarla a cabo ha sido preciso desarrollar BCTA, una de las herramientas más útiles y utilizadas en este trabajo; precisamente la práctica

adquirida ha permitido llegar hasta uno de los elementos cognitivos más importantes, los modelos mentales del experto. Se ha podido comprobar que los modelos mentales constituyen la diferencia más significativa entre aprendices y expertos.

2) El análisis de errores.

Este problema ha resultado crítico para poder poner remedio a las equivocaciones de los alumnos. La división, al menos, entre errores superficiales y profundos, ha permitido subsanar malas comprensiones del alumno, no siempre directamente relacionadas con los elementos cognitivos visibles que maneja una tarea o problema. En el caso de errores profundos es preciso acudir a conocimientos previos cuyo fallo induce múltiples errores incluso en temas posteriores. La determinación de los llamados puntos focales y puntos calientes, que son clave para la comprensión de los errores profundos, sólo puede hacerse cuando se puede actuar sobre un grafo de conocimiento o de experiencia que representan todo el dominio de aprendizaje en cuestión.

3) El control de los agentes inteligentes que, en ocasiones, tratan de actuar simultáneamente disputándose la prioridad de funcionamiento es un tema que no puede omitirse bajo ningún supuesto. Se han propuesto en este trabajo soluciones que funcionan tanto en la filosofía de arbitraje como en la de control. Los resultados obtenidos indican que los mecanismos de arbitraje y control deben revisarse siempre que se introduzcan nuevos factores o consideraciones puesto que cualquier cambio introducido puede suscitar nuevos conflictos entre los agentes.

4) La aceleración de la migración de aprendices a expertos. Este problema ha

dejado de ser sólo un problema académico para convertirse en un problema empresarial y general. La explosión de la información y el conocimiento, la competitividad y la aceleración del cambio originan una presión individual y social sobre la formación de la persona. El conocimiento de los elementos cognitivos de la experiencia del experto humano proporcionan el medio único de acelerar esa migración. El empleo de BCTA resuelve el problema de conocer esos elementos cognitivos; a partir de ahí sólo hay que promover en el aprendiz el uso de ejercicios que comporten esos elementos.

5) La evaluación de los estudiantes.

La introducción de técnicas de lógica borrosa en el propio modelo del estudiante y el hecho de que este modelo proporcione como resultado del aprendizaje un grafo con conjuntos borrosos complica, en principio, la evaluación de los estudiantes. Sin embargo ese resultado contiene mucha más información que un simple número que es el resultado de la calificación final del alumno, puesto que permite saber lo que el estudiante conoce de cada elemento cognitivo de la tarea y su intensidad. No obstante, utilizando procedimientos de “desborrosificación” ese grafo con conjuntos borrosos puede reducirse, si se necesita, a un simple número. Las técnicas de correlación comprueban que el resultado de “desborrosificar” coincide sensiblemente con el obtenido por una calificación tradicional.

1.3 La factoría de software y los prototipos desarrollados

Se ha construido una factoría de software, NEOCAMPUS, dedicada a la producción de agentes inteligentes dotados de una misma arquitectura modular. Estos agentes han adquirido conocimientos tutoriales y educativos generales, inicialmente, y con posterioridad han asimilado otras nuevas

tecnologías como la computación afectiva. Sin embargo, NEOCAMPUS no podía impartirles conocimientos específicos de realización de tareas; eso sólo puede hacerse en el desarrollo concreto de prototipos “hijos” de NEOCAMPUS que además de adquirir el conocimiento específico propio de las tareas a realizar en el prototipo, “heredan” la funcionalidad existente en NEOCAMPUS.

Una de las funcionalidades importantes de esta factoría es la posibilidad de filtrar y resumir información, fundamentalmente de Internet. Precisamente para conseguir esos resultados se ha construido un subsistema de NEOCAMPUS que ha sido descrito con detalle.

Como prototipos desarrollados, aparecen:

1) ESTRUCT. Se trata de un prototipo de tipo reactivo cuyos agentes (reactivos) no usan toda la funcionalidad proporcionada por NEOCAMPUS. Por eso ha sido descrito antes que la factoría de software. Su carácter de sistema de aprendizaje más sencillo ha permitido describir con cierto detalle cómo se llega a descomponer la habilidad global en subhabilidades, cómo se representa el dominio de conocimiento y cómo se detalla el modelo mental del experto. También ha permitido detallar mecanismos de arbitraje de agentes utilizados en este prototipo.

2) MEDIC. Dedicado al aprendizaje de la toma de decisiones en un centro médico. El prototipo puede ser usado por una sola persona que ejerce la función de Director General del Centro o Jefe de un Departamento del mismo, pero también pueden intervenir todo un grupo de alumnos que desempeñan las funciones de Director General y de Jefes de Departamento como un equipo directivo del mismo. El prototipo simula con datos tomados de la realidad o ficticios generados estadísticamente los efectos o consecuencias de lo que ocurre

en el centro en un período de simulación que puede ser de día, semana o mes. Así, el centro supone unas entradas de pacientes, salidas, operaciones quirúrgicas, servicios médicos para los que se necesitan personal médico y sanitario, quirófanos, farmacia, etc. Cuando no se dispone de recursos suficientes se plantea el conflicto que ha de ser resuelto por el Jefe del Departamento correspondiente. Además pueden ocurrir acciones exteriores, como subida de impuestos, etc. que pueden afectar gravemente a la situación económica. De esta forma y mediante el enfrentamiento a situaciones problemáticas el alumno o grupo de alumnos adquiere la experiencia necesaria para convertirse en experto. En sus últimas versiones ha heredado la plataforma AFFECTION para la computación afectiva y las técnicas de lógica borrosa que utiliza con bastante intensidad.

3) FINANCE. Su dominio de aprendizaje es la contabilidad general, y puede dar servicio a un alumno solo o a un grupo de alumnos. En principio sigue las pautas de MEDIC en lo que concierne al modelo del estudiante y modelo del experto, aunque como es lógico, cambian los contenidos de los grafos de conocimiento y experiencia. También ha heredado de NEOCAMPUS en su última versión la computación afectiva y las técnicas de lógica borrosa.

4) ENT. Se trata de un prototipo muy utilizado, incluso por otros prototipos, que tiene por tarea la generación de una o más evaluaciones, si ello es posible, de acuerdo con las características requeridas por el usuario y construidas mediante metacriterios en combinación con una lista de parámetros y de intensidades respectivas. Como parámetros se aceptan una gran cantidad de variables, desde elementos cognitivos del aprendizaje (incluyendo modelos mentales) hasta habilidades básicas generales. Para que pueda actuar ENT se

precisa contar con una base de conocimiento que incluya cuestiones, ejercicios y problemas caracterizados por los parámetros que se agregan a los metacriterios y sus intensidades. Su mérito primordial estriba en la posibilidad de producir varias evaluaciones cognitivamente equivalentes aunque contengan ejercicios y cuestiones distintas.

5) AFFECTION. Computación afectiva. Más que un prototipo completo se trata de una plataforma o prototipo parcial, que puede ser introducido en NEOCAMPUS y “heredado” en los prototipos que proceden de él. AFFECTION ha sido heredada por MEDIC y FINANCE. La plataforma permite captar el estado afectivo del alumno a partir de su interacción con el sistema y, cuando se estime necesario por los agentes encargados de esa función, aplicar las tácticas afectivas convenientes para modificar el estado del alumno.

6) FILTR. Este prototipo se formó por desarrollo de una parte del subsistema de filtrado y resumen de información de NEOCAMPUS, ante la importancia que adquiriría el problema del filtrado y la posibilidad de empleo con plena independencia, dando servicio a un número relativamente elevado de usuarios que desean conseguir información de Internet de acuerdo con un determinado perfil. El prototipo, que en su última versión heredó las técnicas de lógica borrosa introducidas en NEOCAMPUS, permite variaciones bruscas y lentas del perfil del usuario y con un ligero entrenamiento nuevo consigue, de nuevo, un bajo nivel de error.

7) ONTOS. También se trata de una plataforma más que de un prototipo completo. Está dedicada a la construcción automática de ontologías no por métodos estadísticos sino mediante un modelo formal que permite la

comprensión por el ordenador de red ontológica y de sus principales operaciones como fusión, unión, intersección, y valoración que permiten que automáticamente e incluso contando con un número reducido de documentos, elaborar una ontología que posteriormente puede ser fusionada o completada con otras. Desde un punto de vista práctico, la ontología es una descripción de todo un dominio de conocimiento pues elabora un grafo cuyos nodos son conceptos o propiedades o funciones, asociándole una definición. Los arcos del grafo son, fundamentalmente, relaciones de distinta naturaleza entre los nodos; una de las más importantes es la de pertenencia a una clase, expresada por “...es un ...”. La ontología asocia también funciones y propiedades al grafo por lo que puede llegar a configurar con suficiente detalle todo un dominio de aprendizaje, con la ventaja de poder ser incorporado o fusionado a otra ontología elaborada con estas técnicas.

2. Pruebas y evaluaciones

Las pruebas y evaluaciones han corrido en paralelo con el desarrollo de NEOCAMPUS y de sus prototipos desde el primer momento; de otra manera ese desarrollo hubiera sido totalmente imposible. Han sido tantas las pruebas que no es fácil referenciarlas de una manera ordenada, aunque se va a intentar.

En primer lugar hay que destacar que el diseño, la realización y análisis frecuente de las pruebas ha conducido a toda una metodología de evaluación global que constituye una guía importante para estimar la calidad de estos sistemas, cosa nada fácil habida cuenta de su complejidad y aspectos distintos que abarcan. La metodología ha sido aplicada en todos los prototipos, aunque por la reiteración de los resultados obtenidos sólo se ha descrito la evaluación global de MEDIC y FINANCE.

En cuanto a las numerosas pruebas parciales se han descrito, entre otras,

las llevadas a cabo con el prototipo ESTRUCT con más de 20 grupos de 25 alumnos, las realizadas con el procesador de español denominadas QUIJOTE, las del subsistema de filtrado y resumen de información, las pruebas totales llevadas a cabo con ENT para la migración de gerentes aprendices a expertos. Además, ENT ha sido usado con bastante frecuencia y con éxito, lo cual avala su calidad. Se han descrito también las pruebas llevadas a cabo con FILTR en un uso independiente con un número relativamente importante de usuarios. Y por último se han incluido pruebas de la plataforma ONTOS relativas a la obtención automática de ontologías.

Todavía hay que mencionar que las publicaciones realizadas sobre esta investigación incluyen otras pruebas o las refieren con mayor detalle. De hecho, las relativas a redes neuronales han sido remitidas a datos publicados.

Sin embargo, hay que añadir todavía que se han realizado evaluaciones externas, a cargo de expertos en el tema, de diversos aspectos de NEOCAMPUS y los prototipos, que no han sido incluidas en la memoria, a pesar de los buenos resultados obtenidos en los informes finales de las mismas. Conviene citar las llevadas a cabo sobre las funciones de didáctica general y sus mecanismos y tácticas,

En líneas generales los resultados específicos y medibles obtenidos en todos los aspectos, sin excepción, han sido bastante buenos; sin embargo, cabe preguntar si se corresponden con todo el esfuerzo desarrollado. Parece que es el camino obligado para que, con posterioridad, pueda recorrerse con mayor facilidad. No obstante, hay muchos aspectos mejorables. De ellos cabe destacar: la posibilidad del empleo de sensores y cámaras que perfeccionen la detección de los estados afectivos del alumno; el empleo de otros modelos afectivos que consigan una mayor profundidad en la caracterización de dicho estado; la obtención de nuevos métodos más perfectos de analizar los errores profundos

del alumno; la elaboración de nuevos modelos que caractericen las facetas y etapas de la decisión en grupo; la mejora de las tácticas cognitivas remediales considerando su personalización según las características y estado del alumno. Sin duda sus aportaciones serán muy valiosas para aumentar la eficiencia de estos sistemas e-learning inteligentes.

3. Conclusiones

Después de pasar revista a los resultados obtenidos en esta investigación y su discusión, cabe formular las siguientes conclusiones:

- 1) Es factible aplicar una metodología integradora de todos los aspectos que confluyen en un aprendizaje apoyado automáticamente por un sistema inteligente. Es más, existen ventajas tanto tutoriales como cognitivas que por el intrincado mecanismo de su desarrollo, no serían obtenibles sin esta metodología.
- 2) Los sistemas multiagentes apoyados en una arquitectura modular, flexible y potente, constituyen la infraestructura idónea para este tipo de sistemas de aprendizaje. Dicha arquitectura debe contar con el apoyo de técnicas que permitan tanto el propio aprendizaje del sistema a partir de su experiencia, como la percepción y comprensión de cuantos elementos exteriores incidan sobre el sistema.
- 3) Los prototipos que se construyen con esta óptica proporcionan una educación *centrada en el estudiante*, puesto que el alumno constituye el eje, la raíz y el motivo de la funcionalidad y realización de estos sistemas. Por otra parte la inclusión de aspectos afectivos, además de los cognitivos y tutoriales, constituye un mayor apoyo al alumno, a su aprendizaje y por tanto a la eficiencia del propio sistema.
- 4) Parece posible afirmar que todos los dominios de aprendizaje, incluso los

específicos de toma de decisiones, podrían ser el objeto de estos sistemas. Hasta el momento los prototipos aquí detallados podrían avalar esta afirmación.

5) La empresa como institución de aprendizaje cooperativo en la que muchos de sus empleados necesitan una formación propia de sus peculiaridades y funcionamiento, más allá de los cursos estándar, debe comprender el prometedor horizonte que presentan estos sistemas e-learning inteligentes.

6) La funcionalidad demostrada de estos sistemas de filtrar y resumir información captada de Internet para incorporarla a su base de conocimiento, y de comprender lenguajes naturales (no informáticos sino humanos) que potencian la comunicación usuario/ordenador aporta nuevas ventajas a estos sistemas.

7) Cada vez con mayor premura se planteará el problema de acelerar la migración de egresados universitarios aprendices a expertos. Para resolver ese problema, tal como ha quedado patente por el momento, sólo cabe el empleo de los sistemas e-learning inteligentes.

8) Incluso los dirigentes empresariales, sumergidos en un mundo totalmente cambiante y exigente, necesitan sistemas en los que poder simular y comprobar los resultados de sus decisiones comprometedoras, antes de adoptarlas. En esa línea, los sistemas e-learning inteligentes, por la profundidad con que pueden analizar el contexto y utilizar automáticamente herramientas de ayuda, ofrecen una ayuda insustituible.

4. Futuros trabajos

Las mejoras y cuestiones abiertas en el tema que nos ocupa son abundantes, sin embargo se pretende orientar los futuros trabajos en otra dirección, posiblemente más pragmática: hacia el uso generalizado de estos sistemas, no importa cual sea el dominio de aprendizaje, pues por el momento

los sistemas desarrollados son sólo prototipos.

Con ese propósito se ha realizado un análisis preliminar de algunos de los factores que, por el momento, impiden un uso generalizado de estos sistemas.

En primer lugar se impone un trabajo de normalización y producción de estándares. Es cierto que los estándares nunca salen del trabajo de una persona ni siquiera de un equipo, pero pueden contribuir a su elaboración. Para ello es preciso abordar trabajos de normalización que cubran la mayor parte de los numerosos aspectos que integran el desarrollo y construcción de estos sistemas. A partir de esa normalización cabe empezar a formular estándares tentativos que puedan ser asumidos por la comunidad que se ocupa del tema.

La normalización debería abordar de alguna manera, los cuatro pilares de la óptica desarrollada en este trabajo: normalización informática, normalización del proceso y factores del aprendizaje, normalización del dominio de aprendizaje y normalización de los factores que regulan el automatismo.

Instrumentos importantes de ayuda a la producción de estos sistemas e-learning inteligentes sería la producción de módulos que apoyaran su desarrollo y diseño, incluso partiendo de una normalización improvisada, para que no hubiera que esperar a todo el largo trabajo de elaboración de todo tipo de estándares.

Por último, y desde el punto de vista de la automatización de todo el proceso de aprendizaje, no cabe duda que lo menos automático en este momento es la elaboración de materiales de aprendizaje, bien sean explicaciones, cuestiones, ejercicios o problemas. Pues bien, en esa dirección se orienta la construcción automática de ontologías; en este trabajo ha quedado demostrada la posibilidad de obtención automática de esas ontologías, su

conexión, fusión y simplificación. Pues bien, las ontologías constituyen el grafo genético de un dominio de aprendizaje, pero si en los documentos de partida se incluyen un cierto número de estudios especializados y monográficos, cabría la posibilidad de obtener incluso los modelos mentales de los expertos. Si eso es posible, la generación automática de cuestiones, preguntas o problemas de una cierta envergadura también lo sería.

No cabe duda que estas tres líneas de actuación simplificarían y abaratarían sobremanera los costes de producción de estos sistemas e-learning inteligentes.

Finis coronat opus!

BIBLIOGRAFÍA

- A. Landeta, *Análisis, Diseño y Construcción de un Curso de Microsoft*, Proyecto Fin de Carrera, 2007
- G. A. Agha, *ACTORS: A model of Concurrent Computation in Distributed Systems*, M.I.T. Press, Cambridge, 1986.
- A. Ahmad, O. Batsir, K. Hassanein, "Adaptive User Interfaces for Intelligent E-Learning: Issues and Trends", *Fourth International Conference on Electronic Business, ICEB 2004*, Beijing, 2004.
- A. Akyurek (eds.) *SOAR: A Cognitive Architecture in Perspective*, Kluwer, Amsterdam, 1992, pág. 25 a 79.
- A. Aliseda-Llera, *Seeking Explanations: Abduction in Logic*, Philosophy of Science and Artificial Intelligence, Ph.D. Thesis, Institute for Logic, Language and Computation, Universiteit van Amsterdam, 1997.
- C. Alonso, D. Gallego, *Estilos de aprendizaje*, Ediciones Mensajero. Bilbao, España. 1994.
- C. Ames, "Motivation: What Teachers Need to Know", *Teachers College Record*, 91(3), 1990, pág. 409 a 421.
- M. AlvarEsquerra, *La formación de palabras en español*, Arco, Madrid, 1993.
- J. Anderson, *The Architecture of Cognition*, Harvard University Press, Harvard, 1983.
- J. Anderson, "Knowledge compilation: the general learning mechanism", en R. Michalski, J. Carbonell, T. Mitchell (eds.) *Machine Learning II*, Tioga Press, 1986
- J. Anderson, "Skill acquisition: compilation of weak method problem solution", *Psychological Review*, 94 (2), 1987, pág. 192 a 210.
- J. Anderson et al., "Learning to program recursive functions", en M. Chi, R. Glaser, M. Farr (eds.), *The Nature of Expertise*, Erlbaum, Nueva York, 1988.
- J. Anderson, *The Adaptive Character of Thought*, Erlbaum, Nueva York, 1990.

- J. Anderson, "The Place of Cognitive Architectures in a Rational Analysis", en K. VahLehn (ed.) *Architectures for Intelligence*, Erlbaum, Nueva York, 1991, pág. 1 a 24.
- R. Arkin, "Integrating Behavioural, Perceptual and World Knowledge in Reactive Navigation", en P.Maes (ed.) *Designing Autonomous Agents: Theory and Practice*, M.I.T./Elsevier, 1990.
- B. Ayyub, M. Gupta, L. Kanal, *Analysis and Management of Uncertainty: Theory and Applications*, North-Holland, New York, 1992.
- E. Ayzemberg, *Análisis de las Estrategias de aprendizaje/enseñanza en un contexto de educación a distancia: E-Learning*, Tesis Doctoral, Universidad de Granada, 2009
- R. D. Beer, *Intelligence as Adaptive Behavior: An Experiment in Computational Neuroethology*, Academic Pres, Nueva York, 1990.
- R. Bellman, L. Zadeh, "Decision making in a fuzzy environment", *Management Science*, 17 (4), 1970, pág. 141 a 164.
- J. P. Bigus, J. Bigus, *Constructing Intelligent Agents*, John Wiley and Sons, Nueva York, 1998.
- D. Blair, M. Maron, "An evaluation of retrieval effectiveness for a full-text document-retrieval system", *Communications of the ACM*, 28, 1985, pág. 289 a 299.
- R. Bolles, "Species-specific defense reactions and avoidance learning", *Psychological review*, 77, 1970, pág. 32 a 48.
- H. Bojinov, A. Casal, T. Hogg, "Multi-agent control of self-reconfigurable robots", *Artificial Intelligence*, Vol. 142, 2002, pp. 99-120.
- C. Bowman et al., "The Harvest Information Discovery and Access System", *Proceedings of the 2nd International WWW Conference*, Chicago, 1994.
- M. E. Bratman, *Intentions, Plans and Practical Reasoning*, Harvard University

Press, 1987.

-R. A. Brooks, "Intelligence without Representation", *Artificial Intelligence*, 47, 1991, pág. 139 a 151.

-R. Brooks, *Intelligence without reason*, Memo 1292, 1991, M.I.T. Artificial Intelligence Laboratory.

-J. Bruner, *Acción, pensamiento y lenguaje*, Alianza, 1984.

-B. Buchanan, *Expert Systems*, Stanford University Press, 1968.

-L. Busquets, L. Bonzi, *Los verbos en español*, Verbum, 1993.

-L. Cañibano, A. Gisbert, "Los activos intangibles en el Nuevo plan general contable", *Revista del Instituto de Estudios Económicos*, nº 2-3, 2007.

-A. Caparrós, *Los paradigmas en Psicología*, Horsori, Barcelona, 1980.

-J. Carbonell, C. Knoblock, S. Minton, "PRODIGY: An Integrated Architecture for Planning and Learning", en K. VanLehn (ed.) *Architectures for Intelligence*, Erlbaum, Nueva York, 1991, pág. 241 a 278.

-M. Carretero, J. García Madruga, *Lecturas de Psicología del Pensamiento*, Alianza, Madrid, 1984.

-J. M. Castillo, F. de Arriaga, "A Multi-Agent Based Model for Tactical Planning", *Nato-Pfp Industry/National Modelling and Simulation Partnerships*, Vol. 1, 2003, pág. 81-94.

-J. M. Castillo, F. de Arriaga, "A Tactical Planning Approach by Using Artificial Intelligence Procedures", en *Future Modelling and Simulation Challenges*, Vol. 1, NATO, Breda, 2001, pág. 37 a 52.

-J. M. Castillo, F. de Arriaga, "An Approach to the Construction of Multi-Agent Models for Planning", *Proceedings IITSEC International Conference on Interservice/Industry Training*, Orlando, 2003, pág. 1751-1763.

-W. Chase, H. Simon, "Perception in chess", *Cognitive Psychology*, 4, 1973, pág. 55 a 81.

- J.E. Chavarriaga Bautista, *Arquitectura de un sistema para la generación automática de contenidos para evaluación*, Universidad Autónoma de Madrid, 2008
- H. Chen, "Machine Learning for Information Retrieval: Neural Networks, Symbolic Learning, and Genetic Algorithms", *Journal of the American Society for Information Science*, John Wiley & Sons, 46(3), 1995, pág. 194 a 216.
- H. Chen, K. J. Lynch, H. Basu, T. Ng, "Generating, integrating, and activating thesauri for concept-based document retrieval", *IEEE Expert*, 8(2), 1993, pág. 25 a 34
- M. T. Chi, R. Glaser, M. Farr, *The Nature of Expertise*, Lawrence Erlbaum, 1988.
- M. T. Chi, R. Glaser, E. Rees, "Expertise in problem solving", en R. Sternberg (ed.), *Advances in the Psychology of Human Intelligence*, Erlbaum, Nueva York, 1982.
- Y. Chiaramella, B. Defude, "A prototype of an intelligent system for information retrieval: IOTA", *Information Processing and Management*, 23, 1987, pág. 285 a 303.
- F. Ch. Cheong, *Internet Agents*, New Riders Publishing, 1996.
- W. J. Clancy, "GUIDON", en *Handbook of Artificial Intelligence*, A. Barr, E.A. Feigenbaum(eds.), Los Altos California, 1982, pp. 267-278.
- B. Crites, C. Barto, "Improving Elevator Performance Using Reinforcement Learning", *Advances in Neural Information Processing Systems*, 8, 1996, pág. 56 a 68.
- A. Cuadrado, A. Prado, *Casos prácticos de contabilidad financiera para economistas*, Editorial Complutense, Madrid, 2004.
- V. Dahl, "Un Système Déductif d'Interrogation de Banques de Données en Espagnol « , *Proceedings International Conference on Natural Language Processing*, Paris, 1977.
- J. L. Arquero, S. Jiménez, *Introducción a la contabilidad financiera*, Pirámide,

Madrid, 2011.

-F. de Arriaga, "Expert Systems in the Educational Environment", *Proceedings European Workshop on Education*, Madrid, 1984, pág. 105-129.

-F. de Arriaga, *Los Sistemas Expertos en la Empresa*, Escuela de Organización Industrial, pág. 1-210, 1985.

-F. de Arriaga, *Simulación e Inteligencia Artificial: Aplicaciones a la defensa*, Estado Mayor de la Armada, pág. 1-177, Madrid, 1986.

-F. de Arriaga, "Learning and Artificial Intelligence", *Proceedings International Symposium on Informatics and Education*, pág. 356-380, Montevideo, 1987.

-F. de Arriaga, "Prototype of Architecture for C³I (Command, Control, Communication and Information Center)", *Proceedings International Conference on Artificial Intelligent in Defence*, pág. 312-320, Avignon, 1990.

-F. de Arriaga, "Perspectivas Inmediatas de la Simulación en Defensa", *Ejército*, Vol. 642, pág. 67-72, 1993.

-F. de Arriaga, "El Fenómeno de la Simulación", *Ejército*, Vol. 642, pág. 58-66, 1993.

-F. de Arriaga, "Tecnología de Apoyo a la Simulación", *Ejército*, Vol. 642, pág. 73-80, 1993.

-F. de Arriaga, "Juegos de Guerra", *Ejército*, Vol. 642, pág. 87-93, 1993.

-F. de Arriaga, "Reingeniería de Procesos en las Administraciones Públicas", *Proceedings TECNIMAP'95 Jornadas sobre Tecnologías de la Información para la Modernización de las Administraciones Públicas*, pág. 235-257, Palma de Mallorca, 1995.

-F. de Arriaga, "Some Applications of Artificial Intelligence to Learning", Conferencia Invitada, *Proceedings II Conference on Engineering Learning Innovation*, pág. 127-149, Madrid, 1996.

-F. de Arriaga, "Hacia la máquina pensante", en *Tecnología Hombre y Ciencia*,

Fundación Universidad Empresa, Madrid, 1997, pág. 194-206.

-F. de Arriaga, "Visión General de la Ingeniería de Sistemas Informáticos: Arquitectura y Tecnologías", en *La Informática en la Armada*, Vol. 1, pág. 87-116, 1998.

-F. de Arriaga, *E-Knowledge Management, E-Learning and E-Commerce: An Evaluation of their Situation and Tendencies*, International Computer Science Institute, University of California (Berkeley), pág. 1-53, 2003.

-F. de Arriaga, "Intelligent E-Learning Systems: New Paradigm", Conferencia invitada, *Proceedings CARVI*, 2008.

-F. de Arriaga, J. M. Castillo, "Soluciones Técnicas del Planeamiento Artillero I", *Memorial de Artillería*, Vol. 156(2), pág. 31-42, 2000.

- F. de Arriaga, J. M. Castillo, "Soluciones Técnicas del Planeamiento Artillero II", *Memorial de Artillería*, Vol. 157(1), pág. 57-71, 2001.

-F. de Arriaga, M. El Alami, "Intelligent Prototype for Management Decision Making", *Proceedings International Conference on Informatics*, pág. 458-469, Buenos Aires, 1995.

-F. de Arriaga, M. El Alami, "PACIOLI: An Intelligent Environment for Learning Accounting", *Proceedings EDINEB International Conference*, Orlando, 1996, pág. 517-528.

-F. de Arriaga, M. El Alami, "Agent-Based Evaluation Generator", en *Advances in Technology-Based Education*, Vol. I, Formatex, 2003, pág. 316-322.

-F. de Arriaga, M. El Alami, "Multi-Agent Architecture for Intelligent E-Learning", *Proceedings 10th International Conference on Electronics, Circuits and Systems*, Sharjah, 2003, pág. 1228-1233.

-F. de Arriaga, M. El Alami, "Educación Centrada en el Estudiante: Aprendizaje por Problemas" en *Educación, Aprendizaje y Cognición*, ed: S. Castañeda, UAM, 2004, pág. 515-529.

- F. de Arriaga, M. El Alami, "NEOCAMPUS2: A Multi-Agent Environment for Educational Research and Applications", en *Innovation, Technology and Research in Education*, Iadat, 2004, pág. 194-199.
- F. de Arriaga, M. el Alami, "E-Learning: New Generation of Intelligent Web-Based Systems", *Proceedings 14th IEEE International Conference on Computer Theory and Applications*, Alexandria, 2004, pág. 191-199.
- F. de Arriaga, M. El Alami, "Fuzzy Intelligent E-Learning Systems: Assessment", *Journal of Advanced Technology on Education*, Vol. 1 (12), 2005, pág. 228-233.
- F. de Arriaga, M. El Alami, "Error Analysis for Intelligent E-Learning Systems", *Journal of Advanced Technology on Education*, Vol. 1 (9), 2005, pág. 187-191.
- F. de Arriaga, M. El Alami, "Evaluation of Fuzzy Intelligent Learning Systems", en *Recent Research Developments in Learning Technologies*, Vol. I, ed: A. Méndez, J. Mesa, Formatex, 2005, pág. 109-114.
- F. de Arriaga, M. El Alami, "E-Knowledge Management: Its Role for the Development of Intelligent E-Learning Systems", en *Recent Developments in Learning Technologies*, Vol. III, ed: A. Méndez, J. Mesa, Formatex, 2005, pág. 917-922.
- F. de Arriaga, M. El Alami, "Shallow and Deep Error Analysis for Intelligent E-Learning Systems", en *Technological Advances applied to Theoretical and Practical Teaching*, Iadat, 2005, pág.107-112.
- F. de Arriaga, M. El Alami, "Guidelines for the Evaluation of Intelligent E-Learning Systems", en *Technological Advances applied to Theoretical and Practical Teaching*, Iadat, 2005, pág. 142-147.
- F. de Arriaga, M. El Alami, "Multi-Agent Platform for Educational Research on Intelligent E-Learning", *Journal of Advanced Technology on Education*, Vol. 1(4),

2005, pág. 150-155.

-F. de Arriaga, M. El Alami, "Agents Control for Intelligent E-Learning Systems", *Proceedings IEEE International Conference IAWTIC'05 on Intelligent Agents, Web Technology and E-Commerce*, Viena, 2005, Vol. II pág. 877-884.

-F. de Arriaga, M. El Alami, "Intelligent Simulation Environment for Collaborative Decision Making and Learning", *Proceedings TESI-2005 International Conference on Training, Education & Simulation*, Maastricht, 2005, pág. 352-364.

-F. de Arriaga, M. El Alami, "Affective Computing and Intelligent E-Learning Systems", *Proceedings IADAT International Conference on Education e-2006*, Barcelona, 2006, pág. 115-120.

-F. de Arriaga, M. El Alami, "The Role of Pedagogic Agents for Intelligent Learning Systems", *Proceedings IADAT International Conference on Education e-2006*, Barcelona 2006, pág. 95-100.

-F. de Arriaga, M. El Alami, "MEDIC2: Evaluation of a Fuzzy Intelligent Learning System", *Proceedings International Conference on Computer Systems and Information Technology CSIT'06*, Amman, 2006, Vol. 2, pág. 127-138.

-F. de Arriaga, M. El Alami, A. Arriaga, M.S. Romero, "Connectionist Multi-Agent Environment for Filtering Massive Internet Information", en *Innovation, Technology and Research in Networks*, Iadat, 2004, pág. 176-181.

-F. de Arriaga, M. El Alami, A. Arriaga, M. S. Romero, "Automatic Retrieval and Summary of Internet Information with Multi-Agent Architectures", *Proceedings ACIT'02 International Conference on Information Technology*, Doha, 2002, pág. 904-912.

-F. de Arriaga, M. El Alami, A. Arriaga, M. S. Romero, "FILTR: A Multi-Agent System for Solving the Information Filtering Problem", *Journal of Advanced Technology on Networks*, Vol. 1(1), 2005, pág. 23-29.

- F. de Arriaga, M. El Alami, A. Arriaga, F. Arriaga, J. Arriaga, "NEOCAMPUS: Multi-agent Software Environment for On-Line Learning", en *Educational Technology*, Vol. III, Formatex, 2002, pág.1355-1360.
- F. de Arriaga, M. El Alami, M. Escorial, "Syntagmatic Analysis for Spanish Processing", *Proceedings KFUPM International Workshop on Machine Translation*, Dhahran, 1996, pág. 147-158.
- F. de Arriaga, M. El Alami, A. L. Laureano, "Multi-Agent Simulation for Natural Systems", *Proceedings IASTED International Conference on Modeling and Simulation*, New Jersey, 1999, pág. 245-254.
- F. de Arriaga, M. El Alami, A.L. Laureano, J. Ramírez, "Fuzzy Logic Applications to Students' Evaluation in Intelligent Learning Systems", en *Advances in Informatics and Computation*, Vol. II, Aniei, 2003, pág. 161-169.
- F. de Arriaga, M. El Alami, A.L. Laureano, A. Ugena, "E-LEARNING: Una nueva Generación de Sistemas Inteligentes de Aprendizaje", *Revista de la Fundación "Rogelio Segovia"* Vol. III, Junio 2002, pág. 20-29.
- F. de Arriaga, M. El Alami, A. Ugena, "Acceleration of the Transfer of Novices into Experts: The Problem of Decision Making", *Proceedings BITE'01 International Conference*, Eindhoven, 2001, pág. 151-178.
- F. de Arriaga, M. El Alami, A. Ugena, "Multi-Agent Simulation as an Aid for Decision Making and Learning", *Proceedings KFUPM International Workshop on Information and Computer Science*, Dhahran, 1998, pág. 289-304.
- F. de Arriaga, A. L. Laureano, "Intelligent Learning Systems", Tutorial, *Proceedings ENC'01 International Conference*, Aguas Calientes, 2001, pág. 21-68.
- F. de Arriaga, A. L. Laureano, M. El Alami, "Multi-Agent Architectures and Applications", Tutorial, *Proceedings MICAI'2000 International Conference on Artificial Intelligence*, Acapulco, 2000, pág. 23-57.
- F. de Arriaga, A. L. Laureano, M. El Alami, "Some Applications of Fuzzy Logic

to Intelligent Tutoring Systems”, en *Educational Technology*, Vol. II, Formatex 2002, pág. 1222-1227.

-F. de Arriaga, A. L. Laureano-Cruces, G. Espinosa-Paredes, “Agent-Based Fuzzy Control of a Geothermal Simulator, *Advances in Informatics and Computation* Vol. III, ANIEI, pág. 378-391, 2004.

-F. de Arriaga, C. Oñate, “Prototype of an Intelligent Tutoring System in Connection to Computer-Aided Instruction Courses”, *Proceedings SEFI International Congress*, pág. 245-253, Turku, 1991.

-P. del Campo, *Contabilidad Financiera*, Ediciones Académicas, Madrid, 2010.

-J. del Peso, F. de Arriaga, “Automatic construction of ontologies for Intelligent E-Learning Systems”, *World Congress on Engineering and Computer Science (WCECS 2007)*, San Francisco, 2007, pp. 463-468.

-J. del Peso, F. de Arriaga, “Intelligent E-Learning Systems: Automatic Construction of Ontologies”, en *Current Themes in Engineering Technologies*, American Institute of Physics, 2008, pp.211-223.

-J. del Peso, F. de Arriaga, “Knowledge Management. Automatic Obtainment of Semantic Patterns”, *Proceedings International Technology, Education and Development Conference, INTED 2008*, Valencia, 2008, pp. 91.1-91.9.

-J. Delors, *Libro Blanco de crecimiento, Competitividad y Empleo*, Lisboa, 1993

-U. Demiray (ed.), *E-Learning Practices, Vol. I, II*, Anadolu University, Eskisehir, Turquía, 2010.

-J. D’Mello et al., “Integrating Affect Sensors in an Intelligent Tutoring System”, *Proceedings International Conference on Affect Computing and Intelligent Interaction*, Beijing, Springer Verlag, 2005.

-T. E. Doszkocs, J. Reggia, X. Lin, “Connectionist models and information retrieval”, en *Annual Review of Information Science and Technology*, Elsevier, Vol. 25, 1990, pp. 209-260.

- M. El Alami, F. de Arriaga, "Intelligent Simulation Environment for Interdisciplinary Projects", *Proceedings International Conference on Project-Work Studies*, Roskilde, 1997, pág. 136-145.
- M. El Alami, F. de Arriaga, "Web-Based Tutors for Collaborative E-Learning", en *Advances in Technology-Based Education*, Vol. III, Formatex, 2003, pág. 2009-2014.
- M. El Alami, F. de Arriaga, "Intelligent E-Learning Systems Based on *Mental Models*", en *Innovation, Technology and Research in Education*, *Iadat*, 2004, pág. 205-210.
- M. El Alami, F. de Arriaga, "The Role of Mental Models in the Design of Intelligent E-Learning Systems", *Journal of Advanced Technology on Education*, Vol. 1(3), 2005, pág. 101-106.
- M. El Alami, F. de Arriaga, A. L. Laureano, "Intelligent Simulation for Cooperative Decision Making", en *Advances in Computer Science*, Vol. 1, ANIEL, pág. 37-48, 2001.
- M. El Alami, F. de Arriaga, A. L. Laureano, "Simulación Inteligente para el Aprendizaje de la Toma de Decisiones", en *Educación, Aprendizaje y Cognición*, ed: S. Castañeda, UAM, 2004, pág. 545-555.
- M. El Alami, F. de Arriaga, A. Ugena, "SIMUL: A Simulation Environment for Interdisciplinary Project Work", en *Project Work*, Roskilde University Press, 1999, pp. 176-199.
- M. El Alami, F. de Arriaga, A. Ugena, "Educación Centrada en el Estudiante: Aprendizaje por Proyectos", en *Educación, Aprendizaje y Cognición*, ed: S. Castañeda, UAM, 2004, pág. 521-543.
- M. El Alami, A. Cuadrado, J. Sosa, F. de Arriaga, "From Computer-Aided Instruction to Multi-Agent Systems for Decision Making", *Proceedings 5th EDINEB International Conference*, Cleveland, 1998, pág. 37-50.

-
- M. El Alami, M^a Romero, F. de Arriaga, "New Methods for Student Learning Assessment", *Proceedings ICERI International Congress*, Madrid, 2010
 - M. El Alami, M. Romero, F. de Arriaga, "New Methods for Student Learning Assesment", *Proceedings ICERI International Congress*, Madrid, 2011.
 - M. El Alami, M^a Romero, F. de Arriaga, "Quality Assessment of Intelligent E-learning Systems", *Proceedings ICERI International Congress*, Madrid, 2011.
 - "elearningeuropa.info", en:
<http://www.elearningeuropa.info/main/index.php?page=home>
 - R. Elio, P. Scharf, "Modeling Novice- to-Expert Shifts in Problem-Solving Strategy and Knowledge Organization", *Cognitive Science* 14, 1990, pág. 579 a 639.
 - Enseñanza Virtual de Extremadura, <http://lmsextremadura.educarex.es>
 - K. A. Ericsson (ed.), [*The Road To Excellence: the Acquisition of Expert Performance in the Arts and Sciences, Sports, and Games*](#), 1996
 - K. A. Ericsson, *The Cambridge Handbook of Expertise and Expert Performance*, Cambridge University, 2006
 - L. Erman et al., "The Hearsay II Speech Understanding System", *Computing Surveys*, 12(2), 1980, pág. 213 a 253.
 - U. Felt (rap.) *Taking European Knowledge Society Seriously*, European Union, 2007
 - J. Ferber, *Multi-Agent Systems: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*, Addison-Wesley, Nueva York, 1999.
 - J. Flavell, *Cognitive development*, Prentice-Hall, 1985.
 - M. Fontela et al., *E-Learning: mejores prácticas y recomendaciones para organizaciones iberoamericanas*, Tecnonexo, Buenos Aires, 2003
 - K. D. Forbus, " Qualitative Process Theory", *Artificial Intelligence*. 24, 1984, pág. 85 a 168.
 - J. García, R. Koelling, "Relation of cue to consequence in avoidance learning",

Psychonomic Science, 4, 1966, pág. 123 a 134.

-L. Gasser, C. Braganza, H. Herman, "MACE: a Flexible Testbed for Distributed A.I.", en L. Gaser, M. Huhns (eds.) *Distributed A.I.*, 1989, pág. 119 a 153.

-D. Gentner, A. Stevens, *Mental Models*, Erlbaum, Nueva York, 1983.

-J. Girard, G. Gauthier, S. Levesque, "Une architecture multiagent", en *Proceedings of Second International Conference, ITS'92*. Lecture Notes in Computer Science No. 608, Springer-Verlag, 1992. pag. 172 a 182.

-A. Gregori, *Estándares en E-Learning: estado actual y previsiones de evolución*, Cámara de Valencia, 2003

-B. Grosz., et al., "The influence of social norms and social consciousness on intention reconciliation", *ArtificialIntelligence*, Vol. 142, 2002, pp.147-177.

-B. Grosz, S. Kraus, "Collaborative plans for complex group actions", *Artificial Intelligence*, Vol. 86, 1996, pp. 269-358.

-J. Hallebeck, *A Formal Approach to Spanish Syntax*, Amsterdam, 1992.

-F. Hayek, *The Use of Knowledge in Society*, The American Economic Review, September, 1945

-Junta de Andalucía, *Hercules-Portal Andaluz de E-Learning*, Formación para el Empleo,

-D. Howard, *Cognitive Psychology*, Macmillan, Londres, 1983.

-D. Howard, H. Gardner, *El desarrollo y la educación de la mente*, Paidós, Buenos Aires, 2012. [http://: prometeo3.us.es/publico/index.jsp](http://prometeo3.us.es/publico/index.jsp)

-<http://www.e-learningforkids.org/>

-C. J. Huang, S. S. Chu, C. T. Guan, "Implementation and performance evaluation of parameter improvement mechanisms for intelligent e-learning systems", *Computers & Education*, 2007.

-S. Huffman, J. Laird, "Flexible Instructable Agents", *J. of Artificial Intelligence Research*, Vol. 3,1995, pág. 271 a 324.

- N. Jennings, "Controlling cooperative problem solving in industrial multi-agent systems using joint intentions", *Artificial Intelligence*, Vol. 75, 1995.
- P. N. Jhonson-Laird, *Mental Models*, Cambridge University Press, Cambridge, 1983.
- L. P. Kaelbling, "An Architecture for Intelligent Reactive Systems" en J. Allen et al., (eds.), *Readings in Planning*, Morgan & Kaufmann, 1990, pág. 713 a 728.
- E. M. Kinard, "Perceived and actual academic competence in maltreated children". *Child Abuse and Neglect*, Vol. 25, 1, 2001, pág. 33-45.
- G. Klir, B. Yuan, *Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications*, World Scientific Press, 1995.
- S. Kraus, K. Sycara, A. Evenchik, "Reaching agreements through argumentation: a logical model and implementation", *Artificial Intelligence*, Vol. 104, 1998, pp. 1-69.
- J. Laird, P. Rosenbloom, "Integrating execution, planning and learning in SOAR for external environments", *Proceedings 8th National Conference on AI*, Boston, 1990, pág. 1022 a 1029.
- J. Laird, P. Rosenbloom, "The Evolution of the SOAR Cognitive Architecture", D. Steier, T. Mitchell, (eds.) *Mind Matters*, Erlbaum, Nueva York, 1996, pág. 1 a 50.
- P. Langley et al., *An Integrated Cognitive Architecture for Autonomous Agents*, Technical Report 89-28, University of California, Irvine, 1989.
- S. Laribi, G. Desroques, "A Novel Architecture Adapted to the Dynamic Parsing of Natural Language Texts", *Proceedings AI'95 International Conference on Language Engineering*, Montpellier, 1995
- J. Larkin, "Understanding Problem Representation and Skill in Physics", en S. Chipman et al. (eds.), *Thinking and Learning Skills*, Erlbaum, Nueva York, 1985.
- A. L. Laureano-Cruces, M. Mora-Torres, J. Ramírez-Rodríguez, F. de Arriaga,

“Operative Strategies Related to an Affective-Motivational Architecture to Achieve Instructional Objectives”, *ICGST-AIML Journal*, Vol. 11 (2), December 2011, pág. 15-20.

-A. L. Laureano-Cruces, J. Ramírez.Rodríguez, Martha Mora-Torres, Fernando de Arriaga, Rafael Escarela-Perez, “Cognitive-Operative Model of Intelligent Learning Systems Behavior”, *Interactive Learning Environments*, 2010, Vol. 18 (1),

-A. L. Laureano-Cruces, J. Ramírez, F. de Arriaga, R. Escarela, “Agents Control in Intelligent Learning Systems: The Case of Reactive Characteristics”, *Interactive Learning Environments*, Vol. 14 (2), 2006, pág. 95-118.

-A.L. Laureano, F. de Arriaga, “Técnicas Útiles de Implementación de la Simulación Inteligente” en *Educación, Aprendizaje y Cognición*, ed.: S. Castañeda, UAM, 2004, pág. 557-574.

-A.L. Laureano, A. Terán, F. de Arriaga, “A Learning Model Based on a Didactic Cognitive Approach: The Case of Single-Degree-of-Freedom Systems”, *Journal of Computer Applications in Engineering Education*, Vol. 12(3), pág. 152-164, 2004.

-A. L. Laureano, A. Terán-Gilmore, F. de Arriaga, “Un Enfoque Didáctico-Cognitivo del Análisis de los Sistemas de un Grado de Libertad”, *Revista Digital Universitaria, UNAM*, Vol. 4, pág. 21-42, <http://www.revista.unam.mx/vol.4>, 2003.

-A. L. Laureano, F. de Arriaga, “A Reactive Multi-Agent Intelligent Tutoring System” en *Advances in Informatics and Computation*, Vol. 1, pág. 367-385, 2002.

-A.L. Laureano, F. de Arriaga, M. García-Alegre, “Cognitive Task Analysis: A Proposal to Model Reactive Behavior”, *Journal of Experimental and Theoretical Artificial Intelligence*, Vol. 13(3), pág. 227-240, 2001.

-A. L. Laureano, F. de Arriaga, “Técnicas de diseño en Sistemas Inteligentes de Tutoría”, *Revista Digital Universitaria (UNAM)*, <http://www.revista.unam.mx/vol.2/>, Vol. 2(1), pág. 1-41, 2001.

- A. L. Laureano, F. de Arriaga, "Evaluación de Sistemas Inteligentes", en *Los Educadores ante el Reto de las Tecnologías de la Información y Comunicación*, Vol. 1, pág. 51-61, UNED, 2001.
- A. L. Laureano, F. de Arriaga, M. El Alami, "New Architecture for Intelligent Tutoring Systems Taking Into Account Reactive Agents", en *Advances in Computer Science*, Vol. II, 2001, pág. 87-98.
- A. L. Laureano, F. de Arriaga, "Reactive Agents Design for Intelligent Tutoring Systems", *Cybernetics and Systems*, Vol. 31(1), pág. 1-41, 2000.
- A. L. Laureano, F. de Arriaga, "Cognitive-Task Analysis: Modeling Reactive Conducts", *Révue Latine sur la Pensée et le Langage*, Vol. 9(1), pág. 15-33, 2000
- A. L. Laureano, F. de Arriaga, "Cognitive-Task Analysis: A Tool for Modeling Behaviors in Intelligent Tutoring Systems", *Révue Latine sur la Pensée et le Langage*, Vol. 4(2b), pág. 315-336, 1999.
- A. L. Laureano, F. de Arriaga, "Multi-Agent Architecture for Intelligent Tutoring Systems", *Interactive Learning Environments*, Vol. 6(3), pág. 235-270, 1998.
- A. L. Laureano, F. de Arriaga, "A Reactive Multi-Agent System for Intelligent Tutoring Systems", *Informática y Automática*, Vol. 30(6), pág. 71-84, 1997.
- A. L. Laureano-Cruces, I. Méndez-Gurrola, J. Sánchez de Antuñano, Fernando de Arriaga, "Aplicaciones de apoyo a pacientes con Alzheimer", *Actas VIII Congreso Internacional ANIEI*, Baja California, 2009.
- A. L. Laureano, A. Terán, F. de Arriaga, M. El Alami, "The Importance of Cognitive Strategies for Design of the Didactic Curriculum", *Proceedings II International Conference on Informatics*, Guadalupe, 2003, pág. 1-8.
- A. L. Laureano, J. Ramírez, F. de Arriaga, "Reactive Agents and Fuzzy Logic Elements for Modeling Intelligent Learning Systems", *Proceedings Iberoamerican International Conference on Information Technologies*, Orlando, 2002, pág. 491.1-

491.6.

-A. L. Laureano, F. de Arriaga, "Evaluation in Intelligent Learning Systems", *Proceedings International Congress on Informatics and Education*, Madrid, 2001, pág. 278-288.

-A. L. Laureano, F. de Arriaga, M. El Alami, "Learning Environment Characterization by Means of Mental Models", *Proceedings IASTED International Conference on Technology and Education*, Philadelphia, 1999, pág. 138-144.

-A. L. Laureano, F. de Arriaga, "An Intelligent Tutoring System to Teach an Integrated Skill", *Proceedings KFUPM International Workshop on Information and Computer Science*, Dhahran, 1998, pág. 156-168.

-A. L. Laureano, F. de Arriaga, "Domain Design for Intelligent Tutoring Systems", *Proceedings II Conference on Engineering Learning Innovation*, pág. 987-999, Madrid, 1996.

-D. Laurillard, *Rethinking Teaching for the Knowledge Society*, EDUCAUSE, 16, 2002

-J. LeDoux, *The emotional brain: The mysterious underpinnings of emotional life*. Weidenfeld and Nicholson, London, 1998.

-D. B. Lenat, "BEINGS; Knowledge as Interacting Experts", *Proceedings IJCAI*, 1975, pág. 126 a 133.

-J. Les, G. Cumming,, S. Finch, "Agent systems for diversity in human learning", *Artificial Intelligence in Education*, S.P. Lajoie, M. Vivet (eds.), IOS Press, 1999, pág. 13 a 20.

-V. R. Lesser, D, Corkill, "The Distributed Vehicle Monitoring Testbed", *AI Magazine*, 1983, pág. 15 a 33.

-J. Lilly, *Fuzzy Control and Identification*, John Wiley, New York, 2010.

-V. Lolordo, "Selective Association", en A. Dickinson, R. Boakes (eds.) *Mechanisms of learning and motivation*, Erlbaum, Nueva York, 1979.

- C. López Guzmán, F. García Peñalvo, *Estándares y Especificaciones para los Entornos e-learning: Convergencia en Contenidos y Sistemas*, Virtual Educa, Méjico, 2005.
- M. Luján, *Sintaxis y semántica del adjetivo*, Ediciones Cátedra, Madrid, 1980.
- P. Maes, *Designing Autonomous Agents: Theory and Practice*, M.I.T./Elsevier, 1990.
- O. McBryan, "GENVL and WWW: Tools for Taming the Web", *Proceedings 1st International WWW Conference*, Ginebra, 1994.
- D. Mc Donald, "An Efficient Chart-Baed Algorithm for Partial Parsing of Unrestricted Texts", *Proceedings 3rd Conference on Applied Natural Language Processing*, Trento, 1992.
- A. Mattelart, *Historia de la Sociedad de la Información*, Paidós, 2002
- R. E. Mayer, [*E-Learning and the Science of Instruction: Proven Guidelines for Consumers and Designers of Multimedia Learning*](#), John Wiley, 2008.
- J. Mendoza, *E-Learning, el futuro de la educación a distancia*, IE Business School, 2003.
- G. Mester, *Intelligent E-Learning Portal Development*, Sisy, 2004.
- T. Mitchell et al., "THEO: A Framework for Self-Improving Systems", en K. VanLehn (ed.), *Architectures for Intelligence*, Erlbaum, Nueva York, 1991, pág. 323 a 356.
- T. Mitchell, S. Thrun, "Learning Analytically and Inductively", en D. Steier, T. Mitchell (eds.) *Mind Matters*, Erlbaum, Nueva York, 1996, pág. 85 a 110.
- I. Monarch, J. Carbonell, "CoalSORT: A Knowledge-based interface", *IEEE Expert*, 1987, pág. 39 a 53.
- V. Montesinos, *Fundamentos de contabilidad financiera*, Pirámide, Madrid, 2010.
- A. Moreno, J. M. Goñi, "GRAMPAL: A Morphological Processor for Spanish Implemented in Prolog", *Proceedings GULP-PRODE'95 Joint Conference on*

Declarative Programming, 1995.

-M. Morera, *Estructura semántica del sistema preposicional del español moderno y sus campos de uso*, Cabildo Insular de Fuerteventura, 1988.

-H. Nakaiwa, S. Ikehara, "Verbal Semantic Attributes", *Proceedings 3rd Conference on Applied Natural Language Processing*, Trento, 1992.

-V. Nedeva, D. Nedev, *Evolution in the E-Learning Systems with Intelligent Technologies*, International Scientific Conference on Computer Science, 2008.

-M. Neff, B. Boguraev, "Dictionaries, Dictionary Grammars, and Dictionary Entry Parsing", *Proceedings 27th Annual Meeting*, Association for Computational Linguistics, Buffalo, 1988.

-A. Newell, "The Knowledge Level", *Artificial Intelligence*, Vol. 18 (1), 1982, pág. 87 a 127.

-A. Newell, *Unified Theories of Cognition*, Harvard University Press, Harvard, 1990.

-A. Newell, "Unified theories of cognition and the role of SOAR", en J. Michon,

-J. Novak, D. Gowing, *Aprendiendo a aprender*, Martínez Roca, Madrid, 1984.

-J. Novak, "Metalearning and metaknowledge strategies to help students learn how to learn", en L. Wset, A. Pines (eds.), *Cognitive structure and conceptual change*, Academic Press, Nueva York, 1985.

-J. Novak, "Learning science and science of learning", *Studies in Science Education* 15, 1988, pág. 77 a 101.

-J. P. Núñez Partido, *La Mente: la última frontera*, Universidad Pontificia de Comillas, Madrid, 2012.

-A. Ortony, G. Clore, A. Collins, *The Cognitive Structure of Emotions*, Cambridge, UK, Cambridge University Press, 1988.

-M. Panitc, *Affective Computing*, Idea Group Inc., 2005.

-Y. Pao, *Adaptive Pattern Recognition and Neural Networks*, Addison-Wesley,

Nueva York, 1989.

-Y. Pao, D. Sobajic, "Combined Use of Unsupervised and Supervised Learning for Dynamic Security Assessment", *IEEE Transactions on Power Systems*, 7 (2), 1992.

-W. Pedrycz, *Fuzzy Sets Engineering*, CRC Press, Boca Raton, 1995.

-H. Perera Rodríguez, *Estudio de la Interacción didáctica en E-Learning*, Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, 2007.

-S. Philips, Y.Pao, D. Sobajic, "Neural-Net Computing and the Intelligent Control of Systems", *International Journal of Control*, 56 (2), 1992, pág. 263 a 289.

-J. Piaget, *The Psychology of Intelligence*, Routledge, nueva impresión, 2001.

-R. W. Picard, *Affective computing*. The MIT Press, Cambridge MA, 1997.

-R. W. Picard, S. B. Daily, "Evaluating Affective Interactions: Alternatives to asking what users feel," *Proceedings International Conference on Affect Computing and Intelligent Interaction*, Beijing, Springer Verlag, 2005.

-R.W, Picard et al., "Affective Learning—A Manifesto", *BT Technology Journal*, Vol. 22 (4), 2004, pág. 253-269.

-B. Pinkerton, "Finding what People Want: Experiences with the Web Crawler", *Proceedings of the 2nd International WWW Conference*, Chicago, 1994.

-P. Pintich et al., *A Manual for the Use of the Motivated Strategies for Learning Questionnaire*. Michigan:, Technical Report 91-B-004, The Regents of The University of Michigan, 1991.

-J. Pozo, *Teorías cognitivas del Aprendizaje*, Morata, Madrid, 1989.

-J. Pozo, *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*, Visor, Madrid, 1987.

-J. Psozka, L. Dan Massey, Sh. Mutter, (eds.), *Intelligent Tutoring Systems*, Lawrence Erlbaum Assoc., Hillsdale, 1988.

-Z. Pylyshyn, "The Study of Cognitive Architecture", en D. Steier, T. Mitchell, (eds.), *Mind Matters*, Erlbaum, Nueva York, 1996, pág. 51 a 74.

- A. S. Rao, M. P. Georgeff, "BDI-agents: from theory to practice", *Proceedings 1st International Conference on Multi-Agent Systems*, San Francisco, 1995.
- F. Rickett, *AXSYS: An Intelligent System for E-Learning*, *Kybernetes*, Vol. 36, n^o 3-4, 2007, pág. 476-483.
- M. Rivero, *Estudios de gramática generativa del español*, Ediciones Cátedra, Madrid, 1980.
- M. Romero, *La Formación de Directivos en España: sus Características e Impacto sobre los Resultados*, Tesis Doctoral, UNED, 2009.
- A. Rosen, [*E-Learning 2.0: Proven Practices and Emerging Technologies to Achieve Real Results*](#), AMACOM, 2009
- T. Ross, *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, John Wiley, 3^a ed., New York, 2010.
- J. M. Ruiz Vargas, *Memoria y Olvido: perspectivas evolucionista, cognitiva y neurocognitiva*, Trotta, Madrid, 2002.
- D. Rumelhart, "Schemata: the building blocks of cognition", en R. Spiro, B. Bruce, W. Brewer, (eds.) *Theoretical issues in reading comprehension*, Erlbaum, Nueva York, 1981.
- D. Rumelhart, J. McClelland and PDP group, *Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition*, Bradford Books, 1986.
- S. Russell, P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*, Prentice-Hall, 2009.
- J. Ryder, R. Redding, "Integrating Cognitive Task Analysis into Instructional Systems Development", *Educational Technology Research & Development.*, Vol. 41, No. 2, 1993, pp 75-96.
- W. Schneider, W. Oliver, "An Instructable Connectionist/Control Architecture", en K. VanLehn (ed.) *Architectures for Intelligence*, Erlbaum, Nueva York, 1991, pág. 113 a 147.

- T. Seamster et al., "Cognitive Task Analysis of expertise in air traffic control", *International Journal of Aviation Psychology*, 5, 1995, pág. 46 a 58.
- J. Shanteau, *Expert Decision Making: Psychological Explorations of Competence*, Cambridge University Press, 1993.
- J. Staszewski, "Skilled Memory and Expert Mental Calculation", en M. Chi, R. Glaser, M. Farr (eds.), *The Nature of Expertise*, Erlbaum, Nueva York, 1988.
- K. Sycara, M. Roboam, "An Architecture for Enterprise Modeling and Integration" en N. Avouris et al., (eds.) *Distributed Artificial Intelligence: Theory and Practice*, Kluwer Academic, 1992.
- S. Stankov, V. Glavinic, M. Rosic, *Intelligent Tutoring Systems in E-Learning Environments*, IGI Global, 2011
- S. Tannenbaum, G. Alliger, *Knowledge Management Clarifying the Key Issues*, IHRIM, 2000.
- M. Tambe, "Towards Flexible Teamwork", *J. of Artificial Intelligence Research* Vol. 7, 1997, pp.83-124.
- P. Tzouveli, P. Mylonas, S. Kollias, "An intelligent e-learning system based on learner profiling and learning resources adaptation", *Computers and Education*, 2008.
- A. Ugena, F. de Arriaga, "The Fourier Flat Net: An Approximator on Compact Sets", *International Mathematical Journal*, Vol. 2(10), pág. 971-989, 2002.
- A. Ugena, F. de Arriaga, M. El Alami, "Neural Network Architectures: New Strategies for Real Time Problems", en *Computing and Information Technologies: Exploring Emerging Technologies*, World Scientific Pub. Comp., 2001, pág. 146-159.
- A. Ugena, F. de Arriaga, M. El Alami, "Speaker-Independent Speech Recognition by Means of Functional-Link Neural Networks", *Proceedings IEEE International Conference on Pattern Recognition*, Barcelona, 2000, pág. 467-473.

- A. Ugena, F. de Arriaga, M. El Alami, "Phoneme Recognition by Means of Functional-Link Neural Networks", *Proceedings CIMASI'2000 International Congress on Applied Mathematics*, Casablanca, 2000, pág. 106-116.
- A. Ugena, F. de Arriaga, M. El Alami, "Neural Network Architecture for Function Approximation", *Proceedings CIMASI'98 International Congress on Applied Mathematics*, Casablanca, 1998, pág. 46-58.
- Universitat Oberta, <http://www.uoc.edu>
- M. Urretavizcaya, "Sistemas Inteligentes en el ámbito de la Educación". *Inteligencia Artificial*, 2001, pág. 5 a 12.
- A. Valente, "Knowledge level análisis of planning systems", *SIGART Bulletin* 6(1), 1995, pág. 33 a 41.
- K. VanLehn (ed.), *Architectures for Intelligence*, Erlbaum, Nueva York, 1991.
- M. de Vega, *Introducción a la Psicología Cognitiva*, Alianza, Madrid, 1984.
- L. Vygotsky, *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*, Austral, nueva edición, 2012.
- B. Wadsworth, *Piaget's Theory of Cognitive and Affective Development: Foundations of Constructivism*, Allyn and Bacon, 5th edition, 2003.
- K. Warwick, *Artificial Intelligence: the Basics*, Routledge, 2011.
- D. Weld, "Planning-Based Control of Software Agents", *Proceedings 3rd International Conference on Artificial Intelligence Planning Systems*, AAAI Press, 1996, pág. 268 a 274.
- E. Wenger et al., *Harvard Business Review on Organizational Learning*, Harvard Business School Press, 2001.
- D. Williams, H. Williams, "Auto-maintenance in the pigeon", *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 12, 1969, pág. 511 a 520.
- D. Woods, E. Roth, "Cognitive Systems Engineering", en M. Helander (ed.) *Handbook of Human-Computer Interaction*, North-Holland, Amsterdam, 1988.

- D. Woods, H. Poole, E. Roth, *The cognitive environment simulation as a tool for modelling human performance and reliability*, NUREG/CR-5213, U.S. Nuclear Regulatory Commission, Washington, 1990.
- H.J. Wu, S. Huang, *An Intelligent E-Learning System for Improving TQM Performance*, ICIT 07, 2007.
- M. Yela, "La evolución del conductismo", *Análisis y modificación de la conducta*, 6 (11-12), 1980, pág. 179 a 197.
- K. Yu, *Statistical Learning Approaches to Information Filtering*, Tesis Doctoral, Facultad de Matemáticas, Computación y Estadística, Universidad LMU, Munich, 2004.
- S. Yuen, H. Yan (eds.), *Collective Intelligence and E-Learning 2.0: Implications of Web-Based Communities and Networking*, IGI Global, 2009.
- L. Zadeh, *Berkeley Initiative in Soft Computing*, University of California, Berkeley, 2012.
- D. Zhang, "Virtual mentor and the lab system-toward building an interactive, personalized, and intelligent e-learning environment", *Journal of Computer Information Systems*, 2004.
- Zongmin Ma, *Web-Based Intelligent E-Learning Systems*, Information Science Publishing, 2006.
- [Zongmin](#) Ma, [Yan, Li](#), *Soft computing in XML data management: intelligent systems from decision making to data mining, web intelligence and computer vision*, Springer, 2010.

APÉNDICE A

Detalles del diseño detallado del prototipo MEDIC

A) Funciones y tipos más importantes, comunes a las clases de MEDIC.

enum Direc { COMERCIAL, RECURSOSHUM, COMPRAS, FARMACIA, SECRETGEN, FINANZAS, DIRTECNICA, SERVCLIN, RECUPER, PROCINFORM, LABORAT, LIMPIEZA, MANTENIM, ARCHIVO, RESTAURACION, NINGDIR, TODOSDIR };

enum Hardware { Terminal, PC, Servidor, Host, Ninghard, Todohard };

enum Software { Sistop, Softcom, Softaplic, Ningsoft, Todosoft};

enum Categoria { Oper, Admin, Tecnic, Titultecn, Titulsup, Director, Ningcat, Todocat };

enum Contr { Tempor, Fijo, Ningcontr, Todocontr };

enum Perfec { Pequen, Medio, Alto, Ningperfec, Todoperfec };

enum Sueldo { Sueldoper, Sueldadmin, Sueldtecnic, Sueldtittecnic, Sueldtitsup, Suelddir, Ningsueld, Todosueld };

enum Period { Diario, Mensual, Trimest, Semest, Anual, Ningperiod, Todoperiod };

enum Fracpago { Primpago, Segunpago, Tercerpago, Ningpago, Todopago };

enum PetrecSecret { Servclinic, Servmedic, NingpetrecSecret, TodopetSecret };

enum PetrecCompras { Oficin, Clinic, Medic, Sanit, Ningpetrecomp, TodorecCompras };

enum PetrecLabor { Diagn, Ningpetreclabor, Todopetreclabor };

enum Petrechumext { Juridico, Paralta, Ningpetrechumext,

```
Todorechumext };  
enum Petrechum { Empleado, Renov, Despido, Perfec, Ningpetrechum,  
    Todopetrechum };  
enum Petrecomerc { Congreso, Ningpetrecomerc, Todopetrecomerc };  
enum Petrecmanten { Repara, Ningpetrecmanten, Todopetrecmanten };  
enum Petrefinanz { Pagocomp, Pagoinformat, Pagocomerc, Pagoreparac,  
    Pagofarmac, Pagorestaur, Pagonomina, Financinformat, Financequipo,  
    Ningpetrefinanz, Todofinanz };  
enum Petrecarchivo { Archivo, Ningpetrecarchivo, Todoarchivo };  
enum Petrefarmac { Medicina, Ningpetrefarmac, Todofarmac };  
enum Petrefisiot { Rehabilit, Ningpetrefisiot, Todofisiot };  
enum Petrecrestaura { Comida, Refrigercongre, Ningpetrecrestaura,  
    Todorestaura };  
enum Petreclimp { Departamento, Congreso, Ningpetreclimp, Todolimpieza };  
  
enum Petrecinform { Hardware, Software, Ningpetrecinform, Todoinform };
```

B) Clases de MEDIC

Las clases fundamentales son:

```
class PersonalDept
```

(Incluye el identificador de objeto y un puntero a un objeto de la clase Personal);

```
class Trabajador
```

(Incluye la información relevante de cada empleado, como:

-fecha de alta en el Centro;

-fecha de baja;

-categoría;

- tipo de contrato;
- tipo de formación recibida;
- puesto de trabajo;
- rendimiento;
- fecha de vencimiento;
- renovación o cancelación;
- texto o informe;

class Equipo

(Incluye la clase de equipo, fecha de adquisición, clase de adquisición, elementos importantes, rendimiento o capacidad, unidades de trabajo, texto);

class Equipam

(Incluye una lista con punteros a objetos de la clase equipo);

Seguidamente se incluyen las clases relativas a los Inventarios y datos que actualizan los inventarios de cada Departamento. Por su heterogeneidad, no proceden de una clase común sino que han sido constituidas con plena independencia.

class InventarioSecret

(Incluye el inventario de Secretaría General y la lista de cobros y pagos con sus saldos mensuales, trimestrales semestrales y anuales. Controla las peticiones de recursos a la Dirección General y sus concesiones);

class Tdatoinvsec

(Materializa las peticiones de recursos de Secretaría General con su identificación, clase de recurso y fecha);

class InventarioComp

(Detalla las compras y consumos con sus saldos diarios, mensuales, trimestrales, semestrales y anuales);

class Tdatoinvcomp

(Describe las peticiones de recursos de Compras con su identificación, clase de recurso y fecha);

class InventarioFinanz

(Describe el inventario de Finanzas con la lista de pagos y sus plazos diarios y acumulados)

y análogamente las restantes, hasta un total de 26 clases.

En relación con los costes, tenemos:

class costes

(Incluye los costes siguientes:

-costes de servicios clínicos; -habitación; -quirófano;

-costes de Farmacia; -farmacia;

-costes de hostelería; -refrigerios;

-costes de compras; -compras;

-costes de limpieza; -limpieza;

-costes de hardware; -hardware;

-costes de software; -software;

-costes de reparación; -reparación;

-costes comerciales; -congresos;

-costes de recursos humanos; -contrato; -despido; -renovación; -

formación; -sueldos;

En cuanto al resto de la comunicación entre Departamentos, se realiza con las clases siguientes:

class Mensaje (Incluye elementos representativos como):

-tipo de mensaje;

-carga de trabajo;

-carga máxima;

- días mínimos de trabajo;
- cuerpo del mensaje;
- quitar carga;
- quitar días;
- dirección de origen;
- dirección de destino;
- privilegios;
- tipo de datos;

Esta clase se complementa con las relativas a los tipos de datos relativos a cada Departamento, que son:

class Tipodato

(Es la clase fundamental de la que proceden todas las relativas a los tipos de datos de los Departamentos. Incluye la dirección de origen, el recurso solicitado, la concesión o denegación, fecha y texto adicional). De ella derivan:

class Tipodatsecret

(Incluye además el tipo de petición, la petición del recurso, cantidad, fecha y posible fraccionamiento del pago, el recurso concedido);

class Tipodatcompra

(Acepta el tipo de petición, las unidades, origen, la concesión o denegación y mensaje adicional);

class Tipodatfinanz

(Incluye el tipo de petición, la clase de recurso solicitado, interés, plazo, entidad, concesión o denegación y fecha);

Así hasta un total de 13 clases.

C) Interfaz de MEDIC.

La clase TDV es la más importante; de ella derivan las clases que manejan las ventanas o interfaces correspondientes a cada agente.

class TDV

(Esta clase se ocupa de gestionar la información que aparece en las Ventanas/interfaces de la interfaz mediante su inicialización y cambios posteriores);

De ella proceden:

class TVCompras

(Presenta las unidades, su valor, las unidades almacenadas, su valor, las unidades consumidas, su valor, las unidades compradas, su valor, las unidades de equipamiento y su valor);

class TVSecret

(Presenta la información más importante relativa a este Departamento, como: la liquidez actual, la liquidez en distintos períodos, los cobros efectuados, los cobros pendientes, las unidades de equipamiento, etc.);

class TVDirec

(Presenta la información globalizada para la toma de decisiones, como:

- día, mes, año de Simulación;
- número de camas utilizables;
- número de quirófanos utilizables;
- costes de:
 - formación;
 - sueldos y salarios;
 - contratación;
 - despido;

- renovación de contrato;
- limpieza;
- reparación;
- restauración;
- compras;
- hardware;
- software;
- farmacia;
- comerciales;
- cuota de uso de quirófano;
- cuota de habitación;

y de manera análoga las clases que gestionan la información de los restantes Departamentos.