

Sistemas Inteligentes aplicados a la Educación

Diseño cognitivo

Arturo Caravantes

Universidad Politécnica de Madrid

c/ Profesor Aranguren s/n
28040 Madrid
España

Autor

Arturo Caravantes Redondo

Nº páginas: 185

ISBN: 978-84-96398-15-3

Fecha: marzo 2011



Sumario

PRÓLOGO.....	5
EL PROCESO DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE.....	11
<i>Teorías del aprendizaje</i>	<i>12</i>
<i>Procesos, estrategias y estilos de aprendizaje</i>	<i>15</i>
LA INTELIGENCIA DE LOS SISTEMAS EDUCATIVOS	23
<i>Paradigmas de los sistemas inteligentes</i>	<i>25</i>
<i>Sistemas hipermedia adaptativos</i>	<i>26</i>
<i>La Web semántica.....</i>	<i>32</i>
ARQUITECTURAS DE SISTEMAS.....	35
<i>Ontologías de sistemas educativos</i>	<i>46</i>
REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO.....	53
DISEÑO INSTRUCCIONAL	61
<i>Metodologías y principios instruccionales</i>	<i>64</i>
<i>Conocimiento instruccional.....</i>	<i>69</i>
<i>La evaluación</i>	<i>73</i>
MODELADO DEL DOMINIO	79
MODELADO DEL ALUMNO.....	93
MODELADO OPERATIVO.....	105
NEUROCIENCIA COGNITIVA	109
<i>La estructura cognitiva y la memoria.....</i>	<i>111</i>
<i>La percepción</i>	<i>116</i>
<i>El conocimiento y el lenguaje.....</i>	<i>117</i>
<i>Las emociones.....</i>	<i>122</i>
<i>Metacognición y control</i>	<i>125</i>
MODELADO COGNITIVO.....	133
ESPECIFICACIONES Y ESTÁNDARES EDUCATIVOS.....	143
BIBLIOGRAFÍA	151
GLOSARIO DE SIGLAS.....	183

Prólogo

Dada la importancia del sector educativo en la sociedad, los gobiernos y las instituciones públicas y privadas están dedicando importantes recursos al desarrollo e implantación de las tecnologías educativas (*LTS: Learning Technology Systems*), con el objetivo de aumentar el acceso a los recursos educativos y fomentar la creación de tecnologías escalables, eficientes e interoperables.

En los últimos años se han extendido los dispositivos y redes digitales de comunicación en muchos ámbitos de uso personal y profesional. Este desarrollo ha proporcionado la infraestructura necesaria para la evolución de los tradicionales sistemas de educación asistida por ordenador (*CBI: Computer Based Instruction*) a complejos sistemas de educación telemática basados en las nuevas formas de computación en *Cloud* y en *Grid*. Paralelamente han surgido nuevos dispositivos que amplían las formas de interacción hombre-máquina, mediante nuevos sistemas de diálogo e interfaces RIA que incorporan realidad virtual o aumentada para mejorar la empatía y la orientación del usuario.

La educación virtual conlleva considerables beneficios relacionados principalmente con el coste de difusión e impartición, lo que está despertando un inusitado interés en el ámbito empresarial. Actualmente sus beneficios didácticos están todavía en cuestión y dependerán principalmente del buen uso que se haga de las tecnologías de e-learning. El simple uso de las tecnologías educativas no se traduce necesariamente en una mejora del aprendizaje.

Desde antes de la aparición del primer computador *Thorndike* (1912) ya especulaba con la enseñanza programada automática. La disciplina se materializó a mediados del siglo XX cuando *Skinner* (1958) adaptó la *Teaching Machine* de *Pressey* (1927) en su *enseñanza programada*. Esta teoría conductista no da importancia a los procesos mentales, centra el esfuerzo en la estructura y presentación de los

contenidos y en la evaluación de la conducta del alumno. En los sistemas conductistas más evolucionados, la evaluación del aprendizaje se emplea como sistema de realimentación para generar las acciones correctoras de la conducta del alumno.

La incorporación de técnicas procedentes de la inteligencia artificial perfeccionó el modelo conductista de *Skinner* introduciendo un control de la instrucción adaptada al comportamiento del alumno siguiendo el paradigma del *tutor inteligente* (ITS: *Intelligent Tutoring Systems*). Dada la complejidad de construcción de estos sistemas se aplican a dominios restringidos en los que la codificación del conocimiento real permita el nivel de razonamiento requerido.

A mediados de los años 60 surge el concepto de hiperenlace como nueva forma de estructuración del conocimiento, que se generaliza con la expansión de la WWW y transforma la tradicional educación a distancia en el *e-learning*. El auge de los *sistemas hipermidia* se debe fundamentalmente a las facilidades que ofrece Internet para su implementación y uso, tanto desde el punto de vista del profesor como del alumno.

Las empresas del sector desarrollan entornos de aprendizaje hipermidia que integran todas las funciones que intervienen en el proceso: gestión de cursos, presentación de contenido multimedia, intercambio de materiales, comunicación con los participantes, evaluación, laboratorios virtuales, etc. Este tipo de plataformas de aprendizaje recibe diferentes nombres como EVA (*Entornos Virtuales de Aprendizaje*), IDLE/VLE (*Integrated Distributed Learning Environments / Virtual Learning Environments*), IMS (*Instructional Management Systems*) o LMS (*Learning Management Systems*).

Los diseñadores de los principales VLE/LMS citados anteriormente se centran en la gestión de la información y la comunicación, despreocupándose del diseño y control pedagógico de las actividades. Debido a lo complicado del diseño, a la falta de consenso y al esfuerzo que requiere la elaboración de los contenidos, sólo algunos proyectos desarrollados en el ámbito universitario incorporan estrategias pedagógicas. La mayoría de los desarrollos en este campo se enmarcan dentro de los *sistemas hipermidia adaptativos* (AEHS: *Adaptive Educational Hypermedia Systems*), que utilizan algoritmos de ajuste del contenido de la interfaz del usuario según los datos conocidos del alumno. Este tipo de sistemas promueven una metodología instruccional que se ha demostrado como una de las más eficaces en relación con el aprendizaje significativo, sólo superada por algunos ITS de dominios específicos y por métodos activos basados en proyectos de difícil implantación y control en la educación a distancia.

La aplicación de técnicas derivadas de la inteligencia artificial a los servicios que ofrecen las plataformas educativas se encamina a la adaptación de la interacción al alumno para la mejora de la eficacia del proceso y la calidad del aprendizaje. Los

esfuerzos por desarrollar sistemas de tutorización inteligente o sistemas hipermedia adaptativos no se han trasladado a su uso extensivo en la red debido a la complejidad de implementación y a las restricciones de escalabilidad y de dominio.

Paralelamente a las tecnologías educativas, la psicología educativa ha evolucionado hacia nuevos paradigmas de la educación como el *Conexionismo*, el *Aprendizaje Situado* o el *Constructivismo Social*. El desarrollo de las tecnologías aplicadas a la educación muestra un fenómeno contradictorio y complementario en el que conviven los sistemas conductistas centrados en los contenidos, con las herramientas constructivistas *PLE (Personal Learning Environments)* centradas en el alumno y complementadas con sistemas de interacción social Web 2.0. Las principales plataformas educativas del mercado orientan el proceso de aprendizaje con una planificación docente basada en *actividades* que combina la pedagogía basada en contenidos con las últimas metodologías de aprendizaje en grupo (*GBL: Group Based Learning / CSCL: Computer Supported Cooperative Learning*).

Las tecnologías educativas más extendidas implementan un proceso instruccional con control conductual mediante estímulo-evaluación. El alumno percibe los contenidos y realiza su propia conceptualización que será evaluada a través de pruebas objetivas. Se trata de un control unidireccional de tipo *pasa/no-pasa* que obvia el funcionamiento interno del proceso de aprendizaje. A mediados del siglo XX surge el paradigma cognitivo de la enseñanza en el que se estudian los procesos mentales que intervienen en el aprendizaje en busca de la adecuación de los estímulos pedagógicos. Los avances en neurociencia y psicología cognitiva están aportando nuevas perspectivas en la comprensión del procesamiento mental que permiten establecer nuevas formas de regulación de la interacción. Incorporando estos avances al ámbito de las tecnologías educativas es posible introducir nuevos parámetros en el control del proceso para la mejora del aprendizaje: carga cognitiva/perceptiva, estado emocional, cambios cognitivos, etc. Estos controles cognitivos continúan utilizando una interpretación externa del funcionamiento interno de la mente mediante algoritmos inteligentes que estiman los estados del alumno. Los nuevos sensores emocionales como la detección facial, el tono de voz o parámetros fisiológicos, constituyen un paso fundamental en la mejora de los sistemas de control interno de proceso de aprendizaje.

Los investigadores en este campo experimentan con nuevas arquitecturas para dotar de inteligencia a los sistemas educativos. Todos ellos plantean simuladores del procesamiento mental, desde una perspectiva micronivel-conexionista hasta el punto de vista macronivel derivado de los trabajos sobre la *Máquina Consciente*. Estos desarrollos definen una arquitectura altamente conexcionada e inconsistente que regula funciones cerebrales como la atención, la contextualización o la predicción sensorial con el objetivo de abarcar toda la funcionalidad del razonamiento consciente.

Las acciones educativas a distancia más habituales se fundamentan en contenidos codificados de forma implícita con poca o nula descripción interna. Este hecho limita las capacidades de control de los sistemas automáticos que requieren un conocimiento instruccional modular, reutilizable, incremental, altamente descrito e independiente de la presentación. Los profesores-autores elaboran los materiales didácticos de forma artesanal, partiendo de su propia intuición y talento, sin tener en cuenta los factores de flexibilidad que proponen los ingenieros de conocimiento.

Del mismo modo que las metodologías didácticas han evolucionado desde la perspectiva del profesor como transmisor del conocimiento hasta centrarse en el aprendizaje del alumno, igualmente las tecnologías de la información y la comunicación se transforman progresivamente en tecnologías del conocimiento. En los últimos años ha surgido una nueva disciplina, la *Ingeniería Ontológica*, que involucra múltiples campos de actuación científica (ciencias de la información, ingeniería del conocimiento, lingüística, bases de datos...) y cuyo objetivo es dar respuesta a la existencia misma del conocimiento, sus primitivas, su estructura y su codificación independiente del dominio.

La nueva forma de entender la Web como información dotada de significado ha multiplicado el interés por las ontologías como forma de especificación del conocimiento en el marco de la *Web semántica*. La educación virtual no ha quedado al margen de esta nueva línea de desarrollo y se han propuesto múltiples mejoras para la codificación, integración y compartición del conocimiento educativo en forma de ontologías en la *Web semántica educativa*. La incorporación de nuevas capacidades de procesamiento automático distribuido mediante la Web de datos enlazados (*Linked Data*) pone a disposición de las plataformas de aprendizaje la información que limitaba sus posibilidades prácticas de adaptabilidad como el registro persistente de la información del usuario y el acceso a contenidos de dominio adaptados al alumno. Sin embargo, son muchas las deficiencias de integración e interoperabilidad de sistemas debido a la falta de un marco de referencia que establezca un lenguaje común y una conceptualización del proceso de enseñanza-aprendizaje virtual.

La necesidad de modelos de referencia comunes ha hecho que surjan nuevas iniciativas en las instituciones internacionales de estandarización (ISO, IEEE, CEN, W3C) y entidades orientadas específicamente al desarrollo de estándares de e-learning (ADL, IMS, EdNA). Los trabajos abarcan todos los ámbitos relacionados con la educación virtual: definición de arquitecturas, gestión docente, protocolos de comunicación, modelado del alumno y distribución de contenidos (metadatos, empaquetado, secuenciación y evaluación). Actualmente, los esfuerzos se centran en la liberalización y distribución automática de la información. Por un lado, las últimas especificaciones para el registro de objetos de aprendizaje en repositorios y los protocolos de búsqueda y consulta están impulsando nuevas iniciativas para la liberalización de los materiales

educativos (*OAI: Open Archives Initiative, OER: Open Educational Resources, OCW: Open Course Ware*). Por otro lado, se está aumentando el grado de consenso sobre los modos de seguimiento del alumno (personal, psicológico, episódico, competencial) y sus formas de distribución y persistencia en el tiempo.

La estandarización hace posible un sistema de educación virtual cada vez más conectado a nivel global, capaz de dar respuesta en tiempo real a las exigencias educativas en distintos formatos, metodologías e idiomas. Sin embargo, las actividades educativas continúan dependiendo de la planificación de un docente que debe estar en permanente puesta al día de los servicios educativos disponibles, las bases de recursos y las nuevas metodologías didácticas. Habitualmente, el profesor-tutor no sabe dónde guardar su información, qué sistema de comunicación emplear y cómo estructurar su docencia de forma coherente a largo plazo. Este hecho sugiere la creación de centros transversales de coordinación e integración de metodologías, recursos y plataformas educativas como el *Educational Technology Framework* de Australia.

Tradicionalmente, la psicología educativa, la comunicación, la inteligencia artificial y la neurociencia cognitiva han seguido sus propias líneas de investigación y han aportado avances significativamente aislados y desvinculados. Este libro pretende aunar los conceptos fundamentales de estos campos de investigación para impulsar el desarrollo de tecnologías educativas que mejoren el control y seguimiento interno del proceso de enseñanza-aprendizaje telemático centrado en el contenido.

El proceso de enseñanza-aprendizaje

En el diseño de un sistema de apoyo a la enseñanza y las acciones formativas que contempla, es esencial tener en cuenta las dimensiones del aprendizaje, sus teorías, procesos y estrategias, para poder adaptar la interacción al contexto. La psicología educativa se centra en el análisis del proceso de enseñanza-aprendizaje entendido como la interacción del alumno con un conjunto de actores y recursos, cuyo objetivo es aumentar o mejorar sus capacidades y competencias. Las teorías educativas analizan la eficacia del aprendizaje en función de los estímulos instruccionales. Los avances logrados en el último siglo respecto a la identificación de los procesos mentales que intervienen en el aprendizaje ha permitido sistematizar y justificar los métodos instruccionales (Reigeluth, 2000).

El marco de referencia de la dinámica educativa integra los 6 elementos básicos que recoge la Figura 1. Los actores principales del proceso, profesores/tutores y alumnos, interaccionan en un contexto físico (aula, plataforma...), emocional y cultural, en el que se activan los sistemas de aprendizaje cognitivo, afectivo y psicomotor del alumno para adaptar sus estructuras mentales a los nuevos conocimientos. Durante todo el proceso, los actores emplean sistemas de evaluación que estiman la aptitud y eficacia del aprendizaje. Además de alumnos y profesores, en los entornos virtuales de aprendizaje destacan también otros actores como autores, coordinadores y facilitares. Actualmente, todas las funciones del proceso son desarrolladas por personas, excepto la función del profesor/tutor que puede ser desarrollada íntegramente por una máquina. En un futuro, las máquinas podrán ser también autores, coordinadores e incluso alumnos.

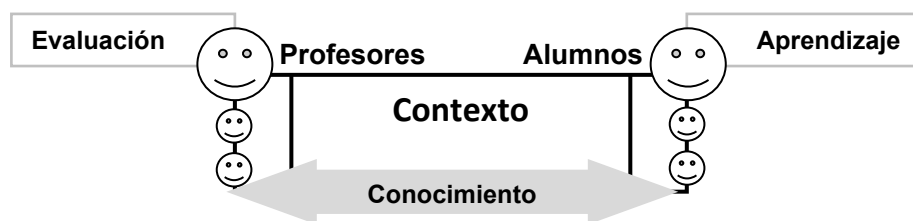


Figura 1. Marco de referencia del proceso educativo.

Teorías del aprendizaje

A lo largo de la Historia, la educación ha evolucionado influida por los cambios científicos, sociales y tecnológicos. Desde el comienzo de la humanidad y aún en nuestros días, la transmisión del conocimiento ha seguido un procedimiento poco sistemático basado en la interacción del individuo con el grupo a lo largo de su vida. Los filósofos de la Grecia clásica sistematizaron el proceso de enseñanza parcelando el conocimiento para facilitar el aprendizaje haciéndolo más efectivo y coherente. La rigidez y la exigencia de este método condujeron a la creación de élites y clases sociales que resultaban incompatibles con la humanización de la educación. Desde principios del siglo XX, comienzan a plantearse nuevas formas educativas basadas en el acercamiento del alumno al conocimiento en un proceso natural y autorregulado (Dewey, 1998). Finalmente, el desarrollo de las TIC en la última década del siglo XX, ha hecho que surjan nuevas formas de educación, que podríamos denominar *Caótica*, en las que el alumno dispone de libre acceso generalizado a la información y múltiples formas de interacción.

Las teorías del aprendizaje han seguido un camino paralelo a la propia evolución educativa, incorporando progresivamente nuevas corrientes pedagógicas y metodologías que, desde enfoques estructuralistas, conductistas y de procesamiento de la información, derivan en nuevos paradigmas de tipo cognitivo, constructivista y social. Las teorías de aprendizaje no son excluyentes, cada una de ellas incorpora parte de los supuestos de las teorías anteriores respecto a los factores que influyen en el aprendizaje y el tipo de instrucción más adecuada.

La teoría conductista se fundamenta en que el aprendizaje se establece por la vía de la asociación de respuestas a estímulos. El alumno se convierte en un sujeto pasivo, completamente influenciado, que se analiza exclusivamente a partir de su conducta, sin contemplar los procesos mentales internos que se consideran insondables. Esta teoría surge a principios del siglo XX con los trabajos de *Watson* y *Pavlov* sobre el *Reflejo Condicionado* y se concreta en los enunciados del *Conexionismo* (Thorndike,

1912), en el *Aprendizaje por Asociación* de Ebbinghaus, en la *Sistemática de la Conducta* de Hull, en el *Condicionamiento Operante* de Skinner (1970) y en el *Conductismo Propositivo* de Tolman. En este último trabajo, comienzan a observarse los primeros intentos de justificación cognitiva del aprendizaje a través de los procesos internos de inferencia, anticipación, comprobación de hipótesis, etc. Los fundamentos del conductismo continúan aplicándose hoy en día en muchos de los desarrollos basados en las tecnologías de la información.

La elaboración de conceptos, la retención de información, el establecimiento de categorías, etc. forman parte de los interrogantes sobre el procesamiento mental que han sido objeto de estudio desde el principio de la Filosofía. A mediados del siglo XX, confluyen varias líneas de trabajo sobre el estudio de la mente que inician la denominada *Ciencia Cognitiva*: la *Psicología de la Gestalt* (Wertheimer, 1956) en Alemania; la *Psicología Genética* de Piaget en Suiza y Francia; la escuela de Vygotsky en Rusia y las propuestas de Bruner en Estados Unidos.

La ciencia cognitiva exige un esfuerzo multidisciplinar que relacione los diversos aspectos culturales, la neurociencia y la lógica, para definir la inteligencia como distintas formas de procesamiento mental (Gardner, 1993; 1988) en el que intervienen la percepción, la memoria, el lenguaje, la intención/motivación/conducta y diversas formas de representación de la información. La *máquina de la teoría lógica* presentada por Newell y Simon en el *Simposio sobre Inteligencia* en Massachusetts y su posterior *GPS (General Problem Solving)* (Newell & Simon, 1972), el trabajo de Miller (1956) sobre el *mágico número 7* y los modelos del lenguaje de Chomsky (1975), hicieron surgir un nuevo enfoque para el estudio de la mente y de la inteligencia en el paradigma de *Procesamiento de la Información*. Las teorías computacionales, desarrolladas en el marco de la *Inteligencia Artificial*, emplean el modelo anterior dividiendo el procesamiento en subsistemas de memoria que interaccionan durante el razonamiento y el aprendizaje. Ejemplos de ello los encontramos en la *Teoría de Esquemas* de Rumelhart (1982; 1978), en el modelo ACT-R (Anderson & Lebiere, 1998) o en el sistema cognitivo MAP (Caravantes & Galán, 2011).

El constructivismo como paradigma educativo ligado al cognitivismo, fundamenta el aprendizaje como una labor individual de representación interna del conocimiento a partir de una realidad externa observable (Duffy & Jonassen, 1992). A partir de unas estructuras mentales iniciales básicas, el proceso de aprendizaje va acomodando las estructuras internas para hacerlas coincidir con las señales percibidas del mundo exterior (Ausubel et al., 1983; Piaget & Inhelder, 1978; Bruner, 1966). En contraposición al conductismo, el proceso instruccional constructivo es interactivo, autoestructurado y heurístico, como plantean la *Taxonomía del Aprendizaje* de Bloom (1956), los *Principios Instruccionales* de Gagné (1988), la *Teoría Transaccional* de Merrill (1999), la *Taxonomía SOLO (Structure of the Observed Learning Outcome)*

(Biggs, 2005; Biggs & Collis, 1982) o las *Teorías de Scaffolding* (Jonassen, 1999; Hogan & Pressley, 1997).

La visión individual de la construcción del aprendizaje planteada por los primeros teóricos cognitivistas de la educación como *Piaget* (1970) se ha complementado con aportaciones desde el punto de vista del aprendizaje en grupo en lo que se denomina *Constructivismo Social* (Bruner, 1995; Vigotsky, 1978). Con el desarrollo de las tecnologías de la información y la comunicación, el constructivismo social se materializa en trabajos teóricos dentro del paradigma de aprendizaje colaborativo CSCL (Cho et al., 2009; Barros, 1999; Koschmann, 1996) y plataformas de teleenseñanza como *Moodle* (2007).

En esta línea de socialización del aprendizaje surge con fuerza la idea de que el conocimiento está siempre vinculado e influido por la situación en la que se aprende: el entorno cultural, el contexto social, el ambiente físico y el estado emocional. Esta nueva tendencia crea el paradigma del *Aprendizaje Situado* (Daniels, 2003; Lave & Wenger, 1999; McLellan, 1995; Brown et al., 1989) en el que se alinean las teorías conexionistas y postmodernistas.

Los denominados postmodernistas (Sokal & Bricmont, 1999), en la línea del irracionalismo, marcan la diferencia entre la realidad exterior y la interpretación que se hace de ella dependiendo de la situación en la que se adquiera. El conexionismo (Edelman, 1992), como evolución del asociacionismo (Thorndike, 1912), modela el aprendizaje en base a conexiones neuronales no simbólicas que se adaptan a la experiencia del individuo por reforzamiento y decaimiento de las conexiones. Ambos enfoques se fundamentan en que la realidad no es unívocamente modelable sino interpretada y, como tal, el proceso instruccional debe tener en cuenta permanentemente el contexto multidimensional en el que se produce el aprendizaje, priorizando los entornos de interacción en grupo.

En función del nivel de procesamiento y de las características de representación interna del conocimiento, los teóricos del aprendizaje (Biggs, 2005; Reigeluth, 2000; Novak, 1998; Dewey, 1998; Jonassen, 1991; Gagné, 1985; Ausubel et al., 1983; Bloom, 1956) establecen distintas clasificaciones de los grados de aprendizaje que se resumen en la Tabla 1. Estos niveles de aprendizaje se ven reflejados en los métodos instruccionales que ofrecen las plataformas de aprendizaje y permiten establecer sus posibilidades y grados de eficacia instruccional.

Muchas de estas consideraciones de las teorías del aprendizaje han tenido su reflejo en el desarrollo de los modelos educativos de la enseñanza asistida por ordenador, fundamentalmente aquellas relacionadas con la adaptabilidad del proceso, la interacción en grupo y la construcción progresiva del aprendizaje (Chen, 2003). Dentro de los sistemas con orientación constructivista podemos distinguir dos

tendencias atendiendo al grado de libertad de los alumnos en su acceso a la información (Perkins, 1992): *BIG (Beyond the Information Given)*, no hay límites en el acceso a la documentación, el alumno puede basarse en los materiales aportados por el profesor o buscar otros; *WIG (With the Information Given)*, el profesor establece los documentos que formarán parte del proceso de aprendizaje y, en muchos casos, la secuencia instruccional lógica.

Bloom	Biggs	Jonassen	(otros)	
Conocimiento	Preestructural	Inicial	Implícito	Aprendizaje inconsciente que se crea fundamentalmente por repetición y genera respuestas automáticas.
	Uniestructural		Representacional	Asimilación memorística de datos en la que el alumno no pretende establecer relaciones cognitivas con su experiencia. Asignación de etiquetas a objetos y acciones, incluso antes de comprenderlos. Adquisición de habilidades y esquemas descriptivos básicos.
Comprensión	Multiestructural		Conceptual	Análisis de los componentes y atributos de una idea para crear una visión particular interna basada en los dados percibidos.
Aplicación		Proposicional	Combinación de conceptos expresada en forma de proposiciones.	
Análisis		Relacional	Experimental	Adquisición de conocimientos que completan los esquemas conceptuales para poder ponerlos en práctica.
	Reflexivo Significativo Subordinado Supraordinado Combinatorio		Identificación de los principios y las relaciones del concepto completo: Enumeración, Discrepancia, Inclusión, Oposición, Coordinación, Correspondencia... Interrelación de los nuevos esquemas conceptuales con el resto de la estructura cognitiva. Generación de información deducida e inducida para posibilitar el encaje coherente de la información. Fases: sugerencia, hipótesis, razonamiento y comprobación de la hipótesis.	
Síntesis	Abstracto	Experto	Creativo	Creación de nuevas visiones de la experiencia mediante reorganizaciones internas.
Evaluación				Valoración de lo aprendido estableciendo índices de veracidad

Tabla 1. Objetivos y grados de aprendizaje.

Procesos, estrategias y estilos de aprendizaje

Los trabajos de los teóricos en educación no muestran consenso en la descripción y clasificación de las formas en que los alumnos se enfrentan al aprendizaje. Dependiendo del autor nos encontramos con distintas terminologías en la que se mezclan los conceptos de proceso, estrategia y estilo de aprendizaje. Algunos autores como *Papanikolaou* (2006) distinguen los procesos cognitivos que un alumno pone en marcha durante su aprendizaje (*CS: Cognitive Style*) de la forma y actitud general en la que aborda el proceso (*LS: Learning Style*). Otros los consideran distintos nombres del mismo concepto (*Kaltz & Rezaei*, 2004).

El aprendizaje es un proceso no lineal en el que múltiples subsistemas mentales trabajan en paralelo con el fin de reorganizar las diferentes formas de conocimiento que maneja un individuo. Dependiendo del tipo de conocimiento que se intenta asimilar, el alumno pone en marcha distintos procesos cognitivos que, en sucesivas fases, le permiten abordar su aprendizaje. La clasificación de dichos procesos depende del punto de vista psicológico, pedagógico, cognitivo o instruccional del autor. Como visión general destacamos a continuación los 6 procesos cognitivos más habituales entre los analistas del aprendizaje (Beltrán, 1993; Shuell, 1993; Gagné, 1985) y que más puede influir en el diseño de los sistemas de enseñanza virtual:

- ▶ **Sensibilización / Expectativas / meta-atención.** Proceso que inicia y mantiene el aprendizaje a través de las funciones de motivación, actitud y afecto. Se favorece reduciendo la ansiedad y fomentando la participación activa y el refuerzo positivo.
- ▶ **Atención / Selección.** Proceso que selecciona la información que pasa a la memoria de trabajo en función de los objetivos. Mantiene varios subprocesos como la atención global (alerta), la atención selectiva o la atención sostenida.
- ▶ **Adquisición / Aprendizaje.** Proceso principal del procesamiento de la información formado por los subprocesos de comprensión, codificación, retención/memoria, transformación/construcción e Integración. Los conocimientos adquiridos se mezclan y acomodan con la experiencia del individuo mediante acumulación, refinamiento y reestructuración. El proceso de adquisición se ve altamente influido por las metodologías instruccionales como la elaboración de esquemas, las analogías, la fragmentación, la repetición, etc.
- ▶ **Control.** Meta-proceso del aprendizaje en el que el alumno controla la validez del conocimiento, fomenta el pensamiento crítico y regula el tiempo y el esfuerzo.
- ▶ **Recuperación.** Proceso que comprueba la efectividad del aprendizaje mediante la búsqueda de información en la memoria a través de señales descriptivas de atributos y categorías. El exceso de información y la escasa elaboración dificulta la recuperación.
- ▶ **Transferencia.** Proceso de generalización/abstracción de lo aprendido para aplicarlo a tareas semejantes.

Los procesos de aprendizaje son esencialmente inconscientes y forman parte del funcionamiento interno de la mente. Sin embargo, cuando un alumno se enfrenta a una tarea de aprendizaje desarrolla un conjunto de estrategias planificadas, automáticas y conscientes. Se trata de un meta-conocimiento definido por el lema “Aprender a aprender” que engloba un conjunto de técnicas aplicables en múltiples

entornos de aprendizaje que se resumen en la Tabla 2 (Esteban & Zapata, 2008; Monereo, 2002; Beltrán, 1993; Danserau, 1985).

Estrategias de procesamiento	
Repetición	Repetir en voz alta. Copiar varias veces. Tomar apuntes literales. Autopreguntarse.
Selección	Subrayar / anotar. Resumir. Esquematizar.
Elaboración	Resumir / Blogs / Wikis. Crear analogías. Tomar notas esquemáticas. Responder preguntas. Plantear preguntas al grupo. Crear reglas mnemotécnicas. Crear imágenes mentales.
Organización	Crear mapas conceptuales / ontologías / modelos. Crear jerarquías / cuadros / tablas.
Estrategias de apoyo	
	Fomentar la motivación. Enfocar la atención. Mantener la concentración. Regular la ansiedad. Mejorar el autoconcepto. Desarrollar actitudes. Seleccionar los medios.
Estrategias de control	
Planificación	Establecer objetivos. Identificar los conocimientos previos / prerequisites. Descomponer la tarea en subtarear. Caracterizar cada tarea en esfuerzo, tiempo, recursos, etc. Definir un calendario. Seleccionar la estrategia de aprendizaje adecuada.
Regulación	Ajustar el tiempo y el esfuerzo. Seguir el plan de tareas previsto. Formular preguntas. Redirigir la estrategias de aprendizaje.
Evaluación	Revisar los pasos dados. Valorar si se han conseguido los objetivos. Medir la calidad de los resultados. Decidir cuándo hacer pausas y hasta cuándo. Decidir cuándo se ha llegado al final.

Tabla 2. Estrategias de aprendizaje.

El modo en que un alumno selecciona sus estrategias determina su rendimiento en el aprendizaje. Los rasgos cognitivos, afectivos y fisiológicos predisponen al individuo al uso de una u otra estrategia al margen de las demandas específicas de la tarea (Keefe,

1987; Dunn & Dunn, 1984). Estos rasgos permanecen relativamente estables y, expresados conjuntamente, permiten clasificar a los alumnos por sus estilos de aprendizaje. La parametrización del comportamiento del alumno según su estilo de aprendizaje posibilita la creación de sistemas adaptativos que seleccionan el proceso instruccional que consideran más adecuado al alumno (López & Serrat, 2009; Mioduser & Dagan, 2007).

Establecer categorías es un artificio intelectual necesario para el razonamiento lógico y, como tal, ha formado parte de la mayoría de los trabajos teóricos desde el principio de la Filosofía. *John Locke* a finales del siglo XVII ya clasificaba a los individuos por su actitud frente al aprendizaje. Distinguía a los que emplean un razonamiento lógico (*reflective*) de aquellos que reaccionan por instinto (*passionate*) o por imitación (*indifferent*). Otras taxonomías documentadas de las distintas formas de hacer frente al aprendizaje las encontramos en la Tabla 3.

Existe una gran diversidad en las concepciones teóricas sobre la categorización de los estilos de aprendizaje. Entre ellas destacan el modelo *Onion* de Curry (1983), el modelo de estilos de Felder y Silverman (1988), los estilos cognitivos de Riding y Rayner (1998) o el ciclo de aprendizaje de Kolb (1999). Todos ellos plantean instrumentos de clasificación de los alumnos basados en cuestionarios como el *LSI* (*Learning Style Inventory*) (Kolb & Kolb, 2005), el *CSA* (*Cognitive Style Analysis*) (Riding & Rayner, 1998), el *ILSQ* (*Index of Learning Style Questionnaire*) (Felder & Soloman, 2004), el *CSI* (*Cognitive Style Index*) (Allison & Hayes, 1996) o el *MBTI* (*Myers-Briggs Type Indicator*) (Myers-Briggs et al., 1998).

La discrepancia en la categorización de los estilos de aprendizaje estriba en la forma de abordar la clasificación dependiendo del objetivo (Kolb, 1999; Riding & Rayner, 1998; Schmeck et al., 1991; Curry, 1983): modo de procesamiento mental, tipo de inteligencia, personalidad, tipo de contenidos, forma de interacción social, técnica de estudio, preferencias instruccionales o tipo de entorno de aprendizaje. Todas estas características forman parte del modelado del alumno pero no todas se consideran constituyentes directos de su estilo de aprendizaje. Por ejemplo, las múltiples inteligencias de Gardner (Kelly, 2008; Gardner, 1993): *Verbal-Lingüística*, *Musical*, *Lógico-matemática*, *Espacial*, *Corporal-Kinestésica*, *Naturalista*, *Interpersonal-Social* e *Intrapersonal-Emocional*, se emplean como referente de los estilos de aprendizaje. Sin embargo, Gardner rechaza este uso, afirmando que todos los individuos desarrollamos todos los tipos de inteligencia en mayor o menor grado y que adaptamos nuestra estrategia de aprendizaje según el tipo. Otros autores intentan demostrar que el hecho de que un individuo desarrolle más una inteligencia que otra determina su estilo de aprendizaje.

Actualmente, los entornos virtuales de aprendizaje incorporan nuevos métodos de estimación de los estilos de aprendizaje basados en el seguimiento de los modos de

interacción con el sistema (Graf et al., 2009) y escalas bipolares en las que un individuo queda caracterizado por un vector compuesto por varias dimensiones valoradas entre dos extremos cualitativos. El indicador de tipos de personalidad de *Myers-Briggs* (1998) o los estilos cognitivos de *Riding y Rayner* (1998) son ejemplos de este tipo de clasificaciones dimensionales.

Estilos mentales de <i>Gregorc</i> (1982)	
CS Concrete-Sequential	Trabajadores, convencionales, estables, perfeccionistas, fiables, realistas, organizados y coherentes.
AS Abstract-Sequential	Analíticos, objetivos, estructurados y sistemáticos.
AR Abstract-Random	Sensibles, comprensivos, imaginativos, idealistas, espontáneos y flexibles.
CR Concrete-Random	Alumnos intuitivos, rápidos, curiosos, realistas, creativos, innovadores, aventureros e instintivos.
Estilos mentales de <i>Sternberg</i> (1992)	
Legislativo	Formulan, planifican, crean ...
Ejecutivo	Siguen normas, imitan ...
Judicial	Evalúan, critican, opinan ...
Estilos de aprendizaje de <i>Mason</i> (1998)	
Profundo	Tienen intención de comprender y asimilar el conocimiento. Mantienen una fuerte interacción con el contenido. Motivación intrínseca.
Superficial	Tienen intención de cumplir los requisitos de la tarea. Memorizan la información necesaria para pruebas o exámenes. Motivación extrínseca.
Estratégico	Tienen la intención de obtener notas lo más altas posible. Optimizan el tiempo y el esfuerzo.
Estilos cognitivos (Chen & Macredie, 2002)	
FD Field Dependent	Sociables, optimistas, pasivos, poco racionales, expresivos, abiertos, sensitivos...
FI Field Independent	Estructurados, racionales, poco sociables, críticos...
Indicador de tipos de personalidad (Myers-Briggs et al., 1998)	
Relación con el mundo	<i>Introvert ↔ Extrovert</i>
Acceso a la información	<i>Intuitior ↔ Sensor</i>
Toma de decisión	<i>Thinker ↔ Feeler</i>
Actitud general	<i>Judger ↔ Perceiver</i> <i>Directivo/Práctico Perfeccionista/Adaptativo</i>
Estilos cognitivos (Riding & Rayner, 1998)	
Acceso a la información	<i>Wholist ↔ Analytic</i>
Canal de procesamiento	<i>Visual ↔ Textual</i>

Tabla 3. Escalas de estilos de aprendizaje.

La teoría del *Ciclo de aprendizaje* de Kolb (1999) (Figura 2) basada en el procesamiento de la información entre los estados de *observación*, *experimentación*, *concreción* y *abstracción*, da pie a la caracterización de los estilos de los alumnos por el tipo de información, por su forma de internalización y, principalmente, por la fase de procesamiento preferente. Se trata de un modelo de tipo iterativo, validado en España como modelo de aprendizaje experiencial por R.M. González Tirados (1989; 1986; 1985), que sirve de referencia para muchas de las teorías sobre estilos de aprendizaje (Riding & Rayner, 1998; Beltrán, 1993):

Por el tipo de información

- **ABSTRACTO:** Disciplinado, investigador, razonador, sistemático, ordenado, causal, perfeccionista y explorador.
- **CONCRETO:** Técnico, claro, seguro, útil, rápido, pragmático, decidido, positivo y objetivo.

Por la forma de internalización

- **ACTIVO:** Creativo, inventor, innovador, competitivo, protagonista, líder, participativo, aventurero, divertido, actualizado, pragmático y vital.
- **REFLEXIVO:** Prudente, paciente, argumentador, detallista, distante, previsor, inquisidor, recopilador, lento, investigador y cuidadoso.

Por la fase de procesamiento

- **DIVERGENTE / Diverger.** Sintético, empático, imaginativo, intuitivo, flexible, sociable, indeciso, con valores, no sistemático, no mecánico, no teórico y espontáneo. Buscan reflexiones y experiencias basadas en los sentimientos. Pregunta preferida: *Por qué*. Admiten instrucciones de tipo explicativo y amplia documentación relacionada con sus intereses futuros. El profesor debe ejercer de motivador.
- **ASIMILATIVO / Assimilator.** Pensador, Inductivo, sintético, teórico, con valores, analítico, sistemático, organizado, matemático, concreto, poco sociable e indeciso. Acentúan la observación y la conceptualización abstracta. Pregunta preferida: *Qué*. Admiten documentación estructurada y lógica. El profesor debe ejercer de experto y favorecer la reflexión.
- **CONVERGENTE / Converger.** Pragmático, racional, analítico, sistemático, organizado, inductivo, centrado, orientado a tareas, técnico, experimentador, intuitivo, mente cerrada, poco imaginativo, descentrado y no teórico. Buscan la solución de problemas de forma coherente no difusa, son técnicos no humanistas. Pregunta preferida: *Cómo*. Admiten procesos instruccionales activos en los que se pueda experimentar con seguridad. El profesor debe ejercer de tutor.
- **ACOMODADOR / Accommodator.** Intuitivo, oportunista, flexible, espontáneo, mente abierta, sociable, concreto, impulsivo, no teórico, dependiente y poco sistemático. Les gusta participar, las nuevas experiencias y el riesgo. Toman decisiones por intuición, por ensayo-error, sin reflexión. Pregunta preferida: *Qué... sí...*. Admiten procesos instruccionales de resolución de problemas reales en los que el alumno aprenda por sí sólo sin la intervención del profesor.

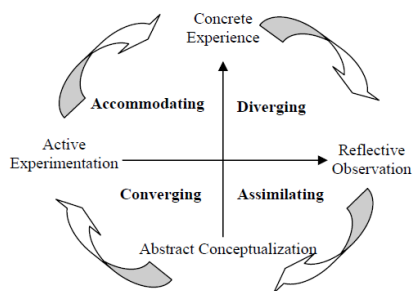


Figura 2. Ciclo de aprendizaje de Kolb.

El desarrollo de las tecnologías de la información y de las plataformas de aprendizaje hace surgir la necesidad de estándares educativos que faciliten la interoperabilidad y el intercambio sistematizado de información. Este hecho incide en la necesidad de acuerdo en la clasificación de los estilos de aprendizaje de los alumnos. Actualmente, el modelo de estilos de *Felder-Silverman* (1988) es la clasificación más extendida en este ámbito, que establece 5 escalas bipolares:

Contenidos

¿Qué tipo de información perciben preferentemente?

- **SENSITIVO.** Concreto, práctico, orientado a hechos y procesos.
- **INTUITIVO.** Conceptual, innovador, orientado a teorías y significados.

Canal

¿A través de qué modalidad se percibe la información cognitiva más eficientemente?

- **VISUAL.** Prefiere representaciones visuales como imágenes, diagramas ...
- **VERBAL.** Prefiere explicaciones orales o escritas.

Razonamiento

¿Con qué tipo de explicación se encuentra más cómodo?

- **INDUCTIVO.** Prefiere explicaciones de lo específico a lo general.
- **DEDUCTIVO.** Prefiere explicaciones de lo general a lo específico.

Interacción

¿Cómo prefiere procesar la información?

- **ACTIVO.** Aprende haciendo e interactuando con los demás.
- **REFLEXIVO.** Aprende pensando solo.

Actitud

¿Cómo funciona su aprendizaje?

- **SECUENCIAL.** Lineal, ordenado, dando pequeños pasos.
- **GLOBAL.** Pensamiento sistemático dando grandes saltos.

La asignación de estilos de aprendizaje a los alumnos tiene especial interés en su aplicación en la mejora de las capacidades adaptativas de los sistemas inteligentes aplicados a la educación. Los cursos hipermedia tradicionales como el *CS383-DOOM* de

Carver et al. (1999) fueron los primeros en incorporar los estilos de aprendizaje y le siguieron otros desarrollos hipermedia adaptativos como *ILASH* (Bajraktarkvic et al., 2003), *AES-CS* (Triantafillou et al., 2003) e *INSPIRE* (Papanikolaou et al., 2006). Este último, adapta el modo de presentación de los contenidos en el entorno de trabajo; dependiendo del estilo *activo*, *pragmático*, *reflexivo* o *teórico* del alumno, presenta el contenido en forma *interrogativa*, *expositiva teórica* o *expositiva práctica*.

La flexibilidad que ofrecen los entornos virtuales de aprendizaje (VTE/LMS) debería incidir en la mejora significativa del aprendizaje cuando se incorporan los estilos de aprendizaje del alumno al diseño instruccional. Sin embargo, no es un hecho completamente admitido entre la comunidad educativa. *Hui et al.* (2005) analizan el grado de influencia del estilo cognitivo en el comportamiento hipermedia (secuencial, guiado, libre, indexado...) y concluyen que determina exclusivamente el estilo de navegación lineal o no lineal. Otro estudio (Calcaterra et al., 2005) afirma que el estilo cognitivo no determina la forma de navegación ni el rendimiento académico, sino que son consecuencia directa de la metodología empleada. Por otro lado, *Lee* (2007) contradice las conclusiones anteriores indicando que el estilo cognitivo es un factor principal en el rendimiento académico del alumno en los entornos virtuales de aprendizaje.

La inteligencia de los sistemas educativos

La enseñanza asistida por ordenador es una actividad que se desarrolla en entornos de interacción hombre-máquina (Shackel, 1990) en los que intervienen 4 componentes: usuario, tarea, sistema y entorno. Los entornos virtuales de aprendizaje son los sistemas telemáticos que facilitan la interacción del alumno con un conjunto de servicios para el desarrollo de tareas de aprendizaje. Las aplicaciones más implantadas en el sector como Moodle, Blackboard/WebCT, LAMS, Sakai o .LRN, se centran en la presentación de materiales y cuestionarios siguiendo el proceso instruccional prefijado por un autor. Sin embargo, las TIC aportan la posibilidad de mejorar las capacidades inteligentes de este tipo de sistemas tanto en la gestión como en las funciones instruccionales y en la elaboración de los recursos educativos.

Los sistemas educativos telemáticos introducen al alumno en un entorno donde se fuerza la naturaleza orgánica y desordenada del aprendizaje y del conocimiento dentro de estructuras ciertamente rígidas. Cada vez más, los sistemas incorporan nuevas posibilidades que flexibilizan la interacción y permiten un aprendizaje más constructivo, reduciéndose además los inconvenientes inherentes a este tipo de tecnologías: aislamiento social, falta de motivación y tecnofobia. Sin embargo, actualmente los sistemas aplicados en la enseñanza mantienen deficiencias en los siguientes campos:

- **Elaboración de recursos.** *Las herramientas de autor y los formatos de contenidos requieren una formación especializada e inestable.*
- **Estándares.** *Los recursos y servicios raramente se reutilizan y comparten. No existen suficientes acuerdos a escala global.*

- **Representación del conocimiento.** *El conocimiento se codifica en estructuras jerarquizadas frente al conocimiento humano, inherentemente complejo, altamente conectado, difuso y ambiguo.*
- **Seguimiento.** *La persistencia y distribución de los datos de seguimiento del alumno no se implementa debido a problemas de confidencialidad.*
- **Conocimiento instruccional.** *Los contenidos se elaboran en estructuras rígidas e implícitas que limitan la flexibilidad del aprendizaje.*
- **Teorías instruccionales.** *Existe una separación entre la implementación instruccional y las teorías educativas.*
- **Interacción.** *Los alumnos no reciben una comunicación directa e inmediata necesaria para el aprendizaje (Yang & Liu, 2007).*
- **Control cognitivo.** *Los avances en la ciencia cognitiva no se trasladan a las plataformas de aprendizaje.*

La capacidad para individualizar el proceso de aprendizaje de forma que se adapte a la diversidad de los alumnos ha sido una de las principales bazas de los sistemas informáticos aplicados a la educación (Mylonas et al., 2007; Schmidt, 2007). Los sistemas de inteligentes aplicados a la educación (*IES: Intelligent Educational Systems / ILS: Intelligent Learning Systems / ILE: Intelligent Learning Environment / AIED: Artificial Intelligence in EDucation*) son programas de ordenador que emplean algoritmos derivados de la *Inteligencia Artificial* (Wenger, 1987) para adaptar los procesos educativos a las necesidades del alumno. La inteligencia de estos sistemas se resume en dos características fundamentales (Shute & Psotka, 1995), el *Diagnóstico* y la *Adaptabilidad*. Para que un sistema aplicado a la educación pueda ser considerado inteligente deberá demostrar las siguientes características (Murray, 1998):

- *Representación abstracta del conocimiento distinguiendo las relaciones conceptuales (conocimiento semántico) de la forma de enseñarlo (conocimiento pedagógico).*
- *Procesos de inferencia del estado del alumno.*
- *Procesos para la toma de decisión sobre la estrategia más adecuada al tema y al alumno.*
- *Estimaciones del coste-tiempo de procesamiento para dar una respuesta en tiempo real.*

Paradigmas de los sistemas inteligentes

A principios del siglo XX, *Thorndike* (1912) ya apuntaba la idea de un material auto-adaptado al alumno mediante una enseñanza programada en itinerarios. Con la aparición de los primeros ordenadores, surge en los años 50 la *Enseñanza Asistida por Ordenador* (CAI: *Computer Aided Instruction*) que consiste en la automatización de la instrucción programada en un ordenador (Skinner, 1958).

Con el auge de la inteligencia artificial en los años 70, surgen los denominados sistemas inteligentes aplicados a la educación (ICAI: *Intelligent Computer Aided Instruction*) (Carbonell, 1970) que finalmente convergen en los *Sistemas de Tutorización Inteligente* (ITS: *Intelligent Tutoring System*) definidos por *Sleeman y Brown* (1982). Este tipo de sistemas se restringen a dominios específicos, habitualmente de matemáticas o programación, y emplean estrategias de enseñanza basadas en resolución de problemas.

El concepto de hipertexto se define a mediados de los años 60 como una nueva forma de organización de la información. La utilidad de estos sistemas de información para usos educativos fue apuntada desde el primer momento debido a la capacidad para representar dominios conceptuales y mejorar la interactividad del entorno ofreciendo al alumno varios recorridos por mismo material. La aplicación de las técnicas de inteligencia a los nuevos entornos hipermedia que ofrece la WWW derivó en un nuevo paradigma de los sistemas inteligentes denominado *Sistemas Hipermedia Adaptativos* (AEHS: *Adaptive Educational Hypermedia Systems* / AIWBES: *Adaptive and Intelligent Web-Based Educational Systems*) que, en contraposición a los ITS, se aplica en procesos instruccionales genéricos de tipo conceptual (Brusilovsky & Peylo, 2003).

Las tendencias constructivistas de finales del siglo XX han orientado el desarrollo de sistemas que pretenden intervenir lo menos posible en el proceso, enmarcados en nuevo enfoque educativo denominado *Aprendizaje Cooperativo* (CSCL: *Computer Supported Cooperative Learning*) (Crook, 1998). Estos sistemas crean escenarios para el desarrollo de actividades en grupo siguiendo habitualmente metodologías basadas en proyectos (Henze & Nejd, 1997; Schank, 1996). La inteligencia de este tipo de sistemas interviene fundamentalmente en el guiado del proceso y en la corrección automáticamente de los trabajos en grupo mediante la comparación con un esquema de referencia (Biswas et al., 2005).

Además de los mencionados paradigmas: ITS, AHS y CSCL, Anderson (1988) plantea una clasificación de los sistemas inteligentes que engloba los anteriores e introduce el *Modelo Cognitivo*. Se trata de sistemas que se diseñan con el objetivo de mejorar las capacidades pedagógicas y la interacción con el sistema, mediante la simulación del conocimiento y el procesamiento mental del alumno como en *ACT-R* (Anderson et al., 2004; Anderson & Lebiere, 1998). Los avances en neurociencia y

psicología cognitiva están aumentando las capacidades de intervención de este tipo de sistemas (Caravantes & Galán, 2011).

Sistemas hipermedia adaptativos

Desde el origen de la escritura y debido a las limitaciones el papel, los documentos se han estructurado para ser leídos fundamentalmente de forma lineal. El desarrollo de nuevos sustratos para el registro de la documentación ha permitido introducir nuevos modos de lectura. El dispositivo *Memex* (Bush, 1945) constituye uno de los primeros ejemplos de división de la información en elementos vinculados, simulando el funcionamiento de la memoria de trabajo de un individuo. Más tarde, en el proyecto *Xanadú* para la creación de una biblioteca universal, *Nelson* (1965) introduce una nueva forma de lectura de información estructurada de forma no lineal a la que denominó *Hiperespacio*. Siguiendo este modelo, *Engelbart* (1968) desarrolla el sistema *NLS* (*oN Line System*) que integra por primera vez gráficos y textos en documentos hipertextuales. A lo largo de las siguientes dos décadas, dicho concepto se fue desarrollando en diferentes modelos, hasta que se implementa con toda su potencialidad en los navegadores de la WWW (*Berners-Lee*, 1989).

La introducción de elementos multimedia y la posibilidad de vinculación interna y externa hizo que se ampliara la denominación de *hipertexto* a sistemas *hipermedia* (*Nielsen*, 1990) que han sido objeto de grandes desarrollos e inversiones. Para centrar el tema, *Gall y Hannafin* (1994) plantean tres niveles en la definición y descripción de este tipo de sistemas que se resumen en la Tabla 4.

A finales del siglo XX con el uso generalizado de la WWW y la introducción de los servidores de aplicaciones, los grupos de trabajo en hipermedia se plantearon la mejora de los sistemas en dos líneas de investigación: sistemas abiertos (*OHS: Open Hypermedia Systems*) y sistemas adaptativos (*AHS: Adaptive Hypermedia Systems*), que finalmente confluyen en sistemas hipermedia inteligentes que aglutinan ambas funciones (*OAHS: Open Adaptive Hypermedia System*) (*Bailey et al.*, 2002).

Los sistemas abiertos (*OHS*) flexibilizan los hipervínculos creando una hiperestructura de enlaces que se procesan de forma independiente de los recursos asociados. Los mayores impulsos a este tipo de sistemas lo constituyen el desarrollo de protocolos para la interconexión de sistemas de tipo *OHP* (*Open Hypermedia Protocol*) (*Davis et al.*, 1998) y modelos de referencia como el *FOHM* (*Fundamental Open Hypermedia Model*) (*Millard et al.*, 2000). Hoy en día esta línea de trabajo se ha generalizado y ha derivado en desarrollos sobre lo que se conoce como *recuperación de información* (*AIRHS: Adaptive Information Retrieval Hypermedia Systems*) y *Linked*

*Data*¹ para sistemas de información, portales Web, sistemas de ayuda, vistas personalizadas, etc.

MICRONIVEL	Nodos	Fragmentos de información con representación perceptiva. En función de su presentación pueden ser <i>Estáticos</i> (un fotograma), <i>Dinámicos</i> (varios fotogramas lineales) o <i>Interactivos</i> (varios fotogramas no lineales). En función de su destino los nodos pueden ser de tipo <i>Frame</i> , <i>Inline</i> o <i>Popup</i> .
	Enlaces	Puntos de acceso a la información. Características: <i>Apariencia</i> (texto, imagen...), <i>Situación</i> (encabezado, índice...), <i>Interactividad</i> (ratón, teclado, temporizador...), <i>Estado</i> (activo, inactivo, invisible...), <i>Función</i> (navegar, ayudar, evaluar, presentar...) y <i>Tipo</i> (jerárquico, externo, prerrequisito...).
MACRONIVEL	Conocimiento	Fuente de información interconectada. Características: <i>Amplitud</i> , <i>Profundidad</i> , <i>Homogeneidad</i> , <i>Consistencia interna</i> y <i>Conectividad</i> .
	Estructura	Topologías de navegación (lineal, desestructurada, jerárquica...) y posibilidades de acceso a la información (índices, mapas, barra de accesos, botones adelante-atrás...).
	Interfaz	Mecanismo de presentación e interacción con el sistema. En función del canal de comunicación pueden ser <i>Abstractas</i> o <i>Visuales/Metafóricas</i> . En función del tipo de interacción pueden ser <i>Hipervinculadas</i> o de <i>Diálogo</i> .
CONTROL	Exploración	Cómo navegar por la información.
	Búsqueda	Cómo hacer consultas específicas.
	Creación	Cómo incluir nuevos nodos y enlaces.
	Copia	Cómo duplicar todo o parte de la información.

Tabla 4. Niveles de descripción de los sistemas hipermedia.

Los sistemas adaptativos (AHS) seleccionan los hipervínculos y los recursos que se muestran en la interfaz dependiendo de las características del usuario (Dolog, 2008; Brusilovsky, 1996). Los primeros trabajos en este campo se desarrollaron fuera de Internet como el sistema de información *HYPERFLEX* (Kaplan et al., 1993) y se generalizaron a partir de la liberalización de la WWW (Hook et al., 1996). Para que un sistema hipermedia pueda adaptar algunas características del contenido de la interfaz hipermedia, deberá disponer de una representación explícita del conocimiento, y mantener el estado y seguimiento del usuario.

Desde el punto de vista educativo, Los documentos hipermedia permiten, en cierta medida, simular los procesos que efectúa la mente humana mediante la asociación de fragmentos de información de diferente naturaleza. Este tipo de

¹ <http://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html>

codificación no secuencial conlleva estructuras de tipo conceptual que directa o indirectamente implican a la semántica de la información. El alumno es libre de navegar por la información dirigiendo su atención a los aspectos que encajen con sus necesidades cognitivas. Además, la información se presenta con variedad de estímulos (texto, imagen, sonido) para hacerla más amena y enriquecedora.

Estas características hipermedia pueden ser una gran ventaja para la eficacia en la transmisión de la información o convertirse en un obstáculo en algunos casos. El alumno puede desorientarse fácilmente cuando la documentación se encuentra altamente hipervinculada (Edwards & Hardman, 1999) y generar sobrecargas cognitivas muy perjudiciales para el aprendizaje. Además, la coexistencia de distintos flujos de navegación puede conducir a establecer relaciones conceptuales erróneas en lo que se conoce como *incorcondancia del conocimiento* (Murray et al., 2000). Finalmente, el abuso de los recursos multimedia puede incidir en la desfocalización de la atención, la sobrecarga sensorial y el aprendizaje superficial. La adaptabilidad en los sistemas hipermedia aplicados a la educación (*AEHS: Adaptive Educational Hypermedia System* / *AWBES: Adaptive Web-Based Educational System*) surge para compensar estas deficiencias, de tal forma que el proceso de interacción se adecúe convenientemente a la diversidad de los alumnos.

La adaptabilidad o inteligencia del sistema consiste en aplicar la experiencia docente (Figura 3) para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje. Los AEHS adaptan ciertos parámetros de la interacción cuyas posibilidades se resumen en las respuestas a las preguntas siguientes (Specht & Burgos, 2007; Müller, 2005; Weber & Specht, 1997; Brusilovsky, 1996):

¿Qué se puede adaptar?

- **Presentación:** Selección y/o modificación de recursos.
- **Navegación:** Activación, reordenación y anotación de hipervínculos.

¿Qué información se puede utilizar y cómo se obtiene?

- **Alumno:** Preferencias, estilo de uso, preconocimientos, intereses, etc.
- **Contenidos:** Objetivos, tipo de tarea, complejidad, etc.
- **Interacción:** Movimientos del ratón, dirección visual (Gütl et al., 2004), etc.

¿Por qué se realiza una adaptación?

- **Preconocimientos.** Adaptación a las habilidades y conocimientos del alumno para compensar deficiencias.
- **Localización.** Adaptaciones ergonómicas.
- **Estado.** Adaptación a la motivación, conducta y sensibilidad del alumno.

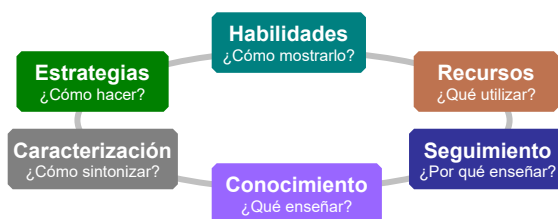


Figura 3. Esquema de experiencia docente. Adaptado de (Click2Learn, 2001).

Los analistas y desarrolladores de AEHS (Dolog & Nejdí, 2007; Paramythís et al., 2003; Bailey et al., 2002; Brusilovsky, 2001) están de acuerdo en dividir las posibilidades adaptativas en dos grupos de acciones: Presentación/Contenidos y Navegación. La adaptación de contenidos se ocupa de la selección de los recursos que mejor encajen con las características del alumno. Condición indispensable del proceso es la disposición de un almacén de recursos descritos en su dificultad, formato, densidad, etc. Dichos parámetros serán comparados con la experiencia, preferencias y estilo cognitivo del alumno, respectivamente, para obtener una valoración de cada recurso respecto al alumno. Esta valoración es un proceso subjetivo en el que se manejan heurísticos basados en los estudios que relacionan el rendimiento del alumno frente a los tipos de recursos (Clark & Lyons, 2004; Riding & Rayner, 1998). Además de la selección de recursos, la granularidad de los contenidos permite su composición dinámica a partir de la gestión de fragmentos (Paramythís et al., 2003): inserción, eliminación, alteración, ordenación y atenuación.

Por otro lado, el sistema puede tutelar el aprendizaje a través de la adaptación de vínculos de navegación dirigidos como *Siguiente* y *Sugerencias*. Además, puede mejorar la orientación global del alumno incorporando anotaciones y adaptaciones en los vínculos en función de los objetivos de aprendizaje (Paramythís et al., 2003): activación, eliminación, bloqueo, ocultación y ordenación. Las anotaciones pueden ser textuales o emplear iconos y códigos de colores como en *ELM-ART* (Weber & Brusilovski, 2001; Brusilovsky et al., 1996) o en *RLATES* (Iglesias et al., 2008). Lo más habitual es el código del semáforo para anotaciones de secuenciación: VERDE (cumple todos los prerrequisitos), AMARILLO (cumple algunos prerrequisitos) y ROJO (incumple todos los prerrequisitos); y para anotaciones de seguimiento: VERDE (conocido/visitado), AMARILLO (parcialmente conocido/visitado) y ROJO (desconocido/no visitado).

Todos los sistemas hipermedia adaptativos organizan la información en nodos y vínculos definiendo sus tipos y posibilidades de navegación. *Campbell* y *Goodman* (1988) propusieron el primer modelo formal de estos sistemas organizado en tres niveles (Figura 4): *Capa de datos* (HOST), *Capa abstracta* (HAM: *Hypertext Abstract Machine*) y *Capa de presentación* (INTERFACE). El modelo se complica cuando se

incorporan las dimensiones que forman parte de los sistemas educativos (Brown et al., 2005): *Contexto de uso*, *Modelo de dominio*, *Estrategias instruccionales*, *Modelo del alumno*, *Recursos instruccionales*, *Modelo adaptativo* y *Mecanismos de detección*. Desde principios de los años 90 y basados en el modelo de capas se han ido proponiendo diferentes modelos de los sistemas hipermedia adaptativos (AHES) entre los que destacan el *Dexter* (Halasz & Schwartz, 1994; Halasz & Schwartz, 1990), el *AHAM* (Wu, 2002; De Bra et al., 1999), el *FOHM* (Millard et al., 2000) o el modelo *Munich* (Koch & Wirsing, 2002) (Figura 4).

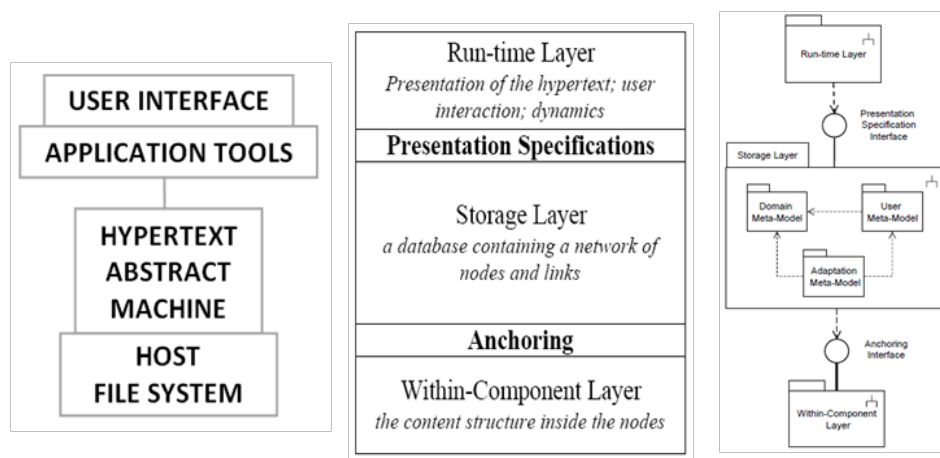


Figura 4. Modelos HAM (Campbell & Goodman, 1988), Dexter (Halasz & Schwartz, 1990) y Munich (Koch & Wirsing, 2002).

Los sistemas hipermedia adaptativos aplicados a la educación heredaron los extensos trabajos en inteligencia artificial del ámbito de los sistemas de tutorización inteligente (ITS) y los adaptaron a la tecnología cliente-servidor de la WWW. El procesamiento para la respuesta adaptativa se implementa principalmente en el equipo servidor excepto en casos aislados como el agente *WebMate*² que reside en el lado del cliente. Entre otros ejemplos representativos de sistemas hipermedia adaptativos con objetivos educativos destacan: *KBS-Hyperbook* (Henze & Nejd, 2001), *AHA*³ (De Bra et al., 2006), *DCG* (*Dynamic Courseware Generation*) (Vassileva, 1997), *InterBook* (Brusilovsky et al., 1998), *ELM-ART* (*Episodic Learner Model - Adaptive Remote Tutor*) (Weber & Brusilovski, 2001), *MANIC* (Schapira et al., 2001; Stern, 1997), *ACE* (*Adaptive Courseware Environment*) (Specht, 2000), *MetaLinks* (Murray, 2003; Murray et al., 2000), *AIMS* (Aroyo et al., 2006; Aroyo et al., 2003), *INSPIRE* (Papanikolaou et al., 2006), *ACCT* (Dagger et al., 2005) y proyectos desarrollados en España como *TANGOW*

² <http://www.cs.cmu.edu/~softagents/webmate>

³ <http://aha.win.tue.nl>

(*Task-based Adaptive learner Guidance on the Web*) (Alfonseca et al., 2004; Carro et al., 2002) o <eAula> (Sancho & Fernández-Manjón, 2002).

El tipo de interfaz en la que se despliega el sistema hipermedia constituye un amplio campo de investigación en *HCI (Human-Computer Interaction)*. Con el objeto de mejorar la interacción directa con el usuario se desarrollan interfaces que complementan la navegación hipertextual con *agentes conversacionales* como en el sistema *AutoTUTOR* (D'Mello et al., 2007; Rus & Graesser, 2006; Graesser et al., 2004; Graesser et al., 2001), *InCA* (Nabeth et al., 2005) o en *ITSPOKEN* (Forbes-Riley et al., 2008; Litman & Silliman, 2004). Estos agentes dialogan con el usuario a través de ventanas de consulta con opciones de comunicación predefinidas, o bien abren el campo de comunicación mediante conversación en lenguaje natural (*SLS: Spoken Language System*). El desarrollo de este tipo de sistemas es una labor multidisciplinar en la que interviene el reconocimiento del habla (*ASR: Automatic Speech Recognition*), la interpretación del lenguaje (*NLU: Natural Language Understanding*), la gestión del diálogo (*DM: Dialogue Management*), la generación del lenguaje (*NLG: Natural Language Generation*) y la conversión del texto en habla (*TSS: Text-to-Speech Synthesis*). El método *LSA (Latency Semantic Analysis)* (Jorge-Botana et al., 2007; Landauer et al., 1998) constituye uno de los algoritmos más empleados en la interpretación automática del lenguaje tanto en telefonía como en Internet.

Además de las interfaces conversacionales, los diseñadores optan por la incorporación de interfaces de tipo metafórico-visual, donde la navegación se produce a través de representaciones esquemáticas de la realidad y el sistema se ve reflejado en un agente físico que facilita la transmisión del estado emocional para mejorar la empatía sistema-usuario. *Empathic Companion* (Prendinger & Ishizuka, 2005) o *EER-Tutor* (Zakharov et al., 2008; Paiva et al., 2004) son ejemplos de este tipo de sistemas.

Entre los expertos en teorías educativas, la reflexión sobre los AEHS se centra en establecer qué tipo de aprendizaje promueven. La naturaleza de los sistemas adaptativos es quitar parte de la responsabilidad del aprendizaje al alumno, limitándole los materiales y los caminos a seguir. Este objetivo va en detrimento de los partidarios de la libertad del alumno en la construcción de su aprendizaje y parece apoyar las tesis conductistas. Sin embargo, los partidarios de los AEHS intentan demostrar que el nivel de libertad del alumno se adapta a sus características y afirman que el aprendizaje constructivista no es el más efectivo en los primeros estadios del aprendizaje.

Para mejorar las posibilidades pedagógicas de los sistemas adaptativos se están incorporando nuevas técnicas como la exposición del modelo del alumno (*OLM: Open Learner Model*) (Bull et al., 2008), la ampliación de las posibilidades instruccionales (*OCAHS: Open Corpus Adaptation Hypermedia Systems*) (Sosnovsky, 2009; Knutov, 2008) y del desarrollo de nuevas formas de adaptabilidad en trabajos en grupo como la

creación coordinada de mapas conceptuales y ontologías (Beydoun, 2009; Gladun et al., 2009).

La Web semántica

El gran desarrollo de la Web como herramienta de aprendizaje ha impulsado la creación de una ingente base de contenidos instruccionales distribuidos que supera las técnicas de integración de aplicaciones como CORBA, RMI o DCOM. Actualmente, los esfuerzos se centran en la creación de especificaciones y estándares que amplíen las capacidades de procesamiento automático de la información en red en busca del paradigma de la *Web Intelligence*⁴ (Zhong et al., 2002). En este contexto surge la *Web Semántica* (Berners-Lee, 2003; Hendler, 2001; Berners-Lee et al., 2001) como confluencia de las tecnologías Web y la inteligencia artificial. Se basa en la codificación explícita del conocimiento semántico para mejorar las posibilidades de procesamiento automático de la información, flexibilizando la localización y selección de los contenidos de la Red⁵ en un proceso continuo que conduce a la denominada *eScience* (De Roure & Hendler, 2004).

What will be the effect of the Semantic Web on education? It's hard to predict the details, but one thing is certain: if the Semantic Web becomes as ubiquitous as the Web is today, the effects will be profound.

(Clarck et al., 2004)

Siguiendo el criterio marcado por la *Web Semántica*, los actuales desarrollos en el ámbito sistemas inteligentes aplicados a la educación *ILMS/AIWBES* evolucionan a una arquitectura basada en *Servicios Web* (*SOA: Service Oriented Architecture / LIS: Learning Information Services*) y los contenidos se codifican a nivel conceptual en forma de ontologías (Boyce & Pahl, 2007). Esta combinación genera los *Servicios Web Semánticos* (*SWS: Semantic Web Services*) (Figura 5) que, aplicados como herramientas de aprendizaje, constituyen la denominada *Web Semántica Educativa* (Aroyo & Dicheva, 2004; Clark & Lyons, 2004; Stutt & Motta, 2004; Anderson & Whitelock, 2004; Panteleyev et al., 2002).

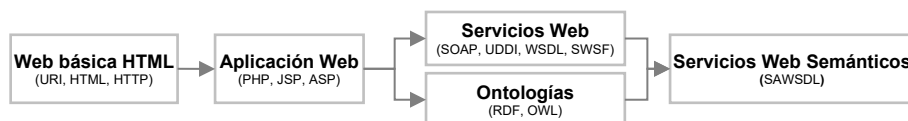


Figura 5. Evolución de las tecnologías Web.

⁴ <http://wi-consortium.org>

⁵ Ejemplos: <http://sindice.com> , <http://www.ontoknowledge.org>

El desarrollo de la *Web Semántica* se ve impulsado por la creación de infraestructuras de computación distribuida como *OGSA (Open Grid Services Architecture)* (Foster et al., 2002), *ELeGi (European Learning Grid Infrastructure)* (Allison et al., 2003) o *EGI-INSPIRE*⁶ (2010) que combinan (Figura 6): Redes P2P, Computación en Grid, Sistemas multi-agente⁷, Ontologías y Servicios Web semánticos, como el modelo SEMMAS (García et al., 2009). Estas infraestructuras aplicadas a la educación acercan las tecnologías al objetivo *AAAL (Anytime, Anywhere, Anybody Learning)* (Bittencourt et al., 2008) mediante la creación de una *Grid de Contenidos* (Leal, 2009) o una *Grid Semántica Educativa* (Allison et al., 2005).

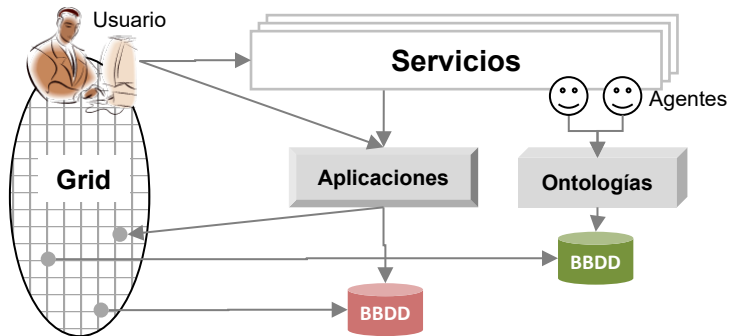


Figura 6. Computación distribuida en Grid.

⁶ <http://www.egi.eu/projects/egi-inspire>

⁷ Ejemplos: IEEE-FIPA (<http://www.fipa.org>) , OMG-PSIG (<http://agent.omg.org>)

Arquitecturas de sistemas

Las arquitecturas de los sistemas inteligentes aplicados a la educación se han basado tradicionalmente en los modelos ya existentes de arquitecturas de procesamiento de información. El modelo adaptado por *Webger* (1987) de los sistemas basados en conocimiento sirve de referencia para el resto de los planteamientos (Benyon, 1993). Además de los tres modelos de conocimiento (Figura 7): *Alumno*, *Dominio* e *Interacción*, se introduce un procesador/motor encargado del control de la ejecución: Control E/S, Identificación de usuarios y Seguimiento de sesiones. En los sistemas adaptativos este procesador recibe nombres como *AE* (*Adaptation Engine*), *IE* (*Inference Engine*) o *SU* (*Supervisor Unit*), y se ocupa de la ejecución y control de las reglas del modelo pedagógico.

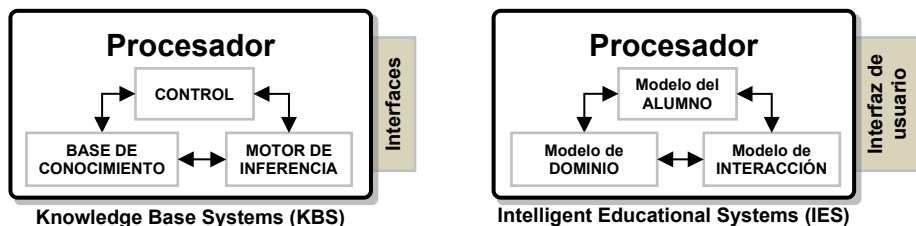


Figura 7. Arquitectura genérica de sistemas basados en conocimiento.

En algunos casos, se simplifica la arquitectura anterior incorporando al modelo de dominio la información pedagógica correspondiente al modelo de interacción (Figura 8). Habitualmente esta fusión de información se realiza mediante la programación basada en restricciones como en las propuestas de *Garrido et al.* (2008) y *WETAS* (Martin et al., 2008), en las que la secuenciación de un curso se adapta a cada alumno

mediante la ejecución y estimación de las restricciones establecidas durante la planificación de los contenidos del curso.

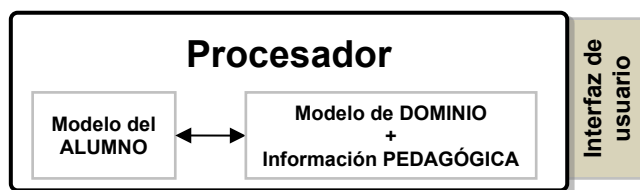


Figura 8. Arquitectura genérica simplificada.

Las posibilidades adaptativas y de seguimiento permiten dividir el modelo de interacción en subsistemas que realicen funciones independientes (Figura 9): selección de contenidos, adaptación de hipervínculos, estimación del alumno, adaptación de la presentación, etc. (Martins et al., 2008). Del mismo modo, los autores también inciden en la diversificación del modelo del alumno en subsistemas separados por funciones (Karampiperis & Sampson, 2005): seguimiento de las acciones del alumno (*OBS: Observations*), estimación de sus conocimientos (*LKS: Learner Knowledge Space*) y características (*LC: Learner Characteristics*). En el mismo sentido (Houben et al., 2008), también se diversifica el modelo de dominio en submodelos jerarquizados como: nivel conceptual, nivel de integración instruccional, nivel de aplicación adaptativo y nivel de presentación de recursos.

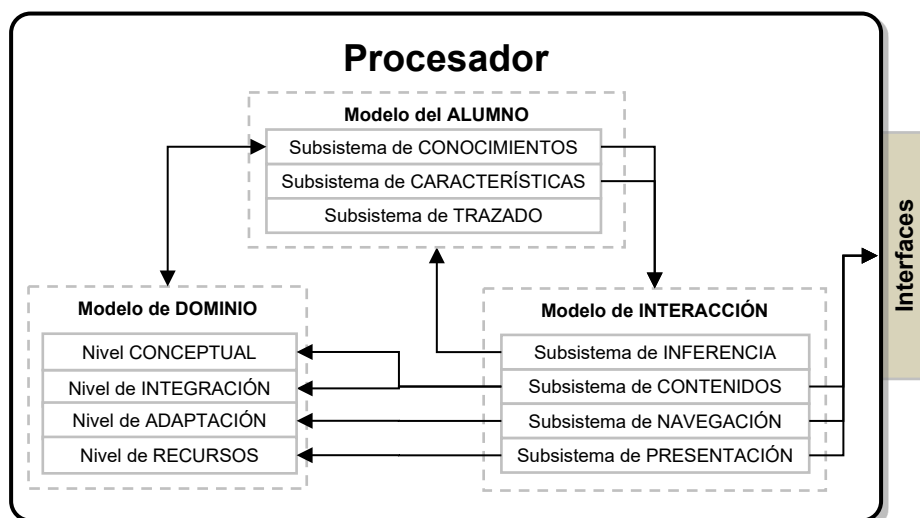


Figura 9. Arquitectura genérica con submodelos.

La interdependencia entre los tres modelos que conforman el sistema es una de las características que ha ocupado a los investigadores y desarrolladores desde los primeros trabajos en este ámbito. Las propuestas son muy variadas, desde las ya

comentadas arquitecturas genéricas basadas en modelos, pasando por arquitecturas modulares definidas por agrupaciones de funciones, hasta arquitecturas jerarquizadas en capas (Henze & Nejd, 2001) (Figura 10).

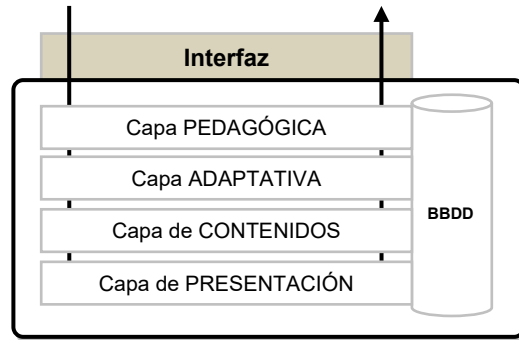


Figura 10. Arquitectura en capas.

El modelo de procesamiento que mejor se adapta a los sistemas educativos es el definido por los *sistemas expertos* en los que la información de procesamiento de guarda de forma explícita y es creada y adaptada por un grupo de expertos en pedagogía (Figura 11). Entre este tipo de sistemas se encuentra desarrollos como *FLUTE/GET-BITS* (Devedžić et al., 2000; Devedžić & Radovic, 2000), las *Neurorreglas* de Prentzas et al. (2002) y los sistemas *SmartTutor* (Cheung et al., 2003) o *ZOSMAT* (Keles et al., 2009) para la enseñanza de las matemáticas. Habitualmente, el procesador se divide en dos sistemas expertos que reciben las entradas desde la interfaz del usuario y realizan funciones independientes:

- **Asesor/Advisor.** Genera recomendaciones al alumno sobre el camino más adecuado.
- **Planificador/Planner.** Genera itinerarios asociados a los programas de navegación predefinidos como revisión, lectura rápida, estudio, etc.

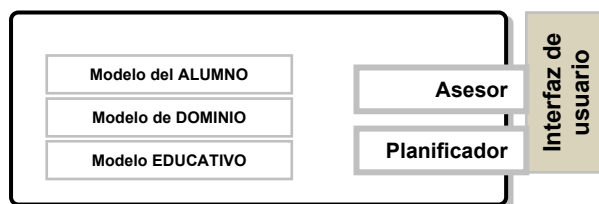


Figura 11. Arquitectura genérica basada en sistemas expertos.

Otros modelos de procesamiento en sistemas distribuidos como los autómatas finitos (Hopcroft et al., 2006) o las redes *Petri* (Sibertin-Blanc, 1985) también se han utilizado para formalizar el proceso de enseñanza-aprendizaje en los sistemas inteligentes

(Curilem et al., 2007; Bolan et al., 2005). En la implementación basada en los autómatas finitos (Figura 12), las funciones (λ, η) determinan el proceso de enseñanza-aprendizaje mediante estrategias didácticas que se materializan en tácticas instruccionales (estilos de aprendizaje, múltiples inteligencias, aprendizaje situado...). Dichas funciones se pueden codificar de forma explícita o, como en la implementación de Curilem (2007), mediante redes neuronales artificiales.

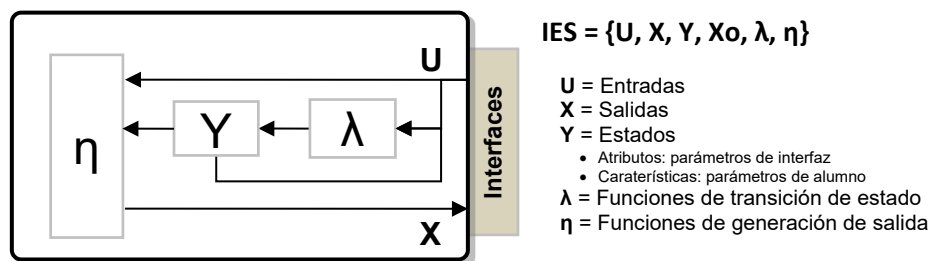


Figura 12. Arquitectura genérica basada en autómatas finitos.

Los primeros desarrollos modulares distribuidos en red mediante aplicaciones de servidor implementaron el modelo de sistema basado en agentes (López-Cuadrado et al., 2006; Chen & Mizoguchi, 2004; Pérez et al., 2001; Chen & Mizoguchi, 1999) (Figura 13). Estos sistemas no disponen de un control central sino que evolucionan según sus normas de funcionamiento interno y comunicación inter-agentes (Lelouche, 2000; Wooldridge & Jennings, 1995). La programación de estos agentes les provee de autonomía, proactividad, razonamiento e interacción. Se trata de una arquitectura de gran flexibilidad que permite implementar múltiples paradigmas. Puede generar buenos resultados en función del dominio de aplicación y del algoritmo de interacción entre los agentes (Holmes, 2007). Actualmente los bloqueos de seguridad en las comunicaciones en red dificulta el desarrollo de protocolos de comunicación adaptados a este tipo de agentes. Uno de los primeros desarrollos de este tipo de arquitectura para los sistemas educativos en red, planteado por Abad et al. (2000), introduce los siguientes agentes:

- **Agente INTERFAZ.** Gestiona la comunicación entre el sistema y el alumno. Se comunica con el agente de seguimiento (MONITOR/AUDITOR). En algunos casos, se crean varios agentes adaptados al rol del usuario (Alumno, Profesor, etc.).
- **Agente REDACTOR/INSTRUCTOR.** Selecciona y mantiene los contenidos de la base de datos en función de una estrategia pedagógica dada.
- **Agente ESTRATEGIA/INTELIGENTE.** Selecciona una estrategia pedagógica adaptada al alumno. En algunos casos, también estima el modelo del alumno en función de sus acciones.

- **Agente de USUARIO/ALUMNO.** *Mantiene el modelo del alumno.*
- **Agente MONITOR/AUDITOR.** *Realiza el seguimiento de las acciones del alumno. En algunos casos, realiza también la función de coordinación entre los agentes (AUDITOR)*

Las arquitecturas de agentes se aplican con toda su efectividad cuando se diseñan con tecnología MAS (Multi-Agent System), en las que se crean múltiples instancias de interacción del mismo agente. Ejemplos de ello se encuentran en los *Servidores Educativos* de Devedžić (2006; 2004), en el sistema *SITUA* (González et al., 2005), en la arquitectura *ASITS* (Actor Specification for Intelligent Tutoring Systems) (Razmerita et al., 2005), en la arquitectura de agentes semánticos *InCA* (Intelligent Cognitive Agents) (Nabeth et al., 2005), en el sistema *M(e)L* (Gladun et al., 2009) o en la propuesta de Baylari y Montazer (2009) basada en la *Teoría de Respuesta a Items* (IRT: Item Response Theory). De estos ejemplos se extraen los siguientes agentes principales:

- **Agente PEDAGÓGICO/PLANIFICADOR.** *Se crea en cada sesión de aprendizaje y realiza funciones de predicción, selección de recursos y seguimiento. Combina los agentes Redactor, Estratega y Monitor del modelo anterior.*
- **Agente de CONCEPTO/CONTENIDO/ACTIVIDAD.** *Se crea cada vez que se hace referencia a un concepto y realiza funciones como explicarlo, evaluarlo y actualizar su seguimiento.*
- **Agente PERSONAL.** *Se crea para cada alumno y realiza la coordinación del proceso de enseñanza-aprendizaje con el resto de los agentes expertos.*
- **Otros:** Agente PSICOLÓGICO, Agente ERGONÓMICO, Agente ASISTENTE, Agente de MOTIVACIÓN, Agente de DIÁLOGO y Agente de EVALUACIÓN/TEST.

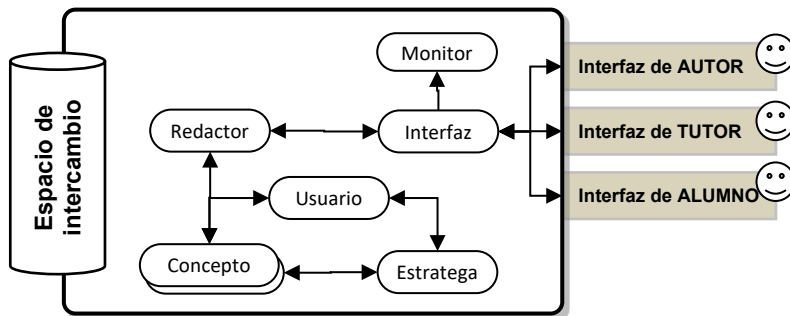


Figura 13. Arquitectura basada agentes.

El modelo cibernético de control también es aplicable al proceso de enseñanza-aprendizaje en los sistemas inteligentes. Un ejemplo de este tipo de formalizaciones lo representa el sistema *TEx-Sys* (Žitko et al., 2009; Stankov et al., 2008) (Figura 14) implantado a través de servicios Web. El proceso comienza con una estimación del

Modelo del Alumno (MA_0) y una referencia objetivo de los *Conocimientos del Alumno* (CA_0). El sistema evalúa las diferencias entre ambos y genera las acciones instruccionales de corrección. Cuando el alumno ha procesado dichas acciones se estima el nuevo modelo del alumno y comienza de nuevo el ciclo.

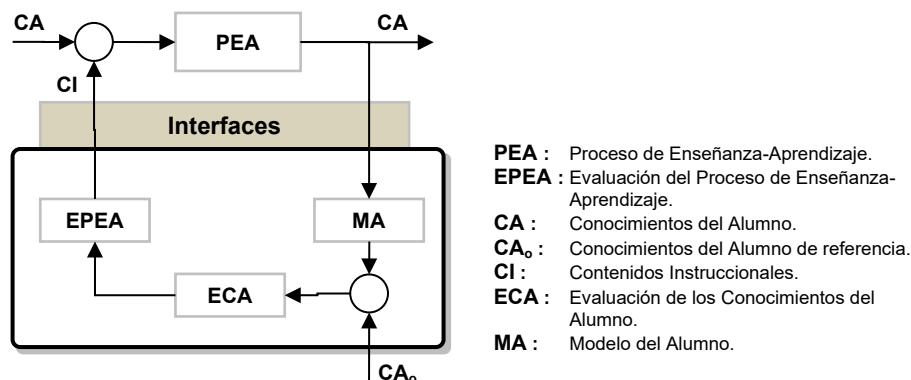


Figura 14. Arquitectura basada en el modelo de control automático.

El modelo de control automático es, indirectamente, el más utilizado en la dinámica de los sistemas inteligentes aplicados a la educación. La mayor parte de los sistemas realizan una estimación del conocimiento del alumno, lo comparan con una referencia y generan las acciones correctoras oportunas. Las diferencias fundamentales entre ellos se centran en los métodos de estimación, en los tipos de acciones y en la forma de codificar y referenciar la variable *Conocimiento*. Entre los métodos de estimación del modelo del alumno destacan las redes bayesianas, las redes neuronales artificiales (Baylari & Montazer, 2009) y las teorías y técnicas de evaluación de conocimientos (Baylari & Montazer, 2009; Fernández, 2003). Las acciones de control son habitualmente recursos instruccionales y mensajes de corrección de errores (Biswas et al., 2005). La codificación de la variable de control de conocimiento, descrita por Limongelli et al. (2008) como *Knowledge Item*, es determinante en las posibilidades del sistema y en el nivel de control:

- **Control a nivel instruccional.** *Variable de control = Acceso a recursos.*
 - **Ejemplo:** Sistema *MetaLinks* (Murray, 2003). Realiza la adaptación de la instrucción en función de la previsualización de los recursos disponibles.
- **Control a nivel competencial.** *Variable de control = Evaluación del aprendizaje de un elemento de un catálogo jerárquico (temas, objetivos, competencias).*
 - **Ejemplo:** Sistema *REDEEM* (Ainsworth & Grimshaw, 2004) basado en el modelo (Click2Learn, 2001). Asocia un identificador competencial a los recursos y a los ítems de evaluación.

- **Ejemplo:** Sistema *IWT* (Gaeta et al., 2009), en el que se incluyen identificadores de conceptos interrelacionados y asociados con los recursos instruccionales y con los medios de evaluación.
- **Control a nivel conceptual/Cognitivo.** *Variable de control = Evaluación del aprendizaje de parte de una red semántica (entidad, relación, propiedad).*
 - **Ejemplo:** Sistema *ICDS* (*Intelligent Concept Diagnostic System*). Utiliza mapas conceptuales con recursos instruccionales asociados. Cuando se detecta alguna deficiencia en el aprendizaje del mapa por parte del alumno, se activan las acciones instruccionales asociadas.
 - **Ejemplo:** Sistema *KASPUST2* (Beydoun, 2009). Utiliza ontologías de referencia siguiendo una metodología activa *FCA* (*Formal Concept Analysis*) (Ganter et al., 2005). Los alumnos elaboran ontologías en grupo a partir de una documentación dada. El sistema regula y corrige automáticamente la ontología que presentan los alumnos, respecto a una ontología interna de referencia.
 - **Ejemplo:** (Chi, 2009) y la arquitectura *CHOCOLATO* (Isotani & Mizoguchi, 2008). Utilizan ontologías educativas asociadas a recursos instruccionales en forma de objetos de aprendizaje. El control se establece a nivel semántico mediante reglas lógicas y procesadores semánticos como *HOZO* (Mizoguchi et al., 2007).
 - **Ejemplo:** Simulador *ASIMIL* (Huss et al., 2006; Razmerita et al., 2005) para la instrucción de vuelo. Incorpora una gestión cognitiva del aprendizaje mediante la aplicación del modelo *ACT-R/PM*.

Cuando aparece la WWW se desarrolla el concepto de hipertexto y comienzan a aplicarse los modelos de sistemas inteligentes a una arquitectura en red (Murray, 1998) como en *ELM-ART* (Weber & Brusilovski, 2001), *AIMS* (Aroyo & Dicheva, 2001; Aroyo et al., 2002) o *ILASH* (Bajraktarkvic et al., 2003). La difusión y el desarrollo de los recursos publicados en la WWW hacen que los sistemas inteligentes evolucionen hacia sistemas abiertos en los que parte del modelo de dominio, fundamentalmente los recursos didácticos, se externalicen y se distribuyan por servidores Web (Figura 15). Esto hace que algunos autores (Karampiperis & Sampson, 2005) consideren que el modelo de dominio pasa a ser un *Espacio de Conocimiento* (*KS: Knowledge Space*) formado por un almacén de recursos internos o externos (*MS: Media Space*) y un verdadero *Modelo de dominio* que contiene las relaciones estructurales que se utilizan en la proceso instruccional. El desarrollo de las especificaciones de recursos y contenidos educativos facilita su almacenamiento y reutilización en forma de *Objetos de Aprendizaje* (*LO: Learning Objects*) como en las propuestas de Martins et al. (2008) y Kazanidis (2010).

El sistema *AHA!*⁸ (De Bra et al., 2006; De Bra et al., 2004; De Bra & Calvi, 1998), basado en el modelo *AHAM* (Wu, 2002; De Bra et al., 1999), es uno de los primeros ejemplos de los sistemas hipermedia adaptativos implementados con tecnología Web mediante *Servlets* y páginas activas de servidor. Otros ejemplos de este tipo de

⁸ <http://aha.win.tue.nl>

arquitecturas los encontramos en *KnowledgeTree* (Brusilovsky, 2004), *AHyCo* (Hoic-Bozic & Mornar, 2005), *IGNATES/RLATES* (Iglesias et al., 2009; Iglesias et al., 2008) o *CALMSystem* (Kerly et al., 2008).

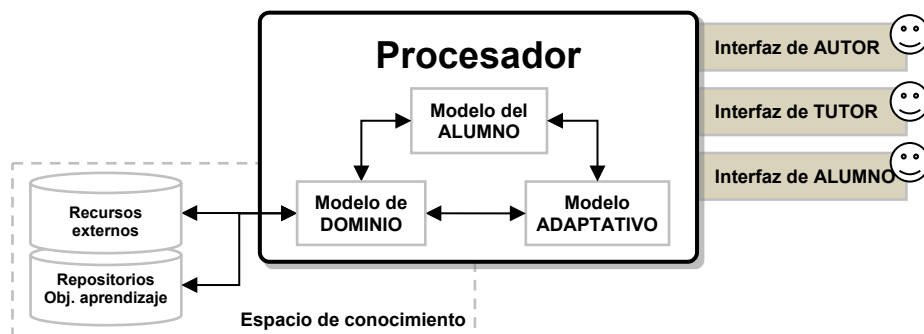


Figura 15. Arquitectura basada en la WWW.

El modelo anterior pone a disposición de los autores y desarrolladores un gran almacén de recursos educativos que mejoran la eficacia del proceso educativo. Sin embargo, es posible mejorarlo aún más haciendo que la búsqueda y la agregación de recursos se realice de forma automática siguiendo criterios epistemológicos y pedagógicos en lo que se conoce como *ASLC* (*Automatic Synthesis of Learning Curricula*). Las arquitecturas basadas en la *Web Semántica* (*SWBES: Semantic Web Based Educational System*) (Figura 16) requieren el desarrollo de modelos distribuidos del conocimiento (ontologías) y del alumno, codificados en un lenguaje común que facilite la comunicación entre los diferentes servicios Web educativos (Aroyo & Dicheva, 2004). Estas arquitecturas permiten ampliar las posibilidades adaptativas y educativas de los sistemas hipermedia (Dolog et al., 2008; Cristea & Verschoor, 2004):

- *El desarrollo de contenidos de forma cooperativa y consensuada entre varios autores.*
- *La creación de cursos basados en contenidos distribuidos actualizados y multiplataforma en tiempo real.*
- *La mejora de la adaptación al alumno debido a la mayor disponibilidad de recursos y el acceso a modelos del alumno distribuido.*

Los sistemas inteligentes funcionan con un modelo del alumno restringido y adaptado al propio sistema, obteniéndose escasos datos del alumno y limitados al uso del sistema. Las arquitecturas distribuidas se mejoran significativamente codificando el modelo del alumno en un lenguaje entendible por las máquinas y con los protocolos que faciliten su lectura y actualización en un espacio público.

Los primeros desarrollos adaptativos para la *Web semántica* se centraron en la búsqueda de contenidos mediante técnicas heurísticas, materializados en navegadores semánticos como *COHSE*⁹ (Carr et al., 2001) o *Magpie*¹⁰ (Dzbor et al., 2003). Más recientemente, los desarrollos en este ámbito incorporan datos del usuario (IMS, 2005; IEEE, 2003) para focalizar las búsquedas de información como en el navegador semántico *SemWeB* (Sah et al., 2008).

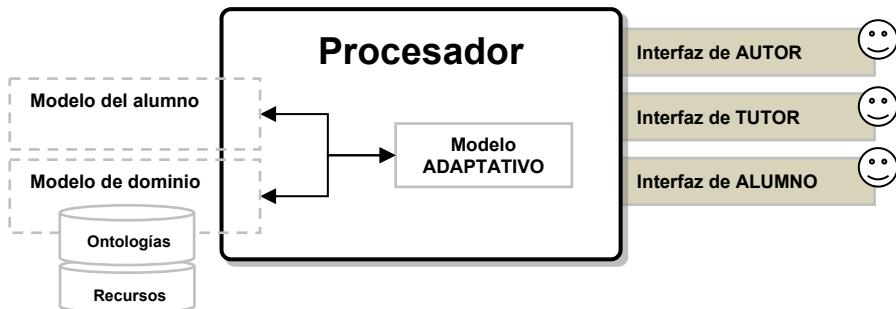


Figura 16. Arquitectura basada en la Web semántica.

La *Web semántica* aplicada a la educación abre nuevas posibilidades en el desarrollo de los sistemas inteligentes, fundamentalmente en la generación dinámica de contenidos instruccionales adaptados al alumno. La tendencia *Open Corpus* (Sosnovsky, 2009; Brusilovsky, 2008) pretende crear lo denominados *Espacios de aprendizaje* (*LS: Learning Spaces*) en los que se combinan las funciones y servicios del e-learning con las capacidades de los sistemas de conocimiento en sistemas abiertos como la *Web semántica*, orientados a la generación de contenidos dinámicos asociados a un objetivo de aprendizaje dado.

- ▶ **Ejemplo:** Sistema SCARCE (Garlatti et al., 2005). El usuario realiza una solicitud de documento que se convierte en un conjunto de parámetros que se envían a la capa semántica, donde se realiza la búsqueda documental. Dichos documentos se pasan a la capa lógica donde se convierten en datos XML/HTML mediante los estilos definidos en la capa de Presentación (Layout).
- ▶ **Ejemplo:** Sistema CHIP (Aroyo et al., 2007) de información museística. Dispone de información codificada en RDF que el sistema selecciona para generar itinerarios adaptados y obras recomendadas en función de las preferencias del usuario.
- ▶ **Ejemplo:** Sistema PASER (Planner for the Automatic Synthesis of Educational Resources) (Kontopoulos et al., 2008) para la generación de objetos ADL-

⁹ <http://cohse.cs.manchester.ac.uk>

¹⁰ <http://projects.kmi.open.ac.uk/magpie>

SCORM (ADL, 2009) adaptados al usuario a partir de ontologías. El sistema recibe una consulta y accede de forma remota a los recursos de la Web con metadatos IEEE-LOM (Hodgins et al., 1999), a información del alumno IMS-LIP (IMS, 2005) y a catálogos de objetivos de aprendizaje IMS-RDCEO (IMS, 2002). Toda esta información se codifica internamente en PDDL (Planning Domain Definition Language) para que el sistema planificador HATeDU genere un objeto ADL-SCORM (ADL, 2009) adaptado.

- **Ejemplo:** *Modelo SOP (Software Organization Platform) (Ras & Ilin, 2008). Se trata de un Wiki semántico para los sistemas hipermedia adaptativos de tipo Open Corpus (Brusilovsky, 2008; Brusilovsky & Henze, 2007), orientada a la generación de contenidos dinámicos a partir de la Web semántica.*
- **Ejemplo:** *Sistema MAS-SHAAD (Mérida et al., 2008) para la generación de contenidos instruccionales en sistemas hipermedia, adaptados al dispositivo y a las preferencias del usuario, a partir de una base de conocimiento en formato RDF.*
- **Ejemplo:** *Sistema SS4L (Smart Space for Learning) (Dolog et al., 2008) orientado a la adaptación de los recursos educativos mediante el filtrado (Datalog) y valoración de los objetos situados en repositorios distribuidos.*
- **Ejemplo:** *Sistema ODIS (Ontology Data Integration System) (Dufresne et al., 2008) para la integración de plataformas de aprendizaje mediante la generación dinámica de un repositorio compartido de objetos de aprendizaje, codificado en OWL y accesible a través de la API del razonador Sesame.*

Los servicios Web son la forma de intermediación más habitual en los sistemas inteligentes basados en la Web semántica (Gaeta et al., 2007). Permiten el desarrollo de aplicaciones distribuidas con acceso a módulos de procesamiento semántico y la creación de distintos canales de comunicación entre el usuario y el sistema:

- **Ejemplo:** *Sistema MultiTutor (Simic et al., 2004). Se trata de un ILMS (Intelligent Learning Management System) adaptado al uso de los recursos instruccionales que ofrece la Web semántica.*
- **Ejemplo:** *Proyectos LUISA¹¹, Edutella (Brase & Nejd, 2004), OKI¹² (Sánchez-Alonso et al., 2008) para la localización de recursos de aprendizaje basados en servicios Web semánticos (SWS). Las aplicaciones de e-learning, pe. Luisa-LMS/LCMS integrado con Moodle, pueden acceder al sistema a través de SWS para la localización de objetos de aprendizaje en la Web y en repositorios LOMR (Learning Object Metadata Repository) que admiten anotaciones*

¹¹ <http://www.luisa-project.eu>

¹² <http://www.okiproject.org>

semánticas RDF/OWL y consultas a través de interfaces OSID (Open Service Interface Definition).

- **Ejemplo:** Arquitecturas LOCO (Learning Object Context Ontology) (Knight et al., 2006) y IRIS III (Dietze et al., 2007). Adaptan los modelos de recursos instruccionales ADL-SCORM (ADL, 2009) y IMS-LD (IMS, 2003) a la Web semántica. Para ello, incorporan información, LOC (Learning Object Context) en LOCO y LMPO (Learning Model Process Ontology) en IRIS III, entre los descriptores (IEEE-LOM) y los objetos de aprendizaje (ADL-SCORM, IMS-LD) para generar información que pueda ser procesada por los SWS (WSMO) y dar un servicio de aprendizaje adaptativo.
- **Ejemplo:** Sistema XTutor (Muñoz & Delgado, 2008). Propone una arquitectura genérica de los sistemas de tutorización inteligente, que emplea la Web semántica como base de conocimiento instruccional. Su principal aportación es el uso de un razonador semántico CWM¹³ (Closed World Machine) como procesador de las ontologías y de las reglas educativas definidas por el profesor.
- **Ejemplo:** Sistema IWT (Intelligent Web Teacher) (Gaeta et al., 2009). Se trata de un sistema inteligente desarrollado dentro del proyecto europeo ELeGi que se basa en la codificación del modelo de dominio en forma de ontologías educativas distribuidas codificadas en OWL. El proyecto se centra en el desarrollo de herramientas que faciliten la coordinación y sincronización de las ontologías publicadas como AOMS (Advanced Ontology Management System) y ScrewTurn de tipo SWS (Semantic Wiki Space).

Cuando se implementan protocolos estándares de computación distribuida como OGSA (Open Grid Services Architecture), ARC (Advanced Resource Connector) o GridCOMP, sobre recursos codificados en forma semántica y con la intermediación de multi-agentes pedagógicos, se constituye la denominada *Grid Semántica Educativa* (Vega et al., 2006). Esta arquitectura se plantea como solución efectiva para la puesta en común de recursos y servicios educativos que disminuyan los costes de redundancia y aumenten las posibilidades adaptativas.

- **Ejemplo:** Arquitectura INES (INtelligent Educational Servers) (Devedžić, 2004; Devedžić, 2004) y OKI (Open Knowledge Initiative) (Sánchez-Alonso et al., 2008), basada en servicios Web que, mediante la intermediación de agentes pedagógicos con el cliente, realizan búsquedas, filtrado y agregaciones de los materiales educativos referenciados en ontologías de la Web semántica (Figura 17).

¹³ <http://www.w3.org/2000/10/swap/doc/cwm>

- Ejemplo:** Sistema ASIMIL (Razmerita et al., 2005). Se trata de un sistema de entrenamiento distribuido basado en simulaciones. Combina la representación del conocimiento en ontologías, multi-agentes pedagógicos, seguimiento del alumno mediante ePortfolio y gestión cognitiva a través del modelo ACT-R/PM (Perception and Motor). Utiliza el modelo educativo denominado e-Qualification: el sistema se encarga de buscar el camino más adecuado para que un alumno pase de un estado cognitivo a otro, para lo cual busca el agente disponible más adecuado en la Grid educativa.

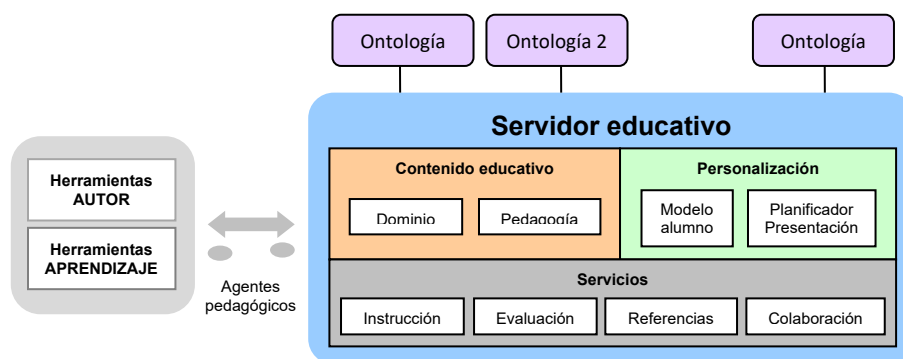


Figura 17. Arquitectura basada en servidores educativos.

Ontologías de sistemas educativos

El diseño de los sistemas educativos adaptativos ha sido algo tradicionalmente implícito al sistema y guardado por los programadores como el secreto de su inteligencia. A mediados de los 90, con la teorización de las ontologías comienzan a desarrollarse modelos explícitos de los sistemas inteligentes aplicados a la educación. En el año 1998, T. Murray planteaba las dificultades del modelado de los sistemas de tutorización (ITS), que continúan vigentes en la actualidad para todos los paradigmas de sistemas inteligentes:

Los intentos de definir una única ontología para los ITS han caído en saco roto debido a la dificultad de conceptualización. Cada ITS incorpora su propia forma de ver el mundo pedagógico: la estructuración del conocimiento, las estrategias de enseñanza, los modos de presentación, etc. Actualmente se está trabajando en generar un vocabulario conceptual de una ontología genérica para los ITS.

T. Murray (1998)

Las primeras ontologías educacionales, *Task Ontology* y *Domain Ontology*, fueron introducidas por Mizoguchi (2000; 1999; 1997; 1996) y materializadas en el sistema

CLEPE (Conceptual LEvel Programming Environment). Desde el año 2000, el laboratorio de *Mizoguchi* de la Universidad de Osaka ha aportado diversos modelos y herramientas basados en ontologías, en todas las modalidades de los sistemas educativos.

Desde el punto de vista psicopedagógico, la descripción de un sistema instruccional se centra lógicamente en los componentes del proceso de enseñanza-aprendizaje (Beltrán, 1993): *Procesamiento/Sistema, Contenidos, Procesos, Estrategias y Estilos*. Paralelamente, desde el punto de vista del ingeniero de conocimiento, el sistema se divide en componentes muy dependientes de las características particulares de cada sistema: *Implementación (Procesamiento), Diseño instruccional (Contenidos y Procesos), Diseño de presentación (Estilos), Proceso adaptativo (Estrategias) o Seguimiento del alumno (Estilos)*.

El modelado de un sistema de aprendizaje es un proceso indefinido y abstracto que conduce a resultados dispares dependiendo de la forma de abordarlo (Dolog, 2008). Para homogeneizar el lenguaje y centrar el proceso se plantean modelos de gestión y diseño (*RMM: Relationship Management Model, HDM: Hypermedia Design Model*) como los métodos *OOHDM (Object Oriented Hypermedia Design Model)* (Schwabe & Rossi, 1998; Schwabe & Rossi, 1995) o *CADMOS-D* (Retalis & Papasalouros, 2005; Papasalouros et al., 2004). Todos ellos abordan el modelado del sistema describiendo las clases y relaciones que intervienen en cada una las funciones o módulos principales: seguimiento del conocimiento del alumno, creación del proceso instruccional, diseño de la estructura de navegación y adaptación de los recursos.

Paso previo e indispensable en la codificación de ontologías educativas es la creación de esquemas descriptivos del sistema en lenguajes de modelado como el UML. Uno de los primeros ejemplos de modelado de sistemas educativos lo encontramos en el sistema *KBS-Hyperbook* (Henze & Nejdí, 2001) (Figura 18). Los modelos ontológicos más representativos se han centrado en la descripción de los sistemas hipermedia adaptativos, entre otros:

- **Ontología básica de un AEHS** (Henze et al., 2004) dividida en ontología de recursos, de seguimiento y de presentación, en las que se manejan 5 clases fundamentales: *Estudiante, Documento, Concepto, Certificado e Institución*.
- **Ontologías genéricas de AEHS**: *LAOS* (Cristea & Verschoor, 2004) y *CAM* (Hendrix et al., 2008). Dividen el sistema en capas interrelacionadas que cubren todo el conocimiento y procesamiento requerido por un AEHS (Figura 19).
- **Ontología genérica de herramientas CSCL**: *Ontoolcole* (Vega et al., 2009; Vega et al., 2006) orientada a una infraestructura en *Grid Semántica Educativa* en la que se combinan y relacionan los siguientes elementos principales: *Tarea,*

Actividad, Rol, Persona, Grupo, Escenario, Documento, Interacción, Objetivo y Resultado.

- ▶ **Ontología conceptual ODAS¹⁴** (Tran et al., 2008). Se trata de una jerarquía de 138 clases y 504 axiomas que pretende unificar la terminología empleada en los AEHS: Entidades abstractas (Atributo, Concepto, Proposición y Relación) y Entidades físicas (Objeto y Proceso). Está codificada y publicada¹⁵ en OWL y es compatible con especificaciones genéricas como IMS-LIP (IMS, 2005), IEEE-PAPI (IEEE, 2003), IEEE-LOM (Hodgins et al., 1999) y SUMO.
- ▶ **Ontología genérica funcional de AEHS: LS-PLAN** (Limongelli et al., 2008) (Figura 20). Contiene un modelo de dominio (DM: Domain Model) definido por un conjunto de conocimientos (KI: Knowledge Item) que se transmiten a través de una estructura (P: Pool) de nodos instruccionales (LN: Learning Node) asociados a recursos (LM: Learning Material) y definidos por prerequisites (RK: Required Knowledge), estilos del alumno (LS: Learning Style) y tiempos requeridos. El modelo del alumno (SM: Student Model) se divide en parámetros de estilo (LS: Learning Style) y estados cognitivos (CS: Cognitive State), ambos inicializados mediante cuestionarios (TEST).

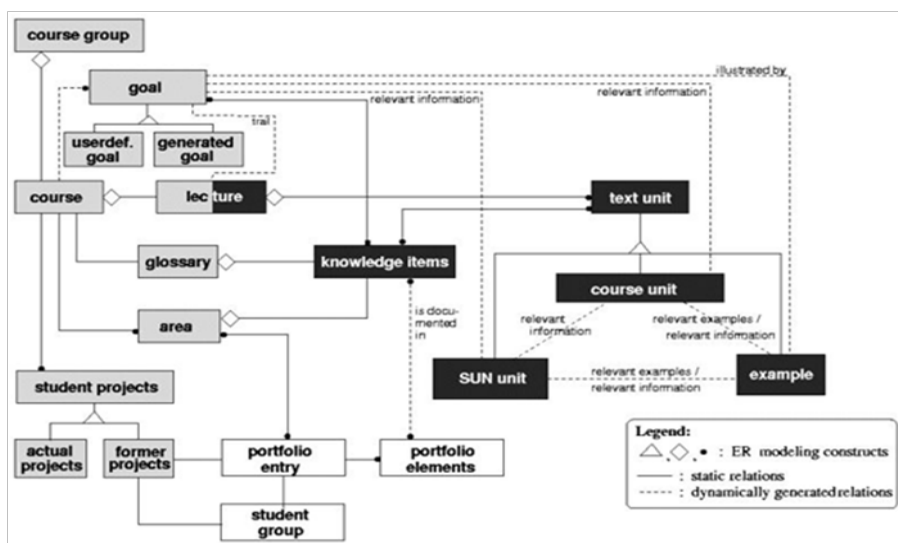


Figura 18. Diagrama de clases del Sistema KBS-Hyperbook (Henze & Nejd, 2001).

¹⁴ *Ontology for the Domain of Adaptive System*, <http://ontoware.org/projects/odas>

¹⁵ <http://ontoware.org/projects/odas>

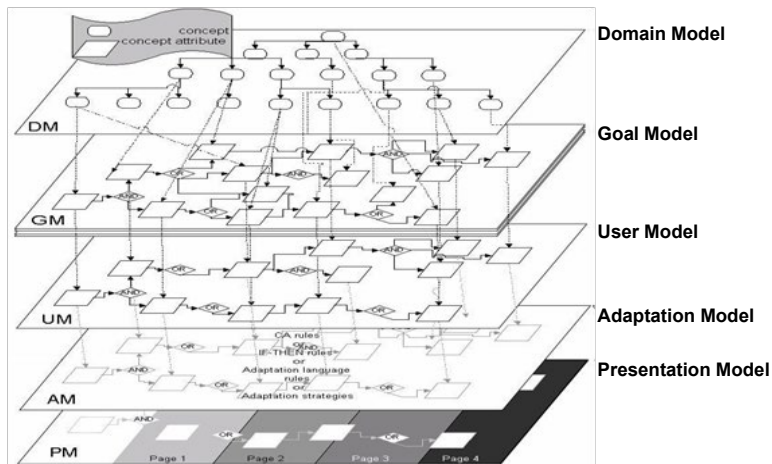


Figura 19. Modelo LAOS (Cristea & Verschoor, 2004)

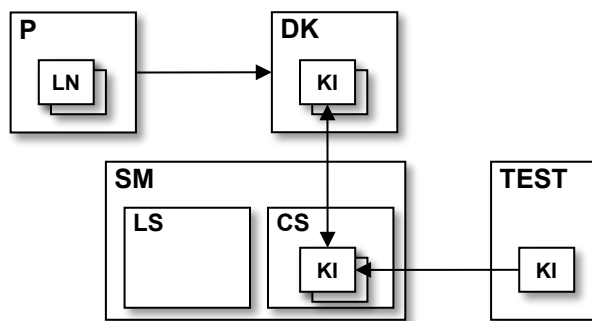


Figura 20. Esquema general del modelo LS-PLAN (Limongelli et al., 2008).

Estos sistemas se despliegan con las actuales tecnologías de la información y la comunicación, y conducen a implementaciones aisladas en su propio ámbito de aplicación. La modelización de las tecnologías en red, comunes a este tipo de implementaciones, mejora su eficacia a través de la reutilización y la interoperabilidad, como por ejemplo:

- *Ontología ASIMIL (Razmerita et al., 2005). Modelo de sistema de agentes distribuido orientado a la Grid Semántica Educativa.*
- *Ontología SLOR (Semantic Learning Object Repository) (Soto et al., 2007). Modelo de repositorio de objetos de aprendizaje con descripción semántica.*
- *Ontología IRIS III (Dietze et al., 2007). Modelo genérico del proceso en los servicios Web educativos (UPO: Upper Process Ontology). Incluye una nueva capa LMPO (Learning Model Process Ontology) que completa la información de los Objetos de Aprendizaje (LO) para que pueda ser procesada por los Servicios Web Semánticos (SWS/WSMO).*

El conocimiento instruccional que emplean los sistemas educativos inteligentes en su interacción con el alumno ha sido el campo más prolífico en los modelos orientados a la compartición y adaptación automática de los recursos educativos. Estos modelos incorporan clases como *Curso*, *Unidad*, *Actividad*, *Recurso* o *Ítem*, con metadatos pedagógicos y de formato, y descritos a nivel estático, dinámico y funcional. Ejemplos de ontologías del dominio instruccional los encontramos en *Labyrinth* (Díaz et al., 1997), *ATO* (*Authoring Task Ontology*) (Aroyo et al., 2003) o *MathTUTOR* (Bolan et al., 2005). La utilidad comercial del conocimiento instruccional ha derivado en la creación de paquetes instruccionales intercambiables que se han materializado en algunas conceptualizaciones como:

- **Ontología IMS-LD** (*Learning Design*) (Amorim et al., 2006; Koper, 2003; IMS, 2003) en la que se combinan los recursos instruccionales con las estrategias de enseñanza a través métodos, roles, objetivos y entornos.
- **Ontología LOCO** (*Learning Object Context Ontology*) (Jovanovic et al., 2007; Knight et al., 2006). Integra los objetos de aprendizaje como ADL-SCORM (ADL, 2009) mediante la interposición de otro objeto denominado LOC (*Learning Object Context*) que guarda información del uso de los objetos mediante tripletes {alumno, actividad, objeto}.
- **Ontología ALOCoM** (*Analysis of Learning Object Content Models*) (Verbert et al., 2006; Verbert & Duval, 2004). Plantea objetos de aprendizaje (LO: *Learning Objects*) como combinación de objetos de contenido (CO: *Content Object*) conformados por fragmentos de contenido (CF: *Content Fragment*) (Figura 21).

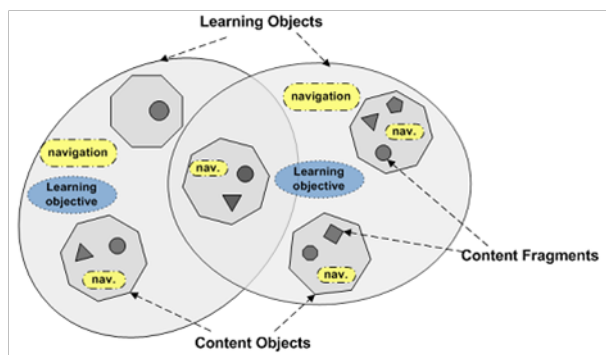


Figura 21. Esquema de la ontología ALOCoM.

El conocimiento de dominio a nivel instruccional resulta insuficiente para realizar un seguimiento efectivo de los conocimientos del alumno. La conceptualización del conocimiento educativo es una línea de investigación que abarca desde sencillas ontologías de competencias educativas (Kasai et al., 2006) hasta complejas estructuras

semánticas. Los contenidos instruccionales, tal como se emplean actualmente en los entornos virtuales de aprendizaje (LMS/VLE), incorporan implícitamente las estrategias pedagógicas diseñadas por el autor para regular el proceso de aprendizaje. Este planteamiento restringe las posibilidades adaptativas del sistema a la simple adecuación del formato de los contenidos. La modelización de las teorías educativas (Psyché et al., 2005) y su incorporación explícita en los sistemas educativos mejora significativamente sus capacidades de adaptación inteligente. La ontología *OMNIBUS*¹⁶ (Hayashi et al., 2008; Hayashi & Mizoguchi, 2006) es un ejemplo de modelización pedagógica. Codifica las estrategias y procesos educativos mediante nodos denominados *Eventos I_L (Instruction and Learning)* que contienen los cambios de conocimiento del alumno y las formas de conseguirlo a través de los denominados *WAYS*. A partir de especificaciones *OMNIBUS* es posible generar automáticamente objetos *IMS-LD* (IMS, 2003) (pe. herramienta *SMARTIES*).

La adaptación al usuario del contenido de los servicios de información que se ofrecen en Internet ha hecho que se dediquen grandes esfuerzos en la modelización de los datos y relaciones que caracterizan el comportamiento del usuario (Kobsa, 2007). Estos modelos se extrapolan al ámbito de los sistemas educativos, incorporando información específica del seguimiento del aprendizaje del alumno (Bolan et al., 2005; Chen & Mizoguchi, 2004; Chen & Mizoguchi, 1999), como en las especificaciones *IEEE-PAPI* (IEEE, 2003) o *IMS-LIP* (IMS, 2005), y en las ontologías *GUMO (General User Model Ontology)* (Heckmann et al., 2007; Heckmann et al., 2005), *TANGRAM* (Devedžić et al., 2007; Jovanovic et al., 2006) o *GMIP (Growth Model Improved by Interaction Patterns)* (Isotani & Mizoguchi, 2008; Isotani & Mizoguchi, 2006).

¹⁶ edont.qee.jp/omnibus

Representación del conocimiento

Los sistemas inteligentes se caracterizan por disponer de bases de conocimiento con interfaces de consulta e inferencia que les permiten generar respuestas adecuadas incluso en situaciones no previstas. El modelado de este conocimiento es uno de los factores principales que determinan su funcionamiento y posibilidades, *the power exists in the knowledge (Feigenbaum)*.

La arquitectura modular-funcional de los sistemas inteligentes aplicados a la educación maneja distintas bases de conocimiento especializadas, agrupadas en:

- **Metaconocimiento.** *Conocimiento del funcionamiento interno del sistema. No suele ser explícito, lo que dificulta la adaptabilidad.*
- **Conocimiento de dominio.** *Se trata del conocimiento objetivo del proceso de aprendizaje. Se denomina conocimiento instruccional cuando se codifica directamente vinculado con los recursos físicos que se muestran en la interfaz del usuario. Se denomina conocimiento general, semántico o cognitivo cuando incorpora la representación del significado (estados, hechos y procedimientos) que debe adquirir el alumno.*
- **Conocimiento del alumno.** *Contiene los datos objetivos y los parámetros estimados que definen las características, el comportamiento y el estado del alumno.*
- **Conocimiento pedagógico.** *Se trata del conocimiento procedimental que emplea el sistema para decidir cuál es la acción pedagógica más adecuada durante el proceso de enseñanza.*

La representación del conocimiento en los sistemas educativos es una variante muy dependiente del propio sistema; podemos decir que existen tantos modelos como sistemas. *Doignon y Falmagne* (1999; 1985) fueron uno de los primeros en formalizar el conocimiento genérico con objetivos educativos en su teoría de *Knowledge Spaces*, en la que se definen matemáticamente los elementos de contenido, sus relaciones y las variables que determinan su particularización en un alumno. El desarrollo de los estándares Web y las ontologías está impulsando el acercamiento de diferentes propuestas en esta área.

El modelado del conocimiento es una labor multidisciplinar en la que se conjugan factores implícitos a la propia naturaleza inexacta del conocimiento con exigencias técnicas y de planificación. Habitualmente, requiere una inversión en tiempo que va en detrimento de la urgencia de la implementación. En este sentido, para dar respuesta inmediata a los agentes inversores, los desarrolladores han creado tantos lenguajes y teorías de representación del conocimiento como proyectos, sin realizar un verdadero análisis científico y de rentabilidad de la inversión a largo plazo (Brewster et al., 2004).

El conocimiento humano es inherentemente complejo, altamente conectado, difuso y ambiguo. Tradicionalmente, las aplicaciones informáticas han representado el conocimiento en estructuras y módulos rígidos inherentes al propio sistema. Se trata de representaciones subsimbólicas en las que el conocimiento no aparece de forma explícita. Este tipo de sistemas funcionan como *caja negra* en la que se introduce una entrada y se obtiene una salida coherente como en las *Redes Neuronales y Bayesianas*. Este tipo de conocimiento basado en modelos implícitos son los que demuestran mayor eficiencia, pero quedan muy limitados a su ámbito de aplicación como simuladores y aplicaciones de entrenamiento.

Para ampliar el espectro de aplicación de los sistemas inteligentes (Fernández, 2004), se emplean los sistemas basados en el conocimiento (*KBMS: Knowledge Base Management System / EKM: Electronic Knowledge Management*) en los que se distinguen dos componentes fundamentales: una base de conocimiento, en la que se representan de forma coherente el conjunto de creencias en formato simbólico que determinan el dominio de conocimiento, y un conjunto de mecanismos de procesamiento como la codificación, el almacenamiento, el razonamiento/inferencia y la explicación.

Los KBMS más desarrollados que han demostrado su aplicabilidad codifican el conocimiento en forma de datos y reglas de producción, declarativas o procedimentales/secuenciales, mediante lenguajes de programación lógica como el PROLOG. Las dificultades a las que se enfrentan este tipo de sistemas están relacionadas con el procedimiento de razonamiento sobre las reglas: el sentido (adelante/atrás), las búsquedas y el control por objetivos y emparejamientos, determinan los resultados. Recientemente se están desarrollando iniciativas para el

modelado del conocimiento combinando los sistemas basados en reglas con la inferencia probabilística (Goodman et al., 2008).

La aplicación de la lógica clásica, monótona o de primer orden, resuelve el problema de la variabilidad de los resultados de inferencia. Las reglas se codifican en forma de predicados cuya resolución es coherente, completa y veraz respecto a toda la base de conocimiento. Esta técnica se aplica exclusivamente en los casos en los que se requiere una certeza absoluta en la conclusión, como en la resolución, aplicación y demostración de teoremas. No permite gestionar la heurística de la lógica ni representar el conocimiento procedimental de fenómenos continuos.

Cuando los sistemas inteligentes se aplican en la toma de decisiones con conocimiento incierto, se emplean sistemas de razonamiento estadístico y lógica no monótona o de segundo orden como la lógica temporal, la lógica difusa o la lógica por defecto. Estos casos parten de la lógica de primer orden, complementada con cuantificadores y operadores modales que gestionan la certidumbre de las conclusiones mediante estadística *Bayesiana* o heurísticos que simplifican el procesamiento, como los *factores de certeza* del sistema *MYCIN*. En este tipo de sistemas, disponer de la justificación del resultado resulta de gran importancia para poder validar las conclusiones.

Existen otro tipo de sistemas de gestión del conocimiento, orientados a la información, que representan la realidad estática mediante hechos declarativos y que se emplean en aplicaciones como *Tesoros*, *Diccionarios electrónicos*, *Buscadores de Internet* o *Traductores automáticos*. El modo más sencillo de representación de este tipo de conocimiento se materializa en estructuras relacionales simples como el modelo *entidad-relación*, los diagramas colaborativos UML de *Wirfs-Brock*, las redes semánticas o los grafos y mapas conceptuales (González, 2008; Novak, 1996), que aportan la información necesaria para facilitar el trabajo de mecanismos de inferencia externos. Los *predicados/proposiciones* codifican de forma independiente los elementos/entidades/conceptos/nodos y sus relaciones/enlaces de generalización/especialización, subconjunto/ superconjunto, tipo, etc.

El conocimiento en forma de gráficos relacionales permite representar los *componentes cognoscitivos* descritos por Merrill (1987) como *Hechos*, *Conceptos*, *Procedimientos* y *Principios* en forma de combinaciones de *Entidades*, *Propiedades*, *Actividades* y *Procesos*. Por su jerarquización, síntesis e impacto visual, se emplean como técnica de intercambio de conocimiento objetivado entre individuos y como herramienta de enseñanza-aprendizaje.

Para posibilitar las operaciones más usuales que se realizan sobre una base de conocimiento en forma de red semántica, es necesaria una estructura excesivamente amplia y compleja. Como solución alternativa a este tipo de codificaciones se opta por

representaciones orientadas a objeto como los *Marcos* (Minsky, 1975) y *Esquemas* (Rumelhart & Ortony, 1982; Bobrow & Norman, 1975). Se trata de colecciones de objetos o *Estereotipos* (Reiter, 2001) definidos por un conjunto de *atributos/ranuras/slots*. Cada atributo es una dimensión con restricciones que puede tomar un rango de valores a través de sus procedimientos de cálculo y transición. Este tipo de conocimiento orientado a objetos mejora la eficacia de la representación a través de los niveles de abstracción que proporcionan las operaciones de derivación, herencia e instanciación.

Cuando el objetivo de la base de conocimiento va más allá de la representación de la realidad estática y pretende soportar el proceso de razonamiento, es necesario ampliar la definición de las relaciones incorporando la información que sirva de base a las reglas de inferencia. Esta modalidad de conocimiento recibe nombres como *Dependencia conceptual* o *Lógica descriptiva*, y se concreta en lenguajes genéricos de representación de contenidos semánticos como *OWL/SWRL* y en propuestas específicas como los *Guiones/Scripts* (Schank & Abelson, 1977), orientados al razonamiento causal mediante procedimientos secuenciales guiados por eventos.

El actual incremento de la conectividad de sistemas y de los estándares en todos los ámbitos está cambiando el paradigma de los sistemas de información en el que las ontologías y la Web semántica juegan un papel fundamental (Barchini et al., 2007; Pisanelli et al., 2004; Staab et al., 2001; Stojanović et al., 2001; Guarino, 1995). Los esfuerzos se centran en la creación de modelos de conocimiento que cumplan unos requerimientos comunes de integración para posibilitar el procesamiento automático de recursos y servicios a gran escala. Ejemplos de ello los encontramos en la iniciativa ESS¹⁷; en proyectos de integración de datos como *SEEMP*, *SensorGrid4Env* o *GeoBuddies*; en repositorios de ontologías como *Ontolingua*¹⁸, *DAML*¹⁹, *SWOOGLE*²⁰, *WATSON*²¹ o *Protégé*²²; en portales semánticos como *Powerset*²³, *Hakia*²⁴ o *SemPort* (Sah et al., 2007); y en ontologías generalistas como *CYC*²⁵ (Lenat & Guha, 1990), *SUMO*²⁶ (Pease et al., 2002), *UbiWorld*²⁷, *OpenMind*²⁸, *YAGO/Wikipedia* (Suchanek et al., 2008); o en especificaciones completas de términos como *SNOMED*²⁹, *UMLS*³⁰ o

¹⁷ *European Semantic Systems Initiative*, <http://www.essi-cluster.org>

¹⁸ <http://www.ksl.stanford.edu/software/ontolingua>, <http://www.ksl-svc.stanford.edu:5915/doc/frame-editor/guided-tour/index.html>

¹⁹ <http://www.daml.org/ontologies>

²⁰ <http://swoogle.umbc.edu>

²¹ <http://watson.kmi.open.ac.uk/WatsonWUI>

²² <http://protege.stanford.edu>

²³ <http://www.powerset.com>

²⁴ <http://www.hakia.com>

²⁵ <http://www.cyc.com>

²⁶ *Suggested Upper Merged Ontology*, <http://www.ontologyportal.org>

²⁷ <http://www.ubisworld.org>

²⁸ <http://www.openmind.org>

²⁹ *Systematized Nomenclature of Medicine*, <http://snomed.org>

EuroWordNet, empleadas en la mejora de los sistemas de traducción automática como *KBMT*, *KANT* o *Mikrokosmos*.

La ontología, como disciplina asociada al modelado del conocimiento, surge a finales de los años 80 como un intento de aunar los esfuerzos de modelización de la realidad para facilitar la interoperabilidad de los sistemas automáticos. Desde el punto de vista teórico, *Gruber* (1993) define una ontología como:

... explicit specification of a conceptualization: an abstract, simplified view of the world that we wish to represent for some purpose.

Desde el punto de vista práctico, una ontología se materializa en la especificación formal de un conjunto de objetos y relaciones de un dominio determinado (Gómez-Pérez et al., 2004):

- **Clases.** *Ideas a formalizar. Habitualmente se organizan jerárquicamente para facilitar el mecanismo de herencia.*
- **Relaciones.** *Interacciones entre las clases. Habitualmente binarias.*
- **Funciones.** *Relaciones inferidas o calculadas.*
- **Instancias.** *Elementos o individuos de una clase.*
- **Axiomas.** *Reglas o sentencias siempre ciertas que validan la lógica interna.*

Para conseguir que el conocimiento sea realmente interoperable entre sistemas, además de las ontologías de dominios, es necesario establecer un marco ontológico que sirva de referencia a todas ellas. Resumiendo las aportaciones de (Patel-Schneider & Horrocks, 2007; Mizoguchi et al., 1999; Steve et al., 1998; Heist, 1997; Guarino, 1997) nos encontramos con 4 niveles de especificación:

- **Ontología representacional o meta-ontología.** *Define los formalismos y las restricciones de la representación.*
- **Ontología genérica o de alto nivel (Upper ontology).** *Define los conceptos básicos (cosa, tiempo, mucho/poco...) y relaciones genéricas (parteDe, tipoDe...).*
- **Ontología de dominio:** *Modela el conocimiento específico de una disciplina. En este ámbito podemos encontrar Ontologías terminológicas, cuando se limitan a enunciar y relacionar los términos, y Ontologías de tarea, cuando se representa conocimiento funcional.*
- **Ontología de información o datalog.** *Define el marco para el almacenamiento coherente en una base de datos.*

³⁰ *Unified Medical Language System*, <http://www.nlm.nih.gov/research/umls>

Muchas de las ontologías se publican en bibliotecas Web, especificadas en lenguajes como *UML*, *RSS*, *TM*, *RDF(S)*, *OWL*, *KIF* o *SWRL*, cuyo objetivo básico es la puesta en común de terminología (ISO1087-1:2000). Las ontologías funcionales más complejas se restringen a ámbitos de I+D específicos y no suelen encontrarse en las bibliotecas públicas. Analizando las aportaciones recogidas en las conferencias sobre la *Web Semántica* desde 2002 a 2007, (Kozaki et al., 2008) extrae los tipos y usos de ontologías que se resumen en la Tabla 5:

Tipos	Usos
Esquema simple de datos en RSS o FOAF	Vocabulario común
Jerarquía de conceptos básica de tipo Is-A en RDF	Metadatos semánticos para Buscadores e Índices
Jerarquía de objetos completa en RDF(S) o OWL	Esquemas de datos para BBDD
Axiomas y restricciones básicas en OWL	Interconexión del conocimiento entre entidades
Axiomas completos con reglas SWRL o KIF	Herramienta para la extracción de información
	Gestión de conocimiento sistemático
	Análisis y procesamiento semántico

Tabla 5. Tipos y usos de las ontologías.

El modelado del conocimiento en ontologías es un proceso creativo que desarrolla un ingeniero de conocimiento apoyado en documentación especializada, expertos en el dominio y herramientas de diseño y procesamiento de ontologías como *Protégé*³¹, *SWOOP*³², *HOZO*³³, *Chimarea-Ontoligua*³⁴, *KAON/KAON2*³⁵ (Motik & Studer, 2005; Maedche et al., 2003), *Pellet* (Sirin et al., 2007), *GrOWL* (Krivov et al., 2007) y *OntoEdit* (Maedche & Staab, 2001) o *Tree-view browser* (Tankashala et al., 2010) para ontologías de carácter instruccional.

Este proceso resulta excesivamente costoso para los proyectos y sistemas orientados a la Web semántica. Como solución se desarrollan sistemas capaces de crear ontologías a partir de documentos escritos como por ejemplo *OntoLancs* (Gacitua et al., 2008), *Text2Onto* (Cimiano & Volker, 2005), *OntoLearn* (Velardi et al., 2005), *OntoLT* (Buitelaar & Sintek, 2004), *GATE*³⁶ (Cunningham et al., 2002), *DODDLE* (Yamaguchi, 2001) o *WEB>KB* (Craven et al., 2000). Estos sistemas buscan las *clases/conceptos*, *instancias*, *relaciones*, *propiedades*, *rangos* y equivalencias descritas en los documentos, y les asignan probabilidades de existencia en modelos tipo *POM* (*Probabilistic Ontology Model*).

Dado que existen muchas formas de representar la misma realidad, el modelado en ontologías conduce a duplicidades y descoordinaciones (Gulla et al., 2010; Lanzenberger & Sampson, 2008) que dificultan el despliegue de la verdadera *Web*

³¹ <http://protege.stanford.edu>
³² <http://code.google.com/p/swoop>
³³ <http://www.hozo.jp>
³⁴ <http://www.ksl.stanford.edu/software/chimaera>
³⁵ <http://kaon.semanticweb.org>
³⁶ <http://gate.ac.uk>

Semántica. Para solucionar esta deficiencia se desarrollan aplicaciones de mapeado, como *FOAM*³⁷ o *PROMPT* (Noy & Musen, 2003) o *Falcon-AO* (Hu & Qu, 2008), con el objetivo de aunar y encajar las distintas especificaciones mediante el control de versiones y la fragmentación y mezcla de ontologías. Otra forma de disminuir la descoordinación es crear portales y grupos de trabajo como el *IEEE-SUO*³⁸ o emplear sistemas de trabajo cooperativo como los denominados *Wikis* semánticos: *OntoWiki* (Auer et al., 2006) o *ScrewTurn Wiki*³⁹. A pesar de todos los esfuerzos de coordinación, no queda garantizado, certificado ni validado que las ontologías resultantes representen correctamente el dominio especificado.

Desde que surgió la idea del modelado ontológico se viene desarrollando una línea de investigación que estudia sus posibilidades en el campo de las tecnologías educativas (Devedžić, 2004; Devedžić, 2004; Ullrich, 2004; Dicheva & Aroyo, 2004; Mizoguchi & Bourdeau, 2000; Henze & Nejd, 2000; Murray, 1996). La codificación del modelo de dominio de los sistemas educativos en forma de ontología puede convertirse en un marco de referencia en el que se consiga una verdadera reusabilidad y adaptabilidad del conocimiento educativo a gran escala. El proyecto *O4E*⁴⁰ (Dicheva et al., 2005) es un claro ejemplo de esta tendencia que, como la mayoría de los proyectos de modelado, se materializa en una herramienta colaborativa o *Wiki semántico* y una herramienta de modelado conceptual denominada *TM4L*⁴¹ (Dicheva & Dichev, 2007).

³⁷ *Framework for Ontology Alignment and Mapping*, <http://www.aifb.uni-karlsruhe.de/WBS/meh/foam>

³⁸ *Estandar Upper Ontology*, <http://suo.ieee.org>

³⁹ <http://www.screwturn.eu>

⁴⁰ *Ontologies for Education*, <http://o4e.iiscs.wssu.edu/xwiki/bin/view/Blog/About>

⁴¹ *Topics Maps for Learning*, <http://compsci.wssu.edu/iis/nsdl>

Diseño instruccional

La ciencia instruccional se ocupa de la aplicación práctica de las teorías educativas. Se desarrolla desde principios del siglo XX con las aportaciones de autores como *Thorndike* (1912), *Dewey* (1998), *Skinner* (1958), *Bruner* (1966), *Gagné* (1985), *Ausubel* (1983) o *Merrill* (1999) y adaptadas recientemente a los nuevos entornos virtuales de aprendizaje (*Jacobson*, 2008; *Graesser et al.*, 2001; *Crook*, 1998; *Ohlsson*, 1986). La eficacia de la instrucción depende de la selección de la metodología más adecuada a la combinación de los factores alumno-entorno-conocimiento y de la disposición de los medios acordes al método elegido. Como base del análisis de las posibilidades de adaptación del proceso instruccional en los sistemas educativos, destacamos a continuación algunas de las principales aportaciones a la ciencia instruccionales derivadas de las teorías de aprendizaje:

- **Etapas cognitivas** (*Piaget*, 1970). *El diseño instruccional debe tener en cuenta el desarrollo cognitivo del alumno dividido en tres periodos sucesivos e integrativos: Preoperativo/Sensomotriz/Genético, Maduro/Operativo-concreto y Jerárquico/ Operativo-formal.*
- **Aprendizaje por descubrimiento** (*Bruner*, 1995). *Metodología inductiva en la que el alumno desarrolla sus capacidades analíticas e intuitivas para descubrir por sí mismo las interrelaciones de un determinado conocimiento.*
- **Aprendizaje conversacional** (*Graesser et al.*, 2001; *Collins & Stevens*, 1983). *Se trata de un método socrático en el que el alumno interacciona directamente con un experto.*
- **Aprendizaje significativo** (*Ausubel et al.*, 1983). *Visión cognitiva del método instruccional basado en los procesos que intervienen en el aprendizaje (adquisición, retención y recuperación). Propone un proceso instruccional dividido en 3 etapas: Incubación (disposición a aprender, atender y situar el tema en*

los esquemas mentales), Asimilación (recopilación, codificación, asociación, registro y retención de datos) y Catalización (aplicación de lo aprendido para fomentar la recuperación y la transferencia). La inclusión de los conceptos nuevos modifica la estructura de los conceptos inclusores de forma que si se efectuara la exclusión del concepto quedaría una Mejora Residual Cognitiva. Mediante Reconciliación Integradora el alumno responde a los interrogantes internos y externos para reorganizar su estructura cognitiva creando nuevas categorías y relaciones.

- **Aprendizaje social** (Vigotsky, 1978). *Los procesos instruccionales dirigidos pierden importancia en favor de la libre negociación de significados entre los actores del proceso y la información. Para el diseño instruccional orientado al aprendizaje social se emplea la Teoría de la actividad (Engeström, 1999) de gran aplicabilidad en los entornos virtuales de aprendizaje (Kaptelinin & Nardi, 2006).*
- **Aprendizaje basado en problemas** (Nickerson, 1998; Savery & Duffy, 1995). *Instrucción basada en la teoría del Procesamiento de la información en la que los alumnos son dirigidos para resolver una tarea inteligentemente exigente mediante una serie de pasos entre el estado inicial y la resolución final.*

La *Enseñanza Programada* de Skinner (1970) constituye uno de los primeros intentos de sistematizar el diseño instruccional aplicado a los sistemas automáticos de apoyo al aprendizaje. Fracciona el proceso instruccional en unidades de información reguladas por prerrequisitos de forma secuencial. El ordenador aporta los estímulos que modifican la conducta del alumno evaluada mediante una serie de preguntas-respuestas establecidas. Este tipo de instrucción conductista facilita la adaptación al ritmo individual del alumno, regula los errores del aprendizaje y continúa siendo una referencia en los entornos virtuales de aprendizaje orientados a contenidos.

Los sistemas hipermedia representan un avance significativo en las posibilidades instruccionales, especialmente en lo relativo a la autorregulación del aprendizaje del alumno (Pieschl et al., 2007; Azevedo, 2005; Kauffman, 2004). Mantiene las directrices de la enseñanza programada (Dick & Carey, 2004) y ciertas deficiencias en el desarrollo de habilidades sociales y afectivas. La teoría instruccional de la *Elaboración* (Reigeluth, 2000) aplica el *Flujo Instruccional* de Gagné (1988) y el *Aprendizaje Significativo* de Ausubel (1983) a los sistemas hipermedia (Pérez et al., 2004; Hoffman, 1997). Divide la instrucción en pequeños pasos o *Elaboraciones* entre las que se encuentran en *Epítome* (visión inicial), el *Resumen* (revisión) y la *Síntesis* (integración). El alumno tiene libertad para elegir una de las secuenciaciones preestablecidas como: *temporal, jerárquica, procedimental, por complejidad*, etc. En la Tabla 6 se resumen las funciones instruccionales habituales de los componentes que conforman una sistema hipermedia orientado a contenidos.

Función	Atributos	Tipo	Descripción	Uso
ORIENTACIÓN INFORMACIÓN	Motivar Situar Describir	Guía didáctica Consejos de uso	Aporta información complementaria que no forma parte del contenido.	Si no se han leído se muestran, si se han leído se dejan como acceso. No se evalúan.
SITUACIÓN	Motivar Situar Organizar	Actualidad Anécdota	Centra la atención y prepara el aprendizaje.	Pueden utilizarse al principio de la instrucción en función de la motivación y de los conocimientos previos. No se evalúan.
CONTENIDO	Describir Adquirir Referenciar	Curso Tema Apartado	Describe las propiedades y relaciones semánticas.	Se seleccionan y se muestran en función de su tipo, el estado del alumno y la estrategia de enseñanza.
DOCUMENTACIÓN	Referenciar Describir	Bibliografía Enlaces	Posibilita la ampliación del conocimiento más allá de los contenidos.	Se muestra como acceso.
SEGUIMIENTO	Evaluar	Inicial Final Autoevaluación Pregunta	Estima el estado del alumno	Se seleccionan o se generan en función del objetivo de seguimiento. No bloquean el avance, el bloqueo se produce por prerrequisitos en los contenidos.

Atributos

- **Adquirir.** El alumno crea un nuevo conocimiento: concepto, habilidad o experiencia.
- **Describir.** El alumno asigna valor a ciertas características de un conocimiento.
- **Referenciar.** El alumno asocia información complementaria a un conocimiento.
- **Organizar.** El alumno rememora percepciones que facilitan la adquisición del nuevo conocimiento como los organizadores previos del aprendizaje significativo.
- **Motivar.** El alumno cambia su estado motivacional intrínseco.
- **Situar.** El alumno rememora conocimiento que servirá de enlace para el nuevo conocimiento como los inclusores del aprendizaje significativo.
- **Evaluar.** El alumno busca y recupera un conocimiento y lo pone de manifiesto.

Tabla 6. Funciones instruccionales de componentes hipermedia.

Como complemento a la *Teoría de la Elaboración*, surgen planteamientos que profundizan en los procesos cognitivos asociados a los procesos instruccionales como la *Teoría de Heurístico-Algorítmica* (Landa, 1983), la *Teoría Estructural* (Scandura, 2004) o la *Teoría Transaccional* (Merrill, 1999). Esta última codifica el conocimiento en esquemas constituidos por 4 elementos básicos: *Entidades, Propiedades, Actividades y Procesos*. La instrucción se define por transacciones de información entre el alumno y el sistema, mediante algoritmos de interacción clasificados en tres tipos: *Transacciones componentes* que afectan a entidades (identificar, interpretar...), *Transacciones abstractivas* que manejan grupos de entidades (clasificar, generalizar, juzgar...) y *Transacciones asociativas* que combinan entidades (propagar, sustituir...).

Las teorías instruccionales como las citadas anteriormente han tenido tradicionalmente una orientación a contenidos donde los sistemas automáticos se convierten en transmisores del conocimiento. Esta concepción cambia con la adopción de paradigma constructivista social en las plataformas de teleformación. Las técnicas de *Scaffolding* (Puntambekar & Hubscher, 2005) constituyen una nueva teoría instruccional para los sistemas hipermedia centrada en el aprendizaje del alumno,

como en el sistema *HAL* (*Hypermedia Assisted Learning*) (Shapiro, 2008) o en la propuesta *SCKF* (*Scaffolding Connected Knowledge Framework*) de Jacobson (2008). Este último propone el desarrollo de entornos complejos de aprendizaje como el *CSKM* (*Complex Systems Knowledge Mediator*) que permitan la variación de las formas de presentación del conocimiento y que pongan en práctica diversas metodologías instruccionales como *PBLC* (*Problem-Based Learning by Cases*) o *PBLI* (*Problem-Based Learning with Inquiry*).



Método	Carga cogn.	Aprendizaje	Alumnos	Eficacia
Receptivo Exposición con recursos multimedia sin posibilidad de interacción.	Alta	Superficial	Maduros	Baja
Directivo Exposición estructurada en lecciones cortas con un criterio deductivo de menos a más.	Baja	Superficial	Noveles	Alta
Por descubrimiento Interacción práctica con el sistema mediante un método básicamente inductivo (simulaciones, problemas...).	Media	Profundo	Expertos	Media
Exploratorio Interacción con un gran almacén de recursos documentales.	Auto-regulada	Profundo	Maduros	Baja

Figura 22. Descripción de metodologías instruccionales por factores de selección (Clark, 2003; Zabalza, 2000).

Metodologías y principios instruccionales

Desde el punto de vista del alumno existen dos extremos en la forma de afrontar el proceso instruccional a través de los sistemas telemáticos. Por un lado se encuentran los métodos heteroestructurados o dirigidos (*flow function*) en los que el alumno desempeña un papel pasivo como receptor de información. En el extremo opuesto se sitúan los métodos autoestructurados o exploratorios (*choose function*) en los que el alumno participa en la búsqueda y construcción de su conocimiento. Entre ambos extremos se encuentra toda la gama de metodologías instruccionales que el sistema selecciona en función del estilo del alumno, sus conocimientos previos, el tipo de contenido y el entorno físico y social (Koppelman, 2005). Los expertos en la pedagogía de las tecnologías coinciden en fomentar los métodos instruccionales centrados en el alumno siempre que lo permitan las circunstancias. Los alumnos noveles y los

conocimientos básicos introductorios admiten métodos conductistas, dirigidos y repetitivos, mientras que los conocimientos avanzados/expertos requieren métodos constructivistas, generativos y reflexivos (Clark, 2003; Jonassen, 1999). La Figura 22 resume las metodologías instruccionales más habituales en función de los factores que influyen en el proceso de aprendizaje.

	<i>Interacción</i>	<i>Alumnos</i>	<i>Fase</i>	<i>Navegación</i>	<i>Contenidos</i>	<i>Procesos</i>
Análisis de casos / Sinéctica Presentación de diferentes puntos de vista de un tema para que el alumno pueda integrarlo en su propio conocimiento.	I	NE	I	D	T	MP
Organizadores avanzados / Pre-preguntas Aportar o solicitar información básica y estructurada mediante esquemas, analogías, ilustraciones...	I	N	I	D	T	P
Ejemplos y contraejemplos Mostrar casos concretos de entidades, procedimientos, hechos... antes de justificar los pasos.	I	N	I	D	P	IM
Aprendizaje autodirigido / Exploración Navegación libre por contenidos.	I	E	D	A	T	I
Instrucción directa / Multimedia / Videoconferencia El profesor describe unilateralmente su punto de vista de un contenido.	I	E	D	D	T	I
Tomar apuntes Exponer información oral para que los alumnos tomen nota con un fin (preguntas posteriores...).	I	E	D	A	A	I
Ayudas cognitivas / Anotaciones Aportar esquemas, analogías y destacados para ayudar a la estructuración de la información.	I	N	D	D	T	AI
Preguntas / Autoevaluación Insertar preguntas durante el proceso de instrucción.	I	N	DR	D	T	AIR
Simulaciones / Cómo funciona / Causa-Efecto Mostrar el funcionamiento interno antes de justificar los pasos.	I	NE	D	DA	P	TM
Ejercicios prácticos Resolver ejercicios prácticos realistas sobre los temas explicados.	I	NE	R	D	T	R
Análisis conceptual (Ganter et al., 2005), UVE de Gowin, Mapa conceptual Los alumnos elaboran esquemas cognitivos a partir de un conjunto de documentos.	IG	E	DR	D	T	IT
Esquemas, Wikis, Blogs... Construcción de documentos que sintetizan la información.	IG	E	DR	A	T	IT
Aprendizaje cooperativo / Grupo de trabajo-investigación / Aprendizaje basado en problemas / WebQuest Aprendizaje mediante la interacción con el resto del grupo mediante tareas estructuradas para la búsqueda de un resultado.	G	NE	D	DA	T	MIE S
Grupo de debate Plantear un problema a un grupo de alumnos para que lo justifiquen. Se emplean técnicas como <i>Tormenta de ideas</i> , <i>Preguntas guiadas</i> ...	G	E	IDR	DA	T	PMS

Interacción: G-Grupal, I-Individual. Alumnos: N-Noveles, E-Expertos. Fase: I-Introducción, D-Desarrollo, R-Revisión. Navegación: D-Dirigida, A-Autónoma. Contenidos: T-Teóricos, P-Prácticos. Procesos: E-Estado emocional, A-Atención, T-Transferencia, M-Motivación, R-Recuperación, I-Integración/Comprensión/Codificación, S-Habilidad social, P-Incluidores previos.

Tabla 7. Resumen de métodos instruccionales.

Cada profesor diseña su propia arquitectura instruccional como una suma de métodos y actividades. Dependiendo del autor (Clark, 2003; Joyce et al., 2003) los métodos instruccionales aparecen agrupados en diferentes clases: métodos de absorción, de comportamiento, grupales, cognitivos o de procesamiento. Los hay dirigidos y autónomos, individuales y grupales, estructurados y desestructurados, con resultados, participativos e intuitivos. El diseño de un plan formativo sobre un entorno virtual de aprendizaje se compone de 4 tipos de elementos: *Información* (Objetivos, Calendario, Noticias...), *Servicios* (Tutoría, Mensajería, Repositorio...), *Complementos* (Enlaces de interés, Bases de datos documentales...) y *Actividades* (Lectura, Debate, Problema...), que configuran las metodologías instruccionales (Tabla 7).

Cuando un docente se plantea cuáles son los métodos instruccionales más adecuados al contenido, al alumno y al entorno, emplea un conjunto de reglas subjetivas e implícitas que forman parte de su experiencia. Desde el punto de vista cognitivo, Clark (2003) resume la actuación docente en 8 grandes estrategias: estimular la motivación continuamente, activar los conocimientos previos al principio, facilitar la selección atencional, adecuar la carga cognitiva, facilitar la codificación y la transferencia, emplear estímulos de recuperación, adaptar el nivel de abstracción y ajustar la instrucción a la capacidad de aprendizaje. Las teorías instruccionales (Dewey, 1998; Gagné et al., 1988; Ausubel et al., 1983; Bruner, 1966; Thorndike, 1912) y las conclusiones del paradigma cognitivo aportan claridad a dichas reglas y hacen explícitos algunos principios instruccionales básicos que se describen a continuación en su aplicación a los entornos virtuales de aprendizaje (Tabla 8).

Principio 1: INCUBACIÓN / MOTIVACIÓN / DISPOSICIÓN. Antes de comenzar una instrucción se debe fomentar en el alumno la disposición a aprender: *“El aprendizaje debe surgir de la necesidad propia del individuo de sus impulsos psíquicos”* (Thorndike).

Principio 2: SATISFACCIÓN / REFUERZO POSITIVO. Las situaciones de aprendizaje que se dominan con éxito son las que mejor se retienen.

Principio 3: REALISMO / PRAGMATISMO / AUTENTICIDAD / RELEVANCIA. La formación debe tener sentido pragmático incluso en los contenidos teóricos de las asignaturas.

Principio 4: SITUACIÓN / ACOMODACIÓN / INCLUSIÓN. Cuando se presenta un contenido, el alumno este debe estar preparado para situarlo perfectamente en su mapa cognitivo.

Principio 5: LIBERTAD. El autocontrol mejora la selección atencional y la eficacia del aprendizaje. La toma de decisión forma parte de la formación integral del alumno y debe ser reforzada en la metodología instruccional.

Principio 6: ACTIVO / PRODUCTIVO. La mejor manera de aprender se consigue cuando el alumno es un elemento activo de su aprendizaje: aprendizaje activo y creativo (Srinivas et al., 1991). *"Aprender haciendo"* (Dewey, 1998).

Principio 7: VARIACIÓN. Para mantener la atención se debe introducir variación en el estímulo.

Principio 8: CARGA COGNITIVA / CONTINUIDAD. La instrucción debe reducir la carga cognitiva al nivel mínimo intrínseco al propio conocimiento, sin añadir cargas extrínsecas debidas a sobreestímulos, ambigüedades, ruidos, etc. Las sesiones no deben interrumpir la continuidad del contenido. *"Las sesiones deben ser cortas y completas"* (Thorndike).

Principio 9: ESTRUCTURACIÓN / INTEGRACIÓN. El conocimiento instruccional debe codificarse y mostrarse de forma que permita el razonamiento pedagógico y su inclusión lógica en el dominio cognitivo del alumno.

Principio 10: MULTIPLICIDAD / PERSPECTIVAS. Un aprendizaje completo se consigue cuando el alumno lo aborda desde todos los puntos de vista posibles. La teoría de la *Flexibilidad Cognitiva* (Spiro et al., 1992) plantea que el aprendizaje simplificado conduce a la memorización y se aleja de la integración.

Principio 11: CATALIZACIÓN / REPETICIÓN / FRECUENCIA. Emplear métodos instruccionales que consoliden el conocimiento y su recuperación. Lo mal aprendido entorpece aprendizajes posteriores y lo bien aprendido los potencia. *"La repetición fortalece el aprendizaje"* (Thorndike).

Principio 12: INDIVIDUALIZACIÓN. En todos los procesos de aprendizaje se debe considerar las diferencias individuales de los alumnos.

Principio 13: EVALUACIÓN / SEGUIMIENTO / RETROALIMENTACIÓN. El control del proceso de instrucción y aprendizaje requiere métodos de evaluación y retroalimentación de los conocimientos, comportamientos y estados emocionales.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Indagar el estado fisiológico del alumno y su entorno de trabajo e intentar optimizarlo.													
Fomentar la motivación intrínseca asociando el proceso instruccional con las aficiones del alumno.													
Emplear premios y penalizaciones sólo cuando el tema no admita otro tipo de motivación.													
Evitar el exceso de ayudas que produce sensación de dificultad.													
Dar libertad de interlocución y control de avance al alumno.													
Mostrar las tareas superadas y el esfuerzo realizado.													
Eliminar contenidos irrelevantes para el alumno mediante consulta directa.													
Incluir autoevaluaciones.													
Dialogar con el alumno periódicamente.													
Gestionar la fatiga y el aburrimiento introduciendo descansos.													
Variar el estímulo.													
Introducir posibilidades de interacción.													
Establecer la importancia del tema.													
Emplear objetivos relevantes y alcanzables basados en competencias y organizados por importancia.													
Utilizar ejemplos cercanos al alumno.													
Adaptar las pantallas al alumno.													
Compensar la falta de conocimientos previos necesarios.													
Activar los conocimientos inclusores, evitando la activación del conocimiento no relacionado.													
Presentar los contenidos en entornos hipermedia flexibles.													
Priorizar los métodos basados en prácticas y proyectos.													
Variar el canal de comunicación evitando excesos lingüísticos y sobrecargas.													
Emplear presentación de contenidos multicanal (texto, audio, imagen...).													
Crear elementos destacados (negrita, color, flash, movimiento...) evitando la atención dividida.													
Diseñar un contenido continuo por sesiones.													
Regular la presentación para reducir los elementos en la memoria de trabajo.													
Fomentar el aprendizaje de procesamiento automático.													
Emplear simulaciones interactivas.													
Presentar los distintos puntos de vista con analogías y ejemplos.													
Fomentar el razonamiento inductivo.													
Fomentar el intercambio de opinión entre individuos.													
Incluir referencias periódicas a lo ya aprendido.													
Adaptar el nivel de abstracción al nivel del alumno.													
Emplear métodos de seguimiento y retroalimentación continuos.													

Tabla 8. Recomendaciones y principios instruccionales.

Conocimiento instruccional

El conocimiento instruccional es el resultado de la labor que hace un profesor para organizar y expresar sus conocimientos de un tema de forma que sea fácilmente interpretado por los alumnos. El análisis de la naturaleza del conocimiento instruccional revela estructuras de tipo jerárquico (Joyce et al., 2003; Goldstein, 1996; Ausubel et al., 1983) de conceptos, objetos y modelos interconectados mediante *Atributos del conocimiento* (Bruner, 1995) como: *SimilarTo*, *PrerequisiteOf*, *ExplanationOf*, *GeneralizationOf*, *InstanceOf...*, que permiten flexibilizar la presentación/navegación de lo simple a lo complejo, de lo particular a lo general, etc. Además del conocimiento de tipo jerárquico-conceptual, el conocimiento instruccional incluye estructuras de tipo secuencial-procedimental indicadas para la enseñanza de procesos y habilidades.

El diseño de la secuenciación se superpone a la propia codificación del contenido mediante estructuras didácticas. El docente puede optar por desestructurar la navegación liberando el control del alumno o definir una estructura con ciertos grados de rigidez (Figura 23). El paso de un tema a otro no se produce de forma natural (*Smooth tutorial*) a menos que se incorpore un conocimiento de transición formado por *introducciones*, *resúmenes*, *anécdotas*, *composiciones* o *resúmenes* que Reigeluth (2000) denomina *Glue Knowledge*.

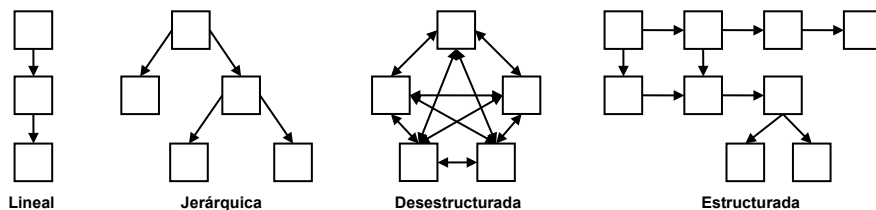


Figura 23. Topologías de navegación.

Además del conocimiento didáctico y de dominio, el profesor dispone de su experiencia docente que le permite intuir dónde los alumnos van a encontrar dificultades y pueden cometer errores de asimilación. La codificación de esta experiencia en el conocimiento instruccional se suele realizar mediante un conjunto de reglas que configuran el denominado *Error Knowledge* empleado con éxito en los sistemas de tutorización basados en restricciones (Ohlsson, 1986).

La teoría del *Aprendizaje Significativo* (Ausubel et al., 1983) es de especial interés cuando se pretenden elaborar contenidos que mejoren el rendimiento del proceso de aprendizaje. Plantea dos condiciones necesarias en el contenido: *Lógico* y *Psicológico*. Un contenido *Psicológico* es el que conecta con la psicología del alumno para que se sienta incitado a aprenderlo; requiere introducciones que presenten la importancia,

posibilidades y curiosidades del tema. Un contenido *Lógico* es el que conecta con la estructura cognitiva del alumno de forma que pueda asimilarlo; requiere el uso de lenguajes sintónicos como *Mapas conceptuales*, *Esquemas*, *Representaciones causales*, *Organigramas*, *Diagramas de flujo*, *Mindtools*... (Jonassen, 1996). El paradigma del *Aprendizaje Significativo* incorpora 3 principios que resumen las recomendaciones para el diseño de contenidos lógicos:

- **Organizadores previos.** *Pequeños fragmentos instruccionales que resumen el contenido destacando las relaciones con lo ya conocido.*
- **Supraordinación.** *Un nuevo concepto engloba parte del significado de otros conceptos específicos conocidos para establecer asociaciones entre conceptos aparentemente independientes. La supraordinación “lubrica” el aprendizaje porque afecta a los niveles superiores más inclusores.*
- **Diferenciación progresiva.** *Un nuevo concepto reestructura algunos de los ya conocidos afinando su significado mediante aprendizaje subordinado o particularización. La diferenciación progresiva resulta más fácil que la supraordinación porque afecta la restructuración de niveles inferiores.*

Los principios instruccionales descritos anteriormente y las posibilidades que ofrecen los nuevos medios de enseñanza determinan las características de los contenidos instruccionales. A continuación se resumen algunas de las aportaciones y recomendaciones que los autores deberán tener presente en el diseño de los contenidos instruccionales (Salinas et al., 2004; Clark, 2003; Laurillard, 1993).

Selección del contenido

El contenido del dominio que se pretende transmitir puede presentarse de diversas formas que determinarán la motivación y la eficacia cognitiva del proceso. El profesor selecciona, combina y distingue la información de tipo *Need-to-know* de la *Nice-to-know* (historia, anécdotas, ventajas....).

Estructura del contenido

La adaptabilidad del proceso instruccional exige la fragmentación del conocimiento en estructuras jerárquicas con relaciones de tipo didáctico como *Prerrequisitos*, *Introducción*, *Aclaración*, *Ampliación*... siguiendo criterios objetivos y de sentido común.

Secuenciación y control de avance

El aprendizaje sólo es posible cuando el alumno comprende lo que recibe, es decir, conoce los conceptos necesarios para asimilar la nueva información. En los primeros estadios del aprendizaje se recomienda una secuenciación de contenidos guiado por prerrequisitos conceptuales. En cualquier caso, el criterio anterior se debe hacer compatible con la flexibilidad en el control del aprendizaje que reduce la carga cognitiva y genera un aprendizaje más eficaz y profundo; “*el propósito fundamental de la educación es capacitar a los aprendices para hacerse cargo de su propia construcción de significados*” (Novak, 1998). La codificación de la información en hiperdocumentos permite varios niveles de lectura y facilita la compensación entre las necesidades de secuenciación y la navegación libre.

Adaptabilidad y atributos del conocimiento

Los soportes tecnológicos de los conocimientos instruccionales desarrollan procesos de flexibilización e individualización del aprendizaje seleccionando los más adecuados a las circunstancias. Esta función es sólo compatible con la descripción de los componentes del conocimiento mediante atributos educativos como:

- ▶ **Tipo de contenido:** Hecho / Concepto / Procedimiento / Principio... (Gagné et al., 1988) o Práctico / Teórico / Abstracto (Dewey, 1998).
- ▶ **Objetivo de aprendizaje:** Memoria / Comprensión / Aplicación... (Bloom, 1956).
- ▶ **Medios:** Texto / Texto-Imagen / Imagen-Sonido / Imagen-Texto / Imagen-Texto-Sonido.
- ▶ **Nivel de procesamiento:** Profundo (semántico) / Superficial (físico) (Biggs & Collis, 1982; Craik & Lockhart, 1972).
- ▶ **Presentación:** Denotativa (basada en la percepción) / Expositiva (basada en el lenguaje) / Científica (basada en la causalidad) / Interrogativa (basada en preguntas)...
- ▶ **Nivel de dificultad.**

Efecto de Canal / Modalidad

La comunicación entre el sistema y el alumno se establece a través de los canales: visual, auditivo y lingüístico. La combinación de estos canales y su simultaneidad determina la modalidad de la comunicación. Las modalidades que incorporan dos canales simultáneos mejoran el aprendizaje respecto al canal único. Sin embargo, las modalidades que superan los 2 canales de comunicación producen sobrecarga (Clark & Lyons, 2004).

La memoria de trabajo del alumno trabaja con elementos físicos en un entorno espacio-temporal, por lo que cualquier explicación por los canales lingüístico o auditivo se convierte finalmente en una representación visual. La modalidad que ha demostrado mayor rendimiento en los dominios conceptuales está formada por un canal visual principal (imagen, gráfico, esquema, animación, video...) complementada por un canal explicativo auditivo o lingüístico (Lee, 2007). En cualquier caso se recomienda evitar el canal lingüístico como modalidad principal debido a su carácter irreflexivo y desmotivador.

Recursos visuales

La pantalla es la interfaz de comunicación principal en los sistemas de educación asistida y, como tal, la selección y disposición de los recursos visuales es uno de los factores fundamentales del rendimiento del aprendizaje. El diseñador tiene que ponerse siempre en el lugar del alumno, cultural y ambiental, para evitar los problemas de ambigüedad en el mensaje. El uso de recursos intuitivos, metafóricos y cognitivos (esquemas, diagramas, mapas...) mejora la eficiencia y eficiencia del aprendizaje. Existen diversas modalidades de uso de los elementos visuales con objetivos educativos (Rodríguez, 1995):

- **Motivadora/Decorativa/Alusiva.** *Mejoran la estética y la atracción de la información.*
- **Representativa.** *Presentan imágenes reales. Habitualmente deben acompañarse de explicaciones que centren el mensaje de la imagen.*
- **Mnemónica/Catalizadora.** *Resumen la realidad en dibujos o iconos que facilitan su interpretación.*
- **Organizacional/Atributiva.** *Representan relaciones semánticas en esquemas relacionales, gráficos o diagramas.*
- **Transformacional/Operativa.** *Muestran el funcionamiento o procesamiento de algo mediante animación.*

Efectos atencionales

La transmisión de un mensaje comienza por la excitación de los elementos sensoriales y atencionales del alumno. Las leyes de la percepción determinan el funcionamiento de la atención por umbrales (ley de Weber-Fechner), incrementos (depende del valor anterior) y memoria (depende de la experiencia). La aplicación de estas leyes a los recursos instruccionales aconseja el uso moderado de efectos atencionales como movimiento, sonido, color, flash... sólo cuando sea realmente necesario. Si el alumno

recibe múltiples efectos atencionales simultáneos y reiterados se sentirá desconcertado y buscará otras alternativas de aprendizaje.

Sobrecarga cognitiva

La información que recibe un alumno es procesada por los recursos limitados de su memoria de trabajo (Miller, 1956). El exceso de información sobrecarga el procesamiento y dificulta considerablemente el aprendizaje. Para evitarlo, se recomienda:

- **Entorno.** *Los elementos que configuran el entorno de aprendizaje deben configurarse para que le resulten familiares al alumno y su atención se centre en el mensaje.*
- **Densidad.** *La organización de la información debe seguir un criterio de densidad cognitiva con menos de 9 mensajes simultáneos. Se recomienda trocear la información (chunking) y agregarla mediante un método de profundización en espiral desde los esquemas de alto nivel hasta los aspectos más concretos.*
- **Explicaciones.** *"Las explicaciones deben ser económicas y sencillas" (Guillermo de Occam, 1340). Las explicaciones directas, con analogías y con pocas palabras se asimilan mejor que las que intentan explicarlo todo en un texto largo y complejo.*
- **Música.** *La música de fondo puede saturar el canal auditivo y entorpecer la comunicación. Sólo se recomienda introducir música de fondo para aumentar la motivación del alumno en algunos procesos de aprendizaje pasivos.*

La evaluación

La evaluación engloba todos los métodos de recolección de información sobre el alumno para posibilitar el control del proceso de aprendizaje. Además, como función subsidiaria, la evaluación constituye un motivador extrínseco que favorece la atención y mejora el aprendizaje.

Tradicionalmente se asocia la evaluación educativa con las pruebas de conocimiento que se plantean al final de un proceso formativo con el fin de determinar la cualificación del alumno (evaluación sumativa). Sin embargo, la evaluación abarca tanto la estimación del nivel de conocimiento como la habilidad de la ejecución de una tarea (evaluación de producto) o las estrategias empleadas en su desarrollo

(evaluación de proceso). Además, la evaluación se plantea como un proceso continuo desde antes del comienzo de la instrucción (evaluación inicial), durante el proceso de aprendizaje (evaluación formativa) y en su finalización (evaluación sumativa).

En la enseñanza presencial se emplean formas de evaluación que miden distintos tipos de conocimiento y distintos niveles de procesamiento. No es lo mismo pedir a un alumno que describa cómo se hace algo, que pedirle que lo haga. Los entornos virtuales de aprendizaje se apoyan principalmente en una evaluación objetiva fundamentalmente lingüística sin tener en cuenta el tipo de conocimiento (cognitivo, afectivo, psicomotriz...) ni el tipo de procesamiento (memorístico, lógico, procedimental...) que se pretende evaluar. Las aplicaciones derivadas de la tendencia Web 2.0 incorporan nuevas posibilidades que amplían el espectro de evaluación en los entornos virtuales de aprendizaje (Tabla 9) (IMS, 2008).

Preguntas cerradas	Elegir una opción. Elegir varias opciones. Ordenar elementos. Asociar elementos. Asignar valores. Rellenar huecos. Interacción múltiple. Adaptativas a la respuesta anterior.
Preguntas abiertas	Corrección por palabras clave. Corrección por análisis semántico.
Elaboración	Informes. Blogs. Mapas conceptuales.
Participación y uso	Foros calificados. Aportaciones a Wikis. Manejo de simuladores.
Seguimiento	Frecuencia de accesos. Tiempos de acceso.

Tabla 9. Formas de evaluación asistida.

La inmediatez en la corrección, la facilidad de retroalimentación y la adaptabilidad por parámetros, han hecho que los cuestionarios objetivos compuestos fundamentalmente por preguntas cerradas se hayan impuesto como sistemas de evaluación válida y fiable en las plataformas de aprendizaje. Cada vez más, la evaluación automática se organiza en forma de *Bancos de ítems* (Figura 24) donde se guardan las preguntas definidas por parámetros cualitativos y estadísticos (Tabla 10) que se emplean para generar dinámicamente cuestionarios adaptados. La fiabilidad de la prueba no suele formar parte del diseño de estos cuestionarios automáticos.

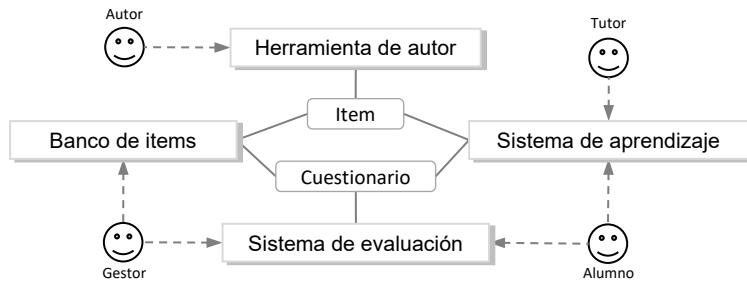


Figura 24. Arquitectura de banco de ítems (IMS, 2008).

Para la confección dinámica de una prueba de evaluación automática el sistema selecciona un conjunto de preguntas del banco de ítems. Comienza filtrando y segmentando las preguntas con las características necesarias que definen el contenido del cuestionario. A continuación, aplica un algoritmo recursivo en el que se van seleccionando las preguntas que maximizan la discriminación, minimizan el factor de adivinación y cumplen un valor dado de dificultad media.

Descriptorios permanentes

C	Contenidos Descriptorios de los contenidos que evalúa.
P	Nivel de Procesamiento Descripción del grado de aprendizaje que evalúa. Se suele emplear la taxonomía de <i>Bloom</i> (Alexandre et al., 2010). Las preguntas cerradas sólo permiten avaluar los niveles inferiores de memoria, comprensión y aplicación.

Descriptorios estadísticos dinámicos

D	Nivel de Dificultad Medida de la probabilidad de respuesta correcta al ítem. Se calcula como media de resultados conocidos $[0,1]$.
d	Poder de Discriminación Medida de la capacidad del ítem para verificar del nivel de conocimientos de un alumno. Se calcula por correlación entre el resultado del ítem y el de la prueba completa $[-1,1]$.
A	Factor de Adivinación Medida de la probabilidad de respuesta correcta cuando el alumno desconoce el tema. Se calcula como el valor complementario del nivel de dificultad del ítem para los alumnos que demuestran los peores resultados en la prueba completa $[0,1]$.

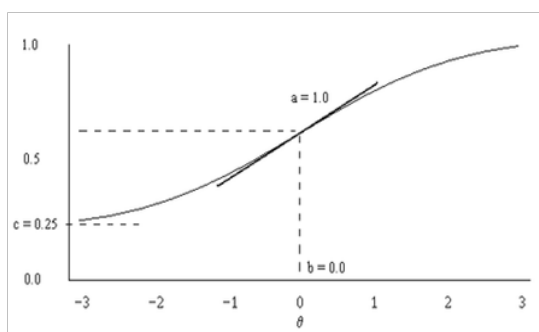
Tabla 10. Parámetros de ítems.

Cuando la evaluación es individual, el sistema confecciona el cuestionario de evaluación adaptado al alumno; la pregunta siguiente se selecciona para maximizar la información recibida o disminuir el error de estimación teniendo en cuenta los resultados del alumno hasta ese momento. La evaluación del alumno en cada instante se estima como una distribución normal centrada en su calificación media y con una varianza asociada al grado de confianza de la calificación. La probabilidad condicionada

de Bayes se emplea para estimar la varianza a posteriori correspondiente a la aplicación de una pregunta concreta. El sistema selecciona en cada instante la pregunta que reduce en mayor grado dicha varianza aumentando así el índice de fiabilidad de la calificación. En algunos casos, el sistema aplica un intervalo de confianza en los parámetros para ofrecer al alumno un grupo de preguntas y así reducir su ansiedad en lo que se denominan método *Auto-adaptativo*.

Los resultados de una prueba de evaluación no sólo dependen del grado de conocimiento de los contenidos que evalúa; influyen también factores de tipo ambiental (ruido, temperatura, iluminación...), emocional (cansancio, desmotivación...) y de diseño de la prueba (ambigüedad, formato...). Para diseñar un buen proceso de evaluación habría que tener en cuenta las siguientes características:

- **Motivadora.** La evaluación debe emplearse para mejorar el estado psicológico del alumno, en ningún caso los resultados de una evaluación deben mostrar las dificultades del aprendizaje.
- **Continua.** Para mejorar el aprendizaje hay que actuar durante el proceso. La evaluación final sirve para detectar los errores que ya no pueden ser corregidos.
- **No inmediata:** Para poder evaluar el verdadero impacto del aprendizaje, hay que dar tiempo a que el alumno asimile los conocimientos.
- **Contextual / Normativa.** La evaluación de un alumno debe situarse en el entorno del grupo al que pertenece (clase, curso, edad...); las calificaciones individuales se corrigen con parámetros contextuales.
- **Parametrizada / Coherente / Objetiva / Criterial.** Las pruebas de evaluación deben estar descritas en sus contenidos, nivel de dificultad y tipo de aprendizaje.
- **Incierta.** Los valores medidos con las pruebas de evaluación son estimaciones de los valores reales y, como tal, deben incorporar medidas de probabilidad o de certeza.



$$P(\theta) = c + \frac{1 - c}{1 + e^{-Da(\theta - b)}}$$

Θ = Habilidad del alumno

D = Cte. de escala = 1.702

a = Discriminación del Ítem

b = Dificultad del Ítem

c = Adivinación del Ítem

Figura 25. Curva característica de ítem. Modelo 3PL.

La psicometría aplicada a los sistemas de evaluación automática aporta los métodos y modelos matemáticos para la estimación de las capacidades de los alumnos. Los primeros modelos lineales, como el *CTT (Classical Test Theory)* de *Spearman*, se centraron en la estimación de los errores entre la calificación obtenida y la capacidad real del alumno. Para corregir los errores de medida de los sistemas lineales se desarrollaron otros modelos como el *Generalizability Theory* de *Cronbach*, el *IRT (Item Response Theory)* de *Rasch* y otros modelos de probabilidad como las *Redes Bayesianas* (Millán et al., 1999). La *IRT* ha demostrado su aplicabilidad en los sistemas de evaluación automática (Wang, 2006; Wiberg, 2004; Fernández, 2003) a partir de la *Curva Característica de Ítem (ICC: Item Characteristic Curve)* que describe cuál es la probabilidad de responder correctamente a dicho ítem dado un determinado nivel de conocimiento. El modelo *3PL* de *IRT* resume y completa los modelos de *Rasch* y *Birnbaum* (1968) a través de la función de probabilidad que se muestra en la Figura 25.

Modelado del dominio

El propósito del *modelo de dominio* o *modelo experto* es representar el conocimiento de una materia desde el punto de vista educativo. La representación constituye un nivel superior de abstracción que permite gestionar los recursos educativos con una mayor capacidad pedagógica. El modelo de dominio ha evolucionado desde propuestas muy específicas de conocimiento procedimental basado en tareas en los sistemas de tutorización inteligente, hasta representaciones didáctico-instruccionales organizadas por conceptos y orientadas a facilitar la navegación en los sistemas hipermedia adaptativos.

El contenido objeto de aprendizaje se materializa en una base de conocimiento modelada en distintos niveles. Desde una secuencia de recursos instruccionales hasta una representación semántica requieren una considerable dedicación y un gran esfuerzo de abstracción que, habitualmente, constituye el mayor escollo en el desarrollo de los sistemas inteligentes aplicados a la educación (Murray, 1997).

El proceso de enseñanza-aprendizaje a distancia funciona como un sistema retroalimentado en el que la variable de control es el “Conocimiento”. El nivel de representación del *modelo de dominio* determina la codificación de dicha variable de control e incide en las capacidades adaptativo/pedagógicas del sistema. En la Figura 26 se resumen las diferentes perspectivas de la representación del conocimiento desde el nivel instruccional al cognitivo (Chi, 2009; Benyon, 1993).

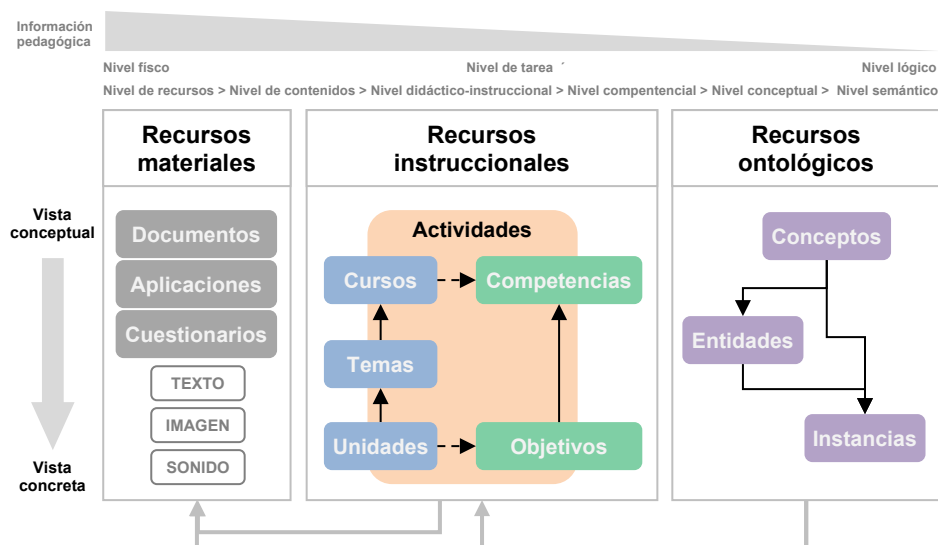


Figura 26. Niveles de representación del modelo de dominio.

El primer paso para construir el modelo de dominio de un sistemas educativo es definir la *Ontología temática* (Murray, 1996), que comprende el tipo de nodos, relaciones y propiedades de la base de conocimiento. El diseño del modelo de dominio depende directamente de las capacidades adaptativas y del objetivo del sistema: presentación de contenidos, resolución de problemas, trabajo en grupo, etc. En cualquier caso, se suelen crear modelos (Koper, 2006; Cristea & De Mooij, 2003) basados en estándares, en cooperación entre distintos autores y evitando la redundancia, cuya codificación maximice en la medida de lo posible las siguientes características:

- **Flexibilidad.** Posibilidades de representación.
- **Expresividad/Adaptabilidad.** Posibilidades de procesamiento automático.
- **Reusabilidad.** Posibilidades de compartición y reutilización.
- **Interoperabilidad.** Posibilidades de ejecución en distintas plataformas.

La formación a distancia se limita, en la mayoría de los casos, a la puesta a disposición del alumno de un conjunto de recursos didácticos continuos (documento escrito, video, audio, animación y simulación) y discretos (texto, gráfico, vínculo e imagen) (Verbert & Duval, 2004). Estos recursos contienen elementos multimedia diseñados, estructurados y programados siguiendo el criterio del autor que incorpora de forma implícita toda la información pedagógica. Los recursos educativos más elaborados incluyen barras de situación, varían los medios y, en algunos casos, interaccionan con el usuario y se adaptan a sus respuestas siguiendo el modelo de *Lecciones* (Moodle, 2009; Murray, 1998).

La codificación de los recursos instruccionales depende de la herramienta que se utilice en su elaboración (HTML, PPT, PDF...). La diversificación de los dispositivos de presentación de contenidos multimedia (Internet, Móvil, PDA) y la globalización de contenidos ha hecho que surjan iniciativas de integración y compatibilidad como el proyectos *Edit@*⁴² o *Flexo*⁴³, y lenguajes de especificación *UIDL* (*User Interface Description Language*) de recursos como por ejemplo: *SMIL* (*Synchronized Multimedia Integration Language*), *AAIML* (*Alternate Abstract Interface Markup Language*), *AUIML* (*Abstract User Interface Markup Language*), *UIML* (*User Interface Markup Language*), *XIML* (*eXtensible Interface Markup Language*), *Swing* o *XUL* (*XML-based User-interface Language*) de *Mozilla*. Todos ellos, categorizan la información en distintos niveles como: *tarea-abstracto-concreto* (Hurtado et al., 2004) o *archivo-secuencia-restricción*. Actualmente se está desarrollando una nueva versión del lenguaje de especificación de recursos Web *HTML5*⁴⁴ con el fin de depurar las deficiencias de accesibilidad, homogenizar su representación HTML/XHTML y ampliar las posibilidades multimedia y las capacidades de animación e interacción.

El nivel superior de representación de los recursos aglutina un conjunto de descriptores o metadatos que permiten adaptar el proceso instruccional seleccionando los recursos educativos que mejor se ajusten al estilo de aprendizaje del alumno. *Murray* (1998) introdujo algunos de estos descriptores de carácter educativo que han sido incorporados en las especificaciones actuales como *IEEE-LOM: Tema, Tipo* (definición-motivación-resumen-ejemplo-pregunta...), *Medio* (texto-imagen-video-esquema...), *Nivel de aprendizaje* (memoria-comprensión-aplicación...), *Dificultad*, *Nivel del alumno*, etc.

La elaboración de los recursos que conforman un curso resulta ser una de las tareas más laboriosas a las que se enfrentan los profesores que emplean las tecnologías educativas. La interconexión en red y la tendencia *Open Access* (pe. *OAI*⁴⁵: *Open Archives Initiative* y *OCW: Open Course Ware*) disminuye este problema, poniendo a disposición del profesor un conjunto de recursos en los *repositorios* de recursos educativos. Se trata de sistemas software que almacenan recursos digitales (o sus referencias) descritos con metadatos (Dublin Core, IEEE-LOM, MPEG21), y que ofrecen algún tipo de interfaz de búsqueda (*PMH: Protocol for Metadata Harvesting*) para personas o sistemas automáticos.

El último nivel de codificación de los recursos didácticos distingue los contenidos de su aspecto externo y permite a los sistemas educativos realizar adaptaciones en la presentación en función de las preferencias del alumno (Figura 27).

⁴² <http://www.proyectoedita.org>, 2008

⁴³ Universidad Carlos III, <http://www.ines.org.es/flexo>

⁴⁴ <http://www.w3.org/TR/2009/WD-html5-20090825>

⁴⁵ <http://www.openarchives.org/>

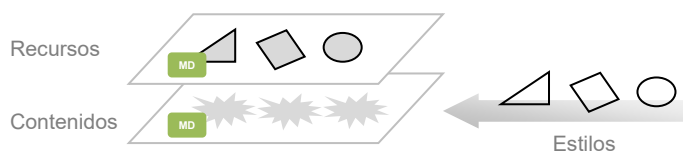


Figura 27. Recursos, contenidos y estilos.

Además de la adaptabilidad en la presentación, los primeros desarrollos de sistemas inteligentes incorporaban capacidades de adaptación en la secuenciación. En este caso, el modelo de dominio se diseña con un nuevo nivel de especificación didáctico-instruccional (Figura 28). En este nivel se define la metodología del proceso educativo mediante una jerarquía de contenidos y actividades con relaciones meronómicas *ParteDe/Contiene*. Dicha estructura puede depender de los criterios pedagógicos del autor como en *GIAS* (Castillo et al., 2003) o seguir un modelo predefinido asociado a una determinada metodología instruccional como en *AHyCo* (Hoic-Bozic & Mornar, 2005), *RLATES/IGNATES* (Iglesias et al., 2008) o *ZOSMAT* (Keles et al., 2009). Cada vez más se tiende a separar el nivel didáctico del nivel instruccional. El primero determina la estructura de temas y apartados directamente ligado al modelo de dominio propiamente dicho. El segundo, establece varias alternativas de aprendizaje de los elementos que conforman el nivel didáctico; se organiza en *Actividades* que, en ocasiones, se codifican fuera del modelo de dominio como el *modelo de aplicación* en *LAOS* (*Layered AHS Authoring-Model and Operators*) (Cristea & De Mooij, 2003) o el *modelo del curso* en *GIAS* (Castillo et al., 2003).

Los sistemas adaptativos implementan el conocimiento pedagógico explícito en forma de *reglas-prerrequisitos*, obligatorios o de apoyo (essential/supportive), que determinan el *flujo instruccional* (Gagné et al., 1988) como en *SmartTutor* (Cheung et al., 2003).

La adaptabilidad en recursos se consigue mediante vínculos flexibles entre los elementos del nivel instruccional y los recursos que los representan. Dichos vínculos se establecen a través de metadatos en los recursos y selectores en el nivel didáctico. El sistema *EON*⁴⁶ (Murray, 1998), la propuesta del proyecto europeo *CANDLE*⁴⁷, el modelo *SOP* (*Software Organization Platform*) (Ras & Ilin, 2008) y el nuevo paradigma de la información *Web of Linked Data*⁴⁸ son ejemplos de este tipo de adaptación en recursos, de fácil implantación en los espacios de conocimiento distribuido como la *Web semántica*.

⁴⁶ *EON Project*. http://www.tommurray.us/eon_www/eon.html

⁴⁷ *Collaborative and network distributed learning Environmet*, <http://www.candle.eu.org>, <ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/ist/docs/ka3/eat/CANDLE.pdf>

⁴⁸ <http://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html>, <http://linkeddata.org>

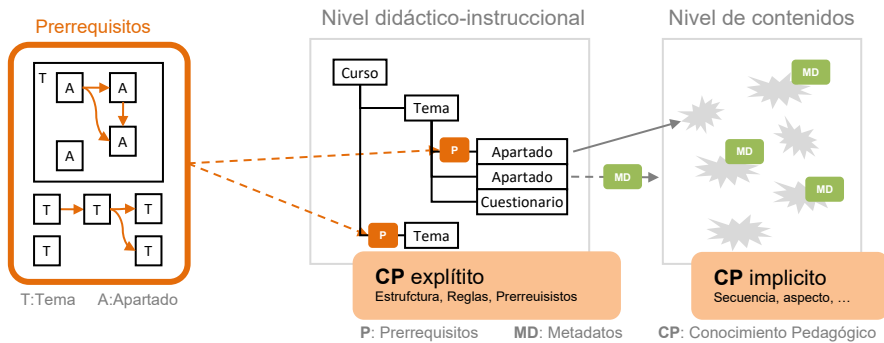


Figura 28. Modelo de dominio a nivel didáctico-instruccional.

Dado que existen muchas formas instruccionales de presentar, estructurar y enseñar lo mismo, se establece un nivel de representación superior denominado *competencial* en el que se definen los conocimientos y habilidades que el alumno debe alcanzar. En ocasiones, el nivel *didáctico-instruccional* se sitúa por encima del *competencial* o se ponen al mismo nivel duplicando las interrelaciones (Figura 29). La representación se realiza mediante una red de nodos en forma de *competencias/objetivos* asociados mediante relaciones de tipo *CompuestoPor*. Uno de los primeros ejemplos de este tipo de representación fue introducido por Murray (1998), mediante una red temática en el sistema *EON*. Otro modelo representativo, *LAOS* (Cristea & De Mooij, 2003), sitúa el *nivel didáctico* por encima del *nivel competencial*. Una implementación sencilla adaptada a los sistemas hipermedia se describe en el sistema *MultiTutor* (Simic et al., 2004), mediante una red de *temas-conceptos* asociados a los elementos didácticos (lecciones) con *reglas-prerrequisitos* para la regulación del proceso.

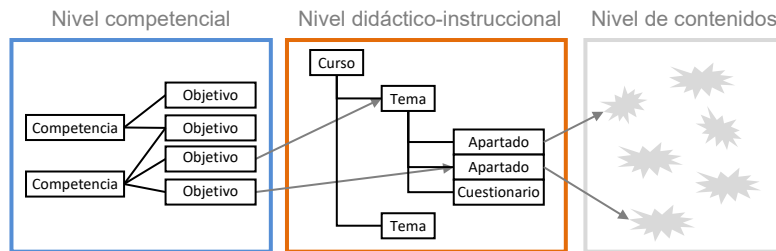


Figura 29. Modelos de dominio a nivel competencial.

En este nivel de representación encajan las propuestas basadas en *Objetos de Aprendizaje* (LO: *Learning Objects*) (Dettoru et al., 2008). Se trata de elementos que empaquetan un conjunto de recursos estructurados, descritos con metadatos (Hodgins et al., 1999; Mason & Ip, 1998), con una metodología instruccional implícita. Este tipo

de objetos mejora el proceso de aprendizaje facilitando la distribución y el uso compartido de los recursos instruccionales.

Los objetos de aprendizaje pierden gran parte de su potencial si se representa en un formato específico que sólo sea manipulable dentro del sistema al que pertenece. Desde los años 90 se han venido desarrollando especificaciones y estándares de materiales de aprendizaje (Balatsoukas et al., 2008; Amorim et al., 2006) que permiten la catalogación y el intercambio automático de conocimiento instruccional. Entre ellos se encuentran los objetos *LTSC-IEEE*, *CDF-Ariadne*, *RLO-Cisco* (CISCO Systems, 2003; Barrit et al., 1999), *ePack-Backboard*, *Learnativity*⁴⁹ y los lenguajes y sistemas de especificación *LMML*⁵⁰, (*Click2Learn*, 2001), *LAMS*⁵¹, *IMS-LD* (IMS, 2003), *PALO* (Rodríguez-Artacho & Verdejo, 2004) o *ADL-SCORM* (ADL, 2009).

Los objetos de aprendizaje empaquetan un conjunto de información y recursos multimedia para ser empleados por los sistemas de gestión del aprendizaje. El uso y la forma de presentar los recursos de un objeto de aprendizaje dependen de las características y posibilidades de estos sistemas. Habitualmente, los objetos distinguen internamente los elementos activos, que requieren seguimiento para su funcionamiento, de aquellos elementos pasivos que se emplean sin ningún registro de información. Los entornos de ejecución de los objetos de aprendizaje realizan un proceso predefinido en la especificación *run-time* cuyo esquema básico se representa en la Figura 30.

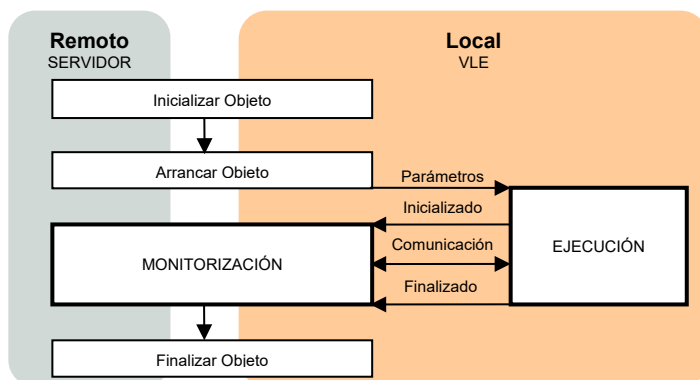


Figura 30. Esquema run-time LO.

La calidad de los objetos de aprendizaje viene determinada por sus recursos multimedia, por su diseño secuencial (Marjanovic, 2007) y por sus capacidades adaptativas, directamente relacionadas con la granularidad del objeto. Podemos

⁴⁹ <http://www.Learnativity.com>

⁵⁰ LMML (*Learning Material Markup Language*), 2001. <http://xml.coverpages.org/lmml.html>

⁵¹ LAMS (*Learning Activity Management System*), 2002. <http://www.lamsinternational.com>.
Adoptado por Moodle.

encontrar desde objetos que abarcan todo un curso, hasta objetos muy específicos relacionados directamente con el aprendizaje de un concepto. La granularidad del contenido instruccional es un factor directamente vinculado con sus posibilidades de interacción a nivel cognitivo. Cuanto más estructurado y definido es el contenido instruccional más fácil encaja en la representación mental que hace el alumno.

Moral y Cernea (2005) plantean una forma de evaluación de la calidad de los objetos de aprendizaje mediante la valoración de su eficacia, diseño y características técnicas. Empresas del sector como *Adobe-Macromedia* (Gallenson et al., 2002) o grandes proyectos como el *GEM (Gateway to Educational Materials)* están realizando esfuerzos para la incorporación de los objetos de aprendizaje a su uso habitual en los entornos virtuales de aprendizaje. Sin embargo, no están siendo empleados según lo que cabría esperar, debido probablemente a la falta de consenso respecto a lo que *Balatsoukas et al. (2008)* denominan *Ontología Básica Común* y a la inviabilidad de muchas de las propuestas.

Los modelos de objetos de aprendizaje más representativos y extendidos se describen a continuación:

- **Modelo ADL-SCORM** (*Sharable Content Object Reference Model*) (ADL, 2009). *El contenido instruccional se representa siguiendo la especificación CAM (Content Aggregation Model), en la que se distinguen metadatos IEEE-LOM (Hodgins et al., 1999), estructura (AICC), empaquetado IMS-CP (Anderson, 2000) y secuenciación IMS-SS (IMS, 2003). En el nivel de recursos se distinguen dos tipos de elementos: Assets y SCO, vinculados a recursos físicos o Files. Estos recursos se estructuran en jerarquías denominadas Organizations. Los SCO son los elementos activos con información de seguimiento que permiten la ejecución de las reglas de secuenciación mediante el control de variables de estado y variables de nivel competencial u objectives.*
- **Modelo ALOCoM** (*Analysis of Learning Object Content Models*) (Verbert et al., 2006; Verbert & Duval, 2004). *Se trata de una ontología que define una estructura de contenidos que facilita la conversión de los recursos continuos (presentaciones, documentos,...) a objetos de aprendizaje. La ontología distingue tres tipos de elementos: Content Fragments (CF), Content objects (CO) y Learning objects (LO). Los primeros (CF) son los elementos básicos directamente asociados a los recursos discretos (texto, audio, video...). El siguiente nivel (CO) aglutina CF y otros CO, incorporando una línea de navegación. Finalmente, un LO agrega varios CO asociándole objetivos de aprendizaje. Estos tres elementos están directamente relacionados con los niveles de representación ya comentados: Recursos, Instruccional-didáctico y*

Competencial. El sistema TANGRAM (Jovanovic et al., 2006) es un ejemplo de aplicación de este modelo en los sistemas inteligentes de información.

- **Modelo IMS-LD (Learning Design)** (Koper, 2006; IMS, 2003). *Se trata de un modelo basado en la especificación EML (Hermans et al., 2003) (Figura 31), que plantea una representación del contenido instruccional completo, flexible, adaptable y formalizado; más abstracto, versátil y complejo que ADL-SCORM (ADL, 2009). Divide la especificación en tres niveles A/B/C que añaden progresivamente nuevos elementos que incrementan el grado de adaptabilidad y significado de la representación. Un objeto LD combina tres tipos de elementos asociados a recursos (Amorim et al., 2006): Components (roles, actividades y entornos), Objectives y Methods.*
- **Modelo IMS-CC (Common Cartridge)** (IMS, 2010). *Se trata de un nuevo intento de homogeneizar y extender el uso contenidos instruccionales compartidos en forma de objetos de aprendizaje. Pretende simplificar y complementar el modelo ADL-SCORM (ADL, 2009) para hacerlo más genérico (libro, foro, test...), flexible, sencillo y con facilidades de seguimiento y adaptabilidad. Utiliza las mismas especificaciones que ADL-SCORM (IEEE-LOM, IMS-CP) y le añade: una forma de evaluación (IMS-QTI), un control de derechos de uso de servicios Web denominado IMS-CC-AWS (Authorization Web Service), una especificación para el desarrollo de debates a distancia (foros) y un modelo de run-time adaptado al intercambio de datos entre diferentes entornos y aplicaciones.*

Los objetos de aprendizaje se almacenan o se referencian en bases de datos con interfaces de acceso denominadas *repositorios* (Pouyioutas et al., 2008). Estos almacenes como MERLOT⁵², NSDL⁵³ o AGREGA⁵⁴ facilitan la labor del profesor y disminuyen el esfuerzo de inversión. Sin embargo, los metadatos y la arquitectura de estos repositorios limitan las posibilidades de interacción con los sistemas de gestión del aprendizaje. Propuestas como el SLOR (*Semantic Learning Object Repository*) (Soto et al., 2007), completan la definición de los objetos mediante las especificaciones formales de la *Web semántica* y proporcionan mayores oportunidades para el intercambio y reutilización de los contenidos educativos, y su procesamiento autónomo por parte de agentes externos (Anderson & Whitelock, 2004).

Las competencias u objetivos educativos son clasificaciones superficiales/externas del verdadero conocimiento cognitivo. Para mejorar el seguimiento de los conocimientos internos del alumno se establece una nueva red que representa los conocimientos a *nivel conceptual* mediante relaciones hiperonímicas (*IsA, TypeOf*) y

⁵² <http://www.merlot.org>

⁵³ National Science Digital Library, <http://www.shodor.org/refdesk>

⁵⁴ Contenidos educativos del Ministerio de Educación, <http://www.proyectoagrega.es>

meronímicas (*HaveA*, *PartOf*). Ejemplos básicos de este tipo de representación se encuentran en el modelo *Munich* (Koch & Wirsing, 2002), en la propuesta de *Papasalouros et al.* (2004), en la arquitectura *InCA* (Nabeth et al., 2005), en sistemas como *KGTutor* (Zhuge & Li, 2004) o *QuizGuide* (Sosnovsky, 2006) y, más recientemente, en el sistema *IWT (Intelligent Web Teacher)* (Gaeta et al., 2009).

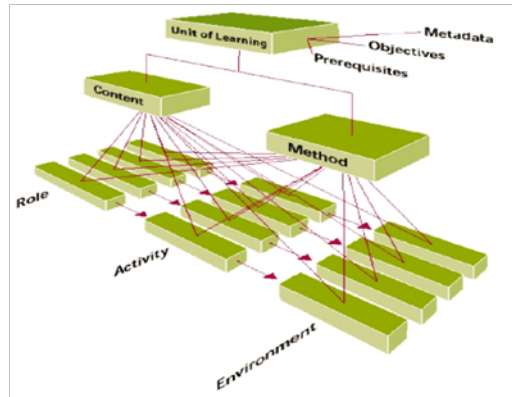


Figura 31. Esquema de la especificación EML (Hermans et al., 2003).

Otro ejemplo de la representación del modelo de dominio a *nivel conceptual* lo constituyen los sistemas *CBM (Constraint Based Modeling)* (Ohlsson, 1994). Estos sistemas codifican la información del proceso instruccional mediante una red de relaciones condicionadas entre las distintas tareas, actividades y contenidos. El proceso instruccional de un alumno avanza siguiendo este organigrama preprogramado que se regula mediante un vector de estado codificado a nivel didáctico, competencial o, habitualmente, conceptual. Este tipo de modelos se emplean frecuentemente en los sistemas de tutorización inteligente por su facilidad de diseño (Garrido et al., 2008) como en el sistema *EER-Tutor* (Mitrovic et al., 2006) apoyado en la herramienta de autor *WETAS (Web-Enabled Tutor Authoring System)* (Martin et al., 2008).

Los sistemas adaptativos requieren disponer del modelo de dominio codificado de forma explícita. Esta circunstancia es aprovechada por los diseñadores para plantear metodologías *OLM (Open Learner Model)* (Dimitrova, 2003) en las que el alumno es informado permanentemente del seguimiento de su aprendizaje en distintos modos: *material* (conjunto de recursos accedidos), *didáctico* (jerarquía de temas aprendidos), *instruccional* (relaciones de prerequisites superados) y *conceptual* (mapa de conceptos y relaciones aprendidos). Ejemplos de ello los encontramos en los sistemas *Flexi-OLM* (Papanikolaou et al., 2006; Mabbott & Bull, 2004), *CALMSystem* (Kerly et al., 2008) o *ProPer* (Kazanidis & Satratzemi, 2010).

El manejo de todos estos niveles de representación hace que los autores opten por modelos en capas (Figura 32) en los que se pone de manifiesto la prevalencia de unos niveles sobre otros y su interrelación.

- **Ejemplo:** Sistema AIMS (Aroyo et al., 2006; Aroyo et al., 2003; Aroyo et al., 2002). Se basa en un modelo de tres capas: DM (Domain Model) nivel conceptual; CSM (Course Sequencing Model) nivel didáctico-instruccional; RMM (Resource Management Model) nivel de contenidos. El elemento activo fundamental es la Actividad, a la que se asocian conceptos, temas y recursos.
- **Ejemplo:** Modelo LAOS (Cristea & Verschoor, 2004) - CAM (Hendrix et al., 2008). Dentro del proyecto europeo ADAPT⁵⁵ para el desarrollo de procesos adaptativos en la ODL (Open and Distance Learning), se plantea una modificación el modelo LAOS para adaptarlo a la Web semántica. Para ello, se establece una codificación conceptual superior en formato RDF vinculada a las capas inferiores. Mediante una herramienta de autor MOT⁵⁶ (My Online Tool/Teacher) (Hendrix et al., 2007; Cristea & De Mooij, 2003; Cristea & Calvi, 2003) basada en tecnologías Web (Perl, MySQL) se desarrollan contenidos adaptativos compatibles con sistemas como WHURLE (Stewart et al., 2004) o AHA! (De Bra et al., 2006). Posteriormente, en el proyecto GRAPPLE⁵⁷ (Hendrix et al., 2008) se propone un nuevo modelo denominado CAM (Concept Adaptation Model) en el que se abre la posibilidad de incorporar un número arbitrario de capas en la definición del modelo adaptativo, por ejemplo, capa de prerrequisitos, capa de objetivos, capas de procedimientos, etc.
- **Ejemplo:** Modelo PALO (Rodríguez-Artacho & Verdejo, 2004). Establece dos fases de diseño del modelo de dominio: Fase Cognitiva mediante conceptos-relaciones y Fase Estructural para los recursos instruccionales. Codifica el conocimiento en una estructura de 5 capas: gestión, secuenciación (programación, prerrequisitos), estructura (índice y navegación), actividad (roles, tareas, herramientas) y contenido (LO, ontologías).
- **Ejemplo:** (Karampiperis & Sampson, 2005). Define la base de conocimiento como KS (Knowledge Space) en el que se distingue la información instruccional MS (Media Space) del conocimiento que pretende transmitir DM (Domain Model). Establece 3 capas de representación: capa de objetivos de aprendizaje (jerarquía competencial), capa conceptual (ontologías de conceptos) y capa de contenido (recursos).

⁵⁵ ADAPT Project , <http://www.is.win.tue.nl/~acristea/HTML/Minerva/index.html>, 2004.

⁵⁶ <http://e-learning.dsp.pub.ro/mot> , <http://e-learning.dsp.pub.ro/motadapt>

⁵⁷ GRAPPLE Project, <http://www.grapple-project.org>, 2008.

- **Ejemplo:** Modelo Hera (Houben et al., 2008). Plantea una metodología de diseño del modelo de dominio en 3 fases/capas en las que se combina el modelo de dominio y el modelo pedagógico: capa semántica, en la que se distingue la información conceptual (RDF) de la de integración o instruccional; capa de aplicación donde se codifican las posibilidades adaptativas; y capa de presentación que contiene los recursos instruccionales.
- **Ejemplo:** Sistema TEx-Sys (Stankov et al., 2008). Plantea un modelo de dominio dividido en modelo del curso y modelo de conocimiento. El primero se codifica en un formato ADL-SCORM (ADL, 2009) modificado para vincular los Assets con elementos del modelo de conocimiento a través de competencias como IMS-RDCEO (IMS, 2002), IMS-LIP (IMS, 2005) o IEEE-LOM (Hodgins et al., 1999). El modelo de conocimiento se estructura en paquetes denominados Frames en una ontología conceptual con relaciones de tipo: *IsA*, *PartOf* y *KindOf*, que facilita la generación de cuestionarios automáticos (Žitko et al., 2009)
- **Ejemplo:** (Chi, 2009). Codifica el modelo de dominio en forma de ontologías y reglas de procesamiento que combinan todos los niveles de representación y facilitan la generación dinámica de la secuencia de contenidos adaptada a los requerimientos del alumno.

Finalmente, el modelo de dominio se puede codificar a nivel semántico, en toda su amplitud, mediante relaciones que permiten realizar un seguimiento del alumno a nivel cognitivo, e incluso crear representaciones instruccionales basadas en el conocimiento semántico al margen de los contenidos-recursos.

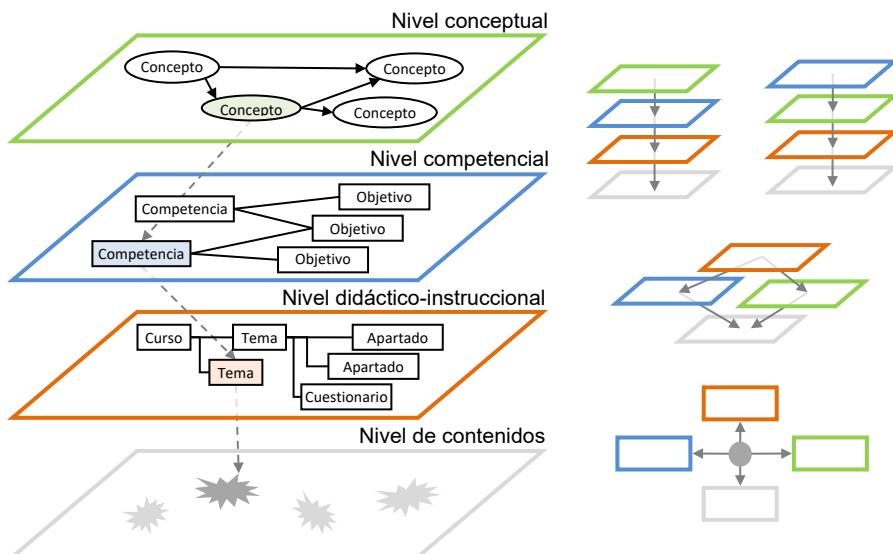


Figura 32. Modelos de dominio a nivel conceptual.

Las aplicaciones educativas que emplean codificación semántica se centran en el uso de mapas conceptuales (González, 2008; Iriarte et al., 2005), hipervínculos semánticos (Wang, 2008) y ontologías como herramientas instruccionales de diagnóstico y para la generación dinámica de contenidos.

- **Ejemplo:** Herramienta CMapTools⁵⁸. El módulo LEO facilita la generación automática de contenidos educativos a partir de una estructura basada en mapas conceptuales (Coffey, 2007).
- **Ejemplo:** Sistema OntAWARE (Holohan et al., 2005). Combina un conjunto de herramientas para la generación semi-automática y distribución de objetos de aprendizaje a partir de ontologías educativas.
- **Ejemplo:** Sistema CHIP (Aroyo et al., 2007). Se trata de un ITS de información museística. Codifica el modelo de dominio como una ontología en formato RDF, que le permite generar itinerarios adaptados y obras recomendadas en función de las preferencias del usuario.
- **Ejemplo:** Sistemas Batty'sBrain (Biswas et al., 2005) y M(e)L (Gladun et al., 2009). Utilizan una metodología instruccional activa en la que el alumno interacciona con el sistema para construir conjuntamente mapas conceptuales u ontologías, respectivamente.
- **Ejemplo:** Sistema ICDS (Lee et al., 2009). Emplea mapas conceptuales para representar el modelo de dominio y el estado cognitivo del alumno. Las acciones de control se generan comparando el mapa conceptual de referencia con el mapa conceptual del alumno.
- **Ejemplo:** Sistema MAP (Caravantes & Galán, 2011). Utiliza una codificación propia de contenidos educativos denominada GEK (Generic Educational Knowledge) en la que se incorpora un nivel superior de representación semántica que regula los niveles inferiores que incluyen procesos, actividades, contenidos, estímulos y recursos.

Como ya se ha descrito, el modelo de dominio se codifica en distintos niveles de representación, pero no todos ellos se vinculan directamente con el seguimiento que se hace de ellos en el modelo del alumno (Figura 33). Los sistemas educativos se diferencian en función de la variable *Conocimiento* que se evalúa y que se emplea como realimentación en el proceso de control. El valor de esta variable se estima frecuentemente a través de un banco de ítems vinculado con el nivel didáctico del modelo de dominio: *SmartTutor* (Cheung et al., 2003) o *ZOSMAT* (Keles et al., 2009). Este proceso de estimación no resulta sencillo porque, frecuentemente, las preguntas de un cuestionario se encuentran vinculadas conceptualmente con varios elementos

⁵⁸ <http://cmap.ihmc.us>

del modelo de dominio. En estos casos, se realizan estimaciones multilaterales o acumulativas predefinidas en los parámetros que definen cada pregunta de evaluación.

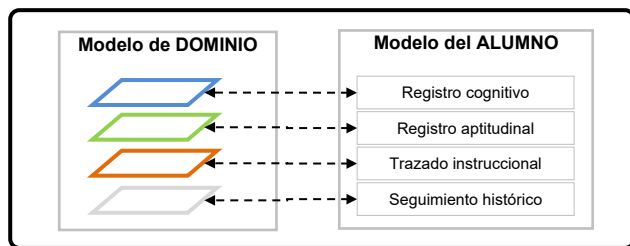


Figura 33. Vinculación modelo de dominio – modelo del alumno.

Modelado del alumno

El modelado del usuario es una labor multidisciplinar que pretende construir modelos de comportamiento en un entorno computacional. El modelo se centra en la determinación de los datos necesarios para la toma de decisiones en los sistemas automáticos. Muchas de las aplicaciones Web de uso comercial emplean alguna forma de modelo del usuario con el que el sistema adapta la información que se le ofrece en función de sus características.

Tradicionalmente el modelado del usuario se ha desarrollado de forma interna al propio sistema que lo emplea (*Shell System*). El interés comercial en la adaptabilidad de los sistemas al usuario está haciendo que los datos del modelo del usuario se almacenen en ubicaciones remotas que puedan ser consultadas y actualizadas por múltiples sistemas. Esta nueva tendencia mejora la información del modelo porque aglutina los datos observables del comportamiento en distintos sistemas y a lo largo del tiempo. Sin embargo, esta funcionalidad hace imprescindible la libre circulación de datos que puede verse limitada por las leyes de protección de la información como ocurre con los actuales servicios *cloud computing*.

La característica fundamental de un sistema inteligente es su capacidad de adaptación al alumno y, como tal, uno de sus componentes determinantes y diferenciadores es el denominado modelo del usuario, que en el ámbito educativo, constituye una especificidad denominada *modelo del alumno*. Este modelo se encarga del seguimiento del alumno a todos los niveles: comportamiento, interacciones, respuestas, conocimientos y estado emocional.

El primer esquema general del modelo del usuario fue introducido por *Finin* (1989; 1986) en su *GUMS (General User Modeling System)*, pensado para ser usado como submódulo de un sistema adaptativo. Su diseño incorporaba una jerarquía adaptativa de estereotipos de usuarios definidos a partir de un conjunto de hechos declarados en

Prolog y un conjunto de reglas de razonamiento sobre sus relaciones. *Kobsa* (1990) fue uno de los primeros en plantear la necesidad de aislar el modelo del usuario de los sistemas adaptativos en subsistemas independientes denominados *User Modeling Shell Systems (UMSS)*. Ejemplos de este tipo de desarrollos los encontramos en: *UMT* (Brajnik & Tasso, 1994), *TAGUS* (Paiva & Self, 1995) o *AsTRa/BGP-MS* (Pohl, 1999; Kobsa, 1990). Todos ellos representan al usuario como una jerarquía de estereotipos definidos por parámetros, hechos y suposiciones que, mediante ecuaciones lógicas modales de primer orden, permiten la actualización y creación de nuevos estereotipos e interrelaciones. De esta forma, el modelado del usuario se generaliza como parte integrante de un sistema adaptativo.

Con el desarrollo de Internet y las comunicaciones en red, se abre la posibilidad de mejora del modelado del usuario con la creación de un modelo único. Este modelo recopila todos los datos de las sesiones del usuario en múltiples sistemas, mediante un modelo centralizado y persistente (IMS, 2004). Esta nueva línea de trabajo introdujo los *UMS (User Modeling Server)* basados en tecnologías *TCP/IP*, *ODBC* o *LDAP* (Kobsa & Fink, 2006), como en la implementación *CUMULATE* (Brusilovsky, 2004), la ontología *OntobUM* (Razmerita et al., 2003), el servidor *U2M*⁵⁹ (Heckmann et al., 2007; Heckmann, 2006) o en productos comerciales como *ATG*⁶⁰. Estos modelos de servidor (UMS) inciden en el desarrollo de nuevas especificaciones para la coordinación, comunicación y almacenamiento de los datos personales en los siguientes ámbitos:

- **Modelo de información.** ¿Cómo se codifican los datos?
- **Modelo de localización.** ¿Cómo se identifican y localizan los datos?
- **Modelo funcional.** ¿Cómo se consultan y actualizan los datos?
- **Modelo de seguridad.** ¿Cómo se gestionan las credenciales y perfiles de acceso?

La evolución natural de los modelos de servidor (UMS) es la creación de modelos de usuarios distribuidos en los que la información no reside en un sólo *repositorio*, sino que es fragmentada y actualizada en múltiples localizaciones. De esta forma, cuando se identifica un usuario, el sistema recopila en tiempo real la información distribuida del modelo del alumno en lo que se denomina *ALM (Active Learning Modeling)* (McCalla et al., 2000) para lo cual se desarrollan especificaciones comunes de protocolos de consulta y esquemas de codificación del modelo del usuario como *UserML* (Heckmann & Krueger, 2003) o *GUMO* (Heckmann et al., 2007; Heckmann et al., 2005). La tecnología multi-agente se adapta fácilmente a este tipo de sistemas distribuidos como en *I-Help* (Vassileva et al., 2003) o en la propuesta de *Niu et al.* (2003).

⁵⁹ <http://www.u2m.org/UbisWorld/UserModelServer.php>

⁶⁰ <http://www.atg.com>

La externalización del modelado del usuario hace que se disponga de más información del alumno y de mayor calidad, lo que incide en una mejora sustancial de la eficacia de los sistemas inteligentes. Sin embargo, esta mejora plantea nuevos retos relacionados con la independencia del dominio, las posibilidades de importación de datos, la adecuación de las especificaciones, la gestión de la información distribuida, el control de la privacidad y las capacidades de estimación de datos. Además, los ingenieros de sistemas educativos se enfrentan a dificultades específicas del diseño del modelo del alumno en tres aspectos fundamentales:

- **Representación.** *¿Qué información del alumno se maneja y cómo se codifica?*
- **Registro.** *¿Cómo se va a obtener e inicializar dicha información?*
- **Diagnóstico.** *¿Cuál será el método de estimación de parámetros?*

En el modelado del usuario se distinguen claramente dos líneas de investigación. Por un lado, se encuentran los desarrollos que pretenden determinar las características de los usuarios a través de la creación de *estereotipos* (Kobsa, 2007) o *enatipos* (López & Serrat, 2009). Por otro lado, los desarrolladores de los sistemas educativos utilizan los avances anteriores y se centran en la estimación de los parámetros que determinan el seguimiento aptitudinal y cognitivo del alumno.

Entre los datos que maneja el modelo del alumno se distingue claramente la información objetiva de los datos subjetivos. Los primeros forman parte del seguimiento real de las acciones del alumno sobre la interfaz del usuario, mientras que los datos subjetivos son inferidos por el modelo operativo a partir de los datos observables. Este proceso de diagnóstico es sin duda el más complejo dentro de las funciones de los sistemas inteligentes aplicados a la educación y conlleva el desarrollo de técnicas de inferencia y manejo de certidumbre que ocupan a expertos en inteligencia artificial, psicología y estadística. En muchos casos, para simplificar el proceso, se emplean heurísticos sin fundamento teórico que hacen que los sistemas se comporten de forma inadecuada e impredecible en muchas situaciones (Millán, 2000).

Una de las principales dificultades a las que se enfrenta el diseñador de un modelo del alumno es la selección de la información. Si emplea datos muy genéricos, no servirán como base de discriminación en el proceso de decisión y, si utiliza datos muy específicos, sólo servirán para dominios y situaciones similares.

Desde principio de los 90 comenzaron a plantearse las primeras formalizaciones de los datos que se manejan en el modelado del alumno. La propuesta de *Benyon* (1993) divide los datos en dos partes: *DDD* (*Domain Dependent Data*) y *DID* (*Domain Independent Data*), que servirán de referencia para modelos posteriores como el de *Martins et al.* (2008) (Figura 34).

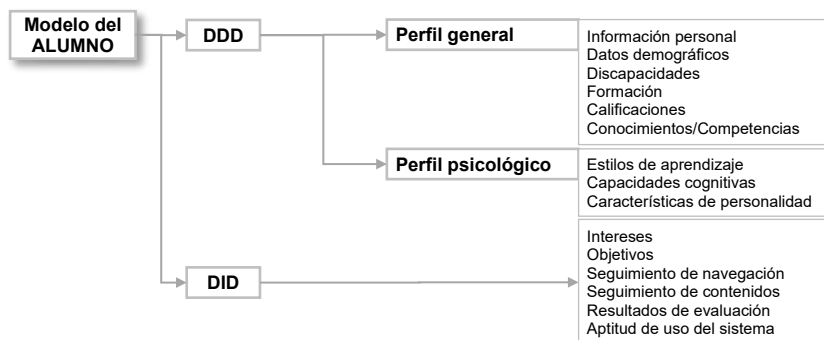


Figura 34. Datos del modelo del alumno (Martins et al., 2008).

Los sistemas de tutorización (ITS), como sistemas diseñados para dominios específicos, emplean datos del alumno adaptados a los requerimientos del diseñador (Anderson et al., 1995). Sin embargo, la mayoría de los sistemas hipermedia adaptativos (AHS) (Castillo et al., 2003; Prentzas et al., 2002) manejan datos que siguen un esquema general del modelo del alumno. La Figura 35 representa algunos de los modelos analizados en los que aparecen distintas formas de agrupar la información por funciones y tipos de datos: datos estáticos y dinámicos, datos objetivos y estimados, datos personales, de dominio y de uso. El estado emocional del alumno constituye la parte inestable del modelo y no suele formar parte de la información que manejan los sistemas educativos tradicionales. A finales de los años 80 se iniciaron los primeros intentos de registrar el estado emocional en los sistemas de tutorización inteligente (Lepper & Chabay, 1988) y, en los últimos años, se ha convertido en una línea de investigación prioritaria, materializada en trabajos como *ITSPOKEN* (Forbes-Riley et al., 2008) o en *EER-Tutor* (Zakharov et al., 2008).

Desde principios del siglo XXI, el desarrollo de las ontologías ha permitido ampliar las posibilidades de codificación de los datos del modelo del alumno y publicar su definición para facilitar la interoperabilidad. Actualmente, los sistemas educativos inteligentes utilizan definiciones estándar de modelo del alumno que permiten el intercambio de datos entre sistemas y así, solucionar uno de los problemas fundamentales con que se enfrentan los sistemas adaptativos, la inicialización del modelo. Los sistemas *ASIMIL* (Razmerita et al., 2005) o *InCA* (Nabeth et al., 2005) son ejemplos del uso de ontologías en el modelo del alumno.

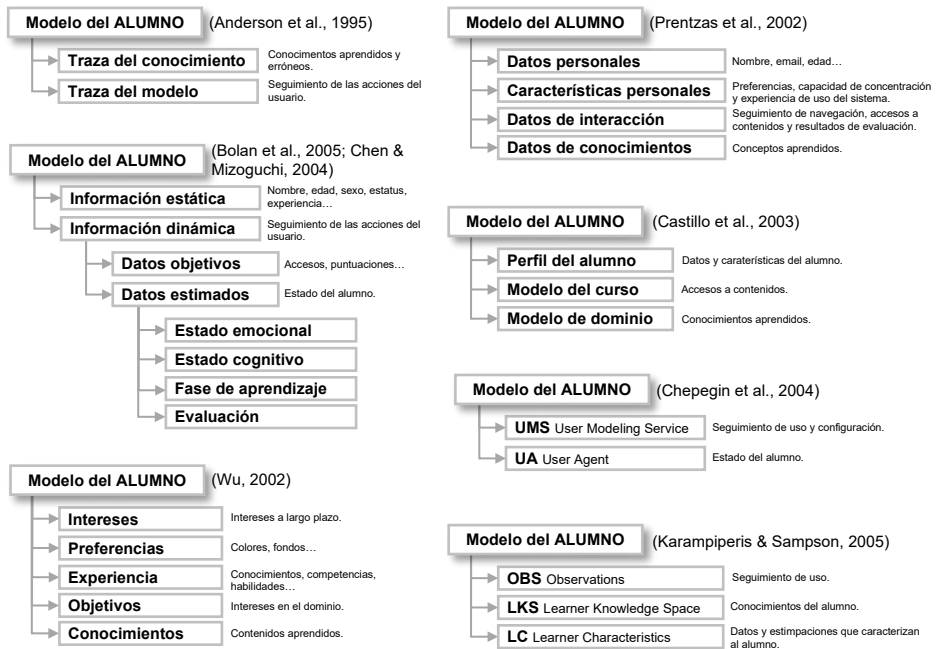


Figura 35. Datos y funciones del modelo del alumno.

Heckmann (2003) fue uno de los primeros en elaborar y publicar⁶¹ el modelo del alumno en forma de ontología, codificada en DAML, que ha ido evolucionando a la ontología *GUMO* (Heckmann et al., 2007; Heckmann et al., 2005) publicada en *UbisWorld* y que sirve de base al servidor del modelo del usuario *U2M*. Esta ontología contiene alrededor de 1000 descriptores básicos que pueden complementarse con descriptores de otras ontologías genéricas como *SUMO*. Los datos se organizan según la jerarquía reflejada en la Figura 36.

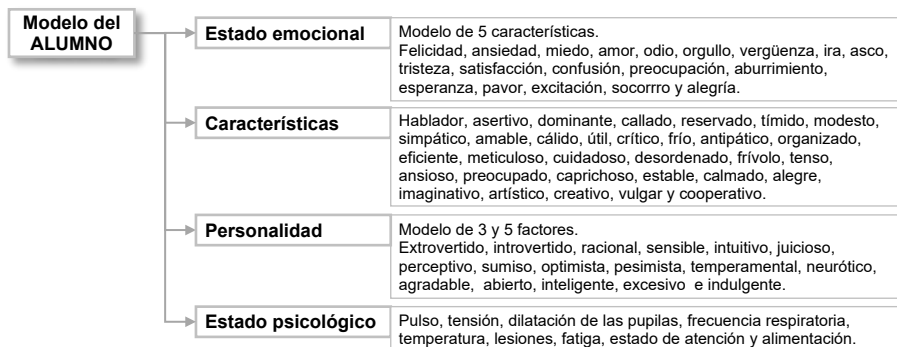


Figura 36. Modelo del alumno DAML/GUMO.

⁶¹ <http://www.daml.org/ontologies/444>

Por otro lado, instituciones del ámbito de e-learning desarrollan especificaciones para poner en común los datos del alumno y así permitir que los entornos virtuales de aprendizaje intercambien y complementen la información del usuario. Entre las especificaciones de este ámbito destacan *IEEE-PAPI* (IEEE, 2003) desarrollada para el intercambio de datos y *IMS-LIP* (IMS, 2005; Razmerita, 2005) para el registro de información, cuyas categorías se resumen en la Figura 37.

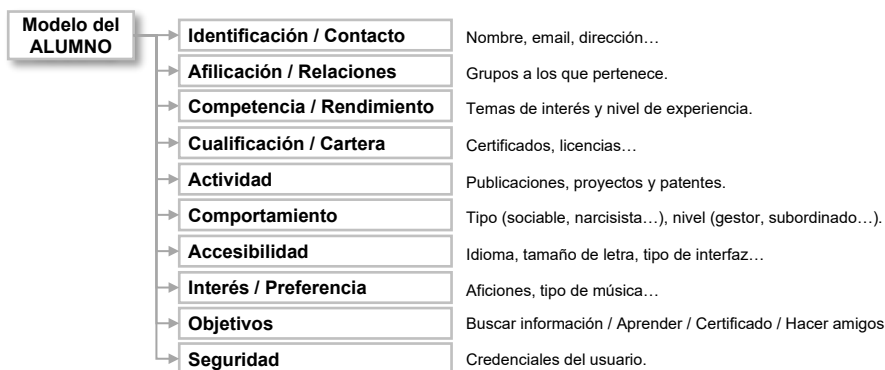


Figura 37. Modelo del alumno IMS-LIP (IMS, 2005).

Resumiendo las aportaciones de los distintos modelos del alumno desde el punto de vista de los sistemas educativos (Figura 38), cabe distinguir una primera diferenciación entre los datos estáticos, objetivos e independientes del sistema, de aquellos que se generan en la dinámica del proceso. Entre los primeros se encuentran la identificación (nombre, dni, login...), las características físicas (edad, sexo, altura, discapacidades...), las cualificaciones (diplomas, títulos...), la afiliación (grupos a los que pertenece) y las actividades desarrolladas (empleos, publicaciones, proyectos...). Entre la información que se genera dinámicamente, se distinguen los datos objetivos de uso, de los datos estimados para la ayuda a la toma de decisión. Para delimitar estos datos, denominamos *trazados* a los primeros y *perfiles* a los datos estimados.

Los sistemas analizados implementan diversos trazados u observaciones (Karampiperis & Sampson, 2005) que podrían agruparse en tres modalidades: *Trazado histórico*, que registra las acciones que se desarrollan en la interfaz; *Trazado instruccional*, que guarda la información de los recursos utilizados y actividades desarrolladas por el alumno; y *Trazado de interacción*, que guarda las respuestas del alumno a las opciones de comunicación con el sistema, a las preguntas de evaluación y el contenido de los diálogos. Del mismo modo, los datos estimados del alumno se agrupan en dos grandes grupos que reciben diferentes nombres como *DID/DDD* (Benyon, 1993) o *LC/LKS* (Karampiperis & Sampson, 2005) y que denominamos: *Perfil psicológico* y *Perfil cognitivo*.

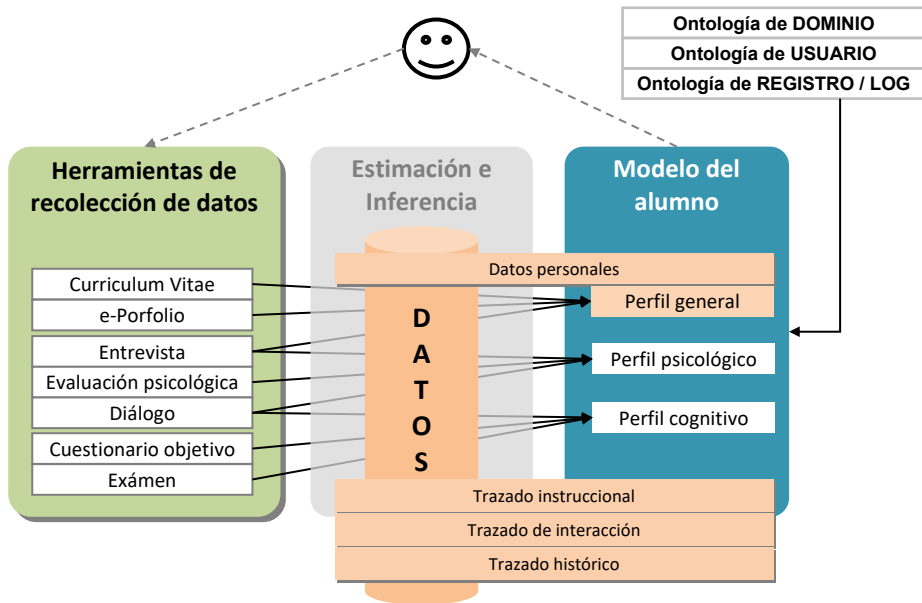


Figura 38. Esquema general del modelo del alumno.

El *perfil psicológico* agrupa un conjunto de parámetros inferidos o estimados que permiten predecir el comportamiento del alumno y son utilizados por los modelos operativos/pedagógicos para la toma de decisión en el proceso de aprendizaje. Estos parámetros se dividen en dos grandes grupos: emocionales y conductuales/característicos. Los primeros mantienen el estado afectivo del alumno y se inicializan en cada sesión. Los segundos se mantienen estables entre sesiones y aglutinan parámetros que definen el estilo del alumno y las estructuras declarativas que determinan su estado motivacional⁶².

Está ampliamente admitido que los individuos empleamos estereotipos en el procesamiento mental, probablemente porque los estímulos procedentes del mundo real son extremadamente complejos para ser procesados en tiempo real sin realizar alguna simplificación o categorización. El *modelo de estereotipos* (Beaumont, 1994; Rich, 1979) ha sido y sigue siendo el más utilizado como implementación del perfil psicológico (Figura 39).

⁶² Por ejemplo, los estilos motivacionales de Learnativity (<http://www.Learnativity.com>):

- Motivado por objetivo.
- Motivado por interacción social.
- Motivado por aprender.



Figura 39. Modelo general de estereotipos.

Los estereotipos son etiquetas a las que se asignan un conjunto de facetas con valores/intensidades y probabilidades (rating). Se organizan en una estructura jerárquico-conceptual que Rich (1979) denomina *DAG* (*Directed Acyclic Graph*) y que permite ir asignando estereotipos y características cada vez más afinadas-concretas a los alumnos. El corazón del modelo lo constituye la sinopsis del usuario (*USS: User Synopsis*) que recoge los valores de todas las características de un alumno, tanto las observadas como las inferidas. Las primeras se determinan mediante cuestionarios predefinidos o mediante consulta directa al usuario (pe. palabras que mejor le definen). Estas características activan condiciones (triggers) que asignan estereotipos al usuario y permiten inferir el resto de las características del alumno. Zukerman y Albrecht (2001) describen las técnicas estadísticas predictivas más habituales en el modelado del alumno:

- ▶ **Modelos lineales.** Algoritmos que ajustan los parámetros de funciones lineales que permiten predecir un comportamiento a partir de un dato observado (pe. la frecuencia de accesos) (Graf et al., 2009).
- ▶ **Modelos Markov.** Métodos para generar funciones de probabilidad a partir de los eventos observados.
- ▶ **Reglas inducidas.** Conjunto de reglas que se activan en función de la frecuencia de aparición de un dato de control (Litman & Silliman, 2004; Litman & Pan, 2000).
- ▶ **Clasificadores.** Técnicas estadísticas como Naive Bayes que permiten clasificar a los alumnos en un conjunto de categorías dado.
- ▶ **Redes neuronales artificiales.** Métodos no lineales que, después del proceso de aprendizaje de la red, es capaz de generar predicciones de comportamiento a partir de datos observados de un alumno.
- ▶ **Redes Bayesianas.** Métodos basados en una red explícita dirigida y acíclica que, mediante las probabilidades asignadas a cada relación, permiten calcular la probabilidad de un comportamiento a partir de los datos observados.

El *perfil cognitivo* del alumno es una representación aproximada y parcial de los conocimientos y habilidades que el alumno posee de un cierto dominio. Los modelos cognitivos abarcan desde simples valores de probabilidad hasta complejas estructuras de relaciones espacio-temporales y causales. El grado de fiabilidad de la representación es un factor que determina las posibilidades de procesamiento del sistema y los requerimientos computacionales. El diseño del sistema tendrá que establecer una representación cognitiva que compense dichos factores con el fin de maximizar la interacción pedagógica en el proceso.

Tradicionalmente, el *perfil cognitivo* se ha vinculado directamente a la representación del modelo de dominio, mediante el denominado *modelo de superposición* (*Overlay Model*) definido por Carr y Goldstein (1977) e introducido en los sistemas hipermedia adaptativos como *ELM-ART* (Brusilovsky et al., 1996), *KBS-Hyperbook* (Henze & Nejd, 2001), *Munich* (Koch & Wirsing, 2002), *MultiTutor* (Simic et al., 2004) o *AHyCo* (Hoic-Bozic & Mornar, 2005). En este modelo, el sistema registra el nivel estimado de conocimiento de los elementos del modelo de dominio que va aprendiendo el alumno (Figura 40). Dicha estimación se puede valorar de forma binaria (conoce/ignora), cualitativa (mucho/algo/poco/nada), multicapa (visitado> aprendido> inferido> conocido) (Weber & Brusilovski, 2001) o cuantitativa (Henze & Nejd, 2001), mediante vectores de conocimiento (*KV: Knowledge Vector*) que registran las probabilidades de que un alumno (*U: User*) conozca el tema (*K: Knowledge*) a partir de la evaluación (*E*): $KV(U) = \{ P(K1|E), P(K1|E), ..., P(Kn|E) \}$. El principal problema del modelo de superposición es su inicialización que, tradicionalmente, se soluciona mediante la aplicación de los estereotipos del alumno (Brusilovsky et al., 1998) y que, actualmente, deja de ser un problema en los modelos del alumno distribuidos.

Dada la vinculación entre el *perfil cognitivo* y el modelo de dominio, existen muchas variaciones del modelo de superposición dependiendo de la forma de representación del dominio. Un caso particular muy común es la representación basada en restricciones (Ohlsson, 1994). En este caso, el perfil cognitivo queda definido por la lista de restricciones que ha violado el alumno en el proceso de resolución del problema.

El enfoque de superposición considera que el conocimiento del alumno es una parte del conocimiento del modelo de dominio y, como tal, funciona bien cuando el objetivo principal es la transmisión del conocimiento del profesor-experto al alumno. Su mayor deficiencia es que no consideran que el alumno pueda poseer conocimientos fuera del dominio y, por tanto, no pueden reaccionar ante esa situación. Esta carencia hace que se surjan otras modalidades como el *Modelo Diferencial* (*Differential Model*) o el *Modelo de Perturbación* (*Buggy Model*). En el primero, el perfil cognitivo establece la diferencia entre el conocimiento que el alumno debería poseer y conocimiento que

no puede esperarse que el alumno tenga. En el segundo, el sistema se centra en la tutorización del alumno y plantea un modelo de superposición aumentado en el que también se registran los errores (*bugs*), las carencias conceptuales (*misconceptions*) y los conocimientos externos al propio dominio (Figura 40).

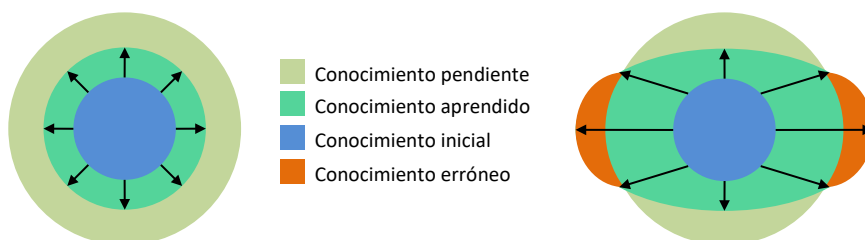


Figura 40. Modelos de superposición y de perturbación.

Actualmente, el modelo de dominio se representa en distintos niveles, desde una capa física perceptual hasta codificaciones abstractas del conocimiento. El *perfil cognitivo* del modelo del alumno se adapta a dicha representación y hace que surjan nuevas formas de seguimiento de los conocimientos del alumno como el *Modelo de habilidades (Skill Model)*, equivalente al nivel competencial del modelo de dominio, y otras propuestas con representación semántica que lo hacen cada vez más independiente del modelo de dominio.

La valoración de los conocimientos de un alumno en el perfil cognitivo es una labor cargada de incertidumbre y, como tal, requiere de procedimientos de estimación y cálculo de probabilidades, similares a los que se emplean en el *perfil psicológico* (Jameson, 1996):

- **Reglas con manejo de incertidumbre.** Introducido por primera vez en los factores de certeza del sistema de diagnóstico MYCIN (Shortliffe, 1976) y aplicado en sistemas educativos como ELM-ART (Weber & Brusilovski, 2001). Las reglas de razonamiento incorporan medidas de certeza $(-1,1)$ en las hipótesis y en la conclusión que se transmiten mediante heurísticos basados en la selección de certezas mínimas y en el producto de las mismas. Heckerman (1990) demostró que este tipo de modelos no son matemáticamente coherentes y sólo funcionan en ciertos sistemas expertos. Sin embargo son los más fáciles de implementar y se utilizan frecuentemente en el diseño de prototipos.
- **Redes neuronales artificiales.** Se emplea para detectar relaciones (pesos) entre los distintos elementos del modelo de dominio (Posey & Hawkes, 1996). Estas relaciones se utilizan para inicializar los niveles de conocimiento del alumno de los elementos que conforman el modelo de dominio a partir de niveles de elementos conocidos.

- **Lógica difusa** (Zadeh, 1965). Estas técnicas se emplean fundamentalmente para procesar las evaluaciones cualitativas (novato/experto) emitidas por el profesor o las valoraciones automáticas (unknown/known/learned) del nivel de conocimientos del alumno. Existe una gran variedad de sistemas que utilizan la lógica difusa en el perfil cognitivo del alumno (Kavcic, 2004), especialmente en sistemas de tutorización (ITS) muy especializados como SHERLOCK II (Katz & Lesgold, 1994), MDF (Beck et al., 1997) y, en ocasiones, combinada con redes neuronales artificiales (Stathacopoulou et al., 2003).
- **Redes Bayesianas**. Se trata del método de diagnóstico más extendido en el modelado del alumno debido a su contrastada base teórica y su capacidad de inferencia (García et al., 2007; Conati et al., 2002; Millán, 2000; Reye, 1998; Villano, 1992). Cada alumno se caracteriza por un conjunto de probabilidades de conocimiento de cada fragmento de contenido u objetivo a alcanzar, estructurados en una red de tipo jerárquico no cíclica. El sistema calcula las probabilidades combinadas de conocimiento de contenidos/objetivos mediante la aplicación del Teorema de Bayes de probabilidad condicionada, como en el sistema Andes (VanLehn & Niu, 2001; Albacete & VanLehn, 2000) o en KBS-Hyperbook (Henze & Nejd, 2001). El problema fundamental al que se enfrentan es la determinación de los parámetros que definen las relaciones de dependencia/probabilidad en la red.
- **Teoría de evidencia de Dempster-Shafer**. Establece un conjunto de hipótesis a los que asigna valores creencia que, como funciones de densidad, tienen que sumar 1 en el grupo. Se trata de un planteamiento no probabilístico, con cierta falta de rigor matemático y excesiva complejidad computacional debido al número de creencias que hay que recalcular en cada paso (Bauer, 1995).

La inicialización de los parámetros que rigen el funcionamiento de los sistemas predictivos y la recolección de los datos observables del alumno es una de las principales barreras con la que chocan los sistemas educativos y que incide en un rendimiento educativo menor de lo esperado. Los datos de los alumnos se recogen habitualmente mediante exámenes y cuestionarios generales y específicos como los de Felder-Soloman (2004) o VARK (Fleming, 2006) y, en ocasiones, a través del entrevistas y consultas a bases de datos. Por ejemplo, Calcaterra et al. (2005) clasifican a los alumnos mediante 3 cuestionarios previos:

- CUQ (Computer User Questionary) (Calcaterra et al., 2005).
Experiencia de manejo del ordenador: Experto/Novato.
- SOLAT (Style of Learning and Thinking Questionary) (Douglas, 1996).
Estilo cognitivo: Analítico/Secuencial frente a Global/Intuitivo.

- *SOSI (Spatial Orientation Situational Inventory).*

Sentido de la orientación: Alto/Bajo.

Los cuestionarios son métodos de recogida de datos que retardan el proceso y disminuyen la motivación del alumno al inicio de la sesión. Para evitarlo se plantean metodologías de interacción como el agente *CALM* (Kerly et al., 2008), que dialoga con el alumno en lenguaje natural para mostrar, determinar y consensuar los datos del modelo del alumno en una interfaz abierta (*OLM: Open Learner Model*). Con el mismo propósito, el sistema *VUMA* (Spath & Conlan, 2008), orientado a la adaptación al usuario de guías interactivas de uso esporádico, permite que el usuario ajuste su modelo mediante una interfaz visual con elementos intuitivos-metafóricos.

Modelado operativo

Los sistemas educativos inteligentes (*IES/ILE*) se distinguen de los sistemas de gestión (*LMS/VLE*) por sus capacidades de inferencia y de adaptación al alumno, con el objetivo de emular y mejorar el comportamiento del buen tutor humano (Merrill et al., 1992). Estas capacidades inteligentes se incorporan en un *modelo operativo* que, a partir de los datos del dominio y del alumno, determina las decisiones del sistema en todos los ámbitos.

En algunos casos, la estimación e inferencia de los datos de los modelos del alumno y de dominio se desarrolla en dichos modelos, dejando para el *modelo operativo* exclusivamente la generación de la respuesta adaptativa. Por ejemplo, en el sistema *AHA!* (De Bra et al., 2006; De Bra et al., 2004; De Bra & Calvi, 1998), la adaptación se produce mediante reglas independientes del dominio, codificadas en *LAG-XSL* (Stash et al., 2005; Cristea, 2004).

En los modelos y sistemas analizados, el modelo operativo o inteligente recibe diferentes nombres dependiendo de las funciones que desempeña. Cuando se centra en los procesos cognitivos del alumno (Anderson & Corbett, 1997) y en las estrategias instruccionales, recibe nombres como *modelo pedagógico* (Prentzas et al., 2002), *modelo de enseñanza*, *módulo experto* (Millán, 2000; Anderson, 1988) o *modelo instruccional* (Castillo et al., 2003). En los sistemas hipermedia adaptativos (AEHS), los modelos operativos se centran en la selección y adaptación de los conceptos y recursos que se presentan al alumno y, como tal, se denominan *modelo dinámico*, *de interacción* o *adaptativo* (Cristea & De Mooij, 2003; Wu, 2002).

El *modelo operativo* aglutina un conjunto de procedimientos explícitos o implícitos y un motor de ejecución que controla la aplicación de dichos procedimientos sobre los datos. La forma en que se codifican los procedimientos operativos determina las capacidades del sistema. En este sentido, Cristea y Calvi (2003) establecen 3 niveles de

especificación de los procedimientos adaptativos: un primer nivel constituido por funciones implícitas para técnicas adaptativas básicas; un segundo nivel en el que se define un lenguaje para la codificación de reglas adaptativas explícitas; y un tercer nivel para la codificación de estrategias adaptativas genéricas mediante heurísticos. Recientemente, este control se realiza a través de procesadores y agentes semánticos como en los sistemas *InCA* (Nabeth et al., 2005) y *XTutor* (Muñoz & Delgado, 2008).

Los procedimientos de razonamiento y estimación implícitos se orientan a la predicción del comportamiento del alumno y a la valoración de los recursos que mejor se ajustan a su estilo y conocimientos. Las redes neuronales artificiales, los modelos lineales, las redes *Bayesianas* y propuestas específicas como las *neurorreglas* (Prentzas et al., 2002) son los métodos predictivos más empleados. En la valoración del ajuste de los recursos y los hipervínculos al alumno se utilizan métodos como: Modelos *TFIDF* (*Term Frequency Inverse Document Frequency*), redes Bayesianas para la selección de objetos de aprendizaje como en el sistema *ACE* (*Adaptive Courseware Environment*) (Botsios et al., 2008; Specht, 2000) y modelos *MDP* (*Markov Decision Processes*) (Puterman, 2005) combinados con el algoritmo *Q-learning* (Watkins & Dayan, 1992) para la valoración de hipervínculos respecto al alumno (Iglesias et al., 2008).

Habitualmente, los procedimientos se codifican en forma de reglas explícitas agrupadas por funciones (Koch & Wirsing, 2002; Benyon, 1993) como reglas de inferencia, reglas de estimación, reglas adaptativas, reglas de presentación, etc. La codificación de estas reglas operativas suele ser una característica muy dependiente del propio diseño del sistema; lo más habitual es encontrar secuencias de condición-acción (Koch & Wirsing, 2002) o reglas del tipo *TRIPLE* (Dolog & Nejdí, 2007; Dolog et al., 2003), recientemente codificadas como ontologías educativas en *SWRL* (Chi, 2009). En ocasiones, los sistemas incorporan conocimiento instruccional que codifica los procesos de aprendizaje que, aplicados a un dominio y a un alumno, generan objetos instruccionales adaptados como *IMS-LD* (IMS, 2003) u ontologías educativas (Isotani & Mizoguchi, 2008). Este tipo de sistemas emplean estructuras de conocimiento más complejas mediante grafos de eventos como los modelos *GMIP* (Isotani & Mizoguchi, 2006) u *OMNIBUS* (Hayashi et al., 2008; Hayashi & Mizoguchi, 2006).

El *modelo operativo* es el dinamizador del sistema mediante el desarrollo de dos funciones básicas que emplean todos los datos y estados disponibles del sistema (Cristea & Calvi, 2003). En la Figura 41 se resumen ambas funciones que relacionan los contenidos (*DM*), el alumno (*LM*), la interfaz de usuario (*PM*) y el método de enseñanza (*AM*). La función principal del *modelo operativo* es presentar la materia de forma adecuada para que el alumno adquiriera las habilidades y conceptos definidos en el modelo de dominio. Denominamos *G:Generar* a dicha función que incluye:

- **Generación de la dinámica** mediante la aplicación de las estrategias de enseñanza para determinar cuándo y cómo intervenir.

- **Generación de la didáctica** mediante la selección de unidades, conceptos y explicaciones (Karampiperis & Sampson, 2005; Castillo et al., 2003; Koch & Wirsing, 2002; Prentzas et al., 2002).
- **Generación de la instrucción** mediante la determinación de la secuencia más adecuada, materializada en la valoración y recomendación de los vínculos más adecuados al estado del alumno (Martins et al., 2008; Iglesias et al., 2008; Karampiperis & Sampson, 2005).
- **Generación de la evaluación** mediante cuestionarios, ejercicios y diálogos (Baylari & Montazer, 2009; Fernández, 2003).
- **Generación de la presentación** mediante la aplicación de los estilos del alumno al contenido (Martins et al., 2008; Papasalouros et al., 2004).

De forma complementaria, el *modelo operativo* debe ser capaz de resolver los problemas planteados, distinguir las respuestas correctas y realizar estimaciones e inferencias de los datos, parámetros y pesos que determinan el estado del sistema. Todos estos cálculos se agrupan en la función *A:Actualizar*, cuyo mayor logro es estimar los conocimientos, las características y el estado afectivo del alumno.

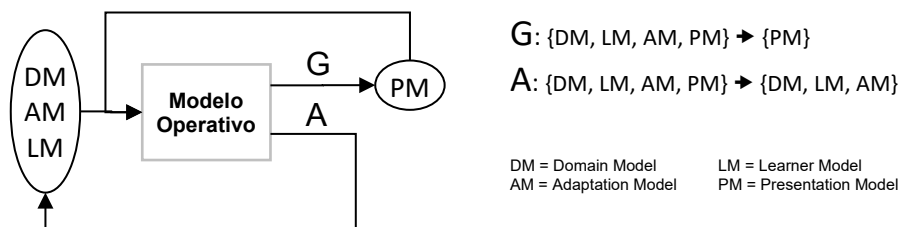


Figura 41. Funciones del modelo operativo.

La información del estado emocional o afectivo del alumno no se ha tenido en cuenta en los modelos operativos de los sistemas educativos hasta los desarrollos más recientes como en los sistemas *EER-Tutor* (Zakharov et al., 2008) o *ITSPOKEN* (Forbes-Riley et al., 2008). La publicación de *Affective Computing* (Picard, 1997) marca el inicio de una disciplina que se introduce en todos los sistemas automáticos de interacción hombre-máquina que combina desarrollos en Inteligencia artificial, Reconocimiento de patrones, Máquina de aprendizaje (Wang & Tao, 2008), Agentes autónomos, Neurociencia cognitiva, Sociología, Lingüística, Psicología, etc. Se trata de una especialidad de difícil puesta en práctica debido a su escasa base teórica, al uso de datos inestables entre sesiones y a la combinación de factores idiomáticos, sociales y culturales. Podemos agrupar las líneas de trabajo relacionadas con el procesamiento del estado afectivo del alumno en 4 áreas (Prendinger & Ishizuka, 2005):

- **¿Cómo funcionan las emociones?** Se trata del análisis y caracterización de los estados afectivos y su relación con los procesos cognitivos en el ámbito de la neurociencia cognitiva, en lo que se denomina modelado cognitivo/racional-afectivo. Su objetivo fundamental es la creación de modelos de comportamiento predictivo basados en el estado emocional (André & Müller, 2003) para la mejora de los sistemas de interacción Hombre-Máquina y la generación de diagnósticos afectivos para tratamiento psicológico.
- **¿Cómo detectar el estado emocional?** Se trata del desarrollo de teorías y aplicaciones como MOUE/MIKE (Bianchi-Berthouze & Lisetti, 2002), Empathic Companion (Prendinger & Ishizuka, 2005) o AutoTUTOR (D'Mello et al., 2007), basadas en parámetros conversacionales (voz y texto) (Batliner et al., 2008; Grimm et al., 2006; Lee & Narayanan, 2005), posturales, fisiológicos y gestuales (Cohn & Kanade, 2006; Ekman & Friesen, 1978), registrados mediante cuestionarios, micrófonos, cámaras y sensores inteligentes como Blue-Eyes Camera (IBM), Body Pressure Measurement System (Tekscan), ProComp+ (Thought-Technology) o Camtasia Studio (TechSmith). El estado emocional del alumno es una información inestable que se inicializa en cada sesión, excepto en desarrollos muy especializados en los que se mantiene un agente en sesión permanente (Bickmore, 2003).
- **¿Qué reacciones de control se toman basadas en el estado emocional?** Los métodos de respuesta afectiva inteligente no están suficientemente definidos en la interacción interpersonal. En el ámbito de los sistemas educativos, los esfuerzos se centran en la selección de la estrategia más adecuada al estado psicológico-emocional del alumno (Conati, 2002) y la adaptación del aspecto de la interfaz del usuario para la reducción del impacto emocional negativo (Ward & Marsden, 2003).
- **¿Cómo se transmiten al alumno los estados afectivos?** Se trata de crear interfaces que reflejen el estado emocional del sistema o del alumno con el objetivo de disminuir la ambigüedad que introduce la comunicación lingüística (Bosma & André, 2004). Los desarrollos más sencillos incorporan imágenes estáticas con representación emocional del tipo Emoticons. Los desarrollos más especializados crean un agente físico 3D en la interfaz que es capaz de adaptar dinámicamente su postura, tono de voz y diseño facial en función de parámetros emocionales (Zakharov et al., 2008; Forbes-Riley et al., 2008; Prendinger & Ishizuka, 2005; Paiva et al., 2004; Lisetti et al., 2003).

Neurociencia cognitiva

Desde la aparición de *Ciencia Cognitiva* a mediados del siglo XX han ido surgiendo innumerables teorías acerca del funcionamiento de la mente, agrupadas en corrientes como el *Mentalismo*, *Funcionalismo* o el *Computacionalismo*. Todas ellas abordan el análisis desde el punto de vista antropogenético como el modelo de 4 bandas: *biológico/neuronal*, *cognitivo*, *racional* y *social* (Newell, 1994), o la tradicional división funcional en la trilogía: *Cognición*, *Emoción* y *Motivación* (Matthews & Zeidner, 2004). Sin embargo, los avances en el conocimiento de las neurociencias (Rubia, 2009) han creado una nueva perspectiva del funcionamiento de la mente desde el punto de vista biogenético que permite modelar el procesamiento cognitivo vinculado a los subsistemas neurológicos (Chadderdon & Sporns, 2006). Esta nueva perspectiva estudia los conceptos de memoria, interdependencia, control, valencia, continuidad o reducción de aleatoriedad (Lyon, 2006), desde las estructuras biológicas más pequeñas hasta el sistema global (Churchland & Sejnowski, 1992): moléculas, sinapsis, neuronas, redes, mapas y sistemas.

Todas las interpretaciones del funcionamiento de la mente coinciden en destacar la capacidad de adaptación y entendimiento como una característica principal que nos distingue como especie. El cerebro está continuamente modificando y actualizando sus funciones y sistemas con la experiencia. Cómo se consigue esta plasticidad, qué elementos son fijos y cuáles se pueden adaptar para reorientar las capacidades de procesamiento mental son interrogantes que intenta resolver la neurociencia cognitiva (Churchland & Sejnowski, 1992). Actualmente se están realizando grandes esfuerzos en investigación del funcionamiento del cerebro. Empresas e instituciones públicas relacionadas con la informática y la neurociencias agrupan sus recursos para crear

entornos de simulación neuronal que permitan descifrar el funcionamiento del cerebro, de forma similar a lo que supone la decodificación del *genoma humano* en lo que se denomina el *conexioma*⁶³.

La simulación del funcionamiento de la mente a nivel neuronal se desarrolla con modelos computacionales de interconexión de las distintas áreas cerebrales mediante esquemas de modulación, excitación e inhibición (Hadipour-Niktarash, 2006; Chadderdon & Sporns, 2006; Gluck et al., 2003; Frank et al., 2001). Sin embargo, esta orientación conexionalista no se concreta en nuevas perspectivas de mejora del proceso de aprendizaje en las plataformas de educación asistida, que demuestran mayor sintonía con los modelos de tipo funcional.

En las últimas décadas, el desarrollo de las técnicas de seguimiento de la actividad mental ha aportado nuevas pistas sobre el procesamiento cognitivo: *PET* (*Positron Emission Tomography*), *EEG* (*Electroencephalography*), *MEG* (*Magnetoencephalography*), *fMRI* (*functional Magnetic Resonance Imaging*) y *rTMS* (*repetitive Transcranial Magnetic Stimulation*). Muchas de ellas se aplican como herramienta de diagnóstico del alumno en la enseñanza asistida (Hirata & Hirata, 2008; Anderson et al., 2008).

Los sistemas cognitivos se caracterizan por su alta conectividad entre subsistemas poco delimitados. Son muchos los intentos de establecer los límites de los sistemas físicos y funcionales de la mente desde el ámbito de la neurociencia y la psicología. Por ejemplo, Simon (2006) considera que la “*aparente complejidad es reflejo de la complejidad del entorno*”, el comportamiento humano es inherentemente sencillo y la estructura modular jerárquica es la única que puede funcionar en los sistemas cognitivos adaptativos. Sin embargo, los análisis neurológicos de las vías de comunicación neuronal en el cerebro revelan un alto grado de conexión multidireccional que responde a un esquema en forma de red con múltiples entradas y salidas como el planteado por Pascual-Leone (2004). El pensamiento es fruto de actividades concurrentes procedentes de diversas áreas cerebrales. Cada área cortical realiza múltiples funciones y cada función es realizada desde varias áreas. La topología de la red cortical cambia y se adapta a las necesidades del individuo reorientando sus capacidades.

Hoy en día, la modularidad de la mente es una hipótesis ampliamente admitida en la comunidad científica desde muy diversos puntos de vista (Seok, 2006; Fodor, 1986): los tipos de información que maneja, la estructura física de conexiones, las funciones que desempeña, la forma de procesamiento y el desarrollo evolutivo. El mayor acuerdo se establece en la clasificación de las funciones mentales y su localización en el sistema nervioso descrita en las áreas de Brodmann. Sin embargo, los subsistemas

⁶³ Blue Brain Project. <http://bluebrain.epfl.ch>

que lo configuran se encuentran fisiológicamente distribuidos por áreas no delimitadas y altamente interconectadas. Las últimas hipótesis apuntan a la imposibilidad de establecer límites físicos a los sistemas cognitivos. Los límites quedarían determinados a nivel funcional en el procesamiento distribuido de una señal con múltiples bandas de frecuencia (Colgin & Moser, 2009).

Fox et al. (2005) describen la taxonomía *BrainMAP* en la que se hace un análisis exhaustivo de los dominios cognitivos encontrados en el estudio del cerebro: atención, memoria, razonamiento, percepción, acción, emoción, lenguaje, música, espacio y tiempo. En los siguientes apartados se analizan dichos dominios cognitivos desde tres puntos de vista: estructura, señales y procesamiento.

La estructura cognitiva y la memoria

Desde el punto de vista fisiológico, el sistema nervioso está formado por un conjunto de órganos específicos situados en el interior del cerebro (cerebelo, tálamo, hipotálamo, amígdala, hipocampo, ganglio basal, fórnix, uncus, cíngulo...) que se conectan con los sistemas sensoriales, los órganos motores y la corteza cerebral. La unidad básica es la neurona que, dependiendo de su localización/función, adopta distintas formas (bipolar, multipolar, piramidales, fusiforme, estrellada, horizontal, Martinotti...). Las conexiones se establecen por contacto o por sinapsis regulada por agentes químicos neurotransmisores y neuromoduladores. En conjunto, las neuronas conforman una red de procesamiento que transmite señales físico-químicas de activación/inhibición de las neuronas derivadas. Habitualmente, la topología interna de los órganos neuronales genera un procesamiento desde el interior hacia la corteza en sucesivos estratos neuronales dependiendo del órgano/área cerebral de que se trate.

La corteza cerebral se divide en 4 lóbulos: frontal, parietal, temporal y occipital, con giros y fisuras. Contiene alrededor de 1M de columnas corticales de procesamiento de 0,5 mm de diámetros compuestas por unas 50K neuronas estructuradas en 6 capas de espesor y densidad variable. La corteza cerebral desarrolla las funciones superiores que complementan el procesamiento básico funcional que se localiza en el sistema límbico. Dependiendo de la complejidad de anidamiento de las conexiones, las funciones de la corteza cerebral se clasifican en tres tipos:

- **Primaria.** *Procesamiento de la información sensorial (visual, auditivo...) y motora.*

- **Unimodal.** Conectan las cortezas primarias para generar señales de alto nivel que interpretan las señales primarias (premotor, visual asociativo, somatosensorial...).
- **Multimodal.** Conectan sistemas primarios y unimodales para la integración de significados (atención, lenguaje, actos motores voluntarios...).

Desde el punto de vista sistémico, el sistema nervioso es un procesador de entradas sensoriales con capacidad de memoria y de actuación. En el ámbito de la neurociencia cognitiva computacional (Schacter, 1992) se considera que un sistema de memoria es un almacén de datos que además implementa las siguientes funciones: *adquisición, codificación, registro, retención, recuperación y procesamiento*. Siguiendo este criterio e incorporando los conocimientos sobre el funcionamiento del sistema nervioso, se considera que la mente es un sistema de memoria formado por un conjunto de subsistemas de memoria interconectados. La localización, funcionalidad, conectividad y codificación de estos sistemas de memoria determinan las capacidades de los sistemas cognitivos (Shiffrin, 2003) y forman parte de los retos actuales en este ámbito de investigación: plasticidad, tipos de datos, modo de procesamiento, capacidad de retención, etc. Desde la segunda mitad del siglo XX está ampliamente aceptada la hipótesis de disociación de la memoria (Tulving, 2002; Tulving, 1985) en distintos tipos neurogenéticos clasificados desde cuatro puntos de vista que se resumen en la Tabla 11.

Las memorias a largo plazo (*LTM: Long-Term Memory*) (Kesner, 2009; Walker & Stickgold, 2004) se caracterizan por un alto periodo de latencia asociado a un tipo de codificación hardware o estructural en la que entran en juego los pesos que intervienen en las conexiones neuronales. Este tipo de memorias demuestran una gran capacidad de almacenamiento y realizan todo el procesamiento automático no consciente mediante una red altamente interconectada en forma de memoria asociativa (Mayes et al., 2007). Codifican información declarativa y procedimental, y son distribuidas (abarcen múltiples sinapsis), robustas (no se pierde totalmente cuando se pierden algunas sinapsis) y superpuestas (una sinapsis está implicada en el almacenamiento de varias informaciones).

Las memorias a largo plazo declarativas, de tipo semántico, episódico o autobiográfico, se localizan en los lóbulos frontal (Burianova & Grady, 2007; Fiebach et al., 2007) y temporal medio (Staresina & Davachi, 2008). Se codifican desde el lóbulo parietal (Uncapher & Wagner, 2009) y se recuperan desde las regiones S (*Subiculum*), DG (*Dentate Gyrus*), CA1-CA3 (*Cornu Ammonis*) del hipocampo. Este, junto con la corteza peririnal, la corteza parahipocampal y la amígdala (Mayes et al., 2007; Fernández & Tendolkar, 2006), funcionan como integradores multimodales de este tipo de memorias asociativas (Staresina & Davachi, 2008; Colgin et al., 2008; Kesner,

2007). La forma de acceso o recuperación de las memorias declarativas a largo plazo son otra sus características diferenciadoras (Aggleton & Brown, 2006). Probablemente, el contenido episódico a largo plazo no se registra de forma secuencial sino asociado a una señal de contexto (Polyn & Kahana, 2007; Oliva & Torralba, 2007). Dicha señal se va actualizando y depurando con la experiencia, aumentando así su rendimiento de recuperación. Sin embargo, el contenido semántico a largo plazo se registra fundamentalmente asociado a identificadores internos y a filtros de reconocimiento.

Tiempo de latencia
Memoria a largo plazo / permanente
Memoria a corto plazo / operativa / temporal
Codificación (Anderson et al., 1995; Churchland & Sejnowski, 1992; Schacter, 1992)
Memoria declarativa Registra información simbólica de tipo normativo (conceptos) o factual (secuencia de eventos).
Memoria procedimental Registra procedimiento subsimbólicos que representan habilidades y reglas de condicionamiento.
Consciencia
Memoria explícita / dirigida / consciente
Memoria implícita / tácita / autista / inconsciente
Contenido (Burianova & Grady, 2007)
Memoria semántica / conceptual / genérica Registro de las definiciones de las categorías que sirven para interpretar el universo.
Memoria episódica / histórica Registro de los hechos percibidos.
Memoria autobiográfica / personal Registro la experiencia del individuo y su propiocepción.
Memoria emocional / afectiva Registro de los criterios para la generación de valoraciones afectivas asociadas a hechos y objetos.
Memoria sensorial / cuasi-memoria Registro de los criterios para el reconocimiento de objetos físicos a partir de señales sensoriales.
Memoria motora / efectora Registro de los criterios de conversión las intenciones en señales actuadoras.
Memoria evocadora / priming (Bouaffre & Faïta-Ainseba, 2007) Registro de los procesos para la generación de señales anticipadas.

Tabla 11. Tipos de memorias.

Las memorias a largo plazo codifican también información procedimental que se emplea fundamentalmente para automatizar los procesos de registro y recuperación

como el *priming* (Bouaffre & Faïta-Ainseba, 2007), el reconocimiento de objetos (Vitay & Hamker, 2008), la familiarización de conceptos (Staresina & Davachi, 2008) o el procesamiento viso-espacial (Kesner, 2009).

Cualquier tipo de procesamiento computacional requiere del uso de almacenes temporales de la información que está siendo manipulada. En el procesamiento mental estos almacenes reciben el nombre de memorias a corto plazo (*STM: Short-Term Memory*) que se caracterizan por un tiempo de latencia breve entre 3 y 15 segundos (Figura 42). En el ser humano se distingue una memoria a corto plazo principal o consciente que recibe el nombre de *memoria de trabajo/operativa* y un conjunto de memorias a corto plazo inconscientes o primarias. Estas últimas se encuentran principalmente asociadas a los centros sensoriales como la memoria visual temporal de la *corteza visual primaria (V1)* en la que se retiene la información visual aunque desaparezca el estímulo (Harrison & Tong, 2009).

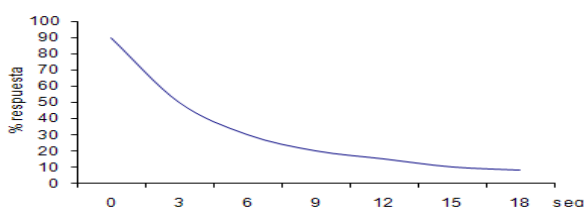


Figura 42. Tiempo de latencia de la memoria de trabajo (adaptado de Peterson and Peterson, 1959)

La memoria de trabajo (Deiber et al., 2007) es el sistema encargado del procesamiento consciente para la planificación, toma de decisión, comprensión, razonamiento y aprendizaje con las siguientes características (Wolters & Raffone, 2008; Sun, 2003):

- **Mantenimiento** de información por integración multimodal de señales procedentes de las memorias a largo plazo. Se localiza fundamentalmente en el hipocampo (Walker & Stickgold, 2004).
- **Procesamiento** consciente con capacidad limitada, dirigido por la selección atencional top-down y orientado a un aprendizaje por recodificación y registro de la información en las memorias a largo plazo.

La información que llega a la memoria de trabajo se distribuye según su grado de “familiaridad” (Kesner, 2007; Hasselmo & Stern, 2006) en la *FWM (Familiar Working Memory)* o en la *NWM (Novel Working Memory)*. La información sensorial que encaja con la interpretación del mundo, residente en las memorias a largo plazo, se redirecciona al área de familiarización o automatización de conceptos localizada en la corteza prefrontal a través de la corteza perirrinal (Staresina & Davachi, 2008). La

información no conocida se encamina al área asociativa de conceptos nuevos focalizada en el hipocampo y la corteza parahipocampal.

El mantenimiento de la información y la plasticidad de la memoria a corto plazo es todavía una incógnita en el ámbito científico. Se ha demostrado que el bloqueo de la neurogénesis índice en la pérdida de la memoria a corto plazo. A partir de este hecho se describe el funcionamiento de las memorias a corto plazo por la generación continua de nuevas neuronas en el hipocampo. Sin embargo, este proceso de neurogénesis no responde a los requerimientos de velocidad de procesamiento de este tipo de memorias. La hipótesis más admitida se basa en la rápida potenciación/decaimiento de las conexiones de un conjunto de neuronas en red (*grid cells*) (Doeller et al., 2010) junto con el mantenimiento de bucles de las señales eléctricas hacia la corteza prefrontal (Wolters & Raffone, 2008). La neurogénesis influiría exclusivamente en la lubricación y mantenimiento de los componentes de la memoria.

La memoria de trabajo recupera información procedente de las memorias a largo plazo y, por lo tanto, debe ser capaz de manejar y coordinar distintos tipos de datos. Para justificar este hecho se plantean dos posibilidades. Por un lado, la existencia de un centro de procesamiento consciente que coordina e integra un conjunto de memorias de trabajo distribuidas. Esta hipótesis se apoya en la detección de actividades de procesamiento focalizado en distintas áreas como CA1/CA3 para el seguimiento episódico (Rudner & Rönnerberg, 2008; Hassabis & Maguire, 2007; Gluck et al., 2003) o la corteza prefrontal para los cambios espacio-temporales (Funahashi et al., 2004). Por otro lado, se plantea la existencia de un único buffer de tipo episódico en el hipocampo (Kesner, 2007; Halford et al., 2007) donde se integran señales multimodales en espacios de trabajo con componentes físicas virtuales y distintas capas de abstracción (sensorial...simbólica).

Todo sistema procesador dispone de un ejecutivo y un control de ejecución (Wolters & Raffone, 2008; Staresina & Davachi, 2008; Colgin et al., 2008; Kesner, 2007; Chadderdon & Sporns, 2006; Frank et al., 2001). El primero se encarga de interpretar el conjunto de acciones que modifican el contenido de la memoria. El segundo gestiona la secuencialidad del procesamiento y mantiene una medida de control de tiempo (Lewis & Miall, 2006). El ejecutivo se ha localizado fundamentalmente en la corteza prefrontal dorsolateral (Vitay & Hamker, 2008; Johnson et al., 2007), mientras que el control se desarrolla en distintas partes de la corteza hipocampal, el cerebelo y el ganglio basal (Roth, 2009; Anderson et al., 2008; Anderson, 2005; Anderson et al., 2004). Todo el procesamiento se ve afectado por los niveles de las sustancias neurotransmisoras y moduladoras (Dash et al., 2007) como la dopamina, serotonina, glutamato, GABA..., que influyen en la capacidad atencional y de retención en las memorias a largo plazo (Rossato et al., 2009).

La percepción

La mente es fundamentalmente un integrador inteligente y eficiente de señales multisensoriales (Ghazanfar & Schroeder, 2006). El sistema nervioso dispone de un conjunto de receptores que registran la información del entorno y generan señales internas denominadas *Sensaciones*. Estos transductores se agrupan en subsistemas que, en el ser humano, conforman 5 canales sensoriales principales (Figura 43): *visual*, *auditivo*, *gustativo*, *olfativo* y *somatosensorial*. Los sensores funcionan de forma memorística, perciben variaciones en la señal y, por lo tanto, dependen del estímulo anterior y de la experiencia. Además, la ley de *Weber-Fechner* establece que el umbral de sensación depende de la propia amplitud de la señal: la variación absoluta percibida en una señal de baja intensidad no es percibida en señales de alta intensidad.

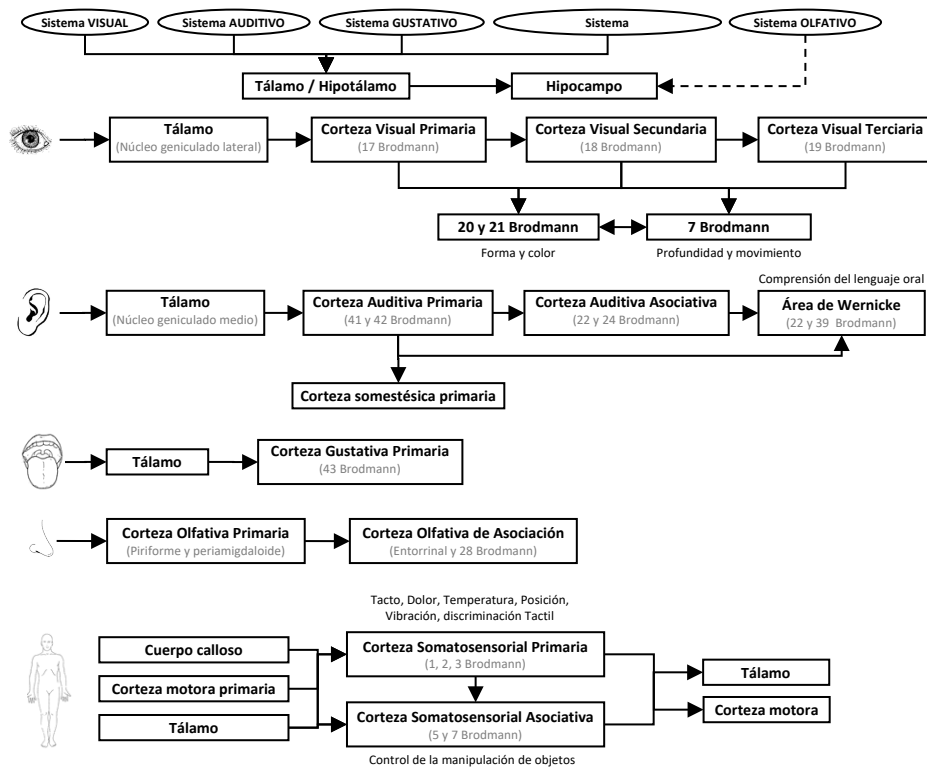


Figura 43. Esquemas neurofuncionales del procesamiento perceptual.

Los canales sensoriales transmiten la información hacia las cortezas cerebrales primarias, como el córtex estriado visual, donde se interpretan por reconocimiento de patrones para elaborar una señal más abstracta denominada *Percepción*. El procesamiento perceptual resume las sensaciones en variables de propósito

específico, *Gestálticas o hápticas*, como el color, movimiento, orientación, forma, borde, etc.

Todos los canales sensoriales, excepto el olfativo, confluyen en el tálamo, donde se genera una señal multimodal que complementa el procesamiento perceptual en las cortezas primarias. Esta arquitectura de comunicación establece vías paralelas de información perceptual de forma que, si se pierde algún canal, es posible seguir interpretando la información por otras vías.

Las señales perceptuales pueden ser atendidas y procesadas en la memoria de trabajo a través del hipocampo, donde se amplían/atenúan y se combinan con la experiencia del sujeto.

El conocimiento y el lenguaje

La descripción neurológica de los órganos y conexiones que conforman el sistema nervioso central no es suficiente para explicar el procesamiento cognitivo. Toda esta arquitectura hardware soporta el flujo de información codificado en señales y estados físico-químicos que determinan el conocimiento propio de un individuo. El análisis de los distintos tipos de conocimiento y sus formas de codificación y aprendizaje siguen siendo objeto de investigación. La distinción entre las estructuras cognitivas relacionadas con el conocimiento innato o genético, frente al conocimiento extraído de la experiencia continua siendo una incógnita hoy en día.

Desde el punto de vista de la razón, los objetos del mundo material sirven tan sólo como materia pura a partir de la cual se nutren las sensaciones. Los objetos, en sí mismos, no tienen existencia, y el espacio y el tiempo pertenecen a la realidad sólo como parte de la mente, como intuiciones con las que las percepciones son medidas y valoradas.

I. Kant (1781)

Los neurocientíficos llevan décadas intentando descifrar el código que emplea el cerebro para generar y manipular el conocimiento a nivel neuronal. La línea de investigación más desarrollada se centra en la codificación y comunicación interneuronal en función de bandas de frecuencia (Colgin & Moser, 2009; Deiber et al., 2007). Sin embargo, no existe un acuerdo significativo en cuanto a su uso. Las ondas gamma (40Hz) se asocian a señales que transmiten recuerdos y sensaciones, mientras que las señales en la banda θ (4-8 Hz) se asocian a los elementos atencionados.

Una de las características de las señales cerebrales que más intriga a los neurocientíficos es la naturaleza estocástica de la frecuencia de los impulsos generados ante el mismo estímulo externo. Recientes estudios (Renart et al., 2010;

Yang, 2010) demuestran la hipótesis de las *asambleas neuronales* de Hebb (1949): existe una conectividad lógica-asíncrona entre neuronas más allá de la conectividad física; las neuronas transmiten toda la señal pero sólo procesan la parte que supera su filtro de frecuencia. La forma en que las neuronas implementan estos filtros de frecuencia y operan sobre la señal continúa siendo objeto de estudio en áreas como la *Computación Cuántica* (Hamerrof, 2007; Litt et al., 2006).

El conocimiento es una entidad difusa en la que se mezcla la forma de codificación y registro con las capacidades de procesamiento, recuperación y aprendizaje. Siguiendo los criterios aplicados en la clasificación de los sistemas de memoria, se distinguen los siguientes tipos de conocimiento:

- **Persistente.** *La durabilidad del conocimiento es uno de los objetivos fundamentales del aprendizaje. El conocimiento persistente es la parte del conocimiento operativo de las memorias de trabajo en forma de señales físicas que se transfiere a las memorias a largo plazo mediante la modificación de los parámetros que definen las conexiones neuronales.*
- **Procedimental.** *El conjunto de reglas y procedimientos que permiten realizar una tarea a nivel cognitivo reciben el nombre de conocimiento procedimental (Anderson & Lebiere, 1998).*
- **Declarativo.** *Los hechos, ideas o categorías sobre las que se aplica el razonamiento forman parte del conocimiento declarativo. En este contexto surge la Memética (Blackmore, 1999) como ciencia que estudia las ideas y conceptos en forma de organismos vivos denominados memes, con capacidades de reproducción y evolución.*
- **Conceptual.** *El funcionamiento del cerebro humano aplica la eficiencia cognitiva mediante la creación una jerarquía de clases/categorías interrelacionadas en forma de conceptos, proposiciones y principios (Novak, 1996) que constituyen la interpretación del mundo como base del razonamiento. Se trata de un conocimiento en continua adaptación para la mejora del rendimiento y ajuste a la realidad.*
- **Consciente.** *La información en la memoria de trabajo adopta la forma de estructuras significativas conscientes, denominadas Insights por Ausubel (1983), que constituyen la base de la reflexión y el aprendizaje.*
- **Episódico/Temporal.** *Este conocimiento registra la experiencia del individuo en forma de secuencia de hechos/percepciones/eventos. Habitualmente se distingue el conocimiento autobiográfico del conocimiento observado. El tiempo es una dimensión que forma parte implícita del conocimiento al mismo nivel que otro tipo de parámetros sensoriales y emocionales. Esta dimensión permite memorizar narraciones y reflexionar en base a consecuencias (antes-después).*

- **Reflexivo/Lógico/Activo.** *Se trata del conocimiento procedimental que se emplea en la memoria de trabajo como base para la optimización cognitiva y la toma de decisión. Las reglas de la Lógica, la generalización o la herencia de propiedades son ejemplos de este tipo de conocimiento.*
- **Genético.** *Los seres humanos nacemos con unas capacidades innatas jerarquizadas (curiosidad, consecuencia, comparación, secuenciación, composición, trato sociales, visión espacial...) que van apareciendo y desarrollándose progresivamente (Piaget, 1970).*
- **Subjetivo.** *Independientemente del tipo de información asociada a un conocimiento, siempre existe un grado de subjetividad y de incertidumbre asociada con la que trabaja el procesador cognitivo basado en creencias (Carbonell, 1979) y en las reglas del sentido común (Charniak, 1977).*

El lenguaje es una forma externa muy depurada de expresar lo que piensa un individuo en un instante y, por lo tanto, tendrá relación con la expresión interna del conocimiento. La relación entre pensamiento y lenguaje ha sido tema de debate científico desde hace siglos. El hecho de que los niños comiencen a pensar antes que a hablar (Piaget, 1970) conduce a la hipótesis en la que el pensamiento y el lenguaje se desarrollan de forma aislada con algún punto de confluencia (Vigotsky, 1978). Por otro lado, la hipótesis del *determinismo lingüístico* de *Sapir-Whorf* constata las diferencias de pensamiento entre individuos con distintos idiomas nativos, y concluye que el lenguaje es anterior al pensamiento e influye en la forma en que sus hablantes perciben y conceptualizan la realidad.

La *gramática generativa transformacional* (Chomsky, 1975) representa un gran avance en el acercamiento del lenguaje al pensamiento. Plantea la existencia de leyes formales del lenguaje, desplegadas de forma recursiva, que representan tanto su estructura superficial (sintaxis) como profunda (semántica). La estructura profunda del lenguaje es independiente del idioma en que se exprese y su representación tendrá puntos de convergencia con la representación interna del pensamiento. El lenguaje se estructura en 4 de niveles cuyo grado de complejidad aumenta progresivamente:

- **Nivel perceptivo o sensorial.**
Identificación de las palabras a partir de señales sensoriales visuales o auditivas.
- **Nivel léxico o de palabra.**
Recuperación interna de la definición de cada palabra en forma de categoría o concepto.
- **Nivel semántico o de frase.**
Creación de estructuras sintáctico-semánticas que relacionan los conceptos y categorías.
- **Nivel del discurso o razonamiento.**
Chequeo de la coherencia de las frases y generación de conclusiones.

Los estudios en neurociencia (Service et al., 2007) demuestran que la actividad neuronal asociada a las funciones del lenguaje: identificación de la palabra, análisis sintáctico-semántico y generación de la fonética, se localizan en el lóbulo temporal izquierdo medio y posterior. Las señales visuales y auditivas del lenguaje se procesan en el área de *Wernicke* y la coordinación de las señales motoras para la generación del habla se desarrolla en el área de *Broca* (Figura 44). Sin embargo, los estudios sobre el procesamiento del lenguaje están menos avanzados que otro tipo de estudios cerebrales debido a la imposibilidad de experimentación con cobayas.

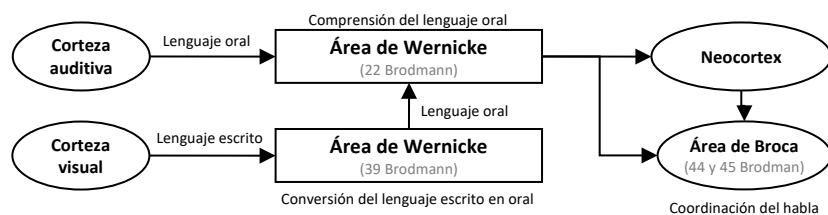


Figura 44. Esquema neurofuncional del procesamiento del lenguaje.

Existe bastante evidencia en favor de la idea de que los seres humanos interpretamos el mundo y lo representamos en un formato multimodal en el que se integran sensaciones (Ghazanfar & Schroeder, 2006) en múltiples niveles de abstracción (Shin et al., 2006; Courtney, 2004) como imágenes mentales, esquemas, estereotipos y proposiciones abstractas, sobre un sustrato de conocimiento implícito basado en reglas de producción y sistemas conexionistas (Zhang, 2008; O'Brien & Opie, 2006; Ballesteros, 1992).

Las conexiones entre los distintos subsistemas cerebrales configuran los canales de comunicación interna que, implícitamente, conllevan un metasignificado que determina el contenido de la señal, pe. los canales *Qué* y *Dónde* de la señal procedente del procesador auditivo en la *cisura de Silvio* (King & Nelken, 2009). La integración de las señales en un buffer multicanal (Hassabis & Maguire, 2007) es la base del sistema de consciencia en el que se materializan las ideas de tiempo subjetivo (Schütz-Bosbach & Prinz, 2007), empatía emocional (Clore & Palmer, 2009; Ihssen et al., 2007; Vignemont & Singer, 2006), imagen visual o narración/secuencia.

No existe constancia de la forma en que se codifica este buffer. La *Teoría de Dependencia Conceptual* (Schank & Abelson, 1977) establece las bases de la representación conceptual independiente de su expresión sintáctica externa, mediante la distinción de los estados y las acciones primitivas de procesamiento (ATTEND, GRASP, MOVE, PROPEL, INGEST, EXPEL, SPEAK, PTRANS, ATRANS, MTRANS, MBUILT...). La representación pseudolingüística (Chater & Christiansen, 2007; Chomsky, 1999) combinada con la representación mental de entornos físicos sustentada en células de red (*grid cells*) (Doeller et al., 2010) es la que mejor responde a los requerimientos de procesamiento,

razonamiento y aprendizaje guiado por la atención en elementos anidados (Marchetti, 2006). Además, las señales deben incorporar algún tipo de parámetro que valore su certidumbre (Steyvers et al., 2006) y que permita razonar sobre ella, ejemplo de ello son los *FCM* (*Fuzzy Cognitive Maps*) (Taber, 1991) o las *ATN* (*Augmented Transition-Networks*) de procesamiento lingüístico (Chater & Manning, 2006).

La forma en que se codifica la información en la memoria a largo plazo influye decisivamente en la eficacia del proceso. Las señales cerebrales que se procesan en la memoria de trabajo se registran de forma episódica en la memoria a largo plazo. El registro del contenido íntegro de la señal produciría una sobrecarga de la capacidad de almacenamiento y el colapso del procesamiento mental. La psicología evolutiva estudia la aplicación de los principios de la *economía cognitiva* en el ser humano para resolver las limitaciones de memoria y mejorar las capacidades de razonamiento y aprendizaje. La única solución lógica admitida es la creación de modelos mentales que interpretan y sintetizan las sensaciones procedentes del entorno exterior e intervienen en las principales funciones mentales (selección, recuperación, codificación, abstracción, integración...). Esta capacidad de agrupación de elementos individuales en categorías constituye una característica primordial de la mente humana.

La memoria de trabajo analiza las señales cerebrales en busca de rasgos comunes estables frente a elementos variables o calificativos. Cuando un patrón de contenido o comportamiento se repite frecuentemente sin excepción, produce la activación del léxico interno que le asigna un identificador (Fiebach et al., 2007) y lo traslada a la memoria cognitiva a largo plazo. De esta forma el procesador crea las unidades principales del conocimiento y pensamiento denominadas categorías y/o conceptos (ISO1087-1:2000).

Una categoría queda definida por un conjunto de restricciones en las propiedades/atributos de una entidad y pueden ser extensivas cuando representan a un objeto concreto (instancia) o intensivas cuando representan a un conjunto de ellos (clase). Los atributos son cada uno de los rasgos distintivos de una entidad o acontecimiento concreto que resultan susceptibles de cierta variación, y los hay de diversos tipos (Bruner, 1995): principales, diferenciadores, heredados, obligatorios, subjetivos, dependientes de reglas.... En ocasiones las categorías son ambiguas en su definición porque incorporan una parte no explícita que permite razonar sobre ellas sin alcanzar una explicación consciente, en cuyo caso, se denominan conceptos.

La visión clásica de la categorización define la pertenencia de una percepción a una categoría/concepto por un valor de certeza o encaje en las restricciones de sus atributos. Sin embargo, habitualmente la parte no explícita de la definición impide determinar el grado de pertenencia. Como alternativa se plantea el paradigma de prototipos en el que una categoría queda definida por un conjunto de ejemplares tipificados y su pertenencia se calcula como porcentaje de semejanza. Sin embargo,

esta alternativa dificulta el procesamiento consciente de las categorías. La hipótesis de mayor consenso plantea modelos conceptuales mixtos definidos por un conjunto de propiedades comunes explícitas y referencias a prototipos para el manejo de la información no explícita.

Las categorías, en cuyos términos agrupamos las percepciones del entorno, son construcciones o invenciones arbitrarias, no descubrimientos. Los objetos del entorno proporcionan los indicadores y rasgos distintivos sobre el que se basa el agrupamiento conceptual. Todas las categorías son interpretaciones particulares que se ven altamente influenciadas por la cultura y el entorno social. Por ello, todos los modelos mentales son elementos activos en continua adaptación por incremento, reajuste y reestructuración supraordinada o subordinada. Las teorías de *Esquemas* (Rumelhart & Ortony, 1982) y de *Esteretipos* (Reiter, 2001; Rich, 1979) son un buen reflejo de la aplicación de estos modelos mentales en los sistemas de inteligencia artificial.

Las emociones

La psicología evolutiva estudia y justifica la existencia de las emociones como elementos de regulación social que permiten la estabilidad de un grupo de individuos. Por ejemplo, comportamientos emocionales como el *altruismo* hacen mejorar y evolucionar al grupo o la *ira* protege al individuo frente a los abusos del grupo.

Dentro del término *emocional* se agrupan un conjunto de procesos que emplea el sistema nervioso para regular la respuesta inmediata y la motivación en la toma de decisiones. El estado emocional y las emociones son percepciones subjetivas e involuntarias que se ven influidas y moduladas por el grado de atención y el procesamiento cognitivo (Wiech et al., 2008). La neurociencia evolutiva demuestra que las reacciones emocionales son prioritarias y preferentes frente a las reacciones racionales, por ello, las patologías en los sistemas emocionales producen desequilibrios generalizados en la conducta.

El sistema emocional interviene en el procesamiento cognitivo de todos los aspectos relacionados con el comportamiento (Frijda et al., 2000) y el aprendizaje (Linnenbrink & Pintrich, 2004):

- **Función atencional.** Orientar los receptores sensoriales.
- **Función subjetiva.** Evaluar las entradas sensoriales.
- **Función de alerta.** Preparar para la acción.
- **Función motora.** Comunicar el estado emocional.
- **Función motivacional.** Guiar el razonamiento.

La función principal de las emociones es generar valoraciones que permitan tomar decisiones (Coricelli et al., 2007), guiar la atención interna y acelerar el procesamiento mediante la priorización de acciones (Clore & Palmer, 2009; Clore & Huntsinger, 2007; Ihssen et al., 2007). Las emociones establecen niveles de importancia en las acciones pendientes de procesamiento, creando incentivos e inhibiciones en función del interés emocional. Los valores emocionales (Wagar & Thagard, 2004) se interpretan como predictores de las consecuencias de la acción. Codifican recompensas o castigos a los posibles comportamientos del individuo.

Neurológicamente, el sistema emocional distribuye señales que se procesan por todo el sistema nervioso lo que dificulta considerablemente su determinación (Alexadrov & Sams, 2005). Dado que somos conscientes de nuestra experiencia emocional, es obvio que hay un importante componente que implica a la corteza cerebral. Al mismo tiempo, las emociones se acompañan de respuestas autónomas endocrinas y motoras que dependen de regiones subcorticales del sistema límbico (ganglio basal) y del sistema nervioso autónomo (Bianchi-Berthouze & Lisetti, 2002). La Figura 45 representa un esquema neurofuncional que resume algunas de las aportaciones de los estudios sobre respuesta emocional (Panksepp, 2006; Dalgleish, 2004; Wagar & Thagard, 2004; Armony et al., 1997).

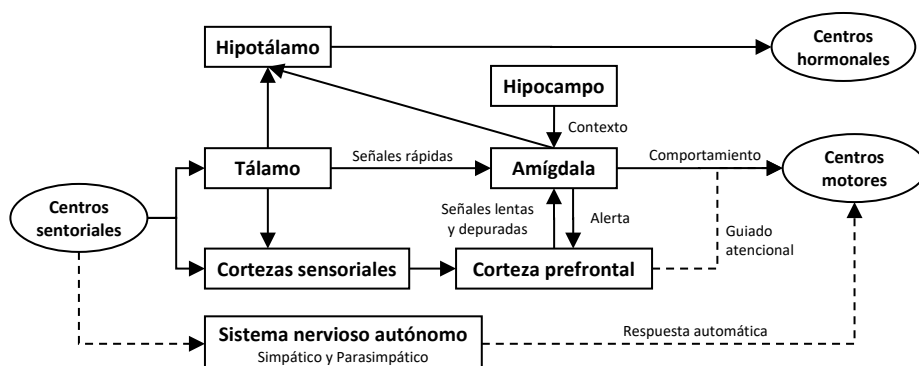


Figura 45. Esquema neurofuncional del sistema emocional.

La amígdala recibe conexiones desde los centros sensoriales (Visual, Auditivo, Kinestésico, Lingüístico...) y conecta la corteza prefrontal y los órganos internos como el hipocampo, el hipotálamo y el tálamo a través del fórnix. Se considera que en la amígdala se desarrolla el proceso emocional consciente que genera señales procesadas no automáticas de predicción de la atención, miedo, vigilancia, ansiedad... (Whalen, 2007). Por otro lado, se considera que el estado emocional se mantiene entre el tálamo y el hipotálamo, este último en conexión directa con el control hormonal.

Las señales procedentes de los centros sensoriales se filtran en una red de empatía (Vignemont & Singer, 2006). En la corteza prefrontal se generan valoraciones emocionales que son interpretadas en la amígdala en combinación con las señales de contexto procedentes del hipocampo.

La dicotomía que se establece entre el procesamiento emocional y el cognitivo es una simplificación teórica. El sistema emocional se distribuye por múltiples centros de procesamiento en paralelo que generan señales que acompañan todo el control cognitivo y actúan sobre el estado psicológico (Dalglish, 2004; Picard, 1997). Las señales emocionales se intercalan entre las señales cognitivas que se transmiten por los centros de procesamiento y decisión entre la amígdala, la corteza prefrontal y el hipocampo. El funcionamiento de los estados emocionales continúa siendo una incógnita hoy en día, tanto su influencia en el comportamiento (Goleman, 2007; Hernández, 2002) como su representación interna en forma de esquemas o redes asociativas de nodos emocionales (Leahy, 2002; Ortony et al., 1996; Bower, 1987).

Entre la información emocional que maneja el sistema nervioso central se distinguen las señales afectivas temporales asociadas al procesamiento en la memoria de trabajo (*Emotions*) y la señal cuasiestable que mantiene el estado de ánimo general del sujeto (*Mood*) (Bianchi-Berthouze & Lisetti, 2002). Toda la información emocional se mapea en vectores de parámetros afectivos (*Affects*) cuyo módulo se interpreta como el valor del premio/castigo asociado a dicha emoción (Murray, 2007).

Una de las principales dificultades con la que se encuentran los diseñadores de sistemas automáticos es la falta de acuerdo en el funcionamiento del sistema emocional y la categorización de las señales afectivas que maneja. *¿Cuántas emociones existen? ¿Cuáles de ellas son básicas/primarias/genéticas y cuáles combinadas? ¿Cómo se miden?*

Tradicionalmente existen dos formas de abordar el estudio de las emociones (Batliner et al., 2008): por *categorías* o por *dimensiones*. Desde el principio de la filosofía se ha intentado crear un conjunto cerrado de categorías, entre 5 y 20 (Plutchik, 1980), que se mapearían en áreas neuronales concretas y que explicarían todas las formas de expresión emocional. Comparando las expresiones emocionales observadas en personas y animales, Darwin (1873) estableció una lista formada por 6 emociones básicas (Ekman & Friesen, 1978): *Ira, Miedo, Rechazo, Sorpresa, Felicidad y Tristeza*. Dicha lista ha sufrido un gran número de adaptaciones y ampliaciones como la enunciada por James (1892): *Ira, Miedo, Tristeza, Rechazo, Felicidad, Vergüenza, Orgullo, Odio y Amor*. En el ámbito educativo las categorías emocionales se extraen de aquellas que mejor se adaptan a la toma de decisión en el proceso de enseñanza, pe. *Aburrimiento, Confusión, Deleite, Fluidez, Frustración y Sorpresa* (D'Mello et al., 2008). La combinación de estas emociones básicas y sus distintos grados (Tabla 12) genera todo el color de las emociones complejas o sutiles.

	Negativo			Positivo		
Ansiedad-Confianza	Ansioso	Preocupado	Inquieto	Cómodo	Esperanzado	Confiado
Hastío-Fascinación	Hastiado	Aburrido	Indiferente	Interesado	Curioso	Fascinado
Frustración-Euforia	Frustrado	Perplejo	Confundido	Encaminado	Iluminado	Eufórico
Desánimo-Entusiasmo	Desanimado	Decepcionado	Insatisfecho	Satisfecho	Ilusionado	Entusiasmado
Terror-Excitación	Aterrado	Asustado	Aprensivo	Calmado	Expectante	Excitado
Humillación-Orgullo	Humillado	Vergonzoso	Tímido	Contento	Satisfecho	Orgullosa

Tabla 12. Categorización emocional (Barry & Reilly, 2002).

El análisis profundo de los valores emocionales permite extraer 2/3 dimensiones fundamentales (Grimm et al., 2006; Bradley & Lang, 2000): *Valencia*, *Activación* y *Dominancia*, cuyos valores permiten determinar todas las categorías y estados emocionales descritos anteriormente (Figura 46).

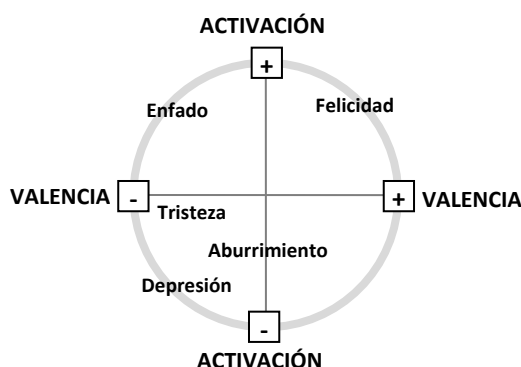


Figura 46. Dimensiones emocionales (Bradley & Lang, 2000).

Metacognición y control

Los planteamientos tradicionales asumen que razonar equivale a la aplicación correcta de una serie de reglas lógicas de inferencia, modelos mentales (Johnson-Laird, 2006), atribuciones causales (Weiner, 1986; Kelley, 1967), cálculos probabilísticos y algoritmos de series de términos para la resolución de problemas. La aplicación estricta de estos procedimientos conduce a tiempos de respuesta y requerimientos de procesamiento inviables. La evolución del procesamiento mental por eficacia de respuesta, lleva a la introducción de un sistema de regulación por objetivos que guían la atención selectiva y reducen las posibilidades de las premisas y las conclusiones. El resultado es una racionalidad de propósito (Evans et al., 1993) viable y eficaz que, en algunos casos, genera conclusiones ilógicas e inexplicables. Todos estos procedimientos constituyen la metacognición del individuo que se resumen en las siguientes funciones (Botvinick, 2008; Johnson et al., 2007; Goel, 2007):

- *Integración de las entradas sensoriales.*
- *Selección de los datos más relevantes.*
- *Establecimiento de los objetivos del proceso.*
- *Selección y ajuste las estrategias y técnicas de procesamiento.*
- *Secuenciación top-down del procesamiento por priorización de acciones.*
- *Monitorización del proceso.*
- *Detección de conflictos.*
- *Anticipación.*
- *Generación de heurísticos.*
- *Inferencia con incertidumbre.*

Desde el punto de vista neurológico, el razonamiento, como ejecución y control de la secuencia del procesamiento mental, continua siendo una incógnita. El procesamiento genera cambios en las señales físico-químicas a lo largo de todos los centros neuronales del sistema nervioso. Su control se desarrolla por intervención de un sistema atencional interno y un buffer jerárquico conductual que algunos estudios sitúan en la corteza prefrontal dorsolateral (Botvinick, 2008; Anderson et al., 2008; Johnson et al., 2007), mientras otros los consideran distribuido no localizable (Courtney, 2004). Todo el procesamiento se ve afectado por un conjunto de factores genéricos determinados por las concentraciones de neurotransmisores (Dash et al., 2007).

El análisis de la progresión de las ondas mentales desde que se recibe una entrada sensorial demuestra (Badre, 2008; Dehaene et al., 2006; Courtney, 2004) que el procesamiento se produce según el eje rostro-caudal desde las áreas occipital, temporal y parietal (sensoriales primarias) hacia la prefrontal (memoria de trabajo). La señal subliminal de baja intensidad procedente de las áreas sensoriales puede extinguirse rápidamente o incrementar su intensidad en una actividad preconsciente en la que se detectan bucles locales asociados al *priming* sensorial. Cuando se centra la atención en dicha señal, aumenta su intensidad y amplía su espectro de actividad con bucles que alcanzan al lóbulo frontal. Desde este punto se inicia un bucle de procesamiento distribuido que incorpora progresivamente información de orden superior (categorías, asociaciones, secuencias...) a la señal sensorial de primer orden. Este proceso genera las acciones de respuesta que finalmente se transmiten a las áreas motoras (Figura 47).

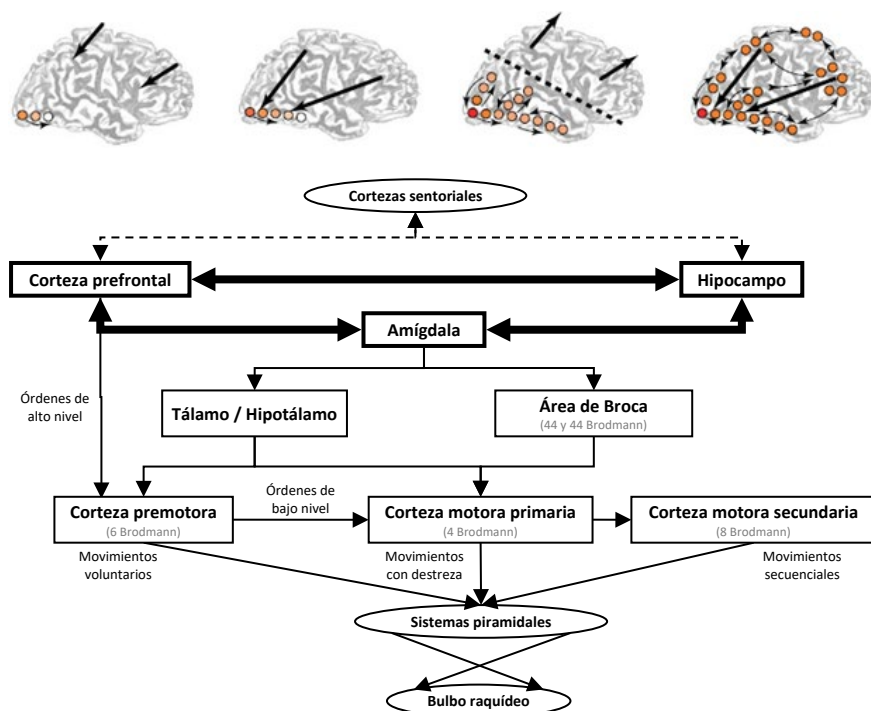


Figura 47. Esquema neurofuncional de procesamiento y actuación (Churchland & Sejnowski, 1992; Dehaene et al., 2006).

Existen muchas formas de abordar el estudio del procesamiento mental: grado de consciencia, hilos de ejecución en paralelo, secuenciación, tipos de señales, etc. Por ejemplo, *Marinier et al.* (2009) dividen el procesamiento mental en dos ciclos: *respuesta* y *pensamiento* (comprensión, predicción, razonamiento). Cuando se recibe una interlocución del exterior se activan ambos ciclos. El primero se cierra cuando se emite la respuesta y el segundo se mantiene activo hasta que finaliza la asimilación de la señal en las estructuras cognitivas del individuo. Desde otro punto de vista, *Lungu et al.* (2007) dividen el procesamiento cognitivo en dos sustratos: *local* y *global*. El control local desarrolla una regulación consciente y racional a través del sistema atencional interno, apoyado en un sistema automático de detección y resolución de conflictos cognitivos localizado en la corteza cingular anterior. El control global se encarga de la regulación estratégica inconsciente por anticipación y encaje de las posibles alternativas en el sistema conductual/motivacional del sujeto focalizado en el cerebelo (*Torriero et al.*, 2007).

En cualquier caso, los estudios de comportamiento demuestran que existen dos modalidades en el procesamiento mental: consciente-lento-guiado e inconsciente-rápido-automático. El primero trabaja con señales de tipo simbólico, manipuladas desde un centro de procesamiento que muchos investigadores sitúan en la corteza

prefrontal dorsolateral y en el ganglio basal (Wolters & Raffone, 2008; Lungu et al., 2007; Chadderdon & Sporns, 2006; Frank et al., 2001). Este procesamiento simbólico desarrolla toda la función racional del individuo (Halford et al., 2007): recupera información de las memorias a largo plazo y las integra en la memoria de trabajo principal en busca de respuestas y conceptos nuevos. En contraposición al procesamiento simbólico, se denomina subsimbólico al que se desarrolla de forma inconsciente, distribuida y en paralelo en cada una de las columnas corticales o en los órganos intracerebrales.

La cantidad de información que se percibe en una situación sencilla es capaz de colapsar el procesamiento mental del ser humano. Como solución surge un mecanismo neuronal, denominado *atención*, que regula y focaliza el pensamiento para seleccionar la información relevante del enorme volumen de datos procedente de los sentidos. Maneja dos tipos de señales (Clark, 2003): la dirección, fuente, elemento o tarea atencionada y la energía aplicada, concentración o nivel de activación (*GOC: General operation of consciousness / BSC: Background state of consciousness*).

El funcionamiento del sistema atencional depende tanto de factores genéticos como aprendidos. Estos determinan sus capacidades como la amplitud, la dualidad, la velocidad de respuesta en selección, la dimensión de la serie latente o el periodo de atención sostenida. Los estudios sobre la *Atención* se centran en un conjunto de funciones claramente diferenciadas (Uncapher & Wagner, 2009; Wang & Fan, 2007; Marchetti, 2006; Lepsien & Nobre, 2006; Posner & Petersen, 1990):

- **Función de orientación.** Recibe nombres como *atención externa*, *activa* o *temprana*. Se ocupa de la orientación de los centros sensoriales y del control de las memorias de trabajo sensoriales primarias (Cowan & Morey, 2006).
- **Función ejecutiva.** Se denomina *atención interna*, *pasiva* o *tardía*. Se encarga de establecer la secuencia de procesamiento en la memoria de trabajo principal (Kolata et al., 2007) y regular el procesamiento distribuido.
- **Función de alerta.** Filtra toda la información en busca de señales de alta prioridad.

Todas las funciones atencionales se sustentan en umbrales de intensidad de la señal. Las intensidades se ven afectadas por la orientación de los sentidos, por el grado de activación general y por el objetivo activo. Las entradas con suficiente intensidad se insertan en varias líneas atencionales simultáneas, una principal que accede a la consciencia en la memoria de trabajo y otras de contingencia o secundarias. La trasposición de las líneas atencionales o *Parpadeo atencional* se analiza en experiencias sobre sistema visual donde se surgen los modelos de *Interferencia* (Shapiro et al., 1997), *Competición* (Potter et al., 2002) y *Cascada* (Shih, 2007).

La memoria de trabajo es centro de la consciencia del individuo donde se desarrolla el procesamiento guiado por la atención selectiva (Kolata et al., 2007; Cowan & Morey, 2006; Cowan et al., 2005). Se trata de un buffer multimodal centralizado en el hipocampo (Staresina & Davachi, 2008; Colgin et al., 2008; Kesner, 2007) de capacidad y rendimiento limitados altamente dependientes de la codificación (Troche & Rammsayer, 2009; Miller, 1956) y del sistema atencional (Cowan & Morey, 2006). Los expertos en un tema son capaces de procesar más información porque han llegado a una codificación más eficiente. Agrupan elementos en *Porciones* (Simon, 2006) y generan modelos mentales temporales que combinan los conocimientos del individuo con la realidad observada y sus explicaciones (Vosniadou, 2002). Los estudios sobre la capacidad del procesamiento mental (Halford et al., 2007; Miller, 1956) establecen el límite en 4 escenarios atencionales que manejan simultáneamente entre 7-9 elementos y 3-4 relaciones o *chunks*. La sobrecarga de la memoria de trabajo por encima de estos límites produce pérdidas de información e ineficiencia en el procesamiento.

La medida del tiempo es una función directamente vinculada con el control de ejecución y el contenido en la memoria de trabajo (Lewis & Miall, 2006). El individuo es consciente del tiempo de respuesta y del estado pasado/presente/futuro de las señales contenidas en su memoria de trabajo (Schütz-Bosbach & Prinz, 2007). La percepción del tiempo no es una medida absoluta; se establece por comparación anterior/posterior a la ocurrencia de eventos y se ve influida por el estado emocional general (Droit-Volet & Meck, 2007).

El aprendizaje y la consolidación de los nuevos conocimientos en las memorias a largo plazo no se desarrollan de forma racional desde un control ejecutivo. En ella intervienen factores neurofisiológicos del sistema cognitivo como el refuerzo o el sueño (Gais et al., 2006; Walker & Stickgold, 2004; Crick & G., 1983). El procesamiento mental, simbólico y subsimbólico, se mantiene activo aunque no exista una interacción del exterior y genera dos tipos de aprendizaje (Seitz & Watanabe, 2005): uno simbólico guiado por la atención (*task-relevant*), que reorganiza las estructuras mentales mediante ensayo y explicación (Lombrozo, 2006), y otro inconsciente (*task-irrelevant*) que facilita el aprendizaje implícito y estadístico por repetición (Perruchet & Pacton, 2006). El hipocampo funciona como interfaz de acceso bidireccional a las memorias a largo plazo en cooperación con las cortezas entorrinal, parahipocampal y perirrinal (Kesner, 2009; Walker & Stickgold, 2004; Gluck et al., 2003; Churchland & Sejnowski, 1992).

El procesamiento simbólico-consciente está controlado por un sistema conductual que guía la acción del individuo. Combina una compleja estructura cognitiva de objetivos con un sistema de valoración subjetiva o motivación. El sistema motivacional es la parte emocional que determina la selección atencional y la asignación de recursos

de procesamiento (Szatkowska et al., 2008; Markman et al., 2005). Establece interpretaciones y valoraciones de los esfuerzos y las causas asociadas a la consecución de los objetivos personales que, finalmente, se traducen en señales emocionales/motivacionales (Sun et al., 2006; De Vicente & Pain, 1998; Weiner, 1986). Estas señales subjetivas, junto con el estado de activación general del individuo y otras variables propioceptivas conscientes como la fluidez de pensamiento (Oppenheimer, 2008), son los principales factores que regulan los procesos de decisión en el control cognitivo (Coricelli et al., 2007; Ihssen et al., 2007).

En el cálculo motivacional influye la valoración de las causas/atribuciones (intrínsecas, extrínsecas y aleatorias), el grado de cumplimiento de las necesidades personales del individuo (Figura 48) o la autoconfianza por comparación con otros individuos. Existen múltiples propuestas de medida y representación del estado motivacional como por ejemplo el modelo ARCS⁶⁴ (*Attention, Relevance, Confidence, Satisfaction*) (Keller, 2000; Keller & Dodge, 1982), el modelo AMI (*Attitude Motivation Index*) (Gardner, 1985) o, simplemente, el vector ExV (E=Esperanza de realización de una tarea, V=Importancia de la tarea).



Figura 48. Pirámide de necesidades de Maslow

Tradicionalmente, la consciencia ha sido un campo exclusivo de la filosofía y la religión como un factor distintivo de lo humano. Actualmente, la consciencia como epifenómeno del procesamiento mental continúa siendo un misterio. Los estudios en neurociencia han intentado situar la consciencia en un lugar del sistema nervioso. Sin embargo, las teorías de mayor consenso (Crick & Koch, 2003; Atkinson et al., 2000; Edelman & Tononi, 2000) plantean la consciencia como un compendio del funcionamiento conjunto del cerebro (percepción, atención, razonamiento, emoción y comportamiento) que comparten señales conscientes en la banda de frecuencia gamma (Colgin & Moser, 2009) y coordinan un hilo principal de ejecución. Se ha

⁶⁴ <http://www.arcsmodel.com>

comprobado que cuando el cerebro queda dividido en dos partes aisladas se crean dos estados de consciencia.

La consciencia es un concepto difícil de definir que se adapta a diversas interpretaciones y agrupa trabajos en distintos ámbitos:

- **Acceso a la información o consciencia primaria** ¿En qué estoy pensando?

En cada instante somos conscientes de lo que estamos viviendo. Se trata de la consciencia del contenido de la memoria de trabajo (Baddeley, 2007) y del control del tiempo (Lewis & Miall, 2006). Algunos autores consideran que esta consciencia es consecuencia directa del sistema atencional (Mole, 2007; Marchetti, 2006), mientras otros establecen líneas independientes de ejecución (Koch & Tsuchiya, 2007). Dentro de este tipo de consciencia se distingue la consciencia anoética ligada a la percepción del exterior y la consciencia noética asociada al pensamiento abstracto de objetos y relaciones.
- **Autoconocimiento o consciencia superior/autoética** ¿Quién soy?

En cada instante somos conscientes de que existimos. En los primeros años de nuestra vida surge un espacio YO en la memoria del individuo donde se almacenan y referencian todas las vivencias personales.
- **Propiocepción o sentiencia** ¿Cómo estoy?

En cada instante somos conscientes de nuestro SER: sentimientos, sensaciones, prejuicios y subjetividades. Algunos autores consideran que esta consciencia es una transposición directa del sistema emocional (Tsuchiya & Adolphs, 2007).

Modelado cognitivo

El modelado cognitivo es la representación formal en esquemas u ontologías (Rudner & Rönnerberg, 2006; Price & Friston, 2005) de la arquitectura y el funcionamiento de los subsistemas mentales. El desarrollo de estos modelos se orienta a la creación aplicaciones inteligentes en distintos ámbitos como simuladores de vuelo, guiado de robots, sistemas de educación asistida y, recientemente, simuladores cerebrales.

El estudio del funcionamiento de la mente como ingeniería inversa ha llevado al desarrollo de modelos computacionales de amplio espectro basados en los principios que rigen el procesamiento mental. Estos principios (Chater & Brown, 2008; Sanz et al., 2007; Pinker, 2007; Just & Varma, 2007; Sun, 2007; Lyon, 2006) son el fruto de los avances en neurociencia y permiten establecer los criterios generales que determinan el diseño de las arquitecturas cognitivas. Cuando un diseñador se enfrenta al modelado de un sistema cognitivo debe dar respuesta a los siguientes aspectos:

Recursos disponibles

- ¿Medios de percepción y acción?*
- ¿Limitaciones de almacenamiento?*
- ¿Capacidades de procesamiento?*

Arquitectura

- ¿Subsistemas, funciones y conexiones?*

Representación del conocimiento

- ¿Señales sensoriales, internas y motoras?*
- ¿Identificadores de clases?*
- ¿Derivación generalización e instanciación?*
- ¿Asociaciones y agrupaciones?*
- ¿Certidumbre?*
- ¿Medida del tiempo?*

Memoria a largo plazo

¿Integración de los nuevos conocimientos?

¿Mecanismos de recuperación?

Procesamiento y ejecución

¿Multitarea en serie o paralelo?

¿Priorización y sincronización?

¿Arranque y parada de los hilos de ejecución?

¿Consciencia, memoria de trabajo y atención?

Metacognición y control

¿Gestión del tiempo?

¿Procedimientos de inferencia, planificación, toma de decisión (heurísticos)...?

¿Anticipación y alerta?

¿Aprendizaje?

Activación

¿Representación de objetivos e intenciones?

¿Representación emocional?

¿Cálculo emocional y motivacional?

El modelado cognitivo se desarrolla en el ámbito de la *Teoría Computacional de la Mente* que agrupa los avances en tres grandes disciplinas: *Inteligencia Artificial*, *Psicología Cognitiva* y *Neurociencia*. Dependiendo del objetivo del proyecto, el modelo incorpora y prioriza los desarrollos de una u otra disciplina (Figura 49) y se enmarca en una de las dos grandes líneas de trabajo (Zhang, 2008; Pinker, 2007):

- **Paradigma conexionista / emergente.** Define estructuras de procesamiento matemático paramétrico implícito (O'Brien & Opie, 2009; O'Brien & Opie, 2006; Joshi, 2006) como las redes neuronales o algoritmos adaptativos de estado finito (Weng & Hwang, 2006). La topología y la profundidad de la red determina las capacidades de procesamiento. Puede ser rígida o incorporar los principios generativos como el Modelo de Darwinismo Neuronal (Edelman, 1992).
- **Paradigma simbólico / procesador.** Se basa en procedimientos explícitos para la generación y manipulación de elementos simbólicos (Sharpanskykh & Treur, 2008), percepciones, conceptos e ideas, con distintos niveles de procesamiento (Craik & Lockhart, 1972) y en diversos ámbitos o inteligencias (Gardner, 1993). En los años 70 surgen los primeros modelos que sirven de base a los futuros desarrollos en esta línea (Manzanero, 2006): HAM (Human Associative Memory) y GAPS (General Abstract Processing System).

Realmente ambos paradigmas son compatibles y coexisten en el funcionamiento de los sistemas cognitivos. Dependiendo de la perspectiva del análisis, un mismo sistema se puede describir desde el punto de vista de las interacciones moleculares, las comunicaciones neuronales o las funciones sistémicas (Churchland & Sejnowski, 1992),

en una arquitectura constituida por múltiples capas de procesamiento (Marr, 1982). Se trata pues de sistemas híbridos (Duch et al., 2008; Towell & Shavlik, 1994) que desarrollan un procesamiento computacional (simbólico, intencional, funcional) sobre un sustrato de procesamiento basado en una implementación conexionista.

El estudio del proceso educativo se centra en las capacidades cognitivas del individuo (macronivel) y no en los cambios que se producen a nivel neuronal (micronivel). Por ello, las arquitecturas de los sistemas inteligentes (Chong et al., 2007; Langley, 2006) descritas a continuación son de carácter cognitivo, formadas por módulos altamente interconectados constituidos por sistemas de memoria a corto y a largo plazo que modelan el funcionamiento de los subsistemas de percepción, lenguaje, razonamiento y aprendizaje propios del procesamiento mental (Boden, 1988).

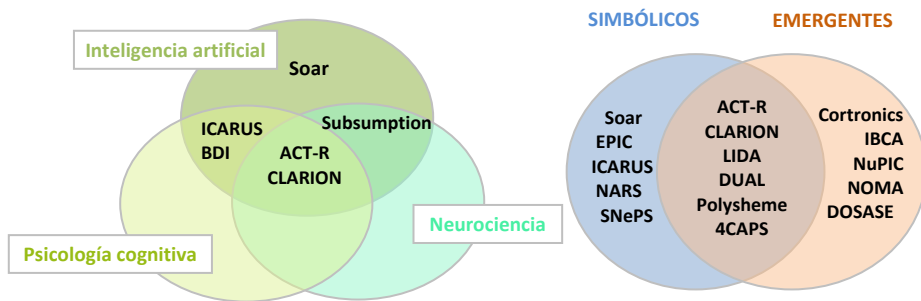


Figura 49. Resumen de arquitecturas cognitivas (Duch et al., 2008; Chong et al., 2007).

Desde mediados del siglo XX los investigadores en psicología cognitiva han planteado modelos para explicar el procesamiento mental. El *Modelo de Procesamiento de la Información* de Broadbent (1958) (Figura 50) se considera el primer modelo sistémico en este ámbito en el que se distinguen las estructuras permanentes y los bucles de control. Más adelante, Atkinson y Siffrin (1968) presentan su *Modelo Modal* (Figura 51) en el que introducen el concepto de memoria como sistema activo de registro y transformación de la información, y distinguen 3 tipos de memorias: *específicas transitorias* (sensoriales), *paramétricas permanentes* (largo plazo) y *operativa funcional* con tiempo de latencia (corto plazo). Este modelo ha servido de referencia para muchos de los desarrollos posteriores en psicología cognitiva como el *Modelo de Aprendizaje* de Gagné (1975) (Figura 52), el modelo *DICE* (*Dissociable Interactions and Conscious Experience*) de Schacter (1992) (Figura 53) o el modelo de *Memoria de Trabajo* de Baddeley (Rudner & Rönnerberg, 2008; 2007; 2000; 1974) (Figura 54). Este último modifica la naturaleza de la memoria operativa y sirve de referencia a muchas de las propuestas de procesamiento basado en la interconexión entre las memorias a

corto y a largo plazo (Burgess & Hitch, 2005). Introduce 4 subsistemas que justifican los límites de capacidad y la dualidad del procesamiento:

- **Bucle fonológico o Lazo articulatorio.** Sistema periférico que captura información de tipo lingüístico y la conserva bajo un código fonológico. La información permanece en este sistema mientras sea objeto de procesamiento simbólico/semántico.
- **Agenda viso-espacial.** Sistema encargado del procesamiento analógico de imágenes mentales con información visual y espacial. Algunos autores amplían el alcance de esta agenda a otros ámbitos sensoriales como el musical o el olfativo.
- **Buffer episódico.** Sistema que integra la información en formato secuencial y facilita su registro en las memorias a largo plazo.
- **Ejecutivo central.** Sistema que administra los recursos atencionales y las estrategias de procesamiento mediante la gestión de prioridades.

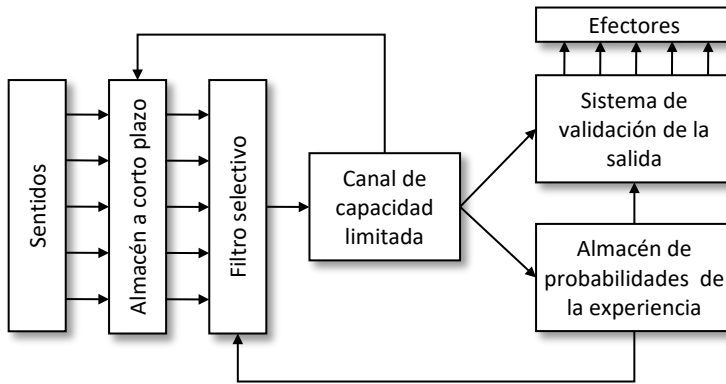


Figura 50. Modelo de procesamiento de la información (Broadbent, 1958).

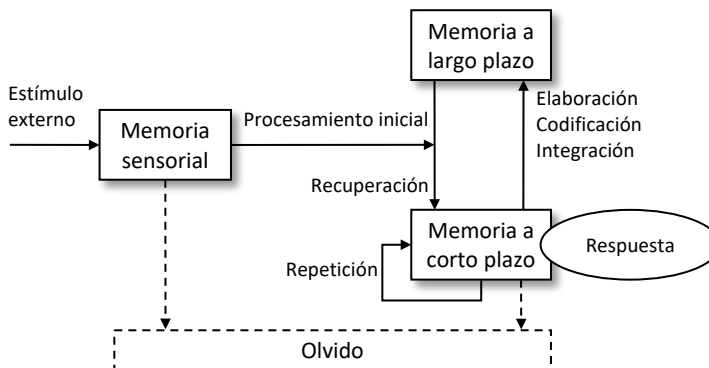


Figura 51. Modelo modal (Atkinson & Siffrin, 1968).

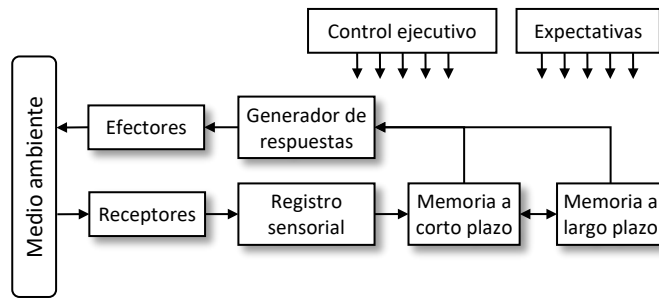


Figura 52. Modelo de aprendizaje (Gagné, 1975).

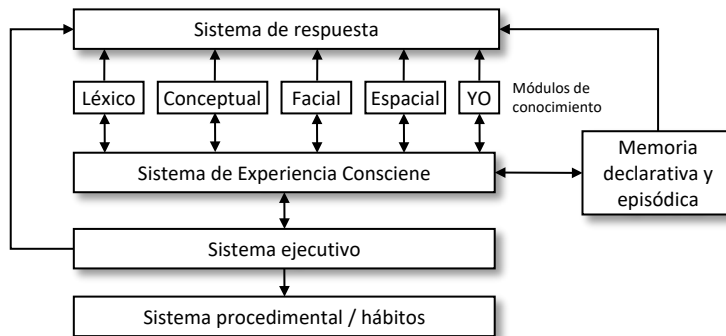


Figura 53. Modelo DICE (Schacter, 1992).

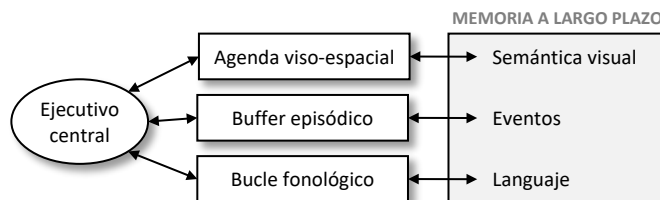


Figura 54. Modelo de memoria de trabajo (Baddeley, 2007).

Con el desarrollo de las tecnologías de computación, los modelos cognitivos se han trasladado al ámbito de la programación y la inteligencia artificial. Los primeros ejemplos de ello son el modelo *BDI* (*Belief-Desire-Intention*) (Guerra-Hernández & Ortiz-Hernández, 2008; Rao & Georgeff, 1995; Bratman, 1981) basado en agentes autónomos o el modelo *EPIC* (*Executive-Process/Interactive Control*) (Kieras & Meyer, 1997).

La arquitectura *SOAR* (*State Operator And Result*) (Lehman et al., 2006; Newell, 1994; Laird et al., 1987) es una de las primeras implementaciones del modelo cognitivo sobre las bases de la inteligencia artificial, y continua siendo un referente en la neurociencia computacional (Figura 55). La memoria de trabajo coordina el

procesamiento entre las memorias a largo plazo (semántica, episódica y procedimental) y los dispositivos de percepción y acción. Desarrolla un ciclo de acción en el que se valoran sucesivamente las reglas de producción que mejor encajan con la jerarquía de objetivos representada en forma de estados. El aprendizaje se implementa mediante *chunking* en las memorias declarativas y refuerzo de las reglas en la memoria procedimental. *Marinier et al.* (2009) plantean un nuevo modelo de control cognitivo denominado *PEACTIDM* (Figura 55), que complementa la arquitectura *SOAR* incorporando la componente emocional y dividiendo el procesamiento en 2 ciclos: *respuesta* y *razonamiento* (comprensión/predicción).

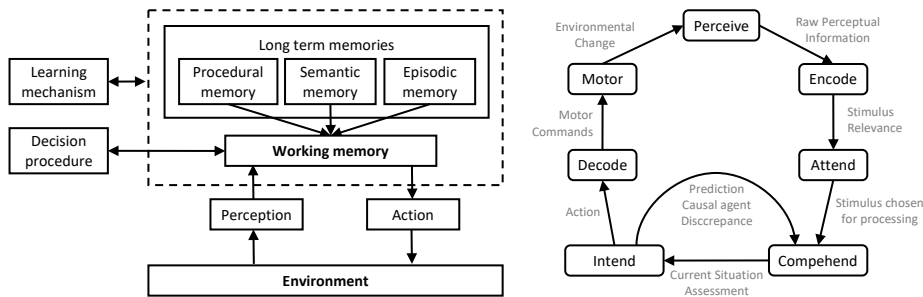


Figura 55. Arquitectura SOAR y ciclo PEACTIDM.

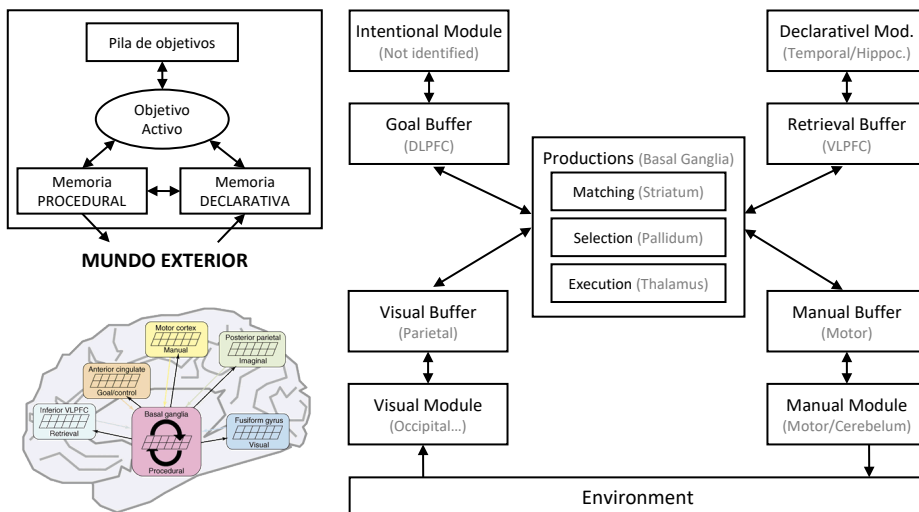


Figura 56. Arquitectura ACT-R.

La teoría de procesamiento mental *ACT-R* (*Adaptive Control of Thought-Rational*) de *J.R. Anderson* (2005; 2004; 1998) se ha convertido en otro referente del modelado cognitivo computacional aplicado a la enseñanza tutorizada (Razmerita et al., 2005; Alevén & Koedinger, 2002; Anderson et al., 1995) y como simulador para el estudio del

funcionamiento del cerebro (Anderson et al., 2008; Danker & Anderson, 2007; Anderson, 2005; Anderson et al., 2004). El modelo está configurado por tres subsistemas (Figura 56): *Memoria declarativa*, *Memoria procedimental* y *Módulo intencional*. El conocimiento consciente se registra en la memoria declarativa estructurada en unidades denominadas *Chunks*. Estos se asocian a reglas de producción en la memoria procedimental que se ejecutan por pasos guiados desde la pila de objetivos del módulo intencional.

Del resto de las implementaciones de modelos cognitivos genéricos estrictamente simbólicos destacan las arquitecturas *ICARUS* y *MicroPSI* por su amplitud y representatividad:

- **Modelo ICARUS** (Langley, 2006). Como muestra la Figura 57, mantiene la dualidad en la memoria a largo plazo (conceptual y de habilidades) y a corto plazo (creencias e intenciones). Mediante un análisis de medios y fines (MEA), se seleccionan, ordenan y ejecutan las sentencias conceptuales que mejor encajan con los objetivos y conceptos activos en la memoria de trabajo.
- **Modelo MicroPSI** (Bach, 2003). Basado en la teoría cognitiva PSI de Dörner, distingue sensores, memorias a corto y largo plazo, espacio de ejecución y control, mantenimiento de la memoria y acciones de comportamiento (Figura 58). La información se registra en memorias genéricas universales en forma de redes semánticas de objetos, categorías, episodios y planes. La percepción funciona con anticipación y genera alarmas de lo inesperado. El sistema de comportamiento mantiene un buffer de objetivos que le permite modular las decisiones en función de los estados emocionales y de los deseos (*Urges*) del sistema motivacional. Durante todo el proceso permanecen activas las funciones de mantenimiento de la memoria como la recolección de información desechable y la generación de conceptos, categorías y macros.

La distinción entre el pensamiento consciente e inconsciente justifica los modelos híbridos en los que se establece un procesamiento en dos niveles que, dependiendo del autor, reciben diferentes nombres como: *Inferior/Implícito/Procedimental/Conexionista/Neuronal* y *Superior/Explícito/Proposicional/Simbólico/Lógico*. Ejemplos representativos de arquitecturas de tipo híbrido se plantean en los modelos *DUAL*⁶⁵, *CLARION* (Sun, 2007; Sun et al., 2006; Sun, 2003; Sun, 2002) (Figura 59), *4CAPS* (*Cortical Capacity-Constrained Concurrent Activation-based Production System*) (Just & Varma, 2007) o *I-Cog* (Kühnberger et al., 2008). Este último introduce además la gestión de la inconsistencia en datos y operaciones como concepto principal del funcionamiento de los sistemas cognitivos.

⁶⁵ <http://alexpetrov.com/proj/dual>

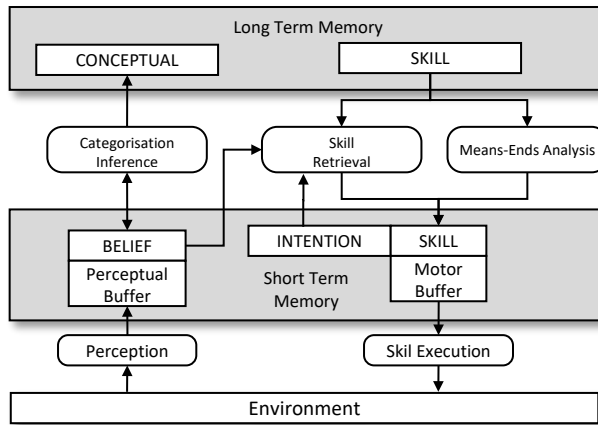


Figura 57. Arquitectura *ICARUS*.

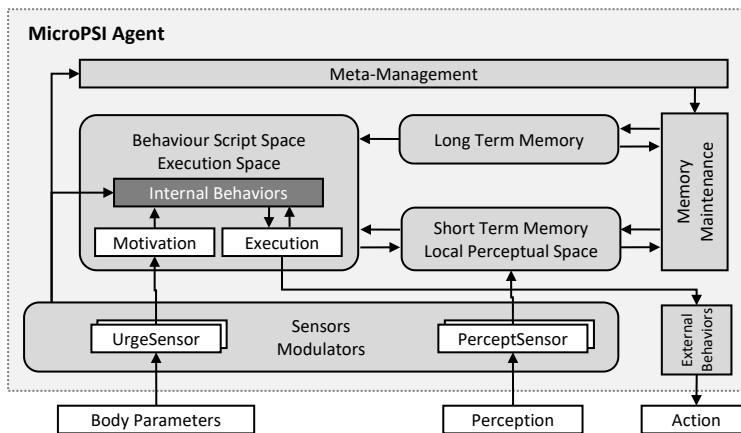


Figura 58. Arquitectura *MicroPSI*.

La combinación del paradigma simbólico y el conexionista en sistemas híbridos admite múltiples variantes en las que se prioriza uno u otro procesamiento en diferentes niveles. Por ejemplo, el modelo teórico *K-Sets* (Kozma et al., 2007) plantea un procesamiento cognitivo en 5 niveles (K0-K4) con incremento progresivo de la abstracción hasta el grado simbólico-conductual superior y vinculación con los órganos y sistemas cerebrales (Figura 60Figura 59). En el mismo sentido, la arquitectura *CERA* (*Conscious and Emotional Reasoning Architecture*) (Arrabales & Sanchis, 2008) integra diferentes componentes y conceptos cognitivos de los trabajos sobre la *Máquina Consciente* al control de robots móviles autónomos (Figura 61). En este modelo, el control se implementa en tres capas: *Núcleo* (consciencia racional), *Instancia* (sistemas específicos) y *Física* (sistemas sensorimotores).

trabajo, Memorias a largo plazo, Sistema conductual (emocional/motivacional) y *Atención*. Las señales internas codifican conocimiento declarativo y procedimental. Las señales declarativas cuasi-conscientes registran las percepciones sensoriales y un conjunto de descriptores abstractos que posibilitan el razonamiento. Las señales procedimentales cuasi-inconscientes registran las operaciones responsables del razonamiento, asociadas al logro de determinados objetivos y codificadas en forma de reglas de producción, cálculo lineal y estocástico.

La multitarea consciente-inconsciente es una práctica habitual, lo que incide en la importancia de los procesos de sincronización de las redes en paralelo y de las subtarefas en serie (Valdizán, 2008). El razonamiento consciente se desarrolla en la memoria de trabajo, coordinado por la atención ejecutiva y el sistema conductual, mediante técnicas de decisión como el análisis de medios y fines (*MEA: Means Ends Analysis*) y funciones de heurísticas *Q: Estado x Acción → Recompensa*. La mayoría de los modelos analizados sobre la atención ejecutiva coinciden en el mecanismo de selección denominado *Cola competitiva* (Burgess & Hitch, 2005). Todos los elementos se encuentran activos en paralelo pero sólo el de mayor intensidad es atencionado. Cuando un elemento es atencionado, disminuye su intensidad para dar paso a los siguientes. Las intensidades varían dinámicamente según las entradas sensoriales y los resultados del procesamiento anterior.

El aprendizaje es una función complementaria de muchos de los sistemas cognitivos analizados. Se implementa mediante procesos de categorización, generalización-derivación e integración de reglas.

Especificaciones y estándares educativos

Al hablar de estándares educativos (Burgos et al., 2005) nos referimos a un conjunto de reglas y formalismos de funcionamiento, codificación, comunicación e implementación, que ponen en común las empresas y organizaciones dedicadas a la aplicación de las tecnologías educativas. Dependiendo del grado de penetración de la propuesta en el sector educativo y del cumplimiento de los requisitos de estandarización, se distinguen las siguientes categorías (Devedžić et al., 2007):

- **Estándar oficial:** *Propuesta pública y documentada que ha sido reconocida por alguna organización de estandarización como ISO o CEN.*
- **Estándar de hecho:** *Propuesta ampliamente aceptada y utilizada por la comunidad de empresas y usuarios del sector.*
- **Especificación:** *Propuesta documentada, consensuada y promovida por organizaciones académicas y empresariales.*
- **Modelo de referencia:** *Propuesta particular que pretende describir o mejorar alguno de los aspectos estructurales de las tecnologías aplicadas a la educación.*

Actualmente los estándares de e-learning son abundantes y cubren todos los aspectos relacionados con las tecnologías educativas. Estos estándares establecen los principios generales para la organización y distribución de los recursos de aprendizaje y la forma de abordar el desarrollo de las aplicaciones educativas basadas en Web (Farance, 1999). Regulan la interoperabilidad entre aplicaciones y facilitan el intercambio y la reusabilidad de los recursos de aprendizaje entre diferentes plataformas. La existencia de estos estándares se considera esencial para el desarrollo con éxito de los sistemas basados en las tecnologías educativas.

El impulso del *Consortio W3* en las especificaciones orientadas a Internet y la implantación del XML (*eXtended Markup Language*) como lenguaje universal de codificación de datos, ha promovido el desarrollo prolífico de especificaciones en el sector educativo. Desde finales de los años 80 se han ido creando instituciones públicas y privadas para el impulso y coordinación de las tecnologías educativas entre las que destacan:

Organizaciones de carácter general

W3C (1994)	<i>World Wide Web Consortium</i> (www.w3c.org). Consortio internacional de organizaciones para el desarrollo conjunto de especificaciones Web.
HR-XML (2002)	<i>HR-XML Consortium</i> (www.hr-xml.org). Consortio de empresas para el fomento de los negocios a través del desarrollo y certificación de especificaciones.

Organizaciones educativas

AICC (1988)	<i>Aviation Industry CBT committee</i> (www.aicc.org). Agrupación de empresas del sector aeronáutico para la promoción de las tecnologías de formación.
IEEE-LTSC (1994)	<i>Learning Technologies Standards Committee</i> (ieeeltsc.org). Asociación de técnicos y profesionales del sector dedicada a la estandarización.
IMS GLC (1995)	<i>Global Learning Consortium</i> (http://www.imsglobal.org). Organización apoyada por más de 130 entidades públicas y privadas, creada para el desarrollo y promoción de las tecnologías educativas.
ADL (1998)	<i>Advanced Distributed Learning initiative</i> (www.adlnet.org). Entidad promovida por el gobierno de US para el desarrollo de estándares y herramientas para la distribución de contenidos educativos.
ARIADNE (2000)	<i>Alliance of Remote Instructional Authoring and Distribution Networks for Europe</i> (www.ariadne-eu.org). Asociación europea para la reutilización de los materiales educativos.
OKI (2001)	<i>Open Knowledge Initiative</i> (www.okiproject.org). Proyecto conjunto para la creación de estándares de implementación de las tecnologías educativas.
EdNA (2001)	<i>Educational Network Australia</i> (www.edna.edu.au). Red formada por entidades públicas y privadas del sector educativo australiano para la promoción de las tecnologías educativas. Ha derivado en el AICTEC (Australian Information and Communications Technology in Education Committee).
ALIC (2002)	<i>Advanced Learning Infrastructure Consortium</i> (www.alic.gr.jp). Asociación japonesa para la promoción de las tecnologías educativas.
CETIS (2002)	<i>Centre for Educational Technology Interoperability Standards</i> (jisc.cetis.ac.uk). Centro para la innovación y desarrollo de las tecnologías educativas en UK.
TELeurope (2004)	<i>Technology-Enhanced Learning</i> (http://www.teleurope.eu). Asociación de redes de excelencia europeas para la unificación de las tecnologías educativas.

Organizaciones oficiales

ISO JTC1	<i>Joint Technical Committee</i> 1 in Learning Technologies de la <i>ISO</i> (www.iso.org). Organización internacional oficial para la estandarización.
CEN	<i>Comité Europeo de Estandarización</i> (www.cen.eu). Agrupación oficial de 30 países europeos para la estandarización.

El trabajo desarrollado por las organizaciones anteriores se ha centrado en la elaboración de propuestas de estandarización. Los resultados y los grados de acuerdo internacional han sido desiguales dependiendo del área de especificación. A grandes rasgos, los aspectos que han centrado las especificaciones se agrupan en las siguientes áreas de las tecnologías educativas:

- **General.** *Definiciones de terminología común y control de calidad.*
- **Contenidos.** *Todo lo relacionado con la elaboración e intercambio de materiales educativos: Metadatos, Empaquetado, Secuenciación, Evaluación, Almacenamiento, Accesibilidad y Propiedad intelectual.*
- **Alumno.** *Estructuras descriptivas del alumno: Datos objetivos, Parámetros de comportamiento y de estilo, Conocimientos adquiridos, Estado emocional y Persistencia de los datos.*
- **Interacción.** *Área relacionada con el funcionamiento del proceso: Arquitecturas, Protocolos de comunicación, Control de ejecución e Interfaces.*

Los mayores esfuerzos se han enfocado en aquellas propuestas que generan un resultado comercial, fundamentalmente las que permiten completar un *objeto de aprendizaje (LO)*. Estos componentes instruccionales agrupan los recursos físicos (texto, imagen...) en estructuras didácticas con un objetivo educativo. Dependiendo del grado de estructuración del objeto de aprendizaje nos encontramos con *objetos simples* (agrupación indivisible de recursos físicos), *objetos compuestos* (agrupación didáctica navegable de unidades simples) y *objetos superiores* (agrupación de objetos que completan una actividad educativa).

En el nivel básico de los contenidos instruccionales se sitúan los recursos físicos multimedia que suelen codificarse en una amplia variedad de estándares oficiales como *HTML*, *PDF* o *GIF* o en estándares de hecho como el *PPT* o *SWF*. Existen propuestas como *SMIL* (*Synchronized Multimedia Integration Language*) que pretenden homogeneizar e integrar la codificación de los distintos tipos de recursos y nuevas iniciativas como la nueva versión del lenguaje *HTML5*.

El ensamblado de los recursos de aprendizaje en estructuras didácticas como apartados, temas y cursos, se implementa mediante especificaciones de agregación y empaquetado de contenidos. Entre ellas destaca el *IMS-CP* (*Content Packaging*) (Anderson, 2000) que incorpora la posibilidad de regular la secuencia de presentación

mediante la inserción de reglas *IMS-SS* (IMS, 2003). Otras especificaciones más complejas como *IMS-LD* (IMS, 2003) permiten agregar contenidos junto con metodologías didácticas combinando actividades, métodos y roles. La gestión de los objetos de aprendizaje se completa con especificaciones centradas en la evaluación del aprendizaje, pe. *IMS-QTI* (IMS, 2008), y en su almacenamiento en repositorios como *IMS-DRI* (IMS, 2003).

Debido a la importancia en la indexación y recuperación de los contenidos en Internet, los descriptores o metadatos de los recursos son fundamentales en el sector de las tecnologías educativas. Se aplican a cualquier componente educativo que pueda ser referenciado e incluyen un amplio espectro de parámetros, desde los descriptores generales (Autor, Título...) hasta sus particularidades educativas. La primera propuesta de metadatos digitales se desarrolló en la *DCMI (Dublin Core Metadata Initiative)* que fue posteriormente adaptada al sector educativo por el *IEEE-LTSC* en su especificación *IEEE-LOM* (Hodgins et al., 1999). Esta propuesta divide los descriptores en 9 categorías (*General, Ciclo de vida, Meta-metainformación, Técnica, Educativa, Derechos, Relaciones, Anotaciones y Clasificación*) y se ha convertido en un estándar ampliamente admitido en el sector.

Con el fin de reducir los costes y fomentar la reutilización y comercialización de los recursos educativos, se crean especificaciones que combinan las funciones de agregado-empaquetado, metadatos, secuenciación y ejecución para generar objetos de aprendizaje manejables por los sistemas de gestión del aprendizaje (LMS). Entre ellas destacan:

- **ADL-SCORM** (*Sharable Content Object Reference Model*) (ADL, 2009). Se trata de un modelo que, en su versión 1.2, incluye el agregado de recursos (CAM: *Content Aggregation Model*) mediante la combinación de las especificaciones *IEEE-LOM (Learning Object Metadata)*, *IMS-CP (Content Packaging)*, *AICC-CS (Content Structure)*, y un entorno de ejecución (RTE: *Run Time Environment*) basado en la *IEEE API 1484.11*. Su versión 2004 incorpora además la capacidad de secuenciación de los contenidos mediante la especificación *IMS-SS (Simple Sequencing)*. Actualmente se está desarrollando la *SCORM v2.0* o *LETSI*⁶⁶ con la que se pretende mejorar la interoperabilidad entre aplicaciones y la persistencia de los datos.
- **IMS-CC** (*Common Cartridge*) (IMS, 2010). El consorcio IMS presentó en 2008 una nueva especificación para contenidos digitales educativos en competencia con *ADL-SCORM* (ADL, 2009). Además de las habituales *IEEE-LOM* (Hodgins et al., 1999) e *IMS-CP* (Anderson, 2000), incorpora la *IMS-QTI* (IMS, 2008) para la mejora del seguimiento del aprendizaje del alumno. Además, admite la inclusión

⁶⁶ <http://letsj.org>

de una amplia variedad de recursos de aprendizaje (Libros, Foros, Wikis...), mejora las capacidades adaptativas e incorpora un servicio de autorización IMS-AWS (Authorization Web Service) para la gestión de los derechos de autor.

Además de los contenidos, otro de los aspectos fundamentales en los sistemas de información es la adaptabilidad al usuario. Para ello, se emplean estructuras de datos que registran información de carácter personal. Esta información se codifica en formatos que permitan el seguimiento y el intercambio de datos entre los sistemas automáticos. Cuando el usuario se convierte en alumno, la información personal se complementa con datos específicos del proceso educativo como el estilo de aprendizaje, los conocimientos adquiridos, etc. Las especificaciones públicas más empleadas en este ámbito son la *IMS-RDCEO* (IMS, 2002) para competencias y las *IEEE-PAPI* (IEEE, 2003) y *IMS-LIP* (IMS, 2005) para alumnos.

Todo el proceso de enseñanza-aprendizaje se desarrolla en un entorno tecnológico definido por una arquitectura de sistemas en red. La definición de estas arquitecturas también es objeto de especificaciones educativas como el modelo de referencia genérico de sistemas de aprendizaje *IEEE-LTSA*⁶⁷ (*Learning Technology Systems Architecture*). Estos sistemas hacen uso de estándares de comunicación y servicios en red de tipo *SOA/LIS* (*Service Oriented Architecture / Learning Information Services*) como *SOAP* (*Simple Object Access Protocol*), *WSDL* (*Web Services Description Language*), *UDDI* (*Universal Description, Discovery and Integration*), *WSFL* (*Web Service Flow Language*) o *GCM* (*Grid Component Model*).

Tradicionalmente, la descripción del conocimiento en un sistema educativo se realiza en un lenguaje específicamente creado para dicho sistema. Actualmente disponemos de nuevos lenguajes de modelado que se están convirtiendo en estándares para la codificación del conocimiento en todos los ámbitos. En este sentido se dirige el programa *Web Semántica* del W3C en el que plantean y coordinan especificaciones de lenguajes de codificación y gestión del conocimiento en red (Figura 62), de forma que pueda ser interpretado y manipulado semánticamente por una máquina o agente. A continuación se describen los lenguajes más representativos:

- **Cycl**⁶⁸. Lenguaje desarrollado para la ontología CYC, basado en el modelo de marcos con una lógica de restricciones y un mecanismo de inferencia.
- **TM** (*Topic Maps*). Lenguaje de codificación de mapas conceptuales desarrollado por Biezunsky et al. (2000) y admitido por la ISO. El lenguaje los componen tres elementos: *Topic* (nodo conceptual), *Association* (sentencia entre topics) y

⁶⁷ <http://ltsc.ieee.org/wg1>

⁶⁸ <http://www.cyc.com/cycdoc/ref/cycl-syntax.html>

Occurrence (valor de un propiedad de un topic). Para facilitar la representación e inferencia incorpora sub-asociaciones como Rol, Type y Scope.

- **IDEF**⁶⁹ (*Integration DEFinition*). Familia de lenguajes de modelado del conocimiento desarrollado por el departamento de defensa US. Se orienta a la generación de métodos para la captura del conocimiento en ontologías.
- **UML**⁷⁰ (*Unified Modeling Language*) (Booch et al., 2006). Lenguaje de modelado de propósito general en el campo de la ingeniería software desarrollado por el OMG (Object Management Group).
- **KIF**⁷¹ (*Knowledge Interchange Format*) (Gruber, 1993). Lenguaje diseñado para el intercambio del conocimiento, basado en marcos y lógica de primer orden, utilizado en Ontolingua.
- **RDF**⁷² (*Resource Description Framework*). Lenguaje de referencia desarrollado en el W3C para la codificación de metadatos en forma de red semántica con representación gráfica N3 o textual XML. El lenguaje se puede complementar con esquemas para la definición de clases: **RDF(S)**.
- **SKOS**⁷³ (*Simple Knowledge Organization System*). Lenguaje de especificación de ontologías conceptuales simples (pe. tesauros) desarrollado en el W3C.
- **OWL**⁷⁴ (*Ontology Web Language*). Lenguaje para la codificación de ontologías mediante lógica descriptiva desarrollado en el W3C (McGuinness & Harmelen, 2004) como evolución del DAML-OIL (McGuinness et al., 2002; Hendler & McGuinness, 2000) y basado en KIF, OKBC (*Open Knowledge Base Connectivity*) y XOL (*eXtensible Ontology Language*). Mejora las capacidades expresivas del RDF(S) y permite tres niveles de especificación: OWL-Lite (expresividad limitada), OWL-DL (procesamiento automático garantizado) y OWL-Full (máxima expresividad sin garantías computacionales). Actualmente se está desarrollando la versión OWL2⁷⁵ (Cuenca et al., 2008).
- **SWRL**⁷⁶ (*Semantic Web Rule Language*). Lenguaje propuesto por el National Research Council of Canada y admitido por el W3C que combina el OWL-DL y el RuleML (*Rule Markup Language*) para la inserción de reglas explícitas en las especificaciones de ontologías.

⁶⁹ <http://www.idef.com>

⁷⁰ <http://www.omg.org/technology/documents/formal/uml.htm>

⁷¹ <http://www-ksl.stanford.edu/knowledge-sharing/kif>

⁷² <http://www.w3.org/RDF>

⁷³ <http://www.w3.org/TR/2009/CR-skos-reference-20090317>

⁷⁴ <http://www.w3.org/2004/OWL>

⁷⁵ <http://www.w3.org/TR/owl2-profiles>

⁷⁶ <http://www.w3.org/Submission/SWRL>

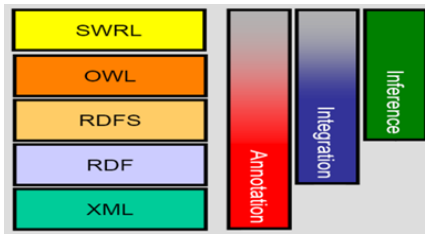


Figura 62. Niveles de representación en la Web semántica (Berners-Lee et al., 2001).

El conocimiento registrado con los modelos y lenguajes anteriores se guarda en almacenes especializados para ser gestionado por los sistemas automáticos. Los protocolos de manejo y consulta también son objeto de especificaciones como el *SPARQL*⁷⁷ (*Protocol and RDF Query Language*) recomendado por el W3C para la manipulación de datos RDF; o el *WSML/WSMO* (*Web Service Modeling Language/Ontology*) desarrollado dentro del proyecto europeo *DIP* (*Data, Information, and Process Integration with Semantic*) como modelo de *Servicio Web Semántico* (SWS) en el que se combinan ontologías y objetivos para generar una respuesta inteligente.

⁷⁷ <http://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query>

Bibliografía

- Abad, A., Mor, E. & Santanach, F., 2000. Building a Virtual Learning Environment Using Agent. *Computers and Education in the 21st Century*, pp.37-46.
- ADL, 2009. *SCORM 2004 (Sharable Content Object Reference Model)*. [Online] Available at: <http://www.adlnet.gov/Technologies/scorm> [Accessed 10 June 2009].
- Aggleton, J.P. & Brown, M.W., 2006. Interleaving brain systems for episodic and recognition memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(10), pp.455-63.
- Ainsworth, S. & Grimshaw, S., 2004. Evaluating the REDEEM Authoring Tool: Can Teachers Create Effective Learning Environments? *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 14, pp.279-312.
- Albacete, P.L. & VanLehn, K., 2000. The Conceptual Helper: An intelligent tutoring system for teaching fundamental physics concepts. In *Proceedings of the 5th International Conference on Intelligent Tutoring System*. New York, 2000. Springer.
- Aleven, V. & Koedinger, K.R., 2002. An effective metacognitive strategy: learning by doing and explaining with a computer based Cognitive Tutor. *Cognitive Science*, 26(2), pp.147-79.
- Alexadrov, Y.I. & Sams, M.E., 2005. Emotion and consciousness: Ends of a continuum. *Cognitive Brain Research*, 25, pp.387-405.
- Alexandre, G., Dos Santos, S.C. & Tedesco, P., 2010. Using Bloom's Cognitive Domain in Web Evaluation Environments. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Supported Education (CSEDU2010)*. Valencia, Spain, 2010.
- Alfonseca, E. et al., 2004. Educational Adaptive Hypermedia meets Computer-Assisted Assessment. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Authoring of Adaptive and Adaptable Educational Hypermedia (AH2004)*.
- Allison, C.S. et al., 2003. Human learning as a global challenge: European learning grid infrastructure. In T. Varis, T. Utsumi & W. Klemm, eds. *Global Peace Through the Global University System*. Hämeenlinna: University of Tampere. pp.465-88.
- Allison, C.S. et al., 2005. Services, semantics and standards: elements of a learning grid infrastructure. *Applied Artificial Intelligence*, 19, pp.861-79.
- Allison, J. & Hayes, C., 1996. The Cognitive Style Index: a measure of intuition-analysis for organizational research. *Journal of Management Studies*, 33, pp.119-35.
- Amorim, R. et al., 2006. A learning desing ontology based on the IMS specification. *Educational Technology & Society*, 9(1), pp.38-57.

- Anderson, J.R., 1988. The Expert Module. In M. Polson & J. Richardson, eds. *Handbook of Intelligent Training Systems*. Hillsdale, New Jersey: Erlbaum. pp.21-54.
- Anderson, T., 2000. *CP (Content Packaging) information mode. Technical report*. [Online] (Version 0.91) Available at: <http://www.imsproject.org/content/packaging>.
- Anderson, J.R., 2005. Human Symbol Manipulation within an Integrated Cognitive Architecture. *Cognitive Science*, 29, pp.313-41.
- Anderson, J.R. et al., 2004. An Integrated Theory of the Mind. *Psychological Review*, 111(4), pp.1036-60.
- Anderson, J.R. et al., 2008. Using fMRI to Test Models of Complex Cognition. *Cognitive Science: A Multidisciplinary Journal*, 32(8), pp.1323-48.
- Anderson, J.R. & Corbett, A.T., 1997. Intelligent tutoring systems. In *Handbook of Human-Computer Interaction*. Elsevier Science B.V. pp.849-74.
- Anderson, J.R., Corbett, A. & Koedinger, K..P.R., 1995. Cognitive tutors: Lessons learned. *Journal of the Learning Sciences*, 4(2), pp.167-207.
- Anderson, J.R., Fincham, J.M., Qin, Y. & Stocco, A., 2008. A central circuit of the mind. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(4), pp.136-43.
- Anderson, J.R. & Lebiere, C., 1998. *The atomic components of thought*. New Jersey, USA: Lawrence Erlbaum Associates.
- Anderson, J.R., Qin, Y., Stenger, A. & Carter, C.S., 2004. The Relationship of Three Cortical Regions to an Information-Processing Model. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(4), pp.637-53.
- Anderson, T. & Whitelock, D., 2004. The Educational Semantic Web: Visioning and Practicing the Future of Education. *Journal of Interactive Media in Education*, 2004(1), Available at: <http://www.jime.open.ac.uk/2004/1>.
- André, E. & Müller, M.E., 2003. Learning affective behaviour. In *Proceedings of the HCI International Conference*, 2003.
- Armony, J.L., Servan-Schreiber, D., Cohen, J.D. & LeDoux, J.E., 1997. Computational modeling of emotion: Explorations through the anatomy and physiology of fear conditioning. *Trends in Cognitive Sciences*, 1, pp.28-34.
- Aroyo, L., Denaux, R., Dimitrova, V. & Pye, M., 2006. Interactive Ontology-Based User Knowledge Acquisition: A Case Study. In *The Semantic Web: Research and Applications*. Heidelberg: Springer. pp.560-74.
- Aroyo, L. & Dicheva, D., 2001. AIMS: Learning and Teaching Support for WWW-based Education. *International Journal for Continuing Engineering Education and Life-long Learning*, 11(1/2), pp.152-64.
- Aroyo, L. & Dicheva, D., 2004. The new challenges for e-learning: the educational semantic Web. *Educational Technology & Society*, 7(4), pp.59-69.
- Aroyo, L., Dicheva, D. & Cristea, A., 2002. Ontological support for Web Courseware Authoring. In *Intelligent Tutoring Systems 2002*. Berlin, 2002. Springer.
- Aroyo, L., Mizoguchi, R. & Tzolov, C., 2003. OntoAIMS. Ontological Approach to Courseware Authoring. In *Proceedings of the International Conference on Computers in Education (ICCE2003)*. Hong Kong, 2003.
- Aroyo, L. et al., 2007. CHIP Demonstrator: Semanticsdriven Recommendations and Museum Tour Generation. In *Proceedings of the International Semantic Web Conference 2007*, 2007.
- Arrabales, R. & Sanchis, A., 2008. Applying machine consciousness models in autonomous situated agents. *Pattern Recognition Letters*, 29, pp.1033-38.

- Atkinson, R.C. & Siffrin, R.M., 1968. Human memory: A proposed system and its control processes. In K.W. Spence, ed. *The psychology of learning and motivation: advances in research and theory*. New York: Academic Press. pp.89-195.
- Atkinson, A.P., Thomas, M. & Cleeremans, A., 2000. Consciousness:mapping the theoretical landscape. *Trends in cognitive Sciences*, 4(10), pp.372-82.
- Auer, S., Dietzold, S. & Riecher, T., 2006. OntoWiki a tool for social, semantic collaboration. In *Proceedings of the 5th International Semantic Web Conference.*, 2006.
- Ausubel, D., Novak, J. & Hanesian, H., 1983. *Psicología educativa: Punto de vista cognoscitivo*. México: Trillas.
- Azevedo, R., 2005. Using hypermedia as a metacognitive tool for enhancing student learning? The role of self-regulated learning. *Educational Psychologist*, 40(4), pp.199-209.
- Bach, J., 2003. The MicroPsi Agent Architecture. In *Proceedings of the 5th International Conference on Cognitive Modeling (ICCCM-5)*. Bamberg, Germany, 2003.
- Baddeley, A., 2000. The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, pp.417-32.
- Baddeley, A.D., 2007. *Working memory, thought and action*. Oxford University Press.
- Baddeley, A.D. & Hitch, G., 1974. Working memory. In G.H. Bower, ed. *The psychology of learning and motivation: Advances in research and theory*. New York: Academic Press. pp.47-89.
- Badre, D., 2008. Cognitive control, hierarchy, and the rostro-caudal organization of the frontal lobes. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(5), pp. 193-200.
- Bailey, C., Hall, W., Millard, D. & Weal, M., 2002. Towards open adaptive hypermedia. *Proceedings of the 2nd International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH2002)*, pp.36-46. Available at: <http://www.equator.ac.uk/var/uploads/ah2002.pdf> [Accessed 15 October 2009].
- Bajraktarkvic, N., Hall, W. & Fullick, P., 2003. Incorporating learning styles in a hypermedia environment. In *Proceedings of the 14th Conference on Hypertext and Hypermedia*. Nottingham, 2003.
- Balatsoukas, P., Morris, A. & O'Brien, A., 2008. Learning objects update: review and critical approach to content aggregation. *Educational Technology & Society*, 11(2), pp.119-30.
- Ballesteros, S., 1992. La representación del conocimiento en modelos conexionistas. *Psicothema*, 4(2), pp.343-54.
- Barchini, G., Alvarez, M., Herrera, S. & Trejo, M., 2007. El rol de las ontologías en los sistemas de información. *Revista de ingeniería informática*, 14.
- Barrit, C., Lewis, D. & Wieseler, W., 1999. *CISCO Systems Reusable Information Object Strategy*. [Online] (3.0) Available at: http://www.cisco.com/warp/public/779/ibs/solutions/learning/whitepapers/el_cisco_rio.pdf [Accessed 20 June 2009].
- Barros, B., 1999. *Aprendizaje colaborativo en enseñanza a distancia: Entorno genérico para configurar, realizar y analizar actividades en grupo*. PhD Thesis. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Barry, k. & Reilly, R., 2002. A pedagogical model for teaching scientific domain knowledge. In *32nd ASEE/IEEEhD Frontiers in Education Conference*. Boston, 2002.
- Batliner, A., Steidl, S., Hacker, C. & Nöth, E., 2008. Private emotions vs. social interaction—a data-driven approach towards analysing emotion in speech. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 18(1-2), pp.175-206.
- Bauer, M.A., 1995. A Dempster-Shafer approach to modeling user preferences for plan recognition. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 5, pp.317-48.

- Baylari, A. & Montazer, G.A., 2009. Design a personalized e-learning system based on item response theory and artificial neural network approach. *Expert Systems with Applications*, 36, pp.8013-21.
- Beaumont, I., 1994. User modeling in the interactive anatomy tutoring system ANATOMTUTOR. *International Journal of User Modeling and User-Adapted Interaction*, 4(1), pp.21-45.
- Beck, J., Stern, M. & Woolf, B.P., 1997. Using the Student Model to Control Problem Difficulty. In *Proceedings of the 6th International Conference on User Modelling (UM'97)*, 1997.
- Beltrán, J., 1993. *Procesos, Estrategias y Técnicas de aprendizaje*.
- Benyon, D., 1993. Adaptive systems: a solution to usability problems. *User Modeling and User Adapted Interaction*, 3(1), pp.1-22.
- Berners-Lee, T., 1989. *Information Management: A Proposal*. [Online] Available at: <http://www.w3.org/History/1989/proposal.html> [Accessed 15 June 2009].
- Berners-Lee, T., 2003. *Semantic Web Status and Direction. ISWC2003 Keynote*. [Online] Available at: <http://www.w3.org/2003/Talks/1023-iswc-tbl/slide26-0.html> [Accessed 12 July 2009]. Retrieved.
- Berners-Lee, T., Hendler, J. & Lassila, O., 2001. The Semantic Web. *Scientific American*, 284, pp.34-43.
- Beydoun, G., 2009. Formal concept analysis for an e-learning semantic web. *Expert Systems with Applications*, 36(8), pp.10952-61.
- Bianchi-Berthouze, N. & Lisetti, C.L., 2002. Modeling multimodal expression of users affective subjective experience. *User Model and User-Adapted Interaction*, 12(1), pp.49-84.
- Bickmore, T., 2003. *Relational Agents: Effecting Change through Human-Computer Relationships*. Ph.D. thesis. Massachusetts Institute of Technology.
- Biezunsky, M., Bryan, M. & Newcomb, M., 2000. *ISO/IEC12350:2000 Topic Maps: Information Technology*. [Online] Available at: <http://www.y12.doe.gov/sgml/sc34/document/0129.pdf> [Accessed 30 September 2009].
- Biggs, J.B. & Collis, K.F., 1982. *Evaluating the quality of learning : the SOLO taxonomy*. New York: Academic Press.
- Biggs, J., 2005. *Calidad del aprendizaje universitario*. Madrid: Narcea.
- Birnbaum, A., 1968. Some latent trait models and their use in inferring an examinee's ability. In F.M. Lord & M.R. Novick, eds. *Statistical theories of mental test scores*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Biswas, G., Leelawong, K., Schwartz, D. & Vye, N., 2005. Learning by teaching: a new agent paradigm for educational software. *Applied Artificial Intelligence*, 19, pp.363-92.
- Bittencourt, I.I., Isotani, S., Costa, E. & Mizoguchi, R., 2008. Research directions on semantic web and education. *Interdisciplinary Studies in Computer Sciences*, 19(1), pp.59-66.
- Blackmore, S.J., 1999. *The meme machine*. Oxford University Press.
- Bloom, B., 1956. *Taxonomy of Educational Objectives*. David McKay.
- Bobrow, D.G. & Norman, D.A., 1975. Some principles of memory schemata. In D.G. Bobrow & A.M. Collins, eds. *Representation and understanding: Studies in cognitive science*. New York: Academic Press.
- Boden, M.A., 1988. *Computer Models of Mind*. Cambridge University Press.
- Bolan, L., Cardoso, J. & Bittencourt, G., 2005. Adaptive interaction in intelligent tutoring systems. In *Workshop on Combining Intelligent and Adaptive Hypermedia Methods/Techniques in Web Based Education Systems (CIAH2005)*, 2005.
- Booch, G., Jacobson, I. & Rumbaugh, J., 2006. *El lenguaje unificado de modelado. UML 2.0*. Pearson Prentice Hall.

- Bosma, W. & André, E., 2004. Exploiting emotions to disambiguate dialogue acts. In *Proceedings of the 9th International Conference on Intelligent User Interfaces (IUI-04)*., 2004. ACM Press.
- Botsios, S., Georgiou, D. & Safouris, N., 2008. Contributions to adaptive educational hypermedia systems via on-line learning style estimation. *Educational Technology & Society*, 11(2), pp.322-39.
- Botvinick, M.M., 2008. Hierarchical models of behavior and prefrontal function. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(5), pp.201-08.
- Bouaffre, S. & Faïta-Ainseba, F., 2007. Hemispheric differences in the time-course of semantic priming processes: Evidence from event-related potentials (ERPs). *Brain and Cognition*, 63, pp.123-35.
- Bower, G.H., 1987. Commentary on mood and memory. *Behaviour Research and Therapy*, 25, pp.443-55.
- Boyce, S. & Pahl, C., 2007. Developing domain ontologies for course content. *Educational Technology & Society*, 10(3), pp.275-88.
- Bradley, M.M. & Lang, P.J., 2000. Measuring Emotion: Behavior, Feeling and Physiology. In *Cognitive Neuroscience of Emotion*. New York: Oxford University Press. pp.242-76.
- Brajnik, G. & Tasso, C., 1994. A Shell for Developing Non-monotonic User Modeling Systems. *International Journal of Human-Computer Studies*, 40, pp.31-62.
- Brase, J. & Nejd, W., 2004. Ontologies and metadata for e-Learning. *Handbook on Ontologies*, p.555–574.
- Bratman, M.E., 1981. Intention and means-end reasoning. *Philosophical Review*, 90(2), pp.252-65.
- Brewster, C. et al., 2004. Knowledge representation with ontologies. *IEEE Intelligent Systems*, 19(1), pp.72-81.
- Broadbent, D.E., 1958. *Perception and communication*. London: Pergamon Press.
- Brown, J., Collins, A. & Durguid, P., 1989. Situated cognition and the culture of learning. *Educational Researcher*, 18(1), pp.32-42.
- Brown, E., Cristea, A., Stewart, C. & Brailsford, T., 2005. Patterns in authoring of adaptive educational hypermedia: a taxonomy of learning styles. *Educational Technology & Society*, 8(3), pp.77-90.
- Bruner, J., 1966. *Toward a theory of instruction*. Cambridge, Massachussets: Harvard University Press.
- Bruner, J., 1995. *Actos de significado más allá de la revolución cognitiva*. Madrid, Spain: Alianza Editorial S.A.
- Brusilovsky, P., 1996. Methods and techniques of adaptive hypermedia. *User Modeling and User Adapted Interaction, Special issue on adaptive hypertext and hypermedia*, 6(2-3), pp.87-129.
- Brusilovsky, P., 2001. Adaptive hypermedia. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 11, pp.87-110.
- Brusilovsky, P., 2004. KnowledgeTree: A Distributed Architecture for Adaptive E-Learning. In *Proceedings of the 13th International World Wide Web Conference (WWW2004)*. New York, 2004.
- Brusilovsky, P., 2008. Adaptive navigation support for open corpus hypermedia systems. In *Proceedings of the 5th International Conference Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH2008)*., 2008.
- Brusilovsky, P., Eklund, J. & Schwarz, E., 1998. Web-based education for all: A tool for developing adaptive courseware. In *Proceedings of the 7th International World Wide Web Conference*., 1998.

- Brusilovsky, P. & Henze, N., 2007. Open corpus adaptive educational hypermedia. In *Adaptive Web 2007 (AW2007)*. Heidelberg, 2007. Springer.
- Brusilovsky, P. & Peylo, C., 2003. Adaptive and intelligent Web-based educational systems. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 13, pp.156-69.
- Brusilovsky, P., Schwartz, E. & Weber, G., 1996. Intelligent Tutoring Systems. *Lecture notes in computer science*, pp.261-69.
- Buitelaar, P. & Sintek, M., 2004. OntoLT version 1.0: middleware for ontology extraction from text. In *Proceedings of Demo Session at the International Semantic Web Conference.*, 2004.
- Bull, S. et al., 2008. Adaptive navigation support, learner control and open learner models. In *Proceedings of the 5th International Conference Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH2008)*. Hannover, 2008.
- Burgess, N. & Hitch, G., 2005. Computational models of working memory: putting long-term memory into context. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(11), pp.535-41.
- Burgos, D., Tattersall, C. & Koper, R., 2005. *Utilización de estándares en el aprendizaje virtual*. [Online] Available at: <http://dspace.ou.nl/handle/1820/488> [Accessed 20 September 2009].
- Burianova, H. & Grady, C.L., 2007. Common and Unique Neural Activations in Autobiographical, Episodic, and Semantic Retrieval. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(9), pp.1520-34.
- Bush, V., 1945. As we may think. *Atlantic Monthly*, 176(1), pp.641-49. Available at: <http://www.theatlantic.com/doc/194507/bush> [Accessed 2 September 2009].
- Calcaterra, A., Antonietti, A. & Underwood, J., 2005. Cognitive style, hypermedia navigation and learning. *Computers & Education*, 44(4), pp.441-57.
- Campbell, B. & Goodman, J.M., 1988. HAM: A general purpose hypertext abstract machine. *Communications of the ACM*, 31(7), pp.856-61.
- Caravantes, A. & Galán, R., 2011. Generic Educational Knowledge Representation for Adaptive and Cognitive Systems. *Educational Technology & Society*.
- Carbonell, J., 1970. AI in CAI: An artificial intelligence approach to computer aided instruction. *Science*, 167, pp.190-202.
- Carbonell, J., 1979. *Subjective understanding: Computer models of belief systems*. PhD Thesis. Yale University, Computer Science Department.
- Carr, B. & Goldstein, I., 1977. *Overlays: A theory of modelling for computer aided instruction*. Technical Report AI memo 406. Cambridge: AI Laboratory, Massachusetts Institute of Technology.
- Carr, L., Hall, W., Bechhofer, S. & Goble, C., 2001. Conceptual Linking: Ontology-based Open Hypermedia. In *International World Wide Web Conference.*, 2001.
- Carro, R.M., Pulido, E. & Rodríguez, P., 2002. Developing and accessing adaptive internet-based courses. *Virtual Environments for Teaching and Learning*, pp.111-49.
- Carver, C.A., Howard, R.A. & Lane, W.D., 1999. Enhancing Student Learning Through Hypermedia Courseware and Incorporation of Student Learning Styles. *IEEE Transactions on Education*, 42(1), pp.33-38.
- Castillo, G., Gama, J. & Breda, A.M., 2003. Adaptive Bayes for a Student Modeling Prediction Task Based on Learning Styles. In *Proceedings of the 9th International Conference on User Modeling (UM2003).*, 2003.
- Chadderdon, G.I. & Sporns, O., 2006. A Large-scale Neurocomputational Model of Task-oriented Behavior Selection and Working Memory in Prefrontal Cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(2), pp.242-57.
- Charniak, E., 1977. A framed painting: The representation of a common sense knowledge fragment. *Cognitive Science*, 1, pp.355-94.

- Chater, N. & Brown, G., 2008. From Universal Laws of Cognition to Specific Cognitive Models. *Cognitive Science: A multidisciplinary Journal*, 32(1), pp.36-67.
- Chater, M. & Christiansen, M.H., 2007. Two views of simplicity in linguistic theory: which connect better with cognitive science? *Trends in Cognitive Science*, 11(8), pp.325-26.
- Chater, N. & Manning, C., 2006. Probabilistic models of language processing and acquisition. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(7), pp.335-44.
- Chen, C., 2003. A Constructivist Approach to Teaching: Implications in Teaching Computer Networking. *Information Technology, Learning, and Performance Journal*, 21(2).
- Chen, S.Y. & Macredie, R.D., 2002. Cognitive styles and hypermedia navigation development of a learning mode. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 53(1), pp.3-15.
- Chen, W. & Mizoguchi, R., 1999. Communication Content Ontology for Learner Model Agent in Multi-agent Architecture. In G. Cumming, T. Okamoto & L. Gomez, eds. *Advanced Research in Computers and Communications in Education (ICCE'99)*.
- Chen, W. & Mizoguchi, R., 2004. Learner model ontology and learner model agent. *Cognitive Support for Learning*, pp.189-200.
- Chepegin, V., Aroyo, L., De Bra, P. & Heckmann, D., 2004. User Modeling for Modular Adaptive Hypermedia. In *Workshop on Applications of Semantic Web Technologies for Educational Adaptive Hypermedia at AH2004*, 2004.
- Cheung, B., Hui, L., Zhang, J. & Yiu, S.M., 2003. SmartTutor: An Intelligent Tutoring System in web-based adult education. *Journal of Systems and Software*, 68, pp.11-25.
- Chi, Y.L., 2009. Ontology-based curriculum content sequencing system with semantic rules. *Expert Systems with Applications*, 36, pp.7838-47.
- Cho, H., Gay, G., Davidson, B. & Infracchia, A., 2009. Communication Styles, Social Networks, and Learning Performance in a CSCL Community. In *Proceedings of the annual meeting of the International Communication Association*. Sheraton, New York, 2009.
- Chomsky, N., 1975. *Logical Structure of Linguistic Theory*. PhD Thesis (1955). New York: Plenum Press.
- Chomsky, N., 1999. *Aspectos de la Teoría de la Sintaxis*. Barcelona: GEDISA.
- Chong, H.Q., Tan, A.H. & Ng, G.W., 2007. Integrated cognitive architectures: a survey. *Artificial Intelligence Review*, 28(2), pp.103-30.
- Churchland, P. & Sejnowski, T., 1992. *The computational brain*. Cambridge: MIT Press.
- Cimiano, P. & Volker, J., 2005. Text2onto - a framework for ontology learning and data-driven change discovery. *Lecture Notes in Computer Science*, 3513, p.227-238. Available at: http://www.aifb.uni-karlsruhe.de/WBS/jvo/publications/Text2Onto_nldb_2005.pdf.
- CISCO Systems, 2003. *Reusable Learning Object Strategy: Designing and Developing Learning Objects for Multiple Learning Approaches*. [Online] Available at: http://www.e-novalia.com/materiales/RLOW__07_03.pdf [Accessed 12 February 2009].
- Clarck, K., Parsia, B. & Hendler, J., 2004. Will the semantic web change education? *Journal of Interactive Media in Education*, 3.
- Clark, R.C., 2003. *Building Expertise: Cognitive methods for Training and Performance Improvement*. Second Edition ed. Washinton DC.: International Society for performance improvement.
- Clark, R.C. & Lyons, C., 2004. *Graphics for learning*. San Francisco: Pfeiffer.
- Click2Learn, 2001. *Interoperate Adaptive Content Framework*. [Online] Available at: http://www.elearningworkshops.com/docs/scorm/Adaptive_Content_Framework_for_SCORM_driftpw.pdf [Accessed 20 June 2009].

- Clore, G.L. & Huntsinger, J.R., 2007. How emotions inform judgment and regulate thought, *Trends in Cognitive Sciences*, 11(9), 393-399. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(9), pp.393-99.
- Clore, G.L. & Palmer, J., 2009. Affective guidance of intelligent agents: How emotion controls cognition. *Cognitive Systems Research*, 10, pp.21-30.
- Coffey, J.W., 2007. A meta-cognitive tool for courseware development maintenance and reuse. *Computers & Education*, 48, pp.548-66.
- Cohn, J.F. & Kanade, T., 2006. Use of automated facial image analysis for measurement of emotion expression. In J.A. Coan & J.B. Allen, eds. *The Handbook of Emotion Elicitation and Assessment*. New York: Oxford University Press Series in Affective Science.
- Colgin, L.L. & Moser, E.I., 2009. Hippocampal theta rhythms follow the beat of their own drum. *Nature Neuroscience*, 12, pp.1483-84.
- Colgin, L.L., Moser, E.I. & Moser, M.B., 2008. Understanding memory through hippocampal remapping. *Trends in Neurosciences*, 31(9), pp.469-77.
- Collins, A. & Stevens, L.A., 1983. A cognitive theory of interactive teaching. In *Intructional design theories and models: An overview*. Hillsdale, New Jersey, USA: Lawrence Erlbaum Associates.
- Conati, C., 2002. Probabilistic assessment of user's emotions in educational games. *Applied Artificial Intelligence*, 16, p.555-575.
- Conati, C., Gertner, S.A. & VanLehn, K., 2002. Using Bayesian Networks to Manage Uncertainty in Student Modeling. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 12(4), pp.371-417.
- Coricelli, G., Dolan, R.J. & Sirigu, A., 2007. Brain, emotion and decision making: the paradigmatic example of regret. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(6), pp.258-65.
- Courtney, S.M., 2004. Attention and cognitive control as emergent properties of information representation in working memory. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 4(4), pp.501-16.
- Cowan, N. et al., 2005. On the capacity of attention: Its estimation and its role in working memory and cognitive aptitudes. *Cognitive Psychology*, 51, pp.42-100.
- Cowan, N. & Morey, C.C., 2006. Visual working memory depends on attentional filtering. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(4), pp.139-41.
- Craik, F. & Lockhart, R., 1972. Levels of processing: A framework for memory research. *Journal of Verbal Learning & Verbal Behavior*, 11, pp.671-84.
- Craven, M. et al., 2000. Learning to construct knowledge bases from the World Wide Web. *Artificial Intelligence*, 118(1/2), pp.69-113.
- Crick, F. & G., M., 1983. The function of dream sleep. *Nature*, 304, pp.111-14.
- Crick, F. & Koch, C., 2003. A framework for consciousness. *Nature Neuroscience*, 6:119-126. *Nature Neuroscience*, 6, pp.119-26.
- Cristea, A., 2004. What can the semantic Web do for adaptive educational hypermedia? *Educational Technology & Society*, 7(4), pp.40-58.
- Cristea, A. & Calvi, L., 2003. The three layers of adaptation granularity. In *Proceedings of the 9th International Conference on User Modeling (UM2003)*, 2003.
- Cristea, A. & De Mooij, A., 2003. Adaptive Course Authoring: MOT, My Online Teacher. In *Proceedings of the International Conference on Telecommunications (ICT2003)*. Tahiti, Papeete, French Polynesia, 2003.
- Cristea, A. & De Mooij, A., 2003. LAOS: Layered WWW AHS Authoring Model and their corresponding Algebraic Operators. In *Proceedings of the World Wide Web Conference 2003*. Budapest, 2003.
- Cristea, A. & Verschoor, M., 2004. The LAG Grammar for Authoring the Adaptive Web. In *Proceedings of the International Conference on information Technology*, 2004.

- Crook, C., 1998. *Ordenadores y aprendizaje colaborativo*. Madrid, Spain: Ministerio de Educación y Cultura, Morata.
- Cuenca, B. et al., 2008. OWL 2: The next step for OWL. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, 6, pp.309-22.
- Cunningham, H., Maynard, D., Bontcheva, K. & Tablan, V., 2002. GATE: A Framework and Graphical Development Environment for Robust HLP Tools and Applications. In *Proceedings of the 40th Anniversary Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL'02)*. Philadelphia, 2002.
- Curilem, S.G., Barbosa, A.R. & Azebedo, F.M., 2007. Intelligent tutoring systems: formalization as automata and interface design using neural networks. *Computers & Education*, 49, pp.545-61.
- Curry, L., 1983. *An organisation of learning styles theory and construct*. Document ED 235 185. Educational Research Information Centre (ERIC).
- D'Mello, S.K. et al., 2008. Automatic detection of learner's affect from conversational cues. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 18, pp.45-80.
- D'Mello, S., Picard, R. & Graesser, A., 2007. Toward an Affect-Sensitive AutoTutor. *IEEE Intelligent Systems*, 22, pp.53-61.
- Dagger, D., Wade, V. & Conlan, O., 2005. Personalisation for all: making adaptive course composition easy. *Educational Technology & Society*, 3, pp.9-25.
- Dalgleish, T., 2004. The emotional brain. *Natural Review Neuroscience*, 5, pp.538-89.
- Daniels, H., 2003. *Vygotsky y la pedagogía*. Barcelona: Paidós Ibérica.
- Danker, J.F. & Anderson, J.R., 2007. The roles of prefrontal and posterior parietal cortex in algebra problem solving: A case using cognitive modeling to inform neuroimaging data. *NeuroImage*, 35, pp.1365-77.
- Danserau, D., 1985. Learning Strategies Research. In J.W. Segal, S.F. Chipman & R. Glaser, eds. *Thinking and Learning Skills*. Hillsdale, New Jersey: Erlbaum. pp.209-40.
- Dash, P.K., Moore, A.N., Kobori, N. & Runyan, J.D., 2007. Molecular activity underlying working memory. *Learning & Memory*, 14, pp.554-63.
- Davis, H., Millard, D. & Reich, S., 1998. OHP - Communicating between Hypermedia Aware Applications. *Towards a New Generation of HTTP. A workshop on global hypermedia infrastructure held in conjunction with the Seventh International World Wide Web Conference (WWW7)*. <http://eprints.ecs.soton.ac.uk/7418>.
- De Bra, P., Aroyo, L. & Cristea, A., 2004. Adaptive Web-based Educational Hypermedia. *Web Dynamics*, pp.387-410.
- De Bra, P. & Calvi, L., 1998. AHA! An open Adaptive Hypermedia Architecture. *The New Review of Hypermedia and Multimedia*, 4, pp.115-40.
- De Bra, P., Houben, G.J. & Wu, H., 1999. AHAM: A Dexter-based Reference Model for Adaptive Hypermedia. In *ACM Conference on Hypertext and Hypermedia*, 1999.
- De Bra, P., Smits, D. & Stash, N., 2006. The Design of AHA! In *ACM Hypertext 2006 Conference*, 2006.
- De Roure, D. & Hendler, J., 2004. E-Science: The Grid and the Semantic Web. *IEEE Intelligent Systems*, 19(1), pp.65-71.
- De Vicente, A. & Pain, H., 1998. Motivation Diagnosis in Intelligent Tutoring Systems. *Lecture Notes in Computer Science*, 1452, pp.86-95.
- Dehaene, S. et al., 2006. Conscious, preconscious, and subliminal processing: a testable taxonomy. *Trends in cognitive Sciences*, 10(5), pp.204-11.

- Deiber, M.P. et al., 2007. Distinction between Perceptual and Attentional Processing in Working Memory Tasks: A Study of Phase-locked and Induced Oscillatory Brain Dynamics. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(1), pp.158-72.
- Dettoru, G., Forcheri, P. & Ierardi, M.G., 2008. Introducing Learning Objects in Teacher Preparation. In R. Kwan, R. Fox, F.T. Chan & P. Tsang, eds. *Enhancing Learning Through Technology*. London: World Cientific. pp.81-95.
- Devedžić, V., 2004. Education and the semantic Web. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 14, pp.39-65.
- Devedžić, V., 2004. Web Intelligence and Artificial Intelligence in Education. *Educational Technology & Society*, 7(4), pp.29- 39.
- Devedžić, V., 2006. *Semantic Web and Education*. Springer.
- Devedžić, V., Debenham, J. & Popovic, D., 2000. Teaching formal languages by an intelligent tutoring system. *Educational Technology & Society*, 3(2), pp.36-49.
- Devedžić, V., J., J. & Gaevic, D., 2007. The pragmatics of current e-Learning standards. *IEEE Internet computing*, 11(3), pp.19-27.
- Devedžić, V.J.L. & Radovic, D., 2000. The GET-BITS Model of Intelligent Tutoring Systems. *Journal of Interactive Learning Research*, 11(3), pp.411-34.
- Dewey, J., 1998. *Cómo pensamos. Nueva exposición de la relación entre pensamiento reflexivo y proceso educativo*. Buenos Aires, Argentina: Paidós. Traducido de *How we think* (1933).
- Díaz, P., Aedo, I. & Panetsos, F., 1997. Labyrinth, an abstract model for hypermedia applications. *Description of its static components Information Systems*, 22(8).
- Dicheva, D. & Aroyo, L., 2004. Concepts and ontologies in web-based educational systems. *International Journal of Continuing Engineering Education and Lifelong Learning*, 14(3), pp.187-90.
- Dicheva, D. & Dichev, C., 2007. Helping courseware authors to build ontologies: the case of TM4L. In *Proceedings of 13th International Conference on Artificial Intelligence in Education (AIED)*. L.A., USA, 2007.
- Dicheva, D., Sosonovsky, S., Gavrilova, T. & Brusilovsky, P., 2005. Ontological Web Portal for Educational Ontologies. In *International Workshop on Applications of Semantic Web Technologies for E-Learning (AIED 2005)*., 2005.
- Dick, W. & Carey, L., 2004. *The Systematic Design of Instruction*. 6th ed. Allyn & Bacon.
- Dietze, S., Gugliotta, A. & Domingue, J., 2007. Context-Adaptive Learning Design by using Semantic Web. *Journal of Interactive Media in Education. Special issue on Adaptation and IMS Learning Design*, Available at: <http://jime.open.ac.uk/2007/03> [Accessed 25 September 2009].
- Dimitrova, V., 2003. Style-OLM: interactive open learner modelling. *International Journal of AI in Education*, 13(1), pp.35-78.
- Doeller, C.F., Barry, C. & Burgess, N., 2010. Evidence for grid cells in a human memory network. *Nature*.
- Doignon, J.P. & Falmagne, J.C., 1985. Spaces for the assessment of knowledge. *International Journal of Man-Machine Studies*, 23, pp.175-96.
- Doignon, J.P. & Falmagne, J.C., 1999. *Knowledge Spaces*. Springer.
- Dolog, P., 2008. Designing Adaptive Web Applications. In *SOFSEM 2008: Theory and Practice of Computer Science*. pp.23-33.
- Dolog, P., Henze, N., Nejdl, W. & Sintek, M., 2003. Towards an Adaptive Semantic Web. In *Principles and Practice of Semantic Web Reasoning (PPSWR'03)*. Mumbai, India, 2003.

- Dolog, P. & Nejdí, W., 2007. SemanticWeb Technologies for the Adaptive Web. In P. Brusilovsky, A. Kobsa & W. Nejdí, eds. *The Adaptive Web*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. pp.697-719.
- Dolog, P., Simon, B., Nejdí, W. & Klobucar, T., 2008. Personalizing Access to Learning Networks. *ACM Transactions on Internet Technology*, 8(2).
- Douglas, M., 1996. *Thought styles*. London: Sage.
- Droit-Volet, S. & Meck, W.H., 2007. How emotions colour our perception of time. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(12), pp.504-13.
- Duch, W., Oentaryo, R.J. & Pasquier, N., 2008. Cognitive architectures: Where do we go from here? In *Proceedings of the 1st Conference on Artificial General Intelligence.*, 2008. University of Memphis.
- Duffy, T. & Jonassen, D., 1992. *Constructivism and the Technology of Instruction*. Hillsdale, New Jersey: Laurence Erlbaum Associates.
- Dufresne, A., Rouatbi, M. & Guerdelli, F., 2008. The use of ontologies to structure and support interactions in LOR. In *Proceedings of the 9th International Conference of Intelligent Tutoring Systems (ITS2008)*. Montreal, Canada, 2008.
- Dunn, R. & Dunn, K., 1984. *La enseñanza y el estilo individual del aprendizaje*. Madrid, Spain: Anaya S.A.
- Dzbor, M., Domingue, J. & Motta, E., 2003. Magpie – towards a semantic web browser. In *Proceedings of the 2nd International Semantic Web Conference (ISWC2003)*. Sanibel Island, Florida, USA, 2003.
- Edelman, G.M., 1992. *Bright Air, Brilliant Fire: On the matter of the mind*. New York: Basic Books.
- Edelman, G.M. & Tononi, G., 2000. *A Universe of Consciousness*. New York: Basic Books.
- Edwards, D. & Hardman, L., 1999. Lost in hyperspace: cognitive mapping and navigation in a hypertext environment. In *Hypertext Theory into Practice*. Exeter, UK: Intellect Books. pp.93-105.
- Ekman, P. & Friesen, W.V., 1978. *The Facial Action Coding System: A Technique for the Measurement of Facial Movement*. Palo Alto: Consulting Psychologists Press.
- Engelbart, D. & English, W., 1968. A Research Center for Augmenting Human Intellect. *Fall Joint Computer Conference*, 33, pp.393-410.
- Engeström, Y., 1999. *Perspectives on Activity Theory*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Esteban, M. & Zapata, M., 2008. Estrategias de aprendizaje y eLearning. Un apunte para la fundamentación del diseño educativo en los entornos virtuales de aprendizaje. *Revista de Educación a Distancia (RED)*, 19, Available at: <http://www.um.es/ead/red/19> [Accessed 18 October 2009].
- Evans, J., Newstead, S.E. & Byrne, R., 1993. *Human Reasoning. The Psychology of Deduction*. Hillsdale, N.J.: LEA.
- Farance, F., 1999. *Learning Technology Standards Committee Work Program and Process*. [Online] Available at: http://ltsc.ieee.org/meeting/199912/doc/ltsc_wg--199912--farance.ppt [Accessed 29 September 2009].
- Felder, R.M. & Silverman, L.K., 1988. Learning and teaching styles in engineering education. *Engineering Education*, 78(7).
- Felder, R.M. & Soloman, B.A., 2004. *Index of Learning Styles*. [Online] Available at: <http://www.ncsu.edu/felder-public/ILSpage.html> [Accessed 21 July 2009].
- Fernández, G., 2003. Cognitive scaffolding for a web-based adaptive learning environment. *Lecture Notes in Computer Science*, pp.12-20.
- Fernández, G., 2004. *Representación del Conocimiento en Sistemas Inteligentes*. [Online] Available at: <http://www.gsi.dit.upm.es/~gfer/ssii/rcsi/> [Accessed 15 January 2010].

- Fernández, G. & Tendolkar, I., 2006. The rhinal cortex: 'gatekeeper' of the declarative memory system. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(8), pp.358-62.
- Fiebach, C.J., Friederici, A.D., Smith, E.E. & Swinney, D., 2007. Lateral Inferotemporal Cortex Maintains Conceptual-Semantic Representations in Verbal Working Memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(12), pp.2035-49.
- Finin, T.W., 1989. GUMS: A general user modelling shell. *User Models in Dialog Systems*, pp.415-30.
- Finin, T.W. & Drager, D., 1986. GUMS1: A General User Modeling System. In *Proceedings of the 6th Canadian Conference on Artificial Intelligence*. Montreal, Canada, 1986.
- Fleming, N., 2006. VARK: A guide to learning styles. [Online] Available at: <http://www.varklearn.com> [Accessed 20 July 2009].
- Fodor, J.A., 1986. *La modularidad de la mente*. Madrid: Morata.
- Forbes-Riley, K., Rotaru, M. & Litman, D.J., 2008. The relative impact of student affect on performance models in a spoken dialogue tutoring system. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 18, pp.11-43.
- Foster, I., Kesselman, C., Nick, J. & Tuecke, S., 2002. *The Physiology of the Grid: An Open Grid Service Architecture for Distributed System Integration*. [Online] Available at: <http://www.globus.org/alliance/publications/papers/ogsa.pdf> [Accessed 23 October 2009].
- Fox, P.T. et al., 2005. BrainMap taxonomy of experimental design: description and evaluation. *Human Brain Mapping*, 25, pp.185-98.
- Frank, M.J., Loughry, B. & O'Reilly, R.C., 2001. Interactions between frontal cortex and basal ganglia in working memory: A computational model. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 1(2), pp.137-60.
- Frijda, N.H., Manstead, A.S. & Bem, S., 2000. *Emotions and Beliefs: How feelings Influence Thoughts*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Funahashi, S., Takeda, K. & Watanabe, Y., 2004. Neural mechanisms of spatial working memory: Contributions of the dorsolateral prefrontal cortex and the thalamic mediodorsal nucleus. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 4(4), pp.409-20.
- Gacitua, R., Sawyer, P. & Rayson, P., 2008. A flexible framework to experimental with ontology learning techniques. *Knowledge-Based Systems*, 28, pp.192-99.
- Gaeta, A., Gaeta, M., Orcioli, F. & Ritrovato, P., 2007. Defining a service oriented architecture for e-Learning: the european learning grid infrastructure project experience. *International Journal of Technology Enhanced Learning*.
- Gaeta, M., Orcioli, F. & Ritrovato, P., 2009. Advanced Ontology Management System for personalized e-learning. *Knowledge-Based Systems*, 22(4), pp.292-301.
- Gagné, R.M., 1975. *Principios básicos del aprendizaje para la Instrucción*. México DF: Editorial Diana.
- Gagné, R.M., 1985. *The conditions of learning and the theory of instruction*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Gagné, R.M., Briggs, L. & Wagner, W., 1988. *Principles of Instructional Design*. 3rd ed. New York: Holt Rinehart and Winston.
- Gais, S., Lucas, B. & Born, J., 2006. Sleep after learning aids memory recall. *Learning & Memory*, 13, pp.259-62.
- Gallenson, A., Heins, J. & Heins, T., 2002. *Macromedia MX: Creating learning objects [white paper]*. [Online] Available at: http://download.macromedia.com/pub/elearning/objects/mx_creating_lo.pdf [Accessed 23 April 2006].
- Gall, J. & Hannafin, M., 1994. A framework for the study of hypertext. *Instructional Science*, 22.

- Ganter, B., Stumme, G. & Wille, R., 2005. *Formal Concept Analysis: Foundations and Applications*. Springer.
- García, P., Amandi, A., Schiaffino, S. & Campo, M., 2007. Evaluating Bayesian network's precision for detecting students' learning styles. *Computers & Education*, 49(3), pp.794-808.
- García, F., Valencia, R., Martínez, R. & Fernández, J.T., 2009. An ontology, intelligent agent-based framework for the provision of semantic web services. *Expert Systems with Applications*, 36, pp.3167-87.
- Gardner, R.C., 1985. *Social psychology and second language learning: the role of attitudes and motivation*. London: Edward Arnold.
- Gardner, H., 1988. *La nueva ciencia de la mente*. Barcelona: Paidós.
- Gardner, H., 1993. *Multiple intelligences: The theory in practice*. New York: Basic Books.
- Garlatti, S., Iksal, S. & Tanguy, P., 2005. SCARCE: An adaptive hypermedia environment based on virtual documents and semantic web. In S.Y. Chen & G.D. Magoulas, eds. *Adaptable and adaptive hypermedia systems*. Hershey: IRM Press.
- Garrido, A., Onaindia, E. & Sapena, O., 2008. Planning and scheduling in an e-learning environment. A constraint-programming-based approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 21, pp.733-43.
- Ghazanfar, A.A. & Schroeder, C.E., 2006. Is Neocortex essentially multisensory? *Trends in Cognitive Sciences*, 10(6), pp.278-85.
- Gladun, A. et al., 2009. An application of intelligent techniques and semantic web technologies in e-learning environments. *Expert Systems with Applications*, 36, pp.1922-31.
- Gluck, M.A., Meeter, M. & Myers, C.E., 2003. Computational models of the hippocampal region: linking incremental learning and episodic memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 7(6), pp.269-76.
- Goel, V., 2007. Anatomy of deductive reasoning. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(10), pp.435-41.
- Goldstein, D.G., 1996. *Knowledge Reuse in Intelligent Cooperative Interface Agents*. [Online] Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.16.483> [Accessed 20 June 2009].
- Goleman, D., 2007. *Inteligencia emocional*. Editorial Kairós.
- Gómez-Pérez, A., Fernandez-Lopez, M. & Corcho, O., 2004. *Ontological Engineering with examples from the areas of Knowledge Management, e-Commerce and the Semantic Web*. Springer Verlag.
- González, F.M., 2008. *El mapa conceptual y el diagrama V. Recursos para la Enseñanza Superior en el siglo XXI*. Madrid: Narcea.
- González, E., Laza, R. & Pavón, R., 2005. Intelligent tutoring systems: a multi-agent approach. In *Workshop of Combining Intelligent and Adaptive Hypermedia Methods/Techniques in Web Based Education Systems (CIAH2005)*, 2005.
- González-Tirados, R.M., 1986. Estudio de la fiabilidad y validez del Inventario de Estilos de Aprendizaje. *Revista Bordón*, 262, pp.277-92.
- González-Tirados, R.M., 1989. *Análisis de las causas de fracaso escolar en la Universidad Politécnica de Madrid*. Madrid: CIDE.
- González-Tirados & M., R., 1985. *Influencia de la naturaleza de los estudios universitarios en los estilos de aprendizaje de los sujetos*. PhD Thesis. Madrid: Servicio de publicaciones Universidad Complutense de Madrid.
- Goodman, N.D. et al., 2008. Church: a language for generative models. *Uncertainty in Artificial Intelligence*.
- Graesser, A.C. et al., 2004. AutoTutor: a tutor with dialogue in natural language. *Behavioral Research Methods, Instruments, and Computers*, 36, p.180-193.

- Graesser, A. et al., 2001. Intelligent tutoring systems with conversational dialogue. *AI Magazine*, 22(4), p.39–51.
- Graf, S., kinshuk & Liu, T.-C., 2009. Supporting Teachers in Identifying Students' Learning Styles in Learning Management Systems: An Automatic Student Modelling Approach. *Educational Technology & Society*, 12(4), pp.3-14.
- Gregorc, F.A., 1982. *Mind Styles Model: Theory, Principles, and Applications*. Gabriel Systems: Maynard, Massachusetts, USA.
- Grimm, M., Mower, E., Kroschel, K. & Narayan, S., 2006. Combining categorical and primitives-based emotion recognition. In *Proceedings of the 14th European Signal Processing Conference (EUSIPCO)*. Florence, Italy, 2006.
- Gruber, T.R., 1993. Towards Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing. In N. Guarino & R. Poli, eds. *Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishing. pp.907-28.
- Guarino, N., 1995. Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation. *International Journal of Human-Computer Studies*, 43(5-6), pp.625-40.
- Guarino, N., 1997. Understanding, building and using ontologies. *International Journal of Human-Computer Studies*, 46(2-3), p.293–310.
- Guerra-Hernández, A. & Ortiz-Hernández, G., 2008. Toward BDI sapient agents: Learning intentionally. In R.V. Mayorga & L.I. Perlovsky, eds. *Toward Artificial Sapience: Principles and Methods for Wise Systems*. London: Springer. pp.77-91.
- Gulla, J.A. et al., 2010. Semantic Drift in Ontologies. In *6th International Conference on Web Information Systems and Technologies (WEBIST2010)*. Valencia, Spain, 2010.
- Gütl, C. et al., 2004. *AdeLE (Adaptive e-Learning with Eye-Tracking): Theoretical Background, System Architecture and Application Scenarios*. [Online] Available at: http://www.eurodl.org/materials/contrib/2005/Christian_Gutl.htm [Accessed 20 October 2009].
- Hadipour-Niktarash, A., 2006. A computational model of how an interaction between the thalamocortical and thalamic reticular neurons transforms the low-frequency oscillations of the globus pallidus. *Journal of Computation Neuroscience*, 20, pp.299-320.
- Halasz, F. & Schwartz, M., 1994. The Dexter hypertext reference model. *Communications of the ACM*, 37(2), pp.30-39.
- Halasz, F. & Schwatz, M., 1990. The Dexter hypertext reference model. In *Hypertext Standardization Workshop by NIST*, 1990.
- Halford, G.S., Cowan, N. & Andrews, G., 2007. Separating cognitive capacity from knowledge: a new hypothesis. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(5), pp.236-42.
- Hamerrof, S.R., 2007. The Brain Is Both Neurocomputer and Quantum Computer. *Cognitive Science: A Multidisciplinary Journal*, 31(6), pp.1035-45.
- Harrison, S.A. & Tong, F., 2009. Decoding reveals the contents of visual working memory in early visual areas. *Nature*, 458, pp.632-635.
- Hassabis, D. & Maguire, E.A., 2007. Deconstructing episodic memory with construction. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(7), pp.299-306.
- Hasselmo, M.E. & Stern, C.E., 2006. Mechanisms underlying working memory for novel information. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(11), pp.487-93.
- Hayashi, Y., Bourdeau, J. & Mizoguchi, R., 2008. Structurization of learning/instructional design knowledge for theory-aware authoring systems. In *Intelligent Tutoring Systems 2008*. Springer. pp.573-82.
- Hayashi, Y.B.J. & Mizoguchi, R., 2006. Ontological Support for a Theory-Eclectic Approach to Instructional and Learning Design. In *Proceedings of the ECTEL 2006*. Heidelberg, 2006. Springer.

- Hebb, D.O., 1949. *The Organization of Behavior: A neuropsychological theory*. New York: Wiley.
- Heckerman, D., 1990. Probabilistic interpretations for MYCIN's certainty factors. In *Readings in uncertain reasoning*. San Francisco : Morgan Kaufmann Publishers Inc. pp.298-312.
- Heckmann, D., 2006. *Ubiquitous User Modeling*. Amsterdam, The Netherlands: IOS Press.
- Heckmann, D. & Krueger, A., 2003. A User Modeling Markup Language (UserML) for Ubiquitous Computing. In *Proceedings of the 9th International Conference on User Modeling (UM2003)*., 2003.
- Heckmann, D. et al., 2005. GUMO - The General User Model Ontology. In *Proceedings of the 10th International Conference on User Modeling (UM2005)*., 2005.
- Heckmann, D. et al., 2007. *The User Model and Context Ontology GUMO revisited for future Web 2.0 Extensions*. [Online] Available at: http://www.dit.unitn.it/~p2p/C&O-2007/heckmann_L.pdf [Accessed 15 May 2009].
- Heist, V., 1997. Using explicit ontologies in KBS development. *International Journal of Human-Computer studies*, 47, pp.183-292.
- Hendler, J., 2001. Agents and the Semantic Web. *IEEE Intelligent Systems*, 16(2), pp.30-37.
- Hendler, J. & McGuinness, D.L., 2000. The DARPA Agent Markup Language. *IEEE Intelligent Systems*, 16(6), pp.67-73.
- Hendrix, M., Cristea, A. & Nejdil, W., 2007. Authoring adaptive educational hypermedia on the semantic desktop. *International Journal of Learning Technology*, 3(3), pp.230-51.
- Hendrix, M. et al., 2008. Defining Adaptation in a Generic Multi Layer Model: CAM: The GRAPPLE Conceptual Adaptation Model. In *Proceedings of the EC-TEL 2008*., 2008.
- Henze, N., Dolog, P. & Nejdil, W., 2004. Reasoning and ontologies for personalized e-learning in the semantic Web. *Educational Technology & Society*, 7(4), pp.82-97.
- Henze, N. & Nejdil, W., 1997. A Web-Based Learning Environment: Applying Constructivist Teaching Concepts in Virtual Learning Environments. *Number IFIP Series*, pp.63-77.
- Henze, N. & Nejdil, W., 2000. Extendible Adaptive Hypermedia Courseware: Integrating Different Courses and Web Material. In *Proceedings of the International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH2000)*. Trient, Italy, 2000.
- Henze, N. & Nejdil, W., 2001. Adaptation in Open Corpus Hypermedia. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 12(4), pp.325-50.
- Hermans, H., Manderveld, J. & Vogten, H., 2003. *Educational Modeling Language*. [Online] Available at: <http://dspace.ou.nl/bitstream/1820/77/1/IEL-hfdst7.pdf> [Accessed 1 Novembre 2009].
- Hernández, P., 2002. *Los moldes de la mente: Más allá de la inteligencia emocional*. Tenerife: Tafor Publicaciones.
- Hirata, Y. & Hirata, Y., 2008. Application of EEG in Technology-Enhanced Language Learning Environments. In R. Kwan, R. Fox, F.T. Chan & P. Tsang, eds. *Enhancing Learning Through Technology*. London: World Cientific: World Cientific. pp.115-30.
- Hodgins, W., Watson, T., Forte, E. & Duval, E., 1999. *LOM (Learning Objects Metadata) specification*. IEEE Learning technologies Standards Committee. [Online] Available at: <http://ieeeltsc.wordpress.com..>
- Hoffman, S., 1997. Elaboration Theory and Hipermedia: Is there a link? *Educational Technology*, 37(1).
- Hogan, K. & Pressley, M., 1997. *Scaffolding Student Learning: instructional approaches and issues*. Cambridge: Brookline Books.
- Hoic-Bozic, N. & Mornar, V., 2005. AHyCo: a Web-Based Adaptive Hypermedia Courseware System. *Journal of Computing and Information Technology*, 13, pp.165-76.

- Holmes, J., 2007. Designing agents to support learning by explaining. *Computers & Education*, 48, pp.523-47.
- Holohan, E., Melia, M., McMullen, D. & Pahl, C., 2005. Adaptive elearning content generation based on semantic web technology. In *Proceedings of the international workshop on applications of semantic web technologies for e-learning*. Amsterdam, 2005.
- Hook, K. et al., 1996. A Glass Box Approach to Adaptive Hypermedia. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 6(2-3), pp.157-84.
- Hopcroft, J.E., Motwani, R. & Ullman, J.D., 2006. *Introduction to automata theory, languages and computation*. 3rd ed. Addison Wesley.
- Houben, G.J. et al., 2008. Hera. In *Web Engineering: Modeling and Implementing Web Applications. Human-Computer Interaction Series*. Heidelberg: Springer. pp.263-301.
- Hui, C., Wing, Y., Rai, S. & Depickere, A., 2005. What affect student cognitive style in the development of hypermedia learning system? *Computers & Education*, 45, pp.1-19.
- Hu, W. & Qu, Y., 2008. Falcon-AO: A proactical ontology matching system. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, 6, pp.237-39.
- Hurtado, N., González, J.M. & Torres, J., 2004. Revisión de Lenguajes Declarativos para la Descripción de Interfaces de Usuario Independientes del Dispositivo. In *Actas del V Congreso Interacción Persona Ordenador*. Lérida, 2004.
- Huss, D., Taatgen, N.A. & Anderson, J.R., 2006. Instructional Representation in cognitive modeling. In *Proceedings of the Seventh International Conference on Cognitive Modeling*, 2006.
- IEEE, 2003. *PAPI (Public And Private Information) Learner*. *IEEE Standards Committee on Learning Technology: Learner Model Working Group*. [Online] (IEEE P1484.2 , Draft 7 Specification) Available at: <http://www.edutool.com/papi> [Accessed 12 January 2009].
- Iglesias, A., Martínez, P., Aler, R. & Fernández, F., 2008. Learning teaching strategies in an adaptive and intelligent educational system through reinforcement learning. *Applied Intelligence*, 28(1).
- Iglesias, A., Martínez, P., Aler, R. & Fernández, F., 2009. Reinforcement learning of pedagogical policies in adaptive and intelligent educational systems. *Knowledge-Based Systems*, 22(4), pp.266-70.
- Ihssen, N., Heim, S. & Keil, A., 2007. The Costs of Emotional Attention: Affective Processing Inhibits Subsequent Lexico-semantic Analysis. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(12), pp.1932-49.
- IMS, 2002. *RDCEO*. [Online] Available at: <http://www.imsglobal.org>.
- IMS, 2003. *DR (Digital Repositories) Specification*. [Online] (v1.0) Available at: <http://www.imsglobal.org/digitalrepositories> [Accessed 3 November 2009].
- IMS, 2003. *LD (Learning Design) Specifications*. [Online] Available at: <http://www.imsglobal.org/learningdesign> [Accessed 20 June 2009].
- IMS, 2003. *SS (Simple Sequencing) Specifiaction*. [Online] (v1.0) Available at: <http://www.imsglobal.org/simplesequencing> [Accessed 3 November 2009].
- IMS, 2004. *SSP (Shareable State Persistence) Specifications*. [Online] (v1) Available at: <http://www.imsglobal.org/ssp> [Accessed February December 2010].
- IMS, 2005. *LIP (Learner Information Package) Specification*. [Online] Available at: <http://www.imsglobal.org/profiles/lipinfo01.html> [Accessed 20 June 2009].
- IMS, 2008. *QTI (Question & Test Interoperability) Specifications*. [Online] (v2.1) Available at: <http://www.imsglobal.org/question> [Accessed 3 November 2009].
- IMS, 2010. *CC (Common Cartridge) Specifications*. [Online] (v1) Available at: <http://www.imsglobal.org/cc> [Accessed 20 June 2009].

- Iriarte, L., Marco, M., Morón, D. & Pérez, C., 2005. Mapas conceptuales y objetos de aprendizaje. *Revista de Educación a Distancia*, 11, Available at: <http://www.um.es/ead/M2>.
- Isotani, S. & Mizoguchi, R., 2006. A Framework for Fine-Grained Analysis and Design of Group Learning Activities. In *Proceedings of the International Conference on Computers in Education*, 2006.
- Isotani, S. & Mizoguchi, R., 2008. An Ontology-Based Framework and its application to effective collaboration. *CLEI Electronic Journal*, 11(1). Paper 2.
- Jacobson, M.J., 2008. A design framework for educational hypermedia systems: theory, research, and learning emerging scientific conceptual perspectives. *Educational Technology Research and Development*, 56, pp.5-28.
- Jameson, A., 1996. Numerical uncertainty management in user and student modeling: an overview of systems and issues. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 5, pp.193-251.
- Johnson-Laird, P.N., 2006. *How We Reason*. Oxford University Press.
- Johnson, J.A., Strafella, A.P. & Zatorre, R.J., 2007. The Role of the Dorsolateral Prefrontal Cortex in Bimodal Divided Attention: Two Transcranial Magnetic Stimulation Studies. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(6), pp.907-20.
- Jonassen, D., 1991. Evaluating Constructivistic Learning. *Educational Technology*, 31(9), pp.28-33.
- Jonassen, D., 1996. *Handbook of research for educational communications and technology*. New Jersey, USA: Prentice Hall.
- Jonassen, D., 1999. Designing constructivist learning environment. In C.M. Reigeluth, ed. *Instructional design theories and models*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates. pp.215 - 236.
- Jorge-Botana, G., Olmos, R. & León, J.A., 2007. Análisis de la semántica latente (LSA) y estimación automática de las intenciones del usuario en diálogos de telefonía. *Revista de diseño de interacción*, 2, Available at: http://www.revistafaz.org/numero1/call_routing.pdf [Accessed 15 October 2009].
- Joshi, P., 2006. Modeling working memory and decision making using generic neural microcircuits. In Springer, ed. *Artificial Neural Networks (ICANN)*. Kollias, S.; Stafylopatis, A.; Duch, W.; Oja, E.
- Jovanovic, J. et al., 2007. Using Semantic Web Technologies to Analyze Learning Content. *IEEE Internet Computing*, 11(5), pp.45-53.
- Jovanovic, J., Gasevic, D. & Devedžić, V., 2006. Ontology-Based Automatic Annotation of Learning Content. *International Journal of Semantic Web and Information Systems*, 2(2), pp.91-119.
- Joyce, B., Weil, M. & Calhoun, E., 2003. *Models of teaching*. 7th ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Just, M.A. & Varma, S., 2007. The organization of thinking: What functional brain imaging reveals about the neuroarchitecture of complex cognition. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 7(3), pp.153-91.
- Kaltz, L. & Rezaei, R., 2004. Evaluation of the reliability and validity of the cognitive style analysis. *Personality and Individual Differences*, 36(6), pp.1317-27.
- Kaplan, C., Fenwick, J. & Chen, J., 1993. Adaptive Hypertext Navigation Based On User Goals and Context. *User Modelling and User-Adapted Interaction*, 3, pp.193-220.
- Kaptelinin, V. & Nardi, B.A., 2006. *Acting with Technology: Activity Theory and Interaction Design*. Cambridge: MIT Press.
- Karampiperis, P. & Sampson, D., 2005. Adaptive learning resources sequencing in educational hypermedia. *Educational Technology & Society*, 8(4), pp.128-47.

- Kasai, T., Yamaguchi, H., Nagano, K. & Mizoguchi, R., 2006. Buiding an ontology of IT educational goals. *International Journal of Continuing Engineering Education and Lifelong Learning*, 16.
- Katz, S. & Lesgold, A., 1994. Modelling the student in SHERLOCK II. In J.E. Greer & G. McCalla, eds. *Student Modelling: The Key to Individualized Knowledge-Based Instruction*. pp.99-125.
- Kauffman, D., 2004. Self-regulated learning in web-based environments: Instructional tools designed to facilitate self-regulated learning. *Journal of Educational Computing Research*, 30, pp.139-62.
- Kavcic, A., 2004. Fuzzy User Modeling for Adaptation in Educational Hypermedia. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 34(4), pp.439-49.
- Kazanidis, I. & Satratzemi, M., 2010. Modeling User Progress and Visualizing Feedback. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Supported Education (CSEDU2010)*. Valencia, Spain, 2010.
- Keefe, J.W., 1987. *Learning style: Theroy and Practice*. Reston, Virginia, USA: National Association of Secondary School Principals.
- Keles, A., Ocak, R., Keles, A. & Gülcü, A., 2009. ZOSMAT: Web-based intelligent tutoring system for teaching-learning process. *Expert Systems with Applications*, 36, pp.1229-39.
- Keller, J.M., 2000. *How to integrate learner motivation planning into lesson planning: The ARCS model approach*. [Online] Available at: <http://mailer.fsu.edu/~jkeller/Articles/Keller%202000%20ARCS%20Lesson%20Planning.pdf> [Accessed 22 January 2010].
- Keller, J.M. & Dodge, B., 1982. *The ARCS Model of motivational strategies for course designers and developers*. Fort Monroe, Virginia: Training Develop-ments Institute, U.S. Army.
- Kelley, H.H., 1967. Attribution theory in social psychology. In *Nebraska Symposium on Motivation*. Lincoln, 1967. University of Nebraska Press.
- Kelly, D., 2008. Adaptive versus learner control in a multiple intelligence learning environment. *Journal of Educational Multimedia and Hypermedia*, 17(3), pp.307-36.
- Kerly, A., Ellis, R. & Bull, S., 2008. CALMsystem: A Conversational Agent for Learner Modelling. *Knowledge Based Systems*, 21(3), p.238-246.
- Kesner, R.P., 2007. Behavioral functions of the CA3 subregion of the hippocampus. *Learning & Memory*, 14, pp.771-81.
- Kesner, R.P., 2009. The posterior parietal cortex and long-term memory representation of spatial information. *Neurobiology of Learning and Memory*, 91, pp.197-206.
- Kieras, D. & Meyer, D.E., 1997. An Overview of the Epic Architecture for Cognition and Performance with Application to Human-Computer Interaction. *Human-Computer Interaction*, 12(4), pp.391-438.
- King, A.J. & Nelken, I., 2009. Unraveling the principles of auditory cortical processing: can we learn from the visual system? *Nature Neuroscience*, 12(6).
- Knight, C., Gasevic, D. & Richards, G., 2006. An ontology-based framework for bridging learning design and learning. *Educational Technology & Society*, 9(1), pp.23-37.
- Knutov, E., 2008. GAF: Generic adaptation framework. In *5th International Conference Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH2008)*, 2008.
- Kobsa, A., 1990. Modeling The User's Conceptual Knowledge in BGP-MS, a User Modeling. Shell System. *Computational Intelligence*, 6(4), pp.193-208.
- Kobsa, A., 2007. Generic User Modeling Systems. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 11(1-2), pp.49-63. Available at: <http://www.ics.uci.edu/~kobsa/papers/2007-AWBS-generic-kobsa.pdf>.
- Kobsa, A. & Fink, J., 2006. An LDAP-based user modeling server and its evaluation. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 16, pp.129-69.

- Koch, C. & Tsuchiya, N., 2007. Attention and consciousness: two distinct brain processes. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(1), pp.16-22.
- Koch, N. & Wirsing, M., 2002. The Munich Reference Model for Adaptive Hypermedia Application. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems*, 2002.
- Kolata, S. et al., 2007. Selective attention is a primary determinant of the relationship between working memory and general learning ability in outbred mice. *Learning & Memory*, 14, pp.22-28.
- Kolb, D., 1999. *Learning Style Inventory. Technical Specifications*. Boston, MA: Hay Group.
- Kolb, A.Y. & Kolb, D.A., 2005. *The Kolb Learning Style Inventory. Technical Specifications*. [Online] (Version 3.1) Available at: http://www.learningfromexperience.com/images/uploads/Tech_spec_LSI.pdf [Accessed 16 November 2009].
- Kontopoulos, E. et al., 2008. An ontology-based planning system for e-course generation. *Expert Systems with Applications*, 35, pp.398-406.
- Koper, R., 2003. *Learning Technologies in eLearning: an integrated domain model*. [Online] Available at: <http://dspace.ou.nl/bitstream/1820/33/2/DomainModel-IEL.pdf> [Accessed 25 May 2009].
- Koper, R., 2006. *Learning Design: Concepts*. [Online] Available at: <http://dspace.ou.nl/handle/1820/831> [Accessed 20 June 2009].
- Koppelman, H., 2005. Capturing Pedagogical Knowledge. In *Proceedings of the 3th International Conference on Multimedia & ICT's in Education*, 2005.
- Koschmann, T., 1996. *CSCl: Theory and Practise of an emerging paradigm*. Mahwah, New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.
- Kozaki, K. et al., 2008. Understanding semantic Web applications. In *Proceedings of the ASWC 2008*, 2008.
- Kozma, R. et al., 2007. Computational Aspects of Cognition and Consciousness in Intelligent Devices. *Computational Intelligence Magazine*, 2(3), pp.53-64.
- Krivov, S., Williams, R. & Villa, F., 2007. GrOWL: A tool for visualization and editing of OWL ontologies. *Web Semantics: Science, Services and Agents on then World Wide Web*, 5, pp.54-57.
- Kühnberger, K. et al., 2008. Learning from Inconsistencies in an Integrated Cognitive Architecture. In *Proceedings of the First Conference on Artificial General Intelligence (AGI08)*, 2008.
- Laird, J.E., Newell, A. & Rosenbloom, P.S., 1987. Soar: An architecture for general intelligence. *Artificial Intelligence*, 33, pp.1-64.
- Landa, L., 1983. The Algo-Heuristic theory of Instruction. In C.M. Reigeluth, ed. *Instructional-design theories and models: An overview of their current status*. Hillsdale, New Jersey, USA: Lawrence Erlbaum Associates. pp.163-207.
- Landauer, T.K., Foltz, P.W. & Laham, D., 1998. An Introduction to Latent Semantic Analysis. *Discourse Processes*, 25(2-3), p.259-284.
- Langley, P., 2006. Cognitive Architecture and General Intelligent Systems. *AI Magazine*, 27(2), pp.33-44.
- Lanzenberger, M. & Sampson, J., 2008. Making ontologies talk: knowledge interoperability in the semantic Web. *IEEE Intelligent Systems*, pp.72-85.
- Laurillard, D., 1993. *Rethinking University Teaching. A framework for the effective use of educational technology*. London: Routledge.

- Lave, J. & Wenger, E., 1999. *Situated learning: legitimate peripheral participation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Leahy, R., 2002. A model of emotional schemes. *Cognitive and Behavioral Practice*, 9(3), pp.177-90.
- Leal, D., 2009. *Maya de gestión de contenidos educativos: ideas de base*. [Online] Available at: <http://www.scribd.com/doc/16721089/DiegoLealMallaDeGestionDeContenidosEducativos2009>. [Accessed 1 July 2009].
- Lee, J., 2007. The effects of visual metaphor and cognitive style for mental modeling in a hypermedia-based environment. *Interacting with Computers*, 19, pp.614-29.
- Lee, C.H., Lee, G.G. & Leu, Y., 2009. Application of automatically constructed concept map of learning to conceptual diagnosis of e-learning. *Expert Systems with Applications*, 36, pp.1675-84.
- Lee, C.M. & Narayanan, S., 2005. Towards detecting emotions in spoken dialogs. *IEEE Transactions on Speech and Audio Processing*, 13(2), pp.293-303.
- Lehman, J., Laird, J. & Rosenbloom, P., 2006. *A gentle introduction to soar, an architecture for human cognition: 2006 update*. [Online] Available at: <http://ai.eecs.umich.edu/soar/sitemaker/docs/misc/GentleIntroduction-2006.pdf> [Accessed 20 december 2009].
- Lelouche, R., 2000. A Collection of Pedagogical Agents for Intelligent Educational Systems. In *Intelligent Tutoring System 2000*. Berlin: Springer. pp.143-53.
- Lenat, D.B. & Guha, R.V., 1990. *Building large knowledge-based systems*. Addison-Wesley Publishing Company Inc.
- Lepper, M.R. & Chabay, R.W., 1988. Socializing the intelligent tutor: bringing empathy to computer tutors. In *Learning Issues for Intelligent Tutoring Systems*. New York: Springer-Verlag. pp.242-57.
- Lepsien, J. & Nobre, A.C., 2006. Cognitive control of attention in the human brain: Insights from orientating attention to mental representations. *Brain Research*, 1105, pp.20-31.
- Lewis, P.A. & Miall, R.C., 2006. Remembering the time: a continuous clock. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(9), pp.401-06.
- Limongelli, C., Sciarra, F. & Vaste, G., 2008. LS-PLAN: An effective combination of dynamic courseware generation and learning styles in Web-based education. In *Proceedings of the 5th International Conference Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH2008)*, 2008.
- Linnenbrink, E. & Pintrich, P., 2004. Role of affect in cognitive processing in academic contexts. In D.Y. Dai & R.J. Sternberg, eds. *Motivation, Emotion, and Cognition*. New Jersey: Lawrence Erlbaum. pp.57-87.
- Lisetti, C. et al., 2003. Developing multimodal intelligent affective interfaces for tele-home health care. *International Journal of Human-Computer Studies*, 59(1-2), pp.245-55.
- Litman, D. & Pan, S., 2000. Predicting and Adapting to Poor Speech Recognition in a Spoken Dialogue System. In *Proceedings of the 7th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI2000)*. San Antonio, Texas, 2000.
- Litman, D.J. & Silliman, S., 2004. ITSPOKE: an intelligent tutoring spoken dialogue system. In *Human Language Technology Conference: 3rd meeting of the North American chapter of the association of computational linguistics*, 2004.
- Litt, A. et al., 2006. Is the Brain a Quantum Computer? *Cognitive Science: A Multidisciplinary Journal*, 30(3), pp.593-603.
- Lombrozo, T., 2006. The structure and function of explanations. *Trends in Cognitive Science*, 10(10), pp.464-70.

- López-Cuadrado, J., Armendariz, A. & Pérez, T.A., 2006. Adaptive evaluation in an E-Learning System Architecture. *Current Developments in Technology-Assisted Education*, pp.1507-11.
- López, R. & Serrat, A., 2009. *Eneagrama para docentes*. Barcelona: Grao.
- Lungu, O.V. et al., 2007. Strategic Modulation of Cognitive Control. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(8), pp.1302-15.
- Lyon, P., 2006. The biogenic approach to cognition. *Cognitive Processing*, 7, pp.11-29.
- Mabbott, A. & Bull, S., 2004. Alternative views on knowledge: presentation of open learner models. In *Proceedings of the 7th International Conference of Intelligent Tutoring Systems*. Berlin, 2004. Springer.
- Maedche, A. et al., 2003. Ontologies for Enterprise Knowledge Management. *IEEE Intelligent Systems*, 18(2), pp.26-33.
- Maedche, A. & Staab, S., 2001. Ontology learning for the semantic Web. *IEEE Intelligent systems*, 16(2), pp.72-79.
- Manzanero, A.L., 2006. Procesos Automáticos y Controlados de Memoria: Modelo Asociativo (HAM) vs Sistema de Procesamiento General Abstracto. *Revista de Psicología General y Aplicada*, 59(3), pp.373-412.
- Marchetti, G., 2006. A presentation of Attentional Semantics. *Cognitive Processing*, 7, pp.163-94.
- Marinier, R.P., Laird, J.E. & Lewis, R.L., 2009. A computational unification of cognitive behavior and emotion. *Cognitive Systems Research*, 10, pp.48-69.
- Marjanovic, O., 2007. Using process-oriented, sequencing educational technologies: Some important pedagogical issues. *Computers in Human Behavior*, 23, pp.2742-59.
- Markman, A.B., T., M.W. & Baldwin, G.C., 2005. The implications of advances in research on motivation for cognitive models. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 17(4), pp.371-84.
- Marr, D., 1982. *Vision: A computational investigation into the human representation and processing of visual information*. San Francisco: W.H. Freeman.
- Martin, B., Mitrovic, A. & Suraweera, P., 2008. ITS Domain Modelling with Ontology. *Journal of Universal Computer Science*, 14(17), pp.2758-76.
- Martins, A.C., Faria, L., Vaz, C. & Carrapatoso, E., 2008. User modelling in adaptive hypermedia educational systems. *Educational Technology & Society*, 11(1), pp.194-207.
- Mason, J. & Ip, A., 1998. EdNA, higher education and metadata implementation. In *ASCILITE Conference 1998*, 1998.
- Matthews, A. & Zeidner, M., 2004. Traits, States, and the Trilogy of Ming: An Adaptive Perspective on Intellectual Functioning. In D.Y. Dai & R.J. Sternberg, eds. *Motivation, Emotion, and Cognition*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates. pp.143-74.
- Mayes, A., Montaldi, D. & Migo, E., 2007. Associative memory and the medial temporal lobes. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(3), pp.126-35.
- McCalla, G., Vassileva, J., Greer, J. & Bull, S., 2000. Active Learner Modeling. In *Proceeding of the 5th International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS2000)*, 2000.
- McGuinness, D.L., Fikes, R., Hendler, J. & Stein, L.A., 2002. DAML+OIL: An ontology language for the semantic Web. *IEEE Intelligent Systems*, 17(5), pp.72-80.
- McGuinness, D.L. & Harmelen, F., 2004. *OWL web ontology language overview W3C Recommendation*. [Online] Available at: <http://www.w3.org/TR/owl-features> [Accessed 20 July 2009].
- McLellan, H., 1995. *Situated learning perspectives*. Englewood Cliffs, New Jersey: Educational Technology Publications.

- Mérida, D. et al., 2008. A dynamic content generator for adaptation in hypermedia systems. In *Proceedings of the 5th International Conference Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH2008)*, 2008.
- Merrill, M.D., 1987. The new component design theory: instructional design for courseware authoring. *Journal of Instructional Science*, 16, pp.19-34.
- Merrill, M.D., 1999. Instructional transaction theory: instructional design based on knowledge objects. In *Instructional design theories and models: A new paradigm of instructional theory*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum. pp.397-424.
- Merrill, D.C., Reiser, B.J., Ranney, M. & Trafton, J.G., 1992. Effective tutoring techniques: a comparison of human tutors and intelligent tutoring systems. *The Journal of the Learning Sciences*, 2(3), pp.277-306.
- Millán, E., 2000. *Sistema Bayesiano para el modelado del alumno*. Phd Thesis. Spain: Málaga University.
- Millán, E., Trella, M., Pérez, J.L. & Conejo, R., 1999. Uso de redes bayesianas en test adaptativos computerizados. In J.B. M. Ortega, ed. *Informática y Educación en el siglo XXI. Actas de CONIED'99*. Puertollano, Ciudad Real, Spain.
- Millard, D.E., Moreau, L., Davis, H.C. & Reich, S., 2000. FOHM: a fundamental open hypertext model for investigating interoperability between hypertext domains. In *11th ACM Conference on Hypertext and Hypermedia*. San Antonio, Texas, USA, 2000.
- Miller, G., 1956. The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *The psychological review*, 101(2), pp.343-52.
- Minsky, M., 1975. A framework for representing knowledge. In P.H. Winston, ed. *Psychology of Computer Vision*. New York: McGraw-Hill.
- Mioduser, D. & Dagan, O., 2007. The effect of alternative approaches to design instruction (structural or functional) on students' mental models of technological design processes. *International Journal of Technology and Design Education*, 17, pp.135-48.
- Mitrovic, A. et al., 2006. Authoring constraint-based tutors in ASPIRE. In *Proceedings of the 8th International Conference on Intelligent Tutoring Systems*. Taiwan, 2006.
- Mizoguchi, R. & Bourdeau, J., 2000. Using ontological engineering to overcome common AI-ED problems. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 11, pp.107-21.
- Mizoguchi, R., Ikeda, M. & Sinitsa, K., 1997. Roles of shared ontology in AI-ED research. In B. Boulay & R. Mizoguchi, eds. *Artificial Intelligence in Education AI-ED 97*. Kobe, Japan: IOS Press. pp.537-44.
- Mizoguchi, R., Sinitsa, K. & Ikeda, M., 1996. Task ontology design for intelligent educational/training systems. In *Proceedings of the workshop on Architectures and Methods for Designing Cost-Effective and Reusable ITS*. Montreal, Canada, 1996.
- Mizoguchi, R., Sunagawa, E., Kozaki, K. & Kitamura, Y., 2007. The model of roles within an ontology development tool: Hozo. *Applied Ontology*, 2(2).
- Mizoguchi, R., Vanwelkenhuysen, J. & Ikeda, M., 1999. Task ontology for reusable problem solving knowledge. In *Towards Very Large Knowledge Bases: Knowledge Building & Knowledge Sharing*. IOS Press. pp.46-59.
- Mole, C., 2007. Attention in the absence of consciousness. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(2), p.44.
- Monereo, C., 2002. *Estrategias de aprendizaje*. Barcelona, Spain: Antonio Machado Libros S.A.
- Moodle, 2007. *Filosofía de Moodle*. [Online] Available at: <http://docs.moodle.org/es/Filosof%C3%ADa>.
- Moodle, 2009. *Lecciones en Moodle*. [Online] Available at: <http://docs.moodle.org/es/Lecciones> [Accessed 1 Novembre 2009].

- Moral, M.E. & Cernea, D.A., 2005. Design and evaluate learning objects in the new framework of semantic web. In *Proceedings of the 3th International Conference on Information & Communication Technologies in Education (miCTE 2005)*. Cáceres, Spain, 2005.
- Motik, B. & Studer, R., 2005. KAON2 - A Scalable Reasoning Tool for the Semantic Web. In *Proceedings of the 2nd European Semantic Web Conference (ESWC2005)*., 2005.
- Müller, M.E., 2005. Learning Adaptive Behaviour. In S. Chen & G. Magoulas, eds. *Adaptable and Adaptive Hypermedia Systems*. Hershey: IRM Press. pp.104-24.
- Muñoz, P.J. & Delgado, C., 2008. An architecture for combining semantic web techniques with intelligent tutoring systems. In *Intelligent Tutoring Systems 2008*. Berlin: Springer. pp.540-50.
- Murray, T., 1996. Special purpose ontologies and the representation of pedagogical knowledge. In *Proceedings of the International Conference on Learning Sciences (ICLS'96)*., 1996.
- Murray, T., 1997. Expanding the Knowledge Acquisition Bottleneck for Intelligent Tutoring Systems. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 8, pp.222-32.
- Murray, T., 1998. A model for distributed curriculum on the world wide web. *Journal of Interactive Media in Education*, 5, Available at: <http://www.jime.open.ac.uk..>
- Murray, T., 1998. Authoring knowledge based tutors: Tools for content, instructional strategy, student model, and interface design. *Journal of Learning Sciences*, 7(1), pp.5-64.
- Murray, T., 2003. MetaLinks: Authoring and affordances for conceptual and narrative flow in adaptive hyperbooks. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 13(2-4), pp.199-233.
- Murray, E.A., 2007. The amygdala, reward and emotion. *Trends in cognitive sciences*, 11(11), pp.489-97.
- Murray, T. et al., 2000. Evaluating the Need for Intelligence in an Adaptive Hypermedia System. In *Proceedings of the 5th International Conference on Intelligent Tutoring Systems, 2000*. New York, 2000. Springer-Verlag.
- Myers-Briggs, I., McCauley, M.H., Quenk, N.L. & Hammer, A.L., 1998. *MBTI Manual (A guide to the development and use of the Myers Briggs type indicator)*. 3rd ed. Consulting Psychologists Press.
- Mylonas, P., Tzouveli, P. & Kollias, S., 2007. E-learning and intelligent content adaptation: an integrated approach. *International Journal of Continuing Engineering Education and Life-Long Learning*, 17(4/5), pp.273-93.
- Nabeth, T., Razmerita, L., Angehrn, A. & Roda, C., 2005. InCA: A Cognitive Multi-Agents Architecture for Designing Intelligent & Adaptive Learning Systems. *International Journal Computer Science and Information Systems (ComSIS), special issue on Cognition and Exploratory Learning in the Digital Age*, 2(2), pp.99-113.
- Nelson, T., 1965. A file structure for the complex, the changing, and the indeterminate. In *ACM National Conference*. Cleveland, OH, USA, 1965.
- Newell, A., 1994. *Unified Theories of Cognition*. Reprint ed. Harvard University Press.
- Newell, A. & Simon, H.A., 1972. *Human problem solving*. New Jersey, USA : Prentice Hall.
- Nickerson, R.S., 1998. *Enseñar a pensar. Aspectos de la aptitud intelectual*. Buenos Aires, Argentina: Paidós.
- Nielsen, J., 1990. *Hypertext and Hypermedia*. Academic Press.
- Niu, X., McCalla, G. & Vassileva, J., 2003. Purpose-based User Modelling in a Multi-agent Portfolio Management System. In *Proceedings of the 9th International Conference on User Modeling (UM2003)*., 2003.
- Novak, J.D., 1996. Concept mapping as a tool for improving science teaching and learning. In D.F. Treagust, R. Duit & B.J. Fraser, eds. *Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics*. London: Teachers College Press. pp.32-43.

- Novak, J.D., 1998. *Conocimiento y aprendizaje*. Madrid, Spain: Alianza Editorial S.A.
- Noy, N. & Musen, A., 2003. The PROMPT Suite: Interactive tools for ontology merging and mapping. *International Journal of Human-Computer Studies*, 59, pp.983-1024.
- O'Brien, G. & Opie, J., 2006. How do connectionist networks compute? *Cognitive Processing*, 7, pp.30-41.
- O'Brien, G. & Opie, J., 2009. The role of representation in computation. *Cognitive Processing*, 10, pp.53-62.
- Ohlsson, S., 1986. Some Principles of Intelligent Tutoring. *Instructional Science*, 14, pp.293-326.
- Ohlsson, S., 1994. Constraint-Based Student Modelling. Student Modelling: The Key to Individualized Knowledge-based Instruction. *Computer Systems and Sciences*, 125, pp.167-89.
- Oliva, A. & Torralba, A., 2007. The role of context in object recognition. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(12), pp.520-27.
- Oppenheimer, D.M., 2008. The secret life of fluency. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(6), pp.237-41.
- Ortony, A., Clore, G.L. & Collins, A., 1996. *La Estructura cognitiva de las emociones*. Siglo XXI - España.
- Paiva, A., Dias, J., Sobral, D. & Aylett, R., 2004. Caring for agents and agents that care: Building empathic relations with synthetic agents. *Proceedings of the 3th International Joint Conference on Autonomous Agents and Multi Agent Systems (AAMAS04)*, pp.194-201. Available at: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1373479> [Accessed 10 July 2009].
- Paiva, A. & Self, J., 1995. TAGUS - A User and Learner Modeling Workbench. *International Journal of User Modeling and User-Adapted Interaction*, 4(3), pp.197-226.
- Panksepp, J., 2006. Are emotions more than learned behaviors? *Trends in Cognitive Sciences*, 10(3), pp.96-97.
- Panteleyev, M., Puzankov, D., Sazykin, P. & Sergeyev, D., 2002. Intelligent Educational Environments Based on the Semantic Web Technologies. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Artificial Intelligence Systems*, 2002.
- Papanikolaou, K.A., Mabbott, A., Bull, S. & Grigoriadou, M., 2006. Designing learner-controlled educational interactions based on learning/cognitive style and learner behaviour. *Interacting with Computers*, 18, pp.356-84.
- Papasalouros, A., Retalis, S. & Papaspyrou, N., 2004. Semantic description of educational adaptive hypermedia based on a conceptual model. *Educational Technology & Society*, 7(4), pp.129-42.
- Paramythis, A. et al., 2003. The PALIO framework for hypermedia adaptations. In *10th International Conference on Human-Computer Interaction*, 2003.
- Pascual-Leone, J. & Johnson, J., 2004. Affect, Self-Motivation, and Cognitive Development: A Dialectical Constructivist View. In D.Y. Dai & R.J. Sternberg, eds. *Motivation, Emotion, and Cognition*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates. pp.197-235.
- Patel-Schneider, P.F. & Horrocks, I., 2007. A comparison of two modeling paradigms in the Semantic Web. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, 5, pp.240-50.
- Pease, A., Niles, I. & Li, J., 2002. The suggested upper merged ontology: A large ontology for the semanticweb and its applications. In *Proceedings of the AAAI-2002 Workshop on Ontologies and the Semantic Web*, 2002.
- Pérez, T.A. et al., 2001. Hipermedia, adaptación, constructivismo e instructivismo. *Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, 12, pp.29-38.

- Pérez, A.L., Suero, M.I., Montanero, M. & Pardo, P.J., 2004. Aplicaciones de la Teoría de la Elaboración de Reigeluth y Stein a la enseñanza de la física. Una propuesta basada en la utilización del programa CMapTools. In *Proceedings of the First International Conference on Concept Mapping*. Pamplona, Spain, 2004.
- Perkins, D.N., 1992. Technology meets constructivism: Do they make a marriage? In T.M. Duffy & D.H. Jonassen, eds. *Constructivism and the technology of instruction: A conversation*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates. pp.45-55.
- Perruchet, P. & Pacton, S., 2006. Implicit learning and statistical learning: one phenomenon, two approaches. *Trends in Cognitive Science*, 10(5), pp.233-38.
- Piaget, J., 1970. *The Science of Education and the Psychology of the Child*. New York: Grossman.
- Piaget, J. & Inhelder, B., 1978. *Memoria e Inteligencia*. Spain: ICE Universidad de Santander.
- Picard, R.W., 1997. *Affective Computing*. Cambridge: The MIT Press.
- Pieschl, S., Stahl, E. & Bromme, R., 2007. Epistemological beliefs and self-regulated learning with hypertext. *Metacognition Learning*, 3, pp.17-37.
- Pinker, S., 2007. *Cómo funciona la mente*. Barcelona: Ediciones Destino, Colección Imago Mundi.
- Pisanelli, D., Gandemi, A. & Steva, G., 2004. *Ontologies and Information systems: the marriage of the century?* [Online] Available at: <http://www.loa-cnr.it/Papers/lyee.pdf> [Accessed 20 July 2008].
- Plutchik, R., 1980. *Emotions: A Psychoevolutionary Synthesis*. New York: Harper and Row.
- Pohl, W., 1999. Logic-based representation and reasoning for user modeling shell systems. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 9(3), pp.217-82.
- Polyn, S.M. & Kahana, M.J., 2007. Memory search and the neural representation of context. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(1), pp.24-30.
- Posey, C.L. & Hawkes, L.W., 1996. Neural Networks Applied to Knowledge Acquisition in the Student Model. *Information Sciences*, 88, p.275-298.
- Posner, M.I. & Petersen, S.E., 1990. The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, pp.25-42.
- Potter, M.C., Staub, A. & O'Connor, D.H., 2002. The time course of competition for attention: Attention is initially labile. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28(5), pp.1149-62.
- Pouyioutas, P., Theodorou, N. & Poveda, M., 2008. A Theoretical Model for Learning Objects Repositories and a Pilot Implementation of the National Learning Objects Repository for Cyprus. In R. Kwan, R. Fox, F.T. Chan & P. Tsang, eds. *Enhancing Learning Through Technology*. London: World Scientific. pp.183-99.
- Prendinger, H. & Ishizuka, M., 2005. The empathic companion: a character-based interface that addresses users' affective states. *Applied Artificial Intelligence*, 19(3/4), p.267-285.
- Prentzas, J., Hatzilygeroudis, I. & Garofalakis, J., 2002. A web-based intelligent tutoring system using hybrid rules as its representational basis. In *Proceedings of the 6th International Conference of Intelligent Tutoring Systems.*, 2002.
- Pressey, S.L., 1927. A machine for automatic teaching of drill material. *School and Society*, 25(645), pp.549-52.
- Price, C.J. & Friston, K.J., 2005. Functional ontologies for cognition: the systematic definition of structure and function. *Cognitive Neuropsychology*, 22(3-4), pp.262-75.
- Psyché, V., Bourdeau, J., Nkambou, R. & Mizoguchi, R., 2005. Making learning design standards work with an ontology of educational theories. In *Proceedings of the 12th Artificial Intelligence in Education (AIED2005)*. Amsterdam, The Netherlands, 2005.

- Puntambekar, S. & Hubscher, R., 2005. Tools for scaffolding students in a complex learning environment: What have we gained and what have we missed? *Educational Psychologist*, 40(1), pp.1-12.
- Puterman, M.L., 2005. *Markov decision processes: discrete stochastic dynamic programming*. New York: Wiley.
- Rao, A. & Georgeff, M., 1995. *BDI Agents: From Theory to Practice*. Technical Note 56. Melbourne: Australian Artificial Intelligence Institute.
- Ras, E. & Ilin, D., 2008. Using decision models for the adaptive generation of learning spaces. In *Proceedings of the 5th International Conference Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH2008)*, 2008.
- Razmerita, L., 2005. User modelling and personalization of knowledge management systems. In S.Y. Chen & G.D. Magoulas, eds. *Adaptable and adaptive hypermedia systems*. UK: Idea Group Publishing. pp.225-45.
- Razmerita, L., Angehrn, A. & Maedche, A., 2003. Ontology-based user modeling for knowledge management systems. In *Proceedings of the 9th International Conference on User Modeling (UM2003)*, 2003.
- Razmerita, L., Gouardères, G. & Conté, E., 2005. Ontology-based user modeling and e-portfolio grid learning services. *Applied Artificial Intelligence*, 19, pp.905-32.
- Reigeluth, C.M., 2000. *Diseño de la instrucción. Teorías y modelos: un nuevo paradigma de la teoría de la instrucción*. Spain: Santillana.
- Reiter, R., 2001. *Knowledge in action: Logical Foundations for Specifying and Implementing Dynamical Systems*. MIT Press.
- Renart, A. et al., 2010. The Asynchronous State in Cortical Circuits. *Science*, 29, pp.587-90.
- Retalis, S. & Papasalouros, A., 2005. Designing and generating educational adaptive hypermedia applications. *Educational Technology & Society*, 8(3), pp.26-35.
- Reye, J., 1998. Two-phase updating of student models based on dynamic belief networks. In *Proceedings of 4th International Conference on Intelligent Tutoring Systems*, 1998.
- Rich, E., 1979. User modelling via stereotypes. *Cognitive Science*, 3(4), pp.329-54.
- Riding, R.J. & Rayner, S.G., 1998. *Cognitive Styles and Learning Strategies*. New York: David Fulton Publishers.
- Rodríguez, J.L., 1995. Los lenguajes en los medios: lenguaje verbal y lenguaje icónico. In J.L. Rodríguez & O. Sáenz, eds. *Tecnología educativa. Nuevas tecnologías aplicadas a la educación*. Alcoy, Spain: Marfil. pp.93-112.
- Rodríguez-Artacho, M. & Verdejo, M.F., 2004. Modeling Educational Content: The cognitive approach of PALO Language. *Journal of Educational Technology & Society*, 7(3), pp.124-37.
- Rossato, J.I. et al., 2009. Dopamine Controls Persistence of Long-Term Memory Storage. *Science*, 21, pp.1017-20.
- Roth, G., 2009. The relationship between reason and emotion and its impact for the concept of free will. In F.J. Rubia, ed. *The brain: recent advances in neuroscience*. Madrid: Complutense, S.A. pp.21-36.
- Rubia, F.J., 2009. *The brain: Recent advances in neuroscience*. Madrid: Complutense S.A.
- Rudner, M. & Rönnerberg, J., 2006. Towards a functional ontology for working memory for sign and speech. *Cognitive Processing*, 7(1), pp.183-86.
- Rudner, M. & Rönnerberg, J., 2008. The role of the episodic buffer in working memory for language processing. *Cognitive Processing*, 9(1), pp.19-28.
- Rumelhart, V.E. & Norman, D.A., 1978. Accretion, tuning, and restructuring: Three modes of learning. In J.W. Cotton & R.L. Klatzky, eds. *Semantic factors in cognition*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

- Rumelhart, D. & Ortony, A., 1982. La representación del conocimiento en la memoria. In *Infancia y aprendizaje*. pp.115-58.
- Rus, V. & Graesser, A.C., 2006. Deeper natural language processing for evaluating student answers in intelligent tutoring systems. In *American Association of Artificial Intelligence*. Menlo Park, CA, 2006. AAAI.
- Sah, M., Hall, W. & De Roure, D.C., 2008. SemWeB: a Semantic Web Browser for supporting the browsing of users using semantic and adaptive links. In *5th International Conference Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH2008)*., 2008.
- Sah, M., Hall, W., Gibbins, N.M. & De Roure, D.C., 2007. SEMPot - A Personalized Semantic Portal. In *Proceedings of 8th Conference on Hypertext and Hypermedia*., 2007.
- Salinas, J., Aguaded, J.I. & Cabrero, J., 2004. *Tecnologías para la educación. Diseño, producción de medios para la formación docente*. Madrid, España: Alianza Editorial S.A.
- Sánchez-Alonso, S. et al., 2008. On integrating semantic learning object repositories in the Open Knowledge Initiative (OKI) architecture. In *Interactive Computer Aided Learning Conference (ICL2008)*. Villach, Austria, 2008.
- Sancho, P. & Fernández-Manjón, B., 2002. : Entorno de aprendizaje personalizado basado en estándares educativos. In *VII Jornadas de Ingeniería del Software y Bases de Datos*. Madrid, 2002.
- Sanz, R., López, I., M., R. & Hernández, C., 2007. Principles for consciousness in integrated cognitive control. *Neural Networks*, 20, pp.938-46.
- Savery, J.R. & Duffy, T.M., 1995. Problem based learning: An instructional model and its constructivist framework. *Educational Technology*, 35, pp.31-38.
- Scandura, J.M., 2004. *Structural Learning Theory: Current Status and New Perspectives*. [Online] Available at: <http://www.scandura.com/Articles/172-SLT%20Current%20Status%20and%20New%20Perspectives.pdf> [Accessed 18 November 2009].
- Schacter, D.L., 1992. Understanding implicit memory. A cognitive neuroscience approach. *American Psychologist*, 47, pp.559-69.
- Schank, R.C., 1996. A goal based scenario. *Communications of the ACM*.
- Schank, R.C. & Abelson, R.P., 1977. *Goals, Plans, Scripts and Understanding: An Enquiry into Human Knowledge Structures*. Lawrence Erlbaum Associates.
- Schapira, A., Vries, K. & Pedregal-Martin, C., 2001. MANIC: An Open-Source System to Create and Deliver Courses over the Internet. In *Proceedings of the 2001 Symposium On Applications and the Internet*. San Diego, California, 2001. IEEE Computer.
- Schmeck, R.R., Geisler-Brenstein, E. & Cercy, S.P., 1991. Self-concept and learning: the revised inventory of learning processes. *Educational Psychology*, 11, pp.343-62.
- Schmidt, C.T., 2007. Artificial Intelligence and learning, epistemological perspectives. *AI & Society*, 21(4), pp.537-47.
- Schütz-Bosbach, S. & Prinz, W., 2007. Prospective coding in event representation. *Cognitive Processing*, 8, pp.93-102.
- Schwabe, D. & Rossi, G., 1995. The object-oriented hypermedia design model. *Communications of the ACM*, 38(8), pp.45-46.
- Schwabe, D. & Rossi, G., 1998. An object oriented approach to web-based application design. *Theory and Practice of Object Systems*, 4(4), pp.207-25.
- Seitz, A. & Watanabe, T., 2005. A unified model for perceptual learning. *Trends in Cognitive Sciences*, 9(7), pp. 329-334.
- Seok, B., 2006. Diversity and Unity of Modularity. *Cognitive Science: A Multidisciplinary Journal*, 30(2), pp.347-80.

- Service, E., Helenius, P., Maury, S. & Salmelin, R., 2007. Localization of Syntactic and Semantic Brain Responses using Magnetoencephalography. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(7), pp.1193-205.
- Shackel, B., 1990. Human factors and usability. *Human-Computer Interaction*, pp.27-41.
- Shapiro, A.M., 2008. Hypermedia design as learner scaffolding. *Educational Technology Research and Development*, 56, pp.29-44.
- Shapiro, K.L., Driver, J., Ward, R. & Sorensen, R.E., 1997. Priming from the attentional blink: A failure to extract visual tokens but not visual type. *Psychological Sciences*, 8, pp.95-100.
- Sharpanskykh, A. & Treur, J., 2008. Formal modeling and analysis of cognitive agent behavior. *Cognitive Processing*, 9, pp.189-208.
- Shiffrin, R.M., 2003. Modeling memory and perception. *Cognitive Science*, 27, pp.341-78.
- Shih, S.I., 2007. The attention cascade model and attentional blink. *Cognitive Psychology*, 56, pp.210-36.
- Shin, E., Fabiani, M. & Gratton, G., 2006. Multiple Levels of Stimulus Representation in Visual Working Memory. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18(5), pp.844-58.
- Shortliffe, E.H., 1976. *Computer-Based Medical Consultations: MYCIN*. New York: Elsevier.
- Shuell, T.J., 1993. Toward an integrated theory of teaching and learning. *Educational Psychologist*, 28, pp.291-311.
- Shute, V.J. & Psotka, J., 1995. Intelligent tutoring systems: past, present, and future. In D.H. Jonassen, ed. *Handbook of research on educational communications and technology*. pp.570-600.
- Sibertin-Blanc, C., 1985. High-level Petri nets with data structures. In *Proceedings of the 6th European Workshop on application and Theory of Petri nets*. Helsinki, Finland, 1985.
- Simic, G., Gasevic, D. & Devedzic, V., 2004. Semantic web and intelligent learning management systems. In *International Workshop on Applications of Semantic Web Technologies for E-Learning (SW-EL04)*, 2004.
- Simon, H.A., 2006. *Las ciencias de lo artificial*. Granada: Comares.
- Sirin, E. et al., 2007. Pellet: A practical OWL-DL reasoner. *Journal of Web Semantics*, 5(2), pp.51-53.
- Skinner, B.F., 1958. Teaching machines. *Science*, 128, pp.969-77.
- Skinner, B.F., 1970. *Tecnología de la enseñanza*. Barcelona, Spain: Labor S.A. Translated from The Technology of Teaching (1968).
- Sleeman, D.H. & Brown, J., 1982. *Intelligent Tutoring Systems*. London: Academic Press.
- Sokal, A. & Bricmont, J., 1999. *Imposturas Intelectuales*. Barcelona: Paidós.
- Sosnovsky, S., 2006. The integration of two domain conceptualizations in a single adaptive hypermedia system. In *International Workshop on Applications of Semantic Web Technologies for E-Learning (SW-EL06) at 4th International Conference on Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH2006)*. Dublin, 2006.
- Sosnovsky, S., 2009. Open-corpus Personalization Based on Automatic Ontology Mapping. In *Proceedings of the 14th International Conference on Artificial Intelligence in Education*. Brighton, UK, 2009.
- Soto, J., García, E. & Sánchez, S., 2007. Semantic learning object repositories. *International Journal of Continuing Engineering Education and Life-Long Learning*, 17(6), pp.432-46.
- Spath, M.B. & Conlan, O., 2008. VUMA: a Visual User Modelling Approach for the personalization of adaptive systems. In *Proceedings of the 5th International Conference Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH2008)*, 2008.
- Specht, M., 2000. ACE-Adaptive Courseware Environment. *Lecture Notes in Computer Science*, 1892, pp.380-83.

- Specht, M. & Burgos, D., 2007. Modeling adaptive educational methods with IMS Learning Design. *Journal of Interactive Media in Education. Special issue on Adaptation and IMS Learning Design*, Available at: <http://jime.open.ac.uk/2007/08> [Accessed 8 October 2009].
- Spiro, R.J., Feltovich, P.J., Jacobson, M.J. & Coulson, R.L., 1992. Cognitive flexibility, constructivism, and hypertext: Random access instruction for advanced knowledge acquisition in ill-structured domains. In T.M. Duffy & D.H. Jonassen, eds. *Constructivism and the technology of instruction: A conversation*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates. pp.57-76.
- Srinivas, P., Greer, J.E. & McCalla, G.I., 1991. Learning by teaching. In *Proceedings of the International Conference on Learning Sciences*. Illinois, USA, 1991.
- Staab, S., Schnurr, H.P., Studer, R. & Sure, Y., 2001. Knowledge processes and ontologies. *IEEE Intelligent Systems*, 16(1).
- Stankov, S., Rosic, M., Zitko, B. & Grubisic, A., 2008. Tex-Sys Model for building Intelligent Tutoring Systems. *Computers & Education*, 51, pp.545-61.
- Staresina, B.P. & Davachi, L., 2008. Selective and Shared Contributions of the Hippocampus and Perirhinal Cortex to Episodic Item and Associative Encoding. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(8), pp.1478-89.
- Stash, N., Cristea, A. & De Bra, P., 2005. Explicit intelligence in adaptive hypermedia: generic adaptation languages for learning preferences and styles. In *Workshop on Combining Intelligent and Adaptive Hypermedia Methods/Techniques in Web Based Education Systems (CIAH2005)*, 2005.
- Stathacopoulou, R., Grigoriadou, M., Magoulas, G.D. & Mitropoulos, D., 2003. A Neuro-fuzzy Approach in Student Modeling. In *Proceedings of 5th International Conference on User Modeling (UM2003)*, 2003.
- Stern, M.K., 1997. Web based intelligent tutors derived from lecture based courses. In *A Dissertation Proposal Presented December, Computer Science Department*. Amherst, 1997. University of Massachusetts.
- Sternberg, R.J. & Detterman, D., 1992. *¿Qué es la inteligencia?* Madrid, Spain: Pirámide.
- Steve, G., Gangemi, A.D. & Pisanelli, M., 1998. *Integrating Medical Terminologies with ONIONS Metadology*. [Online] Available at: <http://www.loa-cnr.it/Papers/onions97.pdf> [Accessed 14 September 2009].
- Stewart, C. et al., 2004. Authoring and Delivering Adaptive Courseware. In *Proceedings of the 2nd International Workshop on Authoring of Adaptive and Adaptable Educational Hypermedia*, 2004.
- Steyvers, M., Griffiths, T.L. & Dennis, S., 2006. Probabilistic inference in human semantic memory. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(7), pp.327-34.
- Stojanović, N., Staab, S. & Studer, R., 2001. eLearning in the Semantic Web. In *Proceedings of the World Conference on the WWW and the Internet (WebNet 2001)*. Orlando, Florida, USA, 2001.
- Stutt, A. & Motta, E., 2004. Semantic learning webs. *Journal of Interactive Media in Education*, 10, Special Issue on the Educational Semantic Web.
- Suchanek, F.M., Kasneci, G. & Weikum, G., 2008. YAGO: A Large Ontology from Wikipedia and WordNet. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, 6, pp.203-17.
- Sun, R., 2002. *Duality of the mind. A bottom up approach toward cognition*. New Jersey: Lawrence Erlbaum.
- Sun, R., 2003. *A Tutorial on CLARION 5.0*. Technical Report. Rensselaer Polytechnic Institute.
- Sun, R., 2007. The importance of cognitive architectures: an analysis based on CLARION. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 19(2), pp.159-93.

- Sun, R., Zhjag, X. & Mathews, R., 2006. Modeling meta-cognition in a cognitive architecture. *Cognitive Systems Research*, 7, pp.327-38.
- Szatkowska, I. et al., 2008. The effect of motivation on working memory: An fMRI and SEM study. *Neurobiology of Learning and Memory*, 90, pp.475-78.
- Taber, R., 1991. Processing with Fuzzy Cognitive Maps. *Expert Systems with Applications*, 2(1), pp.83-87.
- Tankashala, S., Liu, F., Horton, B. & Tu, S., 2010. An Online Ontology Navigator for Web Applications in Education. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Supported Education (CSEDU2010)*. Valencia, Spain, 2010.
- Thorndike, E.L., 1912. *Education*. MacMillan.
- Torriero, S. et al., 2007. The What and How of Observational Learning. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(10), pp.1656-63.
- Towell, G.G. & Shavlik, J.W., 1994. Knowledge-based artificial neural networks. *Artificial Intelligence*, 70, pp.119-65.
- Tran, T., Wang, H., Lamperter, S. & Cimiano, P., 2008. Personalization using ontologies and rules. In *Proceedings of the 5th International Conference Adaptive Hypermedia and Adaptive Web-Based Systems (AH2008)*,., 2008.
- Triantafillou, E., Pomportsis, A. & Demetriadis, S., 2003. The design and the formative evaluation of an adaptive educational system based on cognitive styles. *Computers & Education*, 41(1), pp.87-103.
- Troche, S.J. & Rammsayer, T.H., 2009. The influence of temporal resolution power and working memory capacity on psychometric intelligence. *Intelligence*, 37(5), pp.479-86.
- Tsuchiya, N. & Adolphs, R., 2007. Emotion and consciousness. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(4), pp.158-67.
- Tulving, E., 1985. How many memory systems are there? *American Psychologist*, 40(4).
- Tulving, E., 2002. Episodic memory: from mind to brain. *Annual Review of Psychology*, 53, p.1-25.
- Ullrich, C., 2004. Description of an instructional ontology and its application in web services for education. In *Proceedings of Workshop on Applications of Semantic Web Technologies for E-learning (SW-EL'04)*. Hiroshima, Japan, 2004.
- Uncapher, M.R. & Wagner, A.D., 2009. Posterior parietal cortex and episodic encoding: Insights from fMRI subsequent memory effects and dual-attention theory. *Neurobiology of Learning and Memory*, 91, pp.139-54.
- Valdizán, J.R., 2008. Funciones cognitivas y redes neuronales del cerebro social. *Revista de Neurología*, 46, pp.65-68.
- Vanlehn, K. & Niu, Z., 2001. Bayesian student modeling, user interfaces and feedback: A sensitivity analysis. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 12, pp.154-84.
- Vassileva, J., 1997. Dynamic Course Generation on the WWW. In *Proceedings of the 8th International Conference on Artificial Intelligence in Education (AI-ED'97)*. Kobe, Japan, 1997.
- Vassileva, J., McCalla, G. & Greer, J., 2003. Multi-Agent Multi-User Modeling in I-Help. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 13.
- Vega, G. et al., 2009. Ontoolcole: Supporting Educators in the Semantic Search of CSCL Tools. *Journal of Universal Computer Science*, 14(1), pp.27-58.
- Vega, G. et al., 2006. A semantic approach to discovering learning services in grid-based collaborative systems. *Future Generation Computer Systems*, 22(6), pp.709-19.
- Velardi, P., Navigle, R., Cucchiarelli, A. & Neri, F., 2005. Evaluation of OntoLearn, a Methodology for Automatic Learning of Domain Ontologies. In P. Buitelaar, ed. *Ontology Learning from Text: Methods, Evaluation and Applications*. IOS Press. pp.99-106.

- Verbert, K. & Duval, E., 2004. Towards a Global Component Architecture for Learning Objects: A Comparative Analysis of Learning Object Content Models. In *Proceedings of World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications 2004.*, 2004.
- Verbert, K. et al., 2006. Ontology-based learning content repurposing: the ALOCoM framework. *International Journal on E-Learning*, 5(1), pp.67-74.
- Vignemont, F. & Singer, T., 2006. The empathic brain: how when and why? *Trends in Cognitive Sciences*, 10(10), pp.435-41.
- Vygotsky, L.S., 1978. *Mind in Society: The development of higher psychological processes*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Villano, M., 1992. Probabilistic Student Models: Bayesian Belief Networks and Knowledge Space Theory. In *Lecture Notes in Computer Science: Vol. 608. Intelligent Tutoring Systems. Proceedings of 2nd International Conference (ITS' 92)*. pp.492-98.
- Vitay, J. & Hamker, H., 2008. Sustained Activities and Retrieval in a Computational Model of the Perirhinal Cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(11), pp.1993-2005.
- Vosniadou, S., 2002. Mental Models in Conceptual Development. In L. Magnani & N. Nersessian, eds. *Model-Based Reasoning: Science, Technology, Values*. New York: Kluwer Academic Press.
- Wagar, B.M. & Thagard, P., 2004. Spiking Phineas Gage: a neurocomputational theory of cognitive-affective integration in decision making. *Psychological Review*, 111(1), pp.67-79.
- Walker, M.P. & Stickgold, R., 2004. Sleep-Dependent Learning and Memory Consolidation. *Neuron*, 44, pp.121-33.
- Wang, F.H., 2006. Application of componential IRT model for diagnostic test in a standard conformant elearning system. In *Proceedings of the 6th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'06)*, 2006.
- Wang, W., 2008. Incorporating computational semantics into emergent hypermedia structures. *International Journal of Web Engineering and Technology*, 4(1), pp.4-20.
- Wang, H. & Fan, J., 2007. Human Attentional Networks: A Connectionist Model. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(10), pp.1678-89.
- Wang, J. & Tao, Q., 2008. Machine Learning: The State of Art. *IEEE Intelligent Systems*, 23(6), pp.49-55.
- Ward, R. & Marsden, P., 2003. Physiological responses to different Web page designs. *International Journal of Human-Computer Studies*, 59, pp.199-212.
- Watkins, C. & Dayan, P., 1992. Q-learning. *Machine Learning*, 8, pp.279-92.
- Weber, G. & Brusilovski, P., 2001. ELM-ART: an adaptive versatile system for Web-based instruction. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 12, pp.351-84.
- Weber, G. & Specht, M., 1997. User modeling and Adaptive Navigation Support in WWW-Based Tutoring Systems. In A. Jameson, C. Paris & C. Tasso, eds. *User Modeling, Proceedings of the Sixth International Conference (UM97)*. Springer.
- Weiner, B., 1986. *An attributional theory of motivation and emotion*. New York: Springer-Verlag.
- Wenger, E., 1987. *Artificial Intelligence and Tutoring Systems: Computational and Cognitive approaches to the communication of knowledge*. San Francisco, USA: Morgan Kaufman Publisher.
- Weng, J. & Hwang, W., 2006. From Neural Networks to the Brain: Autonomous Mental Development. *Computational Intelligence Magazine*, 1(3), pp.15-31.
- Wertheimer, M., 1956. *Pensamiento productivo*. Paidós.
- Whalen, P.J., 2007. The uncertainty of it all. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(12), pp.499-500.

- Wiberg, M., 2004. *Classical Test Theory vs. Item Response Theory*. [Online] Available at: <http://www2.umu.se/edmeas/publikationer/pdf/EM%20no%2050.pdf> [Accessed 21 November 2009].
- Wiech, K., Ploner, M. & Tracey, I., 2008. Neurocognitive aspects of pain perception. *Trends in Cognitive Sciences*, 12(8), pp.306-13.
- Wolters, G. & Raffone, A., 2008. Coherence and recurrency: maintenance, control and integration in working memory. *Cognitive Processing*, 9, pp.1-17.
- Wooldridge, M. & Jennings, N., 1995. Intelligent Agents: Theory and Practice. *Knowledge Engineering Review*, 20(2).
- Wu, H., 2002. *Reference architecture for adaptive hypermedia applications*. Doctoral Thesis. Netherlands: Eindhoven University of Technology.
- Yamaguchi, T., 2001. Acquiring conceptual relationships from domain specific texts. In *Proceedings of IJCAI'2001 Workshop on Ontology Learning*. Seattle, 2001.
- Yang, S., 2010. *For neurons to work as a team, it helps to have a beat*. [Online] Available at: For neurons to work as a team, it helps to have a beat, Sarah Yang, Media Relations, 20 September 2010, http://berkeley.edu/news/media/releases/2010/09/20_brain_rhythm.shtml [Accessed 30 september 2010].
- Yang, Z. & Liu, Q., 2007. Research and development of web-based virtual online classroom. *Computers & Education*, 48, pp.171-84.
- Zabalza, M.A., 2000. Estrategias didácticas orientadas al aprendizaje. *Revista Española de Pedagogía*, 217, pp.459-90.
- Zadeh, L., 1965. Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, pp.338-53.
- Zakharov, K., Mitrovic, A. & Johnston, L., 2008. Towards Emotionally-Intelligent Pedagogical Agents. In *ITS 2008*, 2008.
- Zhang, B., 2008. Hypernetworks: A Molecular Evolutionary Architecture for Cognitive Learning and Memory. *Computational Intelligence Magazine*, 3(3), pp.49-63.
- Zhong, N., Liu, J. & Yao, Y., 2002. In Search of the Wisdom Web. *IEEE Computer*, 35(11), pp.27-31.
- Zhuge, H. & Li, Y., 2004. KGTutor: a knowledge grid based intelligent tutoring system. Berlin: Springer. pp.473-78.
- Žitko, B., Stankov, S., Rosić, M. & Grubišić, A., 2009. Dynamic test generation over ontology-based knowledge representation in authoring shell. *Expert Systems with Applications*, 36(4), pp.8185-96.
- Zukerman, I. & Albrecht, D.W., 2001. Predictive statistical models for user modelling. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 11(1-2), pp.5-18.

Glosario de siglas

AAAL:	Anytime, Anywhere, Anybody Learning
AEHS:	Adaptive Educational Hypermedia System
AHS:	Adaptive Hypermedia System
ADL:	Advanced Distributed Learning
AICC:	Aviation Industry CBT Committee
AIED:	Artificial Intelligence in EDucation
AIRHS:	Adaptive Information Retrieval Hypermedia Systems
AIWBES:	Adaptive and Intelligent Web-Based Educational System
ALM:	Active Learning Modeling
API:	Application Program Interface
ASLC:	Automatic Synthesis of Learning Curricula
ASR:	Automatic Speech Recognition
AWBES:	Adaptive Web-Based Educational System
BIG:	Beyond the Information Given
CA1-CA3:	Cornu Ammonis
CAI:	Computer Aided Instruction
CAM:	Content Aggregation Model
CBI:	Computer Based Instruction
CBT:	Computer Based Training
CP:	Content Packaging
CS:	Cognitive Style
CSCL:	Computer Supported Cooperative Learning
DM:	Domain Model / Dialogue Management
EEG:	Electroencephalography
EKM:	Electronic Knowledge Management
EVA:	Entorno Virtual de Aprendizaje
FCM:	Fuzzy Cognitive Maps
fMRI:	functional Magnetic Resonance Imaging
GBL:	Group Based Learning
GEK:	Generic Educational Knowledge
HAL:	Hypermedia Assisted Learning

HCI:	Human-Computer Interaction
HDM:	Hypermedia Design Model
ICAI:	Intelligent Computer Aided Instruction
IEEE:	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IES:	Intelligent Educational System
ILE:	Intelligent Learning Environment
ILMS:	Intelligent Learning Management System
ILS:	Intelligent Learning System
IMS:	Instructional Management System
IRT:	Item Response Theory
ISO:	International Standard Organization
ITS:	Intelligent Tutoring Systems
KBMS:	Knowledge Base Management System
KIF:	Knowledge Interchange Format
LCMS:	Learning Content Management System
LD:	Learning Design
LIP:	Learner Information Packaging
LIS:	Learning Information Services
LMML:	Learning Material Markup Language
LMS:	Learning Management System
LO:	Learning Object
LOM:	Learning Objects Metadata
LOMR:	Learning Object Metadata Repository
LOR:	Learning Object Repository
LS:	Learning Style / Learning Space
LTM:	Long-Term Memory
LTS:	Learning Technology Systems
LTSA:	Learning Technology Systems Architecture
LTSC:	Learning Technologies Standards Committee
MAS:	Multi-Agent System
MDP:	Markov Decision Processes
MEA:	Means Ends Analysis
MEG:	Magnetoencephalography
NLG:	Natural Language Generation
NLU:	Natural Language Understanding
OAHS:	Open Adaptive Hypermedia Systems
OCAHS:	Open Corpus Adaptive Hypermedia Systems
OCW:	Open Course Ware
ODL:	Open and Distance Learning
OHS:	Open Hypermedia Systems
OLM:	Open Learner Model
OSID:	Open Service Interface Definition
OWL:	Ontology Web Language
PAPI:	Public And Private Information
PBLC:	Problem-Based Learning by Cases
PBLI:	Problem-Based Learning with Inquiry
PDDL:	Planning Domain Definition Language

PET:	Positron Emission Tomography
POM:	Probabilistic Ontology Model
QTI:	Question and Test Interoperability
RDF:	Resource Description Framework
RIA:	Rich Internet Application
RLO:	Reusable Learning Object
RMM:	Relationship Management Model
RSS:	Rich Site Summary / Really Simple Syndication
RTE:	Run-Time Environment
rTMS:	repetitive Transcranial Magnetic Stimulation
SCO:	Sharable Content Object
SCORM:	Shareable Courseware Object Reference Model
SLS:	Spoken Language System
SOA:	Service Oriented Architecture
SOAP:	Simple Object Access Protocol
SS:	Simple Sequencing
STM:	Short-Term Memory
SWBES:	Semantic Web Based Educational System
SWRL:	Semantic Web Rule Language
SWS:	Semantic Web Services / Semantic Wiki Space
TEL:	Technology Enhanced Learning
TIC:	Tecnologías de la Información y la Comunicación
TM:	Topic Map
TSS:	Text-to-Speech Synthesis
UDDI:	Universal Description, Discovery and Integration
UM:	User Model
UML:	Unified Modeling Language
UMS:	User Model Server
UMSS:	User Model Shell System
VLE:	Virtual Learning Environment
W3C	World Wide Web Consortium
WIG:	With the Information Given
WM:	Working Memory
WSDL:	Web Services Description Language
WSML:	Web Service Modeling Language
WSMO:	Web Service Modeling Ontology
WWW:	World Wide Web
XML:	Extensible Markup Language