

Índice General

ÍNDICE DE TABLAS.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
RESUMEN.....	XI
INTRODUCCIÓN	1
ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE: E-LEARNING	7
1.1 E-LEARNING	7
1.1.1 <i>Definición del e-learning</i>	7
1.1.3 <i>Educación a distancia y el e-learning</i>	9
1.1.2 <i>Historia de la educación a distancia</i>	12
1.1.4 <i>Períodos en la historia del e-learning</i>	16
1.1.5 <i>Retos del e-learning</i>	18
1.2 SISTEMAS DE GESTIÓN DE APRENDIZAJE.....	20
1.3 ESPECIFICACIONES Y ESTÁNDARES EN EL E-LEARNING	23
1.4 LA EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LAS PREGUNTAS	27
1.4.1 <i>Clasificación de las preguntas</i>	32
1.4.2 <i>La evaluación y sus usos frecuentes</i>	38
1.5 EL DESARROLLO DEL E-LEARNING EN ESPAÑA.....	41
1.6 CONCLUSIONES.....	48
ESTUDIO DEL ESTADO DEL ARTE: WEB SEMÁNTICA	49
2.1 DEFINICIÓN DE WEB SEMÁNTICA.....	49
2.2 TECNOLOGÍAS DE LA WEB SEMÁNTICA.....	50
2.2.1 <i>Indexación</i>	51
2.2.2 <i>Metadatos</i>	52
2.2.3 <i>Anotación</i>	53
2.2.4 <i>Base de datos interoperable</i>	53
2.2.5 <i>Búsqueda de información</i>	54
2.2.6 <i>Servicios Web</i>	54
2.2.7 <i>Agentes inteligentes</i>	55
2.3 WEB SEMÁNTICA Y SISTEMAS BASADOS EN CONOCIMIENTO	55
2.4 ONTOLOGÍAS.....	59

2.4.1 Tipos de ontologías.....	63
2.4.1.1 Clasificación por el conocimiento que contienen.....	64
2.4.1.2 Clasificaciones por motivación.....	65
2.4.1.3 Clasificación por el grado de formalidad	67
2.4.2 Metodologías de construcción de ontologías	68
2.4.2.1 Cyc.....	70
2.4.2.2 METHONTOLOGY.....	71
2.4.2.3 On-To-Knowledge.....	72
2.4.2.4 DILIGENT	72
2.4.2.5 PROMPT	73
2.4.2.6 ONTOIN.....	74
2.4.3 Lenguajes ontológicos	75
2.4.3.1 RDF.....	76
2.4.3.2 OWL.....	78
2.5 ANOTACIÓN SEMÁNTICA.....	82
2.5.1 Sistemas de anotación manuales	84
2.5.2 Sistemas de anotación (semi)automáticos	85
2.6 MODELOS DE SIMILITUD SEMÁNTICA	86
2.6.1 Modelo basado en las características	87
2.6.2 Modelo basado en relaciones semánticas	90
2.6.3 Modelo basado en el contenido de la información.....	92
2.6.4 Modelo basado en el contexto	94
2.7 ALGUNAS APLICACIONES DE LA WEB SEMÁNTICA.....	94
2.8 LA WEB SEMÁNTICA Y EL E-LEARNING	96
2.9 PROBLEMÁTICA.....	99
2.10 CONCLUSIONES.....	100
METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE EXÁMENES EN E-LEARNING.....	101
3.1 INTRODUCCIÓN	101
3.2 CONCEPTOS BÁSICOS	101
3.3 METODOLOGÍA DE PREPARACIÓN DE PREGUNTAS Y EXÁMENES.....	102
3.3.1 Preparación de preguntas cerradas	105
3.3.2 Preparación de preguntas abiertas	107
3.3.3 Preparación de los exámenes	111

3.4 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN.....	112
3.4.1 <i>Supuestos de partida</i>	113
3.4.2 <i>Política de evaluación</i>	114
3.4.3 <i>Similitud de conceptos</i>	115
3.4.3.1 Proximidad ontológica.....	116
3.4.3.2 Distancia definicional.....	118
3.4.3.4 Definición de la función de similitud entre conceptos.....	121
3.4.4 <i>Similitud de atributos</i>	122
3.4.4.1 Similitud entre los conjuntos de valores.....	123
3.4.4.2 Distancia lingüística.....	124
3.4.4.3 Similitud entre conceptos.....	124
3.4.4.4 Determinación de la similitud entre atributos.....	125
3.4.5 <i>Similitud de relaciones</i>	126
3.4.6 <i>Métodos de evaluación</i>	126
3.4.6.1 Método de evaluación estricto.....	128
3.4.6.2 Método de evaluación flexible.....	130
3.4.7 <i>Ponderaciones de las funciones</i>	132
3.5 EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN.....	133
3.5.1 <i>Cálculo de similitud de conceptos</i>	138
3.5.2 <i>Cálculo de similitud de atributos</i>	140
3.5.3 <i>Cálculo de similitud de las relaciones</i>	142
3.6 CONCLUSIONES.....	144
OELE: PLATAFORMA BASADA EN TECNOLOGÍAS DE LA WEB	
SEMÁNTICA PARA LA EVALUACIÓN DE EXÁMENES.....	145
4.1 INTRODUCCIÓN.....	145
4.2 ARQUITECTURA DE OELE.....	145
4.3 FUNCIONALIDAD PARA ADMINISTRADORES.....	148
4.3.1 <i>Acceso al Sistema</i>	148
4.3.2 <i>Gestión de administradores</i>	149
4.3.3 <i>Gestión de profesores</i>	150
4.3.4 <i>Gestión de Estudiantes</i>	152
4.3.5 <i>Gestión de Cursos</i>	153
4.4 FUNCIONALIDAD PARA PROFESORES.....	155
4.4.1 <i>Acceso al Sistema</i>	155

4.4.2 Configuración de Parámetros	155
4.4.3 Gestión de Cursos.....	156
4.4.4 Gestión de Preguntas.....	158
4.4.4.1 Preguntas Abiertas.....	158
4.4.4.2 Preguntas Cerradas	160
4.4.5 Gestión de Exámenes.....	161
4.5 FUNCIONALIDAD PARA ESTUDIANTES	166
4.5.1 Acceso al Sistema	166
4.5.2 Realización de exámenes	167
4.6 ESTANDARIZACIÓN DEL SISTEMA	169
4.7 CONCLUSIONES.....	171
VALIDACIÓN	173
5.1 INTRODUCCIÓN	173
5.2 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN	173
5.3 CASO DE ESTUDIO: DISEÑO Y EVALUACIÓN DE MATERIALES DIDÁCTICOS	175
5.3.1 Creación de ontología y examen	176
5.3.2 Objetivos del caso.....	177
5.3.3 Hipótesis del caso.....	179
5.3.4 Verificación de la hipótesis del caso	180
5.3.5 Conclusiones del caso	189
5.4 CASO DE ESTUDIO: SISTEMAS MULTIMEDIA E INTEGRACIÓN GRÁFICA	189
5.4.1 Creación de ontología y examen	190
5.4.2 Objetivos del caso.....	191
5.4.3 Hipótesis del caso.....	193
5.4.4 Verificación de la hipótesis del caso	195
5.4.5 Conclusiones del caso	204
5.5 ANÁLISIS DE USABILIDAD DE LA PLATAFORMA	205
5.6 CONCLUSIONES.....	208
CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	209
6.1 APORTACIONES.....	209
6.2 TRABAJO FUTURO.....	212

Índices

6.3 DIFUSIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	214
6.4 CONCLUSIONES.....	215
BIBLIOGRAFÍA.....	217

Índice de Tablas

Tabla 1.1. Métodos de evaluación.	31
Tabla 1.2. Resume los niveles de objetivos de cada nivel de la capacidad.	35
Tabla 1.3. Ventajas y desventajas entre preguntas abiertas y cerradas.	37
Tabla 1.4. Definición de términos empleados en la evaluación.	41
Tabla 2.1. Requerimientos del e-learning y su respuesta en la Web Semántica.	98
Tabla 3.1. Métrica de la ontología.	135
Tabla 3.2. Anotación de la respuesta esperada.	135
Tabla 3.3. Elementos ontológicos anotados de la respuesta del estudiante.	136
Tabla 3.4. Ponderación o pesos de las funciones de similitud.	137
Tabla 5.1. Preguntas abiertas del caso y su calificación.	176
Tabla 5.2. Calificaciones por métodos manuales y la metodología.	178
Tabla 5.3. Factores intra-sujetos.	180
Tabla 5.4. Contrastes multivariados.	181
Tabla 5.5. Prueba de esfericidad de Mauchly.	182
Tabla 5.6. Pruebas de efectos intra-sujetos.	184
Tabla 5.7. Comparaciones por pares.	186
Tabla 5.8. Estadístico de contraste. Prueba de Friedman.	187
Tabla 5.9. Rangos en la prueba de Wilcoxon.	188
Tabla 5.10. Prueba de Wilcoxon.	188
Tabla 5.11. Métrica de la ontología.	190
Tabla 5.12. Preguntas abiertas y su calificación.	190
Tabla 5.13. Calificaciones por métodos y por convocatorias.	192
Tabla 5.14. Factores intra-sujetos del experimento.	195
Tabla 5.15. Contrastes multivariados.	197
Tabla 5.16. Prueba de esfericidad de Mauchly.	199
Tabla 5.17. Pruebas de efectos intra-sujetos o univariada.	201
Tabla 5.18. Comparaciones por pares.	203
Tabla 5.19. Estadístico de contraste. Prueba de Friedman.	203
Tabla 5.20. Rangos en la prueba de Wilcoxon.	204
Tabla 5.21. Prueba de Wilcoxon.	204

Índice de Figuras

Figura 1.1. Pirámide de dominios del aprendizaje.....	32
Figura 1.2. Taxonomía cognitiva de Bloom.....	34
Figura 1.3. Fases de la evolución reciente y estimación futura de la evolución del e-learning en España.....	42
Figura 1.4. Principales grupos receptores de e-learning en España.....	42
Figura 1.5. Desarrollos en e-learning en compañías españolas.....	43
Figura 1.6. Porcentaje de horas invertidas en aprendizaje a distancia en las organizaciones españolas.....	44
Figura 1.7. Evolución de las principales categorías de aprendizaje.....	45
Figura 1.8. Duración normal de los cursos de e-learning.....	45
Figura 1.9. Factores principales que favorecen el desarrollo del e-learning.....	45
Figura 2.1. Elementos fundamentales de la Web Semántica.....	56
Figura 2.2. Stack de lenguajes de la Web Semántica.....	76
Figura 2.3 Sub-Lenguajes de OWL.....	81
Figura 3.1. Fragmento ontología del dominio.....	104
Figura 3.2. Ontología del dominio. Fragmento de la parte de anotación.....	105
Figura 3.3. Jerarquía de conceptos de una ontología.....	117
Figura 4.1 Arquitectura física de OeLE.....	146
Figura 4.2. Autenticación de usuarios.....	148
Figura 4.3. Pantalla principal del perfil del administrador.....	149
Figura 4.4. Creación del usuario administrador y de su perfil personal.....	150
Figura 4.5. Creación del usuario profesor y de su perfil personal.....	151
Figura 4.6. Adscripción de los profesores a cursos.....	152
Figura 4.7. Creación del usuario estudiante y de su perfil personal.....	153
Figura 4.8 Información de profesores, cursos y estudiantes adscriptos.....	154
Figura 4.9. Parámetros definidos en la aplicación.....	156
Figura 4.10. Gestión de cursos de los profesores.....	157
Figura 4.11. Ontología del curso seleccionado.....	158
Figura 4.12. Preguntas abiertas.....	159
Figura 4.13. Valores cuantitativos y cualitativos de los elementos ontológicos.....	160
Figura 4. 14. Preguntas cerradas.....	161
Figura 4.15. Exámenes realizados por los estudiantes.....	162
Figura 4.16. Exámenes realizados por el estudiante.....	163

Figura 4.17. Corrección de pregunta abierta.....	164
Figura 4.18. Consulta de pregunta abierta.....	165
Figura 4.19. Calificación de preguntas abiertas y cerradas.....	166
Figura 4.20. Control de acceso al sistema para estudiantes.	167
Figura 4.21. Selección de curso y examen del curso.....	168
Figura 4.22. Preguntas del examen seleccionado y confirmación de envío.....	169
Figura 5.1. Gráfico de perfil.....	185

Resumen

En este trabajo se presenta una metodología basada en tecnologías de representación, anotación y procesamiento semántico para la evaluación de preguntas abiertas o desarrollo en e-learning. Dicha metodología se fundamenta en la anotación semántica de los cursos, de las preguntas esperadas, y de las respuestas dadas a estas preguntas. Para ello, se emplean técnicas estándar de anotación semántica, y una metodología que evalúa el conocimiento que se almacena, para dar las calificaciones de las respuestas. La metodología fue evaluada en cursos reales y en modalidades de enseñanza diferentes, obteniendo resultados evaluados de forma satisfactoria con el empleo de métodos estadísticos. Además, se ha implementado la plataforma OeLE, que automatiza el empleo de la metodología.

Introducción

El acceso a las tecnologías de la información y su óptima implantación es, sin duda, uno de los aspectos clave para garantizar el desarrollo de cualquier tipo de organización, siendo innegables los beneficios económicos, sociales y culturales que el uso de las nuevas tecnologías proporciona, y lo harán en mayor medida en el futuro, para aquellos que las utilicen adecuadamente.

La utilización e integración de las nuevas tecnologías en los procesos formativos, se presenta como un gran reto tanto para las instituciones educativas como para las organizaciones empresariales.

El uso de la tecnología aporta grandes ventajas al sector de la formación, facilitando y potenciando de manera importante el proceso de aprendizaje de la persona, a través de los aspectos más interactivos de los usos de dichos sistemas, proporcionando dinámicas pedagógicas y metodológicas basadas en la colaboración, la comunicación y el acceso a una inmensa cantidad de recursos de información.

Las nuevas tecnologías, por tanto, van a transformar los modelos de formación que hemos venido utilizando hasta el momento, tanto de modalidades de tipo presencial como de distancia tradicional. Dicha transformación no viene establecida por la tecnología en sí misma, ni tampoco será la tecnología lo que garantice el éxito de una óptima implantación de un sistema de formación on line.

El uso de la tecnología en formación no debe implicar una pérdida de autonomía y control por parte del formador en el proceso de diseño e impartición de un programa de formación. Es por ello importante contar con herramientas tecnológicas o lo que conocemos con el nombre de

plataformas de tele-formación, las cuales deben facilitar el proceso de diseño y definición de cualquier tipo de proceso formativo.

Evaluar es un proceso complejo en todos los ámbitos de la vida del ser humano y en la naturaleza. La educación y la formación tampoco dejan de verse influenciados por esta necesidad de evaluación, por lo que la principal novedad de la investigación que se realiza en este trabajo radica en hacer confluir varias técnicas y tecnologías actuales de la Web Semántica con el propósito de semi-automatizar el proceso de evaluación en el e-learning. En este sentido, dentro de las actividades de investigación, se incluyó la obtención de un entorno, que facilite la evaluación mediante el uso de tecnologías innovadoras. Actualmente, no se conoce ninguna metodología o plataforma que empleando tecnologías de la Web Semántica, afronte la evaluación en e-learning basándose en pruebas de evaluación no objetivas, esto es, preguntas no tipo test. Esto permite, que las pruebas de evaluación puedan ser más ricas desde el punto de vista didáctico, al no tener que restringirse a preguntas cerradas, o con una gran intervención del profesor en la evaluación de las preguntas abiertas o de desarrollo, por lo que se definieron los siguientes objetivos generales:

- **Obtención de una metodología de construcción de ontologías del dominio para cursos particulares.**
- **Obtención de una metodología para la evaluación de cursos de e-learning,** basada en el uso de preguntas etiquetadas semánticamente, el conocimiento extraído de las respuestas de los alumnos y la ontología del dominio del curso.
- **Obtención de una plataforma basada en tecnologías de la web semántica para la evaluación de cursos.**

Para conseguir estos objetivos se siguió la siguiente metodología en la investigación:

- **Análisis del estado del arte en e-learning y la Web Semántica.** Esto implica estudiar las diferentes características del e-learning, sus retos, los sistemas de gestión del aprendizaje, el proceso de evaluación y las clasificaciones de las preguntas. Además, se analizaron las definiciones de la Web Semántica, la anotación semántica, las ontologías y los lenguajes de representación semántica, algunas de las metodologías para su construcción y algunos modelos de similitud semántica.
- **Definición de una metodología para la impartición de cursos.** Se desarrolló una metodología basada en la construcción de una ontología del curso, de forma que todos los aspectos relevantes del mismo fueron modelados en dicha ontología. Esta ontología se empleó como referencia a la hora de diseñar los exámenes y de evaluar el rendimiento de los alumnos.
- **Definición de una metodología para el diseño de exámenes.** Se desarrolló una metodología, en la que un examen se construye a base de preguntas, cuyo contenido y respuesta esperada se anota con respecto al conocimiento del curso. Además, se cuantifica la importancia de cada parte de la respuesta en el contexto de la pregunta y del examen. Por lo tanto, se genera una base de recursos de preguntas y respuestas, anotadas con respecto al conocimiento del curso expresado en la ontología del mismo.
- **Definición y formalización de una metodología basada en la semántica para la evaluación de exámenes.** Se diseñó una metodología que permitiera evaluar las anotaciones semánticas realizadas a las preguntas y respuestas de los cursos.

- **Diseño e implementación software (la plataforma OeLE) de las metodologías anteriores.** Se construyó una plataforma que permite realizar correctamente las pruebas con la metodología de evaluación de exámenes. Se implementó una API (del inglés **Application Programming Interface**) de cálculo de similitud semántica, entre elementos ontológicos desarrollada en el ámbito de la investigación.
- **Experiencia práctica en cursos reales.** Se diseñó una experimentación en cursos reales, tanto presenciales como no presenciales. Estos experimentos se realizaron empleando la herramienta OeLE.

Para describir las tareas que conlleva alcanzar los objetivos de la investigación, esta memoria se estructuró en seis capítulos según los temas revisados y estudiados:

En el capítulo 1, se hace una revisión del estado del arte del e-learning, su definición, se analizan los sistemas de gestión de aprendizaje y algunos modelos educativos. Se describen los principales estándares en el e-learning, la problemática del e-learning en el mundo, sus antecedentes, sus expectativas, así como, el desarrollo que ha tenido esta modalidad en España. Además, se valora la clasificación de las preguntas y la importancia y usos de la evaluación.

En el capítulo 2, se hace una revisión de los principales componentes de las tecnologías de la Web Semántica. Se dan las definiciones más aceptadas de ontología, sus diferentes clasificaciones, los lenguajes ontológicos empleados en la actualidad, así como algunos ejemplos de ontologías. También se describen los sistemas de anotación manuales y los (semi)automáticos y algunos modelos de determinación de la similitud semántica.

En el capítulo 3 se recogen la metodología desarrollada para la evaluación de las preguntas abiertas o de desarrollo, se caracterizan los elementos ontológicos que se emplean en dicha metodología, y se define la política de evaluación. Las funciones de similitud de los conceptos, relaciones y atributos son desarrolladas y formalizadas. Se realiza un ejemplo donde se determinan todas las funciones de similitud que se contemplan en la metodología.

En el capítulo 4, se hace una descripción de la herramienta Oele, donde se describen sus diferentes módulos, perfiles de usuarios y principales ventajas. Además, se describe la funcionalidad para los administradores, profesores y estudiantes, y opciones como la de estandarización del sistema.

En el capítulo 5, se analiza la experiencia de uso en cursos presenciales y no presenciales. Se realizó, en cursos de facultades de distintas áreas de conocimiento, y en cursos de una sola convocatoria (no presenciales), y en cursos de varias convocatorias (presenciales). Se les aplicaron métodos de estadísticos, como análisis de varianza (ANOVA) y con medidas repetitivas, lo que permitió confirmar la hipótesis de la validez de la metodología para la evaluación de exámenes.

En el capítulo 6, se dan algunas conclusiones, se abordará el trabajo futuro, el cumplimiento de los objetivos marcados, los avances logrados y la difusión de los resultados.

Estudio del estado del arte: E-learning

En este capítulo, se hace un estudio sobre el estado de la educación a distancia, sus orígenes y la modalidad más extendida y de mayor impacto, el e-learning. Además, se mencionan los estándares en el e-learning, algunos modelos educativos, y se describen algunas de las características principales del e-learning en España.

1.1 E-learning

1.1.1 Definición del e-learning

En (González, 2007) se sugiere considerar al e-learning como el aprendizaje basado en tecnologías de información y comunicación, con interacciones pedagógicas entre alumno y contenidos, alumno y alumno, y alumno e instructor, basadas en Web. En (Adell & Sales, 1999), se define el e-learning como educación a distancia, generalmente de adultos que utilizan sistemas de comunicación mediada por ordenador (conocidas con términos como aulas o campus virtuales) como entorno en el que se comunican, intercambian información e interactúan, alumnos y profesores.

El concepto de e-learning se define de muchas formas y por infinidad de autores (ITC, 1998; Henry, 2001; Anderson & Elloumi, 2004; Wang & Hwang, 2004; Romiszowski, 2004; Akeroyd, 2005; Hosie & Schibeci, 2005) y una no menos amplia variedad de términos (educación en línea, educación

virtual, aprendizaje vía web, *online learning*, aprendizaje en línea) (Paulsen, 2003).

El e-learning puede ser visto como un descendiente directo de la educación a distancia (Bermejo, 2005; Williams, Nicholas, & Gunter, 2005; Zenger & Walker, 2000) iniciada en el siglo XIX y ampliamente difundida en los sesentas, época en que este tipo de educación consistía en la distribución de materiales impresos a través del correo postal tradicional. Aún cuando el e-learning tiende a considerarse como parte de la educación a distancia, bien puede ser utilizado como complemento de la educación presencial. (González, 2007). Algunos autores consideran que el e-learning debe estar basado en la *World Wide Web*. Otros autores consideran que la “e” de e-learning implica únicamente el uso de un dispositivo electrónico, sin necesidad del empleo de Internet. Para ciertos autores el e-learning debe incluir interacciones y no estar constituida por la mera distribución de materiales.

La Comisión Europea (2001) en el *Plan de Acción del e-Learning* define e-learning como: “El uso de las nuevas tecnologías de multimedia e Internet, para mejorar la calidad del aprendizaje, mejorando el acceso a los recursos y servicios, así como el intercambio a distancia y la colaboración”. Paulse especifica el e-learning como el aprendizaje interactivo, en el cual los contenidos de aprendizaje están disponibles en línea y permiten un feedback automático a los estudiantes de las actividades en el aprendizaje. (Paulse, 2003)

En esta investigación no se propone una nueva definición, sino que se emplea una de las más utilizadas (Rosenberg, 2001): “*el uso de las tecnologías basadas en Internet para proporcionar un amplio despliegue de soluciones a fin de mejorar*

la adquisición de conocimientos y habilidades”. Este autor establece tres criterios que se han de cumplir para poder aplicar correctamente el término:

- a) que se produzca en red, lo que permite una actualización inmediata, almacenamiento y recuperación, distribución y capacidad de compartir los contenidos y la información,
- b) que llegue al usuario final a través de un ordenador, utilizando estándares tecnológicos de Internet,
- c) que esté centrado en la visión más amplia de soluciones para el aprendizaje que van más allá de los paradigmas tradicionales de la formación.

La convergencia de Internet y del aprendizaje en el e-learning, califica el e-learning como disponible para el aprendizaje por Internet, en términos de usar tecnologías de Internet para crear, fomentar, entregar, para facilitar el aprendizaje siempre y donde se quiera. (Obringer, 2005). La flexibilidad ofrecida por este nuevo sistema de aprendizaje, junto con las enormes posibilidades proporcionadas por las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones ayuda a explicar este fenómeno social y económico, y a la vez, abre un amplio campo de investigación y desarrollo en un futuro próximo.

1.1.3 Educación a distancia y el e-learning

En el campo de la enseñanza ya es común hablar de universidades abiertas, sistemas a distancia, aulas virtuales y universidades online. Instituciones educativas de todo el mundo ofrecen diferentes cursos y carreras a través de distintos sistemas de e-learning. El sitio Web de *The Virtual College of New York University's School of Continuing and Professional Studies* la página de

bienvenida dice: "*El colegio virtual existe porque reconocemos que en este mundo de ritmo veloz, usted no tiene tiempo para ir a sentarse a una clase tradicional y prefiere la conveniencia de estudiar en su casa o en la oficina*".

El proceso de enseñanza-aprendizaje tradicional de transmisión-recepción sigue invariable. Sin embargo, las condiciones actuales exigen nuevos medios para facilitar la transmisión masiva de los conocimientos del profesor a los estudiantes y su asimilación por parte de ellos. En (Bon and King, 1998) se proponen tres limitaciones básicas del sistema tradicional de enseñanza presencial:

- El tiempo de permanencia obligada en el centro docente.
- El coste en infraestructura del centro, que se traduce en mayor coste para el alumno.
- La falta de proximidad a la residencia del estudiante.

Estos factores constituyen barreras que para, algunos estudiantes resultan insalvables, como los estudiantes con algunas discapacidades físicas o motoras. El sistema de enseñanza a distancia digital, o e-learning, rompe esas barreras y se transforma en algo más que una alternativa, ya que es una excelente opción para obtener una graduación de una universidad u otra institución, incluso internacional, manejando los tiempos y con matrículas más accesibles. Generalmente en estos sistemas el estudiante impone el ritmo a seguir, mientras los costes son menores ya que las organizaciones tienen menores gastos de infraestructura que las organizaciones tradicionales.

Una de las características de la educación a distancia de mayor significación práctica es su correspondencia con las causas que motivaron su aparición. Su motor impulsor de desarrollo sostenido es la necesidad de diseminar

conocimientos y crear habilidades en una población cada vez más ávida y necesitada de ellas, precisamente para satisfacer carencias reales y acceder a un espacio donde la productividad, de todo tipo, mejore progresivamente en aras de la consecución de un mayor desarrollo social.

Otra característica significativa de la educación a distancia es su accesibilidad. Su empleo posibilita a un número elevado de personas acercarse, con amplias posibilidades, al conocimiento, apropiarse de él, en un proceso interactivo del cual generalmente emerge un sujeto con un grado de preparación teórico-práctica más amplio e integral que le permite enfrentar mejor los retos de su entorno.

La educación a distancia, además, utiliza medios o recursos técnicos de comunicación sobre un soporte computacional apropiado, que permite a la información fluir sin límites de tiempo ni de espacio. Los referidos medios técnicos reducen, en definitiva, los obstáculos geográficos, económicos, de trabajo y familiares que puedan presentar los estudiantes y tornan el proceso de enseñanza-aprendizaje, de la adquisición de conocimientos y de educación, en mucho más eficientes y eficaces, con una relación costo beneficio más favorable para los usuarios.

En el e-learning confluyen una serie de circunstancias, de entre las que podemos destacar las siguientes:

- La separación física del estudiante y del profesor durante el proceso educativo en su totalidad (e-learning) o en parte (blended-learning).
- La influencia de una organización de apoyo a la educación que se compromete a la evaluación y acreditación del alumno.

- El uso de medios técnicos que permiten la comunicación entre alumno y profesor, así como, el intercambio de material educativo.
- Significativa interactividad cognitiva e instrumental como dimensión clave que permite diferenciar estos procesos de la enseñanza a distancia tradicional.

1.1.2 Historia de la educación a distancia

El método de enseñanza a distancia no es algo novedoso (aunque sí puedan serlo sus formas). Los antecedentes históricos de la educación a distancia se remontan, para algunos teóricos, a épocas tan remotas como la de la civilización sumeria, la egipcia y la hebrea; las llamadas cartas instructivas son un ejemplo de ello. Asimismo, una “segunda raíz” puede identificarse en la Grecia Antigua, donde la denominada epistolografía alcanzó un alto grado de desarrollo, su forma de expresión eran las cartas científicas. También en la civilización romana es posible hallar elementos relacionados con la concepción actual de la educación a distancia. Sus representantes más destacados fueron Cicerón, Horacio y, sobre todo, Séneca, autor de 124 cartas que constituyen en su conjunto una verdadera unidad didáctica de filosofía estoica. (Nipper, 1989).

La educación a distancia organizada comienza en el siglo XVIII, con un anuncio publicado en 1728 por la Gaceta de Boston donde Caleb Philipps (profesor de caligrafía), anuncia el 20 de marzo su curso a distancia, con material autoinstructivo para enviar a los estudiantes y la posibilidad de tutorías por correspondencia. (Padua, 2003).

Cien años más tarde, en Suecia, se anuncia la oportunidad de aprender redacción por correo. En el año 1840 Isaac Pitman programa un sistema de

taquigrafía a base de tarjetas e intercambio postal con los alumnos mediante el cual les propone transcribir por taquigrafía un corto pasaje de la Biblia y enviarle ese trabajo para su corrección. Esta iniciativa tuvo un gran éxito y es considerada el origen real de la educación a distancia (García Aretio, 2002). En 1843, se constituye "Phonographic Correspondence Society" para enseñanza de la taquigrafía. Un poco más tarde, hacia 1850, la University of London ofrece cursos y carreras a distancia a los habitantes de colonias lejanas como India y Australia. Y hacia 1856, en Europa, Toussaint y Langenscheidt comienzan con cursos de idiomas por correspondencia.

Ya en aquellas primeras experiencias se tomó conciencia de la necesidad de adaptar el material a las características especiales del alumnado, de forma que se le proporcionasen actividades complementarias que aumenten la interacción con el estudiante y sirvan de guía para los estudios. Fruto de ello, hacia 1873, se funda la Society to Encourage Studies at Home (traducido literalmente, Sociedad para fomentar los estudios en casa).

Hacia finales del siglo XIX surge, en los Estados Unidos de Norteamérica y Japón, una variante de la educación a distancia en la cual el estudiante dependía, casi por completo, de la comunicación con la institución docente mediante el empleo del correo postal. Por aquel entonces, la educación a distancia se utilizó, por un lado, en estudios preuniversitarios y universitarios y por el otro, en la capacitación profesional. Las organizaciones pioneras, británicas, se establecieron en Edimburgo, Londres y Cambridge, y se dedicaron a la preparación idónea de los candidatos para los exámenes del servicio civil y la enseñanza de la contabilidad.

Tanto en Europa Occidental como en América del Norte, la educación a distancia apareció y se desarrolló en las urbes industriales del siglo XIX. Su propósito era brindar una oportunidad educativa a las minorías laborales que, debido a diferentes causas, se vieron imposibilitadas para asistir a las escuelas ordinarias. Así surgió el curso por correspondencia sobre "*Minería y prevención de accidentes mineros*", de Tomas Foster en respuesta a la falta de los conocimientos técnicos fundamentales entre los obreros, que condicionaban "terribles y frecuentes accidentes" en las minas de una de las más ricas regiones carboníferas de Pennsylvania; su objetivo esencial era capacitar a los obreros sin que estos abandonasen sus labores habituales. Posteriormente aparecieron, también en Pennsylvania, las llamadas Escuelas Internacionales por Correspondencia de Scranton, (ICS), de las cuales se crearon filiales en todos los continentes.

De manera similar, en 1891, se creó en la Universidad de Chicago un departamento con el fin de ocuparse de la organización, ejecución y desarrollo de los estudios por correspondencia. Esta forma de educación devino en excelente vía de superación como resultado del desarrollo alcanzado por los servicios postales de Norteamérica y de Europa. En ellos, se enviaban documentos, guías de estudio y materiales impresos a los estudiantes mediante el correo postal, los alumnos obtenían sus créditos por resolver las tareas indicadas, no existía posibilidad de retroalimentación. Este modelo conformó la primera gran generación de la educación a distancia y es aún el modelo predominante en muchos países.

La primera acción formal para impulsar la educación a distancia como modalidad educativa se produjo en 1938 en la ciudad canadiense de Victoria donde tuvo lugar la "Primera Conferencia Internacional sobre la Educación por Correspondencia". Asimismo, en 1939 se fundó el Centro Nacional de

Enseñanza a Distancia en Francia, que en un principio atendió por correspondencia a los niños que habían podido escapar de la guerra y huir hacia otros países.

Al finalizar la Segunda Guerra Mundial, ocurrió una verdadera explosión en el uso de esta modalidad de enseñanza con el fin de facilitar el acceso a los centros educativos en sus niveles, principalmente en los países industrializados de Occidente, en Europa y en las naciones en vías de desarrollo, en correspondencia con el incremento de la demanda de mano de obra cualificada en un mundo necesitado de producir. Así en el año 1946, se creó la primera universidad a distancia, la UNISA de Sudáfrica (<http://www.unisa.ac.za/>). En 1947, a través de Radio Sorbonne se transmitieron clases magistrales, con regularidad y sistematicidad en casi todas las materias literarias de la Facultad de Letras y Ciencias Humanas de París. En 1962, se inicia en la península ibérica una experiencia de "Bachillerato radiofónico" y la Universidad de Delhi organiza un departamento dedicado a los estudios por correspondencia, con el propósito de atender a la población que no podía asistir a la universidad por obligaciones laborales o falta de recursos económicos. También en 1968, se creó el "Sistema de telesecundaria" en México con el objetivo de brindar una adecuada atención en materia de educación a los sectores de la población que residían en lugares apartados de los centros urbanos.

En 1969 surgió la Open University del Reino Unido (<http://www.open.ac.uk/>), pionera en lo que hoy se conoce como educación superior a distancia -esta institución inició sus cursos en 1971, producía sus materiales didácticos en el texto impreso y en audio. Más tarde integró estos materiales en video grabados y discos compactos, con

paquetes de programas y transmisiones de videos a través de la British Broadcasting Corporation-BBC. En 1970, se incorporan Athabasca University de Canadá, la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED) española en 1972 (<http://www.uned.es/>), la Everyman's University de Israel en 1973, y la Fernuniversität (FEU) de Alemania en 1974, la AIOU pakistaní en 1974, la de Costa Rica en 1977, la UNA de Venezuela en 1977, la STOU tailandesa en 1978, la CCCTV de China en 1978, la Open University de los Países Bajos y la Open University japonesa en 1981.

En los años 80 y 90 el aumento de estudiantes a distancia es notorio, principalmente motivado, en primer lugar, por el uso masivo del ordenador personal como herramienta de trabajo, estudio y, por qué no, ocio. Y en segundo lugar, por el desarrollo de Internet. Y es lógico, ya que la corriente competitiva globalizada empujó a todos a adquirir nuevas graduaciones y fue factor importante la revolución tecnológica y el desarrollo de Internet. Es así que, actualmente, miles de universidades a nivel mundial ofrecen programas en un abanico de opciones.

1.1.4 Períodos en la historia del e-learning

Autores como (Barrientos y Villaseñor, 2006), han definido períodos o etapas dentro del e-learning. Estos autores describen los siguientes períodos:

- **Era de la capacitación orientada en el instructor (previo a 1983).** Antes de que las computadoras fuesen ampliamente usadas, el método más empleado era la capacitación presencial dada por el instructor. Esto permitía a los estudiantes salirse de sus ambientes laborales para trasladarse e interactuar con el instructor y sus compañeros. Sin embargo, esto significaba costes y bajas durante

horarios laborales, haciendo que los proveedores de capacitación estuviesen constantemente buscando una mejor forma de capacitación.

- **Era de la Multimedia (1984-1993).** Los avances tecnológicos de este período se materializan por medios informáticos como: el programa Windows para PC, los equipos Macintosh, CD-ROM, etc. En un intento por hacer más transportables y visualmente atractivos los cursos basados en computador, éstos fueron entregados vía CD-ROM. La disponibilidad en cualquier momento y en cualquier lugar proporcionó ahorros en tiempo y coste que la anterior era no podía y ayudó a reformar la industria de la capacitación. A pesar de estos beneficios, los cursos en CD-ROM presentaron fallos en la interacción con el instructor y en presentaciones dinámicas, haciendo las experiencias lentas y menos atractivas para los estudiantes.
- **Primera ola del *e-learning* (1994-1999).** Al evolucionar la Web, los proveedores de capacitación empezaron a explorar cómo estas nuevas tecnologías podrían mejorar la capacitación. El advenimiento del correo electrónico, *web browsers*, HTML, *media players*, audio/vídeo de baja fidelidad y simple Java empezaron a cambiar la cara de la capacitación basada en la multimedia. La tutoría vía *e-mail*, intranet CBT con textos y gráficos simples y capacitación basada en web empezaron a emerger.
- **Segunda ola del *e-learning* (2000-2005).** Avances tecnológicos, incluyendo aplicación de red Java/IP, acceso a anchos de banda y diseños avanzados de sitios web están revolucionando la industria de la capacitación.

Barrientos y Villaseñor, afirman que una tercera ola del e-learning (2005-2010) será de disonancia. La dependencia de los desarrollos tecnológicos prevalece sobre los avances en el conocimiento del aprendizaje, a pesar de que las neurociencias están en auge actualmente y, por otra parte, si bien la investigación en educación a distancia se ha orientado últimamente al aprendizaje más que a la tecnología, aún persiste en el área poca evidencia de los resultados asociados al aprendizaje y predominan estudios de casos, con experiencias exitosas aisladas y limitadas en su replicación. (Barrientos y Villaseñor, 2006)

En Wilson, se ofrece un repaso de tendencias relacionadas con la educación a distancia y tecnologías del aprendizaje. Destacándose entre otras las tecnologías de los sistemas educativos, el enfoque centrado en el que aprende, paradigma cambiante del diseño instruccional, unidos a movimientos de automatización del diseño educacional. (Wilson, 2002).

1.1.5 Retos del e-learning

El desarrollo de INTERNET y su impacto en la sociedad también ha afectado a la educación a distancia, ya que permite disponer de la infraestructura necesaria para la creación de escenarios de tele-enseñanza basados en computador. La espectacular expansión en los últimos años de estos escenarios y el acceso a los mismos, sobre todo en el ámbito universitario y profesional, han despertado un renovado interés en las universidades presenciales y organizaciones que se dedican a la formación por potenciar una oferta de educación a distancia.

Las nuevas tecnologías plantean también un reto al marco clásico de la Universidad a Distancia, basada en un modelo de enseñanza individual, con

materiales elaborados para soportar el auto-estudio, y donde la interactividad alumno-profesor no juega un papel relevante. Esta modalidad de enseñanza está siendo muy valorada y potenciada en las iniciativas y decisiones del Parlamento Europeo. Como ejemplo, podemos mencionar la iniciativa «*e-learning — Concebir la educación del futuro*», emprendida en mayo de 2000, o la Decisión No 2318/2003/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de diciembre de 2003 por la que se adopta un programa plurianual (2004-2006) para la integración efectiva de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en los sistemas de educación y formación en Europa (programa e-learning). Este programa incluye proyectos para desarrollar las cuatro líneas de actuación de la iniciativa e-learning (infraestructuras y equipamiento, formación, contenidos y servicios europeos de calidad y cooperación a todos los niveles) en diez acciones clave, reuniendo los diversos programas e instrumentos comunitarios, a fin de dotarlos de una mayor coherencia y de establecer una sinergia entre ellos y de mejorar la accesibilidad para los usuarios. En la Decisión No 1720/2006/CE del Parlamento Europeo y del Consejo del 15 de noviembre de 2006, por la que se establece un programa de acción en el ámbito del aprendizaje permanente. El objetivo general del programa es contribuir, mediante el aprendizaje permanente, al desarrollo de la Comunidad como sociedad del conocimiento avanzada, con un crecimiento económico sostenible, más y mejores puestos de trabajo y una mayor cohesión social, garantizando al mismo tiempo una buena protección del medio ambiente en beneficio de las generaciones futuras. En particular, pretende estimular el intercambio, la cooperación y la movilidad entre los sistemas de educación y formación dentro de la Comunidad, de modo que se conviertan en una referencia de calidad mundial.

La expansión plantea retos fundamentales centrados en la efectividad del aprendizaje y en la composición de los escenarios educativos. Es necesario, por un lado un replanteamiento del uso de la tecnología en la educación universitaria a distancia, ya que el simple uso de ésta no se traduce necesariamente en una mejora real del proceso educativo. Al mismo tiempo, es necesario también un nuevo enfoque en la autoría de estos materiales telemáticos que permitan avanzar hacia la creación de escenarios educativos con los que interactúan estudiantes y profesores.

1.2 Sistemas de gestión de aprendizaje

A partir de mediados de los 90, se han ido desarrollando lo que se ha dado en llamar Plataformas de e-Learning o LMS (Learning Management Systems, Sistemas de Gestión del Aprendizaje), que agrupan funcionalidades de gestión y distribución de contenidos formativos, herramientas de comunicación y utilidades para el seguimiento en un entorno más o menos cerrado.

Existen una enorme cantidad de LMS en el mercado, más de 2.000 según un recuento reciente. Desde los grandes sistemas al estilo de los ERP integrados (a precios igualmente elevados), como puedan ser *SumTotal* o *Saba*, a los sistemas de tamaño medio con orientación universitaria como *WebCT* o *Blackboard*, y aplicaciones *Open Source* totalmente gratuitas como *Doleos* o *Moodle*.

Los LMS, según autores como (Baumgartner, 2002), se pueden clasificar según distintos modelos educativos, entre los cuales se encuentran los siguientes:

- **Transmitir conocimientos** (*Modelo I*). En este modelo, el origen de los conocimientos de los estudiantes se basa en los conocimientos del profesor. Los profesores saben lo que los estudiantes necesitan aprender y es responsabilidad de los profesores transmitir estos conocimientos a los estudiantes de la forma más sencilla posible. Los conocimientos transferidos son conocimientos extraídos del profesor, preparados de una forma especial (lo que se conoce como “preparación didáctica”), de modo que los estudiantes puedan captar el contenido rápidamente, además de memorizarlo a largo plazo. Existen algunos vínculos y relaciones entre este modelo y el conductismo, una teoría del aprendizaje hoy en día obsoleta.
- **Adquirir, compilar y acumular conocimientos** (*Modelo II*). Este modelo de enseñanza parte de que el aprendizaje es un proceso activo, que el estudiante debe planificar, revisar y reflexionar. El estudiante es una entidad activa, y su actividad es lo que apoya el proceso de aprendizaje o incluso una condición necesaria para éste. En el *Modelo I*, el profesor no se interesa por controlar, ni siquiera por observar las actividades de aprendizaje propiamente dichas llevadas a cabo por el estudiante. Sólo cuentan los resultados. En cambio, en el *Modelo II*, el profesor supervisa todo el proceso de aprendizaje, con sus pasos intermedios, sus dificultades y sus resultados provisionales. En el *Modelo I*, los estudiantes básicamente obtienen como respuesta “mal” o “bien”, mientras que en el *Modelo II*, los profesores intentan ayudar a corregir los supuestos erróneos o las actitudes de aprendizaje incorrectas, además de asistir al estudiante en el proceso de reflexión para ayudarlo a construir un

modelo mental coherente sobre el tema. El *Modelo II* es afín al cognitivismo.

- **Desarrollar, inventar y crear conocimientos** (*Modelo III*).
En el *Modelo II*, los profesores presentan todos los problemas y ejercicios que hay que realizar. Pero si queremos enseñar a los estudiantes a dejarse ayudar por los profesores, a inventar cosas nuevas, y a producir y generar nuevos conocimientos, tenemos que crear un entorno de aprendizaje nuevo. Y tiene que ser un entorno desafiante, suficientemente complejo, incierto, inestable y único para que las viejas soluciones y el conocimiento tradicional ya no sirvan. En el *Modelo III*, tanto los profesores como los estudiantes deben sumergirse en una situación cuyo resultado no está predeterminado. Ambas partes deben controlar las situaciones que se planteen, y puede que la diferencia entre profesores y estudiantes sea tan sólo que el profesor tiene más experiencia y más metaconocimiento sobre cómo abordar situaciones complejas (por ejemplo, cómo diseñar experimentos locales). El *Modelo III* presenta fuertes vínculos con el constructivismo.

En la enseñanza, los ambientes colaborativos son esenciales, la comunicación juega un papel esencial en el proceso de aprendizaje. Como señalan varios autores desde posiciones constructivistas, el rol del profesor asume entre sus funciones más significativas la de facilitar los procesos mediante los cuales el estudiante construye su aprendizaje, y para ese papel de mediación, la interactividad es una de las mejores herramientas. De las propiedades que presenta la comunicación, a través de diálogos con los alumnos, destacamos su carácter discursivo, que permite que, entre los mismos alumnos, y entre éstos y el profesor, se contrasten sus respectivos esquemas cognoscitivos. Además, todo este proceso permite al estudiante recibir una retroalimentación sobre las

acciones que realiza. Este planteamiento se enmarca en el concepto de ambiente colaborativo. Es por todo ello que el e-learning debe ajustarse a planteamientos basados en la comunicación y no debe limitarse al mero transporte físico de información; es fundamental la creación de formas de explorar y ejercitar el material que exhiban estas propiedades o, al menos, que las proporcionen en la medida de lo posible.

Por un lado, en el marco tecnológico actual, las plataformas educativas existentes empleadas como medio educativo no suelen presentar los mecanismos antes mencionados, sino que ofrecen soluciones basadas en comunicación síncrona que, en la mayoría de los casos, y dado el elevado número de alumnos por profesor, no permiten este tipo de comunicación de forma fluida. Esto limita el tiempo, que tiene el profesor, para crear un ambiente colaborativo o participativo, y no permite evaluar las intervenciones de los participantes y dirigir el debate que se establece entre los participantes hacia los objetivos deseados.

1.3 Especificaciones y estándares en el e-learning

El empleo de estándares en el marco de las tecnologías educativas supone un avance en la modularidad y la interoperabilidad, entre los componentes de software educativo. La estandarización en el área de las tecnologías para la educación es importante por diversas razones. (Anido et al., 2001; Friesen & McGreal, 2002). Un marco común de desarrollo ayuda a que se definan y establezcan criterios de descripción comunes de los componentes de los sistemas educativos, lo que constituye una tarea fundamental, para la consecución de los objetivos antes mencionados. Su existencia se considera,

por otra parte, esencial para el desarrollo con éxito de los sistemas basados en las tecnologías educativas.

Se han desarrollado varios estándares o especificaciones en el campo del e-Learning, citando a ADL SCORM (<http://www.adlnet.gov/>), AICC (<http://www.aicc.org/>) e IMS (<http://www.imsglobal.org/>), como los más extendidos. Todos estos estándares, promueven la interoperabilidad de contenidos y plataformas de diferentes fabricantes. Y todos ellos proponen la separación entre plataforma o LMS y contenido a través de dos caminos básicos: las especificaciones de empaquetamiento; y las especificaciones de exámenes.

El “empaquetamiento” (packaging) consiste en etiquetar el contenido de tal modo que pueda ser reconocido como tal por el LMS y permita su carga en el sistema. En el caso de las especificaciones ADL SCORM e IMS (las más extendidas en la actualidad), esto se hace describiendo el contenido en un archivo XML donde se referencian todos los recursos que agrupa dicho contenido. Existen varias herramientas para “empaquetar” contenidos y una buena opción gratuita es Reload Editor (<http://www.reload.ac.uk/>).

Por otro lado, las especificaciones de exámenes se refieren a la forma en que el contenido debe registrar la actividad del usuario en los exámenes de auto-evaluación y otras actividades que el curso incluya. Estas especificaciones consisten en la implementación de una API que pone en comunicación el contenido con el LMS.

La especificación IMS Question and Test Interoperability (IMS QTI) permite crear preguntas individuales y evaluaciones completas. El objetivo principal de esta especificación es permitir el intercambio de preguntas,

evaluaciones y resultados entre distintas herramientas. Con este propósito IMS QTI plantea un modelo en el que se definen los componentes principales que intervienen en el proceso de evaluación y, adicionalmente a este modelo, se proporciona un formato de contenido para almacenar las preguntas de manera independientemente del sistema o herramienta de autoría utilizada para crearlas. Hace uso de estándares ampliamente utilizados en el ámbito empresarial y técnico, permitiendo el uso de las mismas preguntas entre diversos sistemas de gestión de aprendizaje o LMS, entre sistemas de evaluación electrónica independientes y la integración en un único LMS de preguntas y exámenes desarrollados con distintas herramientas. Por otro lado se propone un sistema coherente para que los sistemas puedan informar de cual es el resultado de una evaluación.

IMS QTI permite la construcción de almacenes o repositorios de preguntas que sean directamente utilizables en distintos sistemas LMS (e incluso para crear e imprimir exámenes tipo test que los alumnos realicen por escrito). Esto puede ser muy útil cuando se generalice la representación mediante QTI de los repositorios de libre acceso existentes.

La generalización de este tipo de almacenes y su libre disposición en formato compatible con otras plataformas puede simplificar la tarea de los docentes, especialmente dada la situación actual en la que diversos LMS comerciales o libres dan algún tipo de soporte a este formato.

Las primeras versiones de la especificación se centraban principalmente en cómo se presentaba finalmente la pregunta, ahora se definen los posibles tipos de interacciones por parte del usuario (por ejemplo seleccionar uno o más elementos de una lista, crear asociaciones entre elementos de dos listas,

introducir texto, seleccionar un trozo de texto de un texto más largo, etc).

Además de todas las interacciones contempladas introduce un tipo de interacción propio para poder extender el modelo y crear nuevas formas de interacción para poder introducir nuevos tipo de preguntas. Es decir QTI no es modelo completo y cerrado si no que permite que si una empresa lo considera oportuno pueda extenderlo y ampliarlo (eso sí esos nuevos tipo de preguntas creados por ampliación no serían reconocidos necesariamente por otro sistema QTI).

También tiene plantillas de preguntas para crear familias de preguntas similares pero en la que hay partes variables que se seleccionan de manera aleatoria entre un conjunto de valores predefinidos.

Otra de las novedades que introduce son las preguntas adaptativas que permiten al alumno realizar varios intentos sobre dicha pregunta. Esto permite, por ejemplo, que el alumno pueda alterar su respuesta debido a la realimentación, por ejemplo, la presentación de alguna pista en caso de que la respuesta sea incorrecta o parcialmente incorrecta, o que se le planteen preguntas adicionales en función de su respuesta actual.

La versión más actual de IMS QTI es la versión 2.1 (aparece en 2006) está actualmente en proceso de evolución en modo borrador sobre el que la comunidad, tanto educativa como técnica, puede opinar. El objetivo de esta nueva versión es seguir con el proceso de simplificación y evolución de la especificación, esta vez dando soporte a los exámenes completos y al intercambio de los resultados de los mismos. Además también se incluye información para clarificar la compatibilidad y el uso de IMS QTI con algunas otras de las especificaciones ya existentes.

Diversos organismos están en la actualidad participando activamente en el desarrollo de propuestas de estandarización. Entre las iniciativas más conocidas, se encuentran las siguientes:

- Organismos de normalización como el IEEE, en los EE.UU, y el CEN en Europa. El IEEE tiene desde 1996 un grupo de trabajo en la estandarización de tecnologías educativas: el Learning Technology Standardization Committee, y otro en la promoción y seguimiento de los desarrollos en tecnologías educativas, el Learning Technology Task Force.
- En Europa, el Comité Europeo de Normalización (CEN) trabaja también en la estandarización de tecnologías educativas, junto con el Joint Technical Committee in Learning Technologies de la ISO, con sede en Suiza.
- Las actividades de diversos proyectos y consorcios como el IMS, la fundación Ariadne, la iniciativa PROMETEUS de la Comisión Europea, el Consorcio W3C y otras entidades que han desarrollado propuestas concretas como es el caso de la Universidad de Dublin en Ohio con la especificación de un esquema de metainformación conocido como *Dublin Core Metadata*.

1.4 La evaluación y clasificación de las preguntas

La integración de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones en la Educación ha propiciado el aprendizaje activo, que a su vez estimula el cambio de una enseñanza centrada en el maestro a otra centrada en el estudiante. Este paradigma exige un mayor compromiso por parte del alumno en su propio proceso de aprendizaje, y requiere la exploración de nuevas formas de evaluación que permitan medir su progreso. El software

educativo ha evolucionado en consonancia con las concepciones del aprendizaje, pasando de unas concepciones conductistas a una concepción más constructivista del aprendizaje. Su base radica en el planteamiento al alumno de situaciones nuevas a las que pueda enfrentarse con éxito para ir construyendo su propio conocimiento, marcado por el tipo de teoría subyacente a su diseño, producción y uso. (Duarte, 1996).

Resulta evidente que las mismas actividades que se proponen para el aprendizaje de unos contenidos, pueden ser usadas legítimamente para evaluar su adquisición. (Jonassen, y Rorher-Murphy, 1999). Los entornos de aprendizaje constructivistas y la evaluación alternativa ayudan a hacer difusa la tradicional división entre aprendizaje y evaluación, que es endémica en la mayoría de los escenarios educativos, y sugieren una serie de razones por las que, en un entorno constructivista, no tiene sentido la separación entre actividades de aprendizaje y de evaluación:

- Los entornos de aprendizaje constructivistas están relacionados con el qué y el cómo del aprendizaje, o lo que es lo mismo, no sólo con los resultados de aprendizaje, sino también con los procedimientos por medio de los cuales se aprende.
- La evaluación en entornos de aprendizaje constructivistas debe ser tan amplia y variada como el entorno mismo.
- Las limitaciones de recursos y tiempo sugieren que las mismas actividades que sirven para aprender sirvan también para evaluar.
- La evaluación debería presentarse de forma marcadamente distinta que en los tradicionales contextos de evaluación, que analiza el conocimiento de forma fragmentada y descontextualizada en lugar de analizar la actuación ante tareas del mundo real.
- La apertura y transparencia debe presidir los procedimientos y criterios de evaluación, del mismo modo que el constructivismo

fomenta un diálogo similar con relación a qué aprender y de qué forma hacerlo.

- El aprendizaje es un proceso activo en el que los estudiantes construyen una estructura de conocimiento usando su propio conocimiento existente.
- El conocimiento y el aprendizaje se enfocan a la situación en la que ocurren.

A ello puede contribuir el uso de pruebas autoverificables, que, en cualquier caso, necesita complementarse con otras modalidades más divergentes, como los ensayos abiertos o tareas de desarrollo en torno a un tópico, así como evaluaciones que consideren la auto-revisión, la evaluación entre iguales, el nivel de participación en listas de discusión, es decir, fomentar ambientes colaborativos, estando limitadas estos tipos de pruebas o intervenciones abiertas por las dificultades de los LMS (Sistemas de Gestión del Aprendizaje) actuales de poder adquirir conocimiento, reutilizarlo y su posterior almacenamiento. Estas otras modalidades no tienen por qué ser distintas de las tareas propuestas para el aprendizaje, siempre y cuando en su diseño intervengan algunos de los principios del aprendizaje adulto:

- El foco de las actividades de aprendizaje y evaluación ha de estar en la aplicación y el uso activo del conocimiento en situaciones reales y poco definidas.
- La propuesta de tales actividades debe responder a objetivos claros y explícitos.
- El alumno debe encontrar valor formativo y, a la vez, evaluativo en tales tareas, por lo que la optatividad y diversidad en las propuestas debe ser una variable real.

- El propósito mismo de la evaluación debe estar orientado a enfatizar los puntos fuertes del estudiante y proporcionarle información que le capacite para tomar sus propias decisiones sobre metas y actividades de aprendizaje.
- Es importante fomentar la reflexión sobre las tareas realizadas, la autoevaluación con respecto al nivel de dominio de los contenidos, y el intercambio y revisión de productos entre compañeros.

La evaluación es parte integral del proceso de aprendizaje y no puede ni debe ser dissociada de éste. El papel primario de la evaluación en el proceso individual de aprendizaje es obtener información útil que, al ser transmitida rápidamente al estudiante, le permita saber, en todo momento, si va por el camino apropiado para alcanzar las metas que se le han propuesto. Dicha información le permitirá al estudiante por sí sólo, o con la guía del profesor, conocer sus deficiencias y sus fortalezas y, en el primer caso, le posibilitará idearse actividades o estrategias que le permitan superarlas.

Existe variedad de estrategias de evaluación en la formación universitaria presencial, en la formación de personal y en el e-learning. En la tabla 1.1 Kember menciona las principales estrategias de evaluación. (Kember, 1991).

Tipo de evaluación	Aspectos evaluados	Ventajas	Desventajas
I Preguntas tradicionales de desarrollo	Memorización de hechos Comprensión de ideas Capacidad para organizar el material Capacidad para desarrollar un argumento Originalidad del propio pensamiento	Fácil de crear	Su corrección lleva demasiado tiempo La calificación es poco fiable Se cubren pobremente los contenidos Favorece a quienes escriben de forma rápida y fluida Feedback a los estudiantes limitado
II Exámenes de desarrollo con preguntas	Igual que para I Capacidad para usar referencias en la	Más natural Produce un mejor nivel de pensamiento	Igual que para I Más difícil de valorar su validez

preestablecidas	preparación Reflexión sostenida		
III Exámenes de desarrollo con el libro abierto	Igual que para I Uso de destrezas bibliográficas	Más natural Reduce el énfasis sobre la memorización	Igual que para I Gran énfasis sobre la velocidad
IV Ensayos en evaluación continua	Igual que para I Uso de destrezas bibliográficas	Tarea natural si se planifica con cuidado Reduce el énfasis sobre la memorización	Igual que para I Posibilidad de confabulación contra terceros, plagio o regurgitación
V Preguntas escritas de respuesta breve	Memorización de hechos Comprensión de ideas, teorías	Amplia cobertura de los contenidos Rápida corrección Puntuación más fiable Mayor feedback a los estudiantes	Limita la oportunidad de mostrar originalidad o defender un argumento
VI Preguntas de opción múltiple	Memorización de hechos Comprensión de ideas, teorías	Rápida corrección Puntuación más fiable Amplia cobertura de los contenidos Mayor feedback a los estudiantes	Difícil de preparar sin errores No se pueden evaluar las destrezas de organización y originalidad
VII Evaluación oral	Fluidez oral Evalúa el razonamiento que hay tras el propio pensamiento Evalúa cualidades personales	Flexible Útil para confirmar otras evaluaciones Más válido en asignaturas con un componente oral	Requiere mucho tiempo Baja fiabilidad en la puntuación Dificultad de estandarizar las preguntas El efecto 'halo' introduce sesgos Favorece a los extrovertidos
VIII Prácticas	Destrezas prácticas Aplicación de principios	Método válido sólo para evaluar tales destrezas	Requiere tiempo Poca fiabilidad en la puntuación Dificultad de estandarizar cuestiones
IX Trabajo de campo	Destrezas de trabajo de campo Aplicación de principios	Igual que para VIII	Igual que para VIII
X Proyecto de investigación	Capacidad para planificar un trabajo original Capacidad para buscar información relevante Capacidad para desarrollar un argumento Capacidad para sacar conclusiones propias	Desarrolla destrezas importantes en el estudiante Revela la profundidad del propio pensamiento	Dificultad de evaluar de manera objetiva.

Tabla 1.1. Métodos de evaluación.

En todos estos métodos evaluativos se evidencian ventajas y dificultades en su empleo, lo que obliga al profesor a realizar una correcta selección e identificación de los aspectos a evaluar y de las posibles dificultades en la corrección de las actividades evaluativos que desarrolla.

1.4.1 Clasificación de las preguntas

En la taxonomía de los niveles del comportamiento intelectual del aprendizaje desarrollada por (Bloom, 1956), se identificaron seis niveles (Figura 1.1). La idea principal de la *Taxonomía de Bloom*, es que el conocimiento que reciben los estudiantes por parte de los profesores puede ser organizado en una jerarquía desde lo menos complejo hacia lo más complejo.

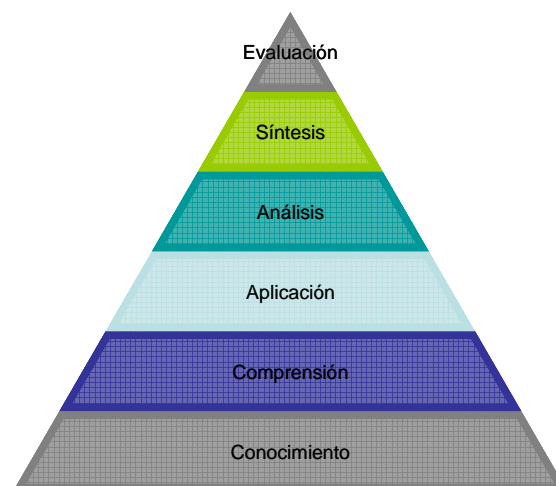


Figura 1.1. Pirámide de dominios del aprendizaje.

El dominio cognoscitivo, de memoria o del reconocimiento simple de hechos, fue calificado como el nivel más bajo; el nivel más alto fue la

evaluación donde el conocimiento es más abstracto y complejo. Los niveles y sus principales funciones serían:

- **Conocimiento.** La categoría más simple, pero es la más básica para el desarrollo del conocimiento. Se refiere a la etapa de recordar la información y que por tanto es necesaria para poder llevar a cabo subsiguientes procesos mentales.
- **Comprensión.** Es el nivel más bajo del entendimiento. Se refiere a la capacidad para entender el significado de lo que se está comunicando. El estudiante demuestra que puede: presentar la información de otra forma, hacer inferencias, llegar a conclusiones, predecir situaciones futuras, buscar interrelaciones.
- **Aplicación.** Hacer uso del conocimiento. El estudiante debe ser capaz de seleccionar, transferir y usar datos y métodos para resolver una nueva tarea o un problema completo sin o con una mínima dirección.
- **Análisis.** El alumno distingue, identifica, clasifica y relaciona hipótesis, evidencias o estructuras de la información dada. Puede verse como la etapa en la que el alumno es capaz de descomponer un problema en sus partes constituyentes, deducir las relaciones entre las partes así como los principios organizacionales que los unen.
- **Síntesis.** El estudiante es capaz de generalizar ideas y de integrarlas, combinarlas o generar nuevas para resolver o realizar algún problema que es nuevo para él.
- **Evaluación.** El alumno está capacitado para comparar, criticar razonadamente y evaluar un conjunto de nuevas ideas o métodos para resolver un problema nuevo. También es capaz de discernir

Categoría	Conocimiento	Comprensión	Aplicación	Análisis	Evaluar	Crear
Descripción	Recoger información	Confirmación Aplicación	Hacer uso del Conocimiento	(Orden Superior) Dividir, Desglosar	(Orden Superior) Juzgar el resultado	(Orden superior) Reunir, Incorporar
Las habilidades que se deben demostrar en este nivel	Observación y recordación de información; conocimiento de fechas, eventos, lugares; conocimiento de las ideas principales; dominio de la materia	Entender la información; captar el significado; trasladar el conocimiento a nuevos contextos; interpretar hechos; comparar, contrastar; ordenar, agrupar; inferir las causas predecir las consecuencias	Hacer uso de la información; utilizar métodos, conceptos, teorías, en situaciones nuevas; solucionar problemas usando habilidades o conocimientos	Encontrar patrones; organizar las partes; reconocer significados ocultos; identificar componentes	Comparar y discriminar entre ideas; dar valor a la presentación de teorías; escoger basándose en argumentos razonados; verificar el valor de la	Utilizar ideas viejas para crear otras nuevas; generalizar a partir de datos suministrados; relacionar conocimiento de áreas diversas; predecir conclusiones derivadas

Tabla 1.2. Resume los niveles de objetivos de cada nivel de la capacidad.

Aunque pueden aparecer infinidad de clasificaciones de los tipos de preguntas, casi tantas como entornos formativos a distancia se han construido. Entre estas clasificaciones de las preguntas se pueden mencionar dos categorías:

- **Preguntas abiertas o desarrollo**, aquellas en las que el alumno deberá responder con un texto libre, en este caso sería el ensayo el que se ajusta a esta clasificación.
- **Preguntas cerradas u objetivas**, aquellas en las que el alumno debe seleccionar una respuesta de entre las muchas posibles, y en la que sólo una respuesta (o muy pocas de ellas) es la correcta, y no hay lugar a matices, todas la anteriores excepto el ensayo, pudiera estar en esta clasificación.

Diversos autores coinciden en que los órdenes superiores de la “*Taxonomía de Blooms*”, deben ser evaluadas con la ayuda de preguntas abiertas. Las preguntas abiertas no son difíciles de escribir para el profesor, pero evaluarlas sí lo es. La calificación se puede basar en cualidades superficiales de la respuesta, tales como, la presencia de términos importantes. En este caso, resulta fácil para los estudiantes engañar al sujeto calificador escribiendo líneas y líneas de generalizaciones y cosas sin sentido que incluyan los términos que el sujeto calificador está buscando. Para el proceso adecuado de calificación, es necesario leer las respuestas cuidadosamente y buscar la claridad y la lógica. Si el sujeto calificador debe revisar un gran número de exámenes, esto se vuelve agotador, especialmente porque generalmente conocen el material a un nivel superior del que se espera que lo conozcan los estudiantes. Lo anterior, es una de las problemáticas que se enfrenta en la investigación que se desarrolla.

En la tabla 1.3 se analiza las ventajas y desventajas del empleo de las preguntas abiertas y cerradas como elemento para la evaluación. (Zamora, 2002).

Respuesta cerrada	Respuesta abierta
En general son mejores para evaluar conocimiento memorístico y comprensión.	En general son mejores para evaluar capacidades de orden superior.
Mejores para evaluar mucho material no conexo, ya que se pueden utilizar muchas preguntas en un examen.	Mejores para evaluar al final de un módulo, un cuerpo coherente de material o al término de una asignatura ya que, en general, los objetivos finales de una asignatura corresponden a capacidades de orden superior.
La corrección de cada pregunta es muy rápida. Sin embargo, no le permiten al profesor realmente identificar fortalezas y debilidades en el razonamiento de los estudiantes.	Requieren mayor tiempo de corrección. Sin embargo, el profesor cuenta con mayores elementos para ofrecer feedback y abrir la posibilidad de diálogo con los estudiantes.
La aplicación de un examen toma menos tiempo y esta es la razón para que sean tan populares.	La aplicación del examen toma más tiempo, particularmente si lo que se exige es un ensayo relativamente elaborado.
En términos totales de tiempo de corrección, son apropiadas para clases con muchos estudiantes.	En términos de tiempo total de corrección, es preferible para grupos de pocos estudiantes.
Se prestan para que haya fraude, que es difícil de identificar a posteriori ya que es muy fácil de ver u oír la respuesta correcta.	Permiten menos posibilidad de fraude, y si éste se presenta es relativamente fácil de identificar a posteriori.
Una buena pregunta, especialmente de múltiple selección, es muy difícil de construir y, por lo tanto, hay que emplear mucho tiempo. Además, un examen compuesto únicamente por este tipo de preguntas requiere generar mayor número de preguntas.	Más fáciles de construir y, por lo tanto, su generación necesita menos tiempo, pero, como se ha expresado anteriormente, requieren mucho más tiempo para su calificación, aunque la retroalimentación (feedback) posible a los estudiantes es de mucho mejor calidad.
Es mayor la consistencia en la nota asignada por el profesor, ya que, simplemente, el estudiante selecciona o no selecciona la respuesta correcta.	Puede existir la posibilidad de que no haya consistencia en la asignación de las notas. Muchas veces, una reclamación de un estudiante comienza con la frase ¿por qué yo saqué dos en este punto cuando Fernando, que respondió lo mismo, sacó un diez?
Puesto que, generalmente, se debe generar una gran cantidad de preguntas para un examen, se puede ir construyendo un banco de preguntas propio, que pueden ser utilizadas con varios grupos, ya que es muy difícil que estudiantes que ya han tomado el curso recuerden todas las preguntas que tuvieron que contestar.	Puesto que en este tipo de preguntas es más lo que se espera del estudiante que la información que se proporciona, es muy difícil generar muchas preguntas diferentes. Sin embargo, hay muchas que permiten su utilización varias veces y, no por esto, dejan de ser efectivas para evaluar capacidades de orden superior. Por ejemplo: Realice un análisis estadístico completo del siguiente conjunto de datos.
En términos del desarrollo y consolidación de la capacidad de comunicarse, no proporcionan la posibilidad al profesor de ofrecer retroalimentación (feedback) al estudiante, aprovechando el momento de evaluación. Favorecen a los estudiantes que leen bien.	Ofrecen la oportunidad al profesor de proporcionar retroalimentación (feedback) al estudiante sobre su capacidad de comunicación. Claro está, y queda la duda de si esto es una ventaja o una desventaja, este tipo de pregunta favorece a aquellos estudiantes que escriben bien.

Tabla 1.3. Ventajas y desventajas entre preguntas abiertas y cerradas.

De la tabla anterior se pueden elaborar algunas conclusiones, una de las más importantes, es el gran componente humano que se emplea en la calificación de las preguntas abiertas, al emplearse gran cantidad de tiempo en la actividad por el profesor, y la casi imposibilidad de realizar una satisfactoria evaluación sin el empleo de las preguntas abiertas. El proceso de la calificación es un proceso donde se leen las respuestas y se evalúan según los criterios del evaluador, lo que limita el empleo de herramientas automatizadas o semiautomatizadas en la evaluación de las respuestas dadas por los estudiantes cuando se emplean preguntas abiertas.

1.4.2 La evaluación y sus usos frecuentes

El contexto de las evaluaciones, en el proceso de aprendizaje es importante definirlo. El punto de mira de los estudiantes es siempre la evaluación. Su aprendizaje se basa en la manera de evaluarlos, pues, en muchos casos tan sólo estudian para ser cualificados. Desde el enfoque del nuevo paradigma de formación al que acontecemos, la evaluación se convierte en un objeto de aprendizaje más para el alumno. Esto ocurre cuando el alumno pasa de ser una persona evaluada a ser un agente activo de su propia evaluación (Coll, 1997; Bordas, 2001) y, por tanto, aprende de ella. Se cree que debido a sus características metodológicas este planteamiento se enfatiza en los programas de formación en el e-learning, aspecto en el cual nos vamos a centrar.

Algunas de las funciones básicas que deben considerarse en la planificación de la evaluación serían (Bordas, 2001):

- a) La evaluación del alumno es el punto de partida para ajustar progresivamente la ayuda pedagógica a sus características y

necesidades. Es decir, la evaluación se presenta igualmente importante durante un momento concreto (evaluación sumativa) como a lo largo de todo el proceso (evaluación continua).

b) La evaluación detecta la consecución de las intenciones educativas del proyecto curricular. En este sentido, la evaluación favorece la planificación curricular en tanto que analiza la consecución de los objetivos y de los contenidos a lo largo del proceso de didáctico, con el fin de adaptar y mejorar la acción educativa.

Un curso de formación en el e-learning puede quedar condicionado por lo se quiere evaluar. Si las dimensiones de este proceso no están perfectamente definidas puedan malograr el desarrollo del curso. Según se estructuren el tipo de pruebas y estrategias el alumno entenderá que la evaluación es un elemento más de su aprendizaje o, por el contrario, lo asociará a un elemento de control. En este sentido, deben promover el recuerdo, la comprensión, la asimilación y la reconstrucción de acciones o significados.

A continuación se describen los cinco propósitos usos primarios de las evaluaciones:

1. **Diagnóstico.** Evaluación creada para identificar las necesidades y los conocimientos que los participantes ya tienen, con el propósito de dirigirlos hacia una experiencia de aprendizaje más apropiada.
2. **Formativa.** Evaluación que tiene como objetivo primario probar la capacidad de memorización del alumno y ofrecer un feedback preceptivo (por ítem, tópico y/o nivel de evaluación).
3. **Necesidades.** Evaluación usada para determinar el conocimiento, las habilidades y las actitudes de un grupo, permitiendo de esta manera el análisis de las carencias y ayudar al desarrollo del curso. El

análisis de las carencias determina la diferencia entre lo que el alumno sabe y lo que debe saber.

4. **Reacción.** Evaluación creada para determinar el nivel de satisfacción en relación a una experiencia de aprendizaje o de evaluación. Estas evaluaciones son generalmente conocidas como evaluaciones de *Nivel 1* en la clasificación realizada por (Kirkpatrick, 1994), son evaluaciones sobre el curso o de satisfacción; son completadas al final de una experiencia de aprendizaje o de certificación.
5. **De Suma.** Evaluación generalmente cuantitativa, cuyo objetivo primario es atribuir una nota definitiva y/o hacer un juicio sobre los conocimientos del participante. Si el resultado muestra que el participante alcanzó un estándar determinado, esto señala un nivel de conocimiento especial, por lo que la “certificación” le podrá ser entonces conferida.

Como puede entenderse, la evaluación no se trata de una simple recogida de información. Aún más, se habla de un proceso amplio y complejo que requiere de la sistematización de una serie de etapas que deben estar previamente planificadas. En primer lugar, las estrategias de evaluación han de estar integradas y planificadas correctamente dentro del proceso curricular. Y, en segundo lugar, esto nos hace pensar que la evaluación estará presente en todo momento, con la finalidad de proporcionar información, para la toma de decisiones, sobre cómo aprende y avanza el alumno en la construcción de significados.

Existen muchos estilos de evaluaciones que no son abordados en este documento, como evaluaciones médicas realizadas por un médico, evaluaciones de riesgos en hospitales y evaluaciones para la acreditación en las facultades y universidades. En el proceso evaluativo se emplean términos

genéricos de las evaluaciones para describir pruebas, tests, encuestas y exámenes. Estos instrumentos evalúan los conocimientos, las habilidades y las actitudes de los alumnos. La tabla 1.4 define algunos de los términos más empleados.

Términos	Descripción
Evaluación	Cualquier método sistemático de obtención de evidencia desde la realización de preguntas para generar inferencias sobre el conocimiento, las habilidades, las actitudes y otras características de las personas para un propósito específico.
Examen	Una evaluación de suma usada para medir los conocimientos o habilidades del alumno, con el propósito de documentar su nivel actual de conocimiento o habilidad.
Prueba	Una evaluación de diagnóstico para medir los conocimientos o habilidades del alumno, con el propósito de informarle a él o a los profesores sobre su nivel actual de conocimiento o habilidad.
Quiz	Una evaluación formativa usada para medir los conocimientos o habilidades del alumno, con el propósito de proporcionar feedback/retroalimentación sobre su nivel actual de conocimiento o habilidad.
Encuesta	Una evaluación de diagnóstico o de reacción para medir los conocimientos, las habilidades y/o actitudes de un grupo, con el propósito de determinar las necesidades requeridas para cumplir un propósito definido.

Tabla 1.4. Definición de términos empleados en la evaluación.

Las anteriores definiciones permiten emplear una terminología común a la hora de referirse al proceso de evaluación.

1.5 El desarrollo del e-learning en España

El e-learning experimenta una fase de investigación y desarrollo que posibilita un rápido crecimiento (Figura 1.3). Algunos datos descriptivos reflejan las buenas perspectivas que el proceso de enseñanza e-learning plantea a corto, medio y largo plazo, y que justifican la creación de herramientas para abordar los procesos de e-learning, entre ellas, la

desarrollada como resultado visible de este trabajo, destinada a la semiautomatización del proceso de evaluación.

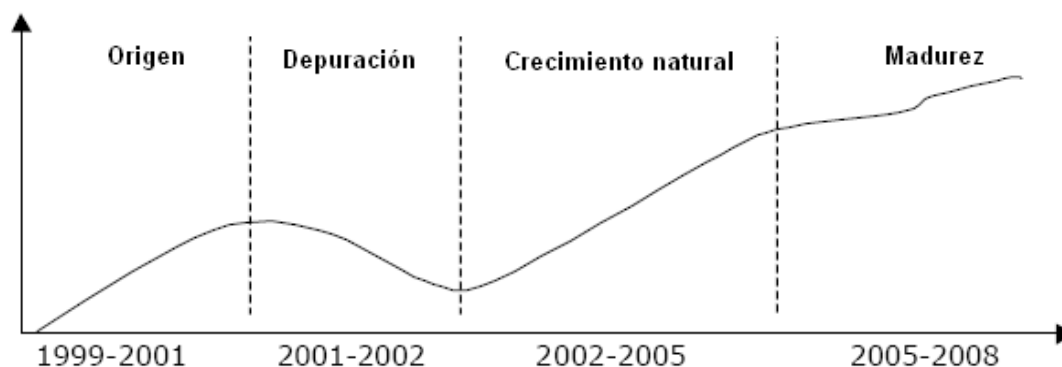


Figura 1.3. Fases de la evolución reciente y estimación futura de la evolución del e-learning en España.

En primer lugar, cabe destacar que existe interés general por el seguimiento de los cursos de e-learning desde los diferentes sectores de población, en los porcentajes reflejados en el siguiente gráfico (Figura 1.4):



Figura 1.4. Principales grupos receptores de e-learning en España.

Este interés generalizado desde diferentes sectores de la población, motiva el desarrollo de productos relacionados con el e-learning, para satisfacer las necesidades demandadas por cualquier colectivo implicado, tanto desde el punto de vista del profesor que imparte (o tutoriza) el curso, hasta el propio alumno que lo sigue. Como se aprecia en el gráfico siguiente (Figura 1.5), son muchas las experiencias piloto que tienen éxito y continúan con algún tipo de desarrollo posterior. Además, se observa que más de la mitad de los resultados obtenidos concluyen satisfactoriamente, dando lugar a una implantación completa del resultado.

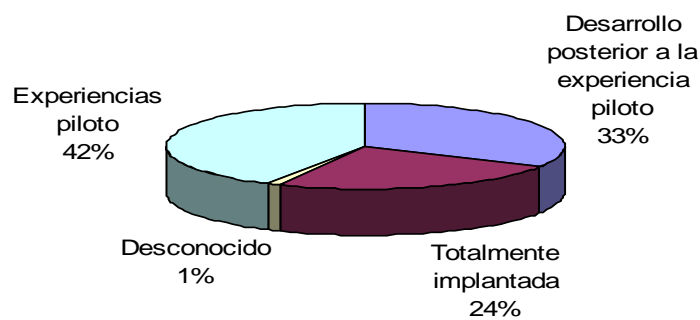


Figura 1.5. Desarrollos en e-learning en compañías españolas.

El comportamiento de la dedicación de tiempo a la formación a distancia, tiene un comportamiento creciente y sostenido. En la figura 1.6 aparece el número de horas que los españoles dedican a cursos a distancia, respecto del total de horas dedicadas a cursos de formación. Si en el 2001, solo el 2% de las horas dedicadas a cursos de formación, seguían la modalidad del e-learning, en el 2005 se pasó al 12%.

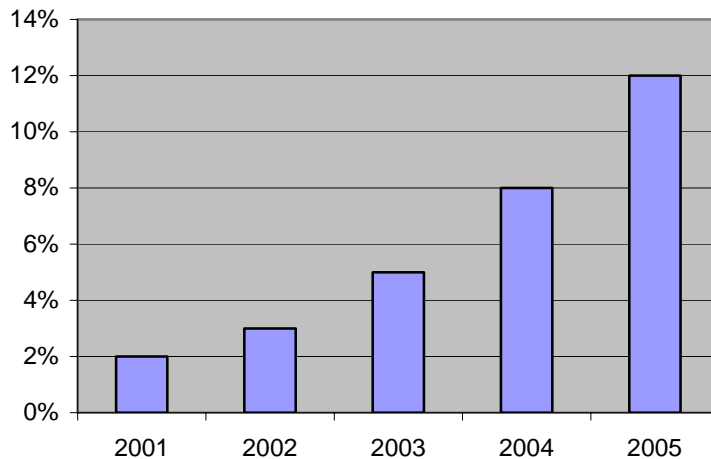


Figura 1.6. Porcentaje de horas invertidas en aprendizaje a distancia en las organizaciones españolas.

Los tipos de justificación que suelen dar las organizaciones acerca del incremento de horas dedicadas a e-learning frente a la enseñanza tradicional son básicamente dos:

- Reduce los costes del aprendizaje, tanto en tutorías como en horas de ausencia de los empleados.
- Proceso de aprendizaje más eficaz, pues los cursos son más fácilmente accesibles a través de la red, no hay necesidad de viajar y el propio alumno se organiza su tiempo de acuerdo a sus necesidades.

La siguiente tabla viene a corroborar las conclusiones extraídas del gráfico de barras de la figura 1.7, e indica un claro crecimiento del e-learning y el blended-learning (modalidad donde se mezclan forma presencial y no presencial) como nuevos métodos de aprendizaje a corto y medio plazo, así como a largo plazo.

	2003 - 2007			2008 - 2012		
	I	M	D	I	M	D
	I=Incrementa, M=Mantiene, D=Decrementa					
Presencial	21%	56%	24%	6%	38%	56%
A distancia (tradicional)	9%	21%	71%	3%	16%	81%
Elearning	82%	15%	3%	84%	9%	6%
Blended learning	88%	9%	3%	88%	9%	3%

Figura 1.7. Evolución de las principales categorías de aprendizaje.

Si bien en la actualidad, la duración normal de los cursos de e-learning es reducida en horas, se prevé un incremento en la oferta de cursos de larga duración, como demuestra en la figura 1.8.

	2003 - 2007			2008 - 2012		
	N	A	R	N	A	R
	N=Normalmente, A=A veces, R=Rara vez					
Menos de 20 horas	65%	29%	6%	76%	24%	0%
De 20 a 50 horas	30%	55%	15%	52%	27%	21%
De 51 a 100 horas	15%	30%	55%	12%	39%	48%
Más de 100 horas	6%	18%	76%	6%	27%	67%

Figura 1.8. Duración normal de los cursos de e-learning.

El estudio refleja que, a corto plazo, la importancia del desarrollo del e-learning se basa en la reducción de costes, mientras a medio largo plazo se basa en la conveniencia (en cuanto a tiempo y localización).

	2007			2012		
	VI	I	MI	VI	I	MI
	VI= Muy importante, I=Importante, MI=Poco importante					
Reducción de costes	53%	44%	3%	47%	31%	22%
Conveniencia: Cualquier momento	44%	47%	9%	66%	25%	9%
Conveniencia: Cualquier lugar	39%	48%	12%	71%	23%	6%

Figura 1.9. Factores principales que favorecen el desarrollo del e-learning.

Algunos estudios realizados por varias organizaciones corroboran que el e-learning pasa por un buen momento con indicadores claros de crecimiento, aunque no excepto de dificultades.

- Casi el 20% de la formación continua realizada durante el curso 2004-2005 fue cursada a distancia o de forma semipresencial. En estas dos modalidades, el 8,4% de los cursos de formación continua se siguieron, total o parcialmente, a través de Internet. (Estudio de DEP Consultoría Estratégica "La demanda de formación continua 2004-2005").
- Un 5% de los estudiantes del Estado español realizan sus estudios a través de Internet y de ellos la mitad cursan estudios universitarios. En total son 350.000 las personas que realizan formación por Internet (Estudio Bioeduca 2006 del Observatorio Español de Internet).
- Un 45% de las grandes empresas y administraciones públicas españolas ya destinan más del 10% de su presupuesto de formación a formación on-line, presupuesto que supone entre un 5% y un 20% del presupuesto actual de formación de las grandes instituciones. (Informe de Santillana Formación "El e-learning en la administración pública y en la gran empresa en España 2005", realizado por Millward Brown).
- Las empresas representaban el 52% de los clientes de e-learning, seguidas de las asociaciones y cámaras de comercio (26%), la administración pública (15%) y los particulares (7%), según datos del Estudio de la oferta de 2003 de la Asociación de Proveedores de e-learning (APEL).
- Además el 95% de las grandes empresas tienen iniciativas de formación on-line en marcha y el 80% cree que la formación on-line

es adecuada a sus necesidades. (Informe de Santillana Formación "El e-learning en la administración pública y en la gran empresa en España 2005", realizado por Millward Brown).

- El panel de e-learning en las Grandes Empresas españolas realizado por Grupo Doxa apunta que el e-learning representa el 6,2% de la formación empresarial, llegando al 8,4% en las grandes empresas y al 11% incluyendo la metodología blended learning (combinación de formación presencial y a distancia).
- Las acciones formativas realizadas con apoyo telemático registradas por la Fundación Tripartita para el Empleo han crecido en un 50%, pasando de unas 2.000 acciones en 2001 a más de 3.000 en 2003. La teleformación tiene mayor peso en los planes de oferta que en los de demanda de formación continua. Asimismo, el porcentaje de participantes de formación on-line fue superior en el año 2003 en los planes de oferta (10,3%) que en los de demanda (7,2%). (Estudio presentado en 2005 por la Fundación Tripartita para la Formación en el Empleo: "La Formación on-line en el sistema de Formación Continua").
- La modalidad de impartición mixta conocida como blended learning, y que significa la combinación de sesiones presenciales y formación a distancia), se incrementa. El informe de Santillana Formación apunta la tendencia de las grandes empresas a dar un mayor protagonismo a los programas de formación mixtos. Esta tendencia también se extrae de los datos de la Fundación Tripartita. La modalidad mixta se incrementa en las acciones de formación continua realizadas con el nuevo sistema de bonificaciones. Los participantes en este tipo de formación pasan del 9,9% en 2004 al 13,4% en 2005.

Actualmente el desarrollo de la formación a distancia como una nueva modalidad educativa se presenta como una alternativa a la formación presencial y permite dar respuesta a las necesidades educativas que plantea una sociedad cada vez más diversificada y en constante evolución.

1.6 Conclusiones

En este capítulo se describen los orígenes del e-learning, y la participación creciente, que tiene esta modalidad formativa en la sociedad actual. Se analizan diversas cuestiones, entre las que cabe destacar los modelos de aprendizaje, los modelos educativos, la evaluación y algunas características de las preguntas, así como su clasificación e importancia en el proceso evaluativo. Además, se mencionan los estándares principales que se emplean en e-learning y se muestran algunos resultados de investigaciones realizadas acerca de e-learning en España.

Asimismo, se señala la importancia del empleo de las evaluaciones como elemento de aprendizaje y lo conveniente del empleo de preguntas abiertas, así como los inconvenientes al usarlas. El empleo de preguntas de desarrollo, en e-learning en particular y en la educación a distancia en general, tiene asociado como mayor dificultad un escaso, por no decir nulo, automatismo en la evaluación de estas respuestas en las plataformas formativas. En la gran mayoría de los casos, son evaluadas de la forma “*tradicional*”, aún cuando sean empleadas infinidad de tecnologías en la creación de los recursos formativos, lo que influye de forma negativa en el empleo de éstas en la evaluación de la formación que se imparte. En el próximo capítulo se describen tecnologías cuya utilización permite aportar una solución a la problemática de evaluación de las preguntas abiertas.

Estudio del estado del arte: Web Semántica

En el capítulo anterior, se hace un estudio sobre el estado de la educación a distancia y el e-learning. En este segundo capítulo, se describe el estado de las tecnologías de la Web Semántica, las ontologías, los lenguajes ontológicos y sus respectivas definiciones. Se describen las metodologías más empleadas para la construcción de ontologías, los aspectos principales del proceso de anotación semántica y algunos modelos de determinación de similitud semántica. Este tipo de tecnologías dan soporte a la posible solución de la problemática en la evaluación de las preguntas abiertas en los entornos de e-learning.

2.1 Definición de Web Semántica

La Web Semántica es una extensión de la Web actual donde la información viene dotada de significado bien definido, y permite a las computadoras y a la gente trabajar en cooperación (Berners-Lee et. al, 2001).

El proyecto de la Web Semántica (<http://www.w3.org/2001/sw/>), impulsada por el W3C (World Wide Web Consortium), trata de crear un medio universal para el intercambio de información, dotando a los contenidos de los documentos Web de semántica, de forma que estos contenidos sean comprensibles por las máquinas. La Web Semántica es una visión de una futura Web, en la cual la información, que en la versión actual de la Web es comprensible solamente por los seres humanos, también esté

disponible de una manera formal para sistemas inteligentes. Si esta visión se hace realidad en el futuro, se podrían concebir una nueva generación de aplicaciones Web. Esta gama de nuevas aplicaciones iría desde buscadores semánticos a aplicaciones personalizadas o adaptables al usuario, los cuales navegando por la Web podrían, por ejemplo, reservar una visita al doctor en nuestro nombre (Berners-Lee et. al, 2001).

2.2 Tecnologías de la Web Semántica

La Web Semántica hace posible que la Web sea mejor entendida por las máquinas (Heflin & Hendler, 2001). Esta visión requiere el uso y desarrollo de una apreciable cantidad de tecnologías, que se desarrollan con los siguientes objetivos.

- **Datos comprensibles por las máquinas.** La Web Semántica es una visión: la idea de que los datos en la WWW sean definidos y enlazados de forma que sean usados por aplicaciones con fines no únicamente de visualización, sino automatización, integración y reutilización de datos entre varias aplicaciones.
- **Agentes inteligentes.** La Web Semántica pretende conseguir una WWW más legible para las aplicaciones para facilitar que los agentes inteligentes puedan recuperar y manipular la información precisa.
- **Bases de datos distribuidas.** La Web Semántica pretende conseguir con los datos lo mismo que consiguió el *HTML* con los sistemas de información textuales: proporcionar suficiente flexibilidad para representar las bases de datos, así como las reglas lógicas para enlazarlas y proporcionar un alto valor añadido. Un logro de la Web Semántica sería transformar la actual estructura de libro con hipervínculos de la WWW en una gran base de datos distribuida.

- **Infraestructura automática.** La Web Semántica es una infraestructura y no una aplicación. Por lo tanto, el gran problema es la falta de un marco simple de automatización en la WWW actual.
- **Servicio a los humanos.** La visión de la Web Semántica es permitir que las aplicaciones nos liberen de la tarea de localizar recursos relevantes para nosotros en la Web.
- **Anotación mejorada.** La idea de la Web Semántica proporciona, a la Web informal, unas anotaciones entendibles por las aplicaciones.
- **Búsqueda mejorada.** La meta principal de la Web Semántica es construir un índice estructurado de la Web, y que permitirá acceder a los recursos Web por contenido en vez de por palabras clave.
- **Servicios Web.** La Web Semántica no sólo proporcionará acceso a documentos estáticos que contendrán información, sino también a servicios que proveerán de comportamientos útiles. La Web Semántica promete expandir los servicios Web existentes permitiendo a los agentes software automatizar procedimientos actualmente manuales.

En los siguientes tópicos se describen las problemáticas, características y tecnologías, que enfrenta y permiten el desarrollo de la Web Semántica.

2.2.1 Indexación

Uno de los problemas habituales radica en cómo encontrar información. En el entorno Web, los motores de búsqueda son fundamentales para lograr este objetivo. Es habitual percibir frustración de los usuarios en el transcurso de estas búsquedas, especialmente cuando no se tiene muy claro qué se busca. El enfoque de la Web Semántica pretende ir más allá de las palabras clave y de los índices alfabéticos para permitir búsquedas basadas

en conceptos y categorías. La parte Web proporciona el entorno persistente de distribución de información. La mayoría de sistemas que usan identificación conceptual para buscar información mantendrían sus propias jerarquías de conceptos e intentarían identificarlos en los documentos que tratan. Algunos conceptos podrían ser identificados automáticamente, mientras que para otros conceptos se debería utilizar vocabularios particulares externos donde estuvieran definidos.

2.2.2 Metadatos

Un metadato¹ es un dato sobre otro dato. Por ejemplo, el *ISBN* y el autor son metadatos sobre una novela. Un metadato es un dato; la distinción radica en el uso que se pretende hacer del dato. La mayoría de las veces no es posible diferenciar entre datos y metadatos. Por ejemplo, un poema es un grupo de datos, pero también puede ser un grupo de metadatos si se adjunta a una canción que lo usa como texto. Muchas veces, los datos son tanto "*datos*" como "*metadatos*". Por ejemplo, el título de un texto es parte del texto a la vez que un dato referente al texto.

El uso más frecuentemente de los metadatos es el refinamiento de consultas a buscadores. Usando informaciones adicionales los resultados son más precisos, y el usuario se ahorra filtraciones manuales complementarias. Es posible que los metadatos posibiliten la comunicación declarando cómo están relacionados los datos. Por eso la representación del conocimiento usa metadatos para categorizar informaciones. La misma idea facilita la inteligencia artificial al deducir conclusiones automáticamente. Algunos metadatos hacen posible una compresión de datos más eficaz. Por ejemplo, si en un vídeo el software sabe distinguir el primer plano del fondo puede

¹ Del griego meta, más allá, y del latín datum, dato: dato acerca del significado de otro dato.

usar algoritmos de compresión diferentes y así mejorar la cuota de compresión.

Otra idea de aplicación es la presentación variable de datos. Si hay metadatos señalando los detalles más importantes, un programa puede seleccionar la forma de presentación más adecuada. Por ejemplo, si un teléfono móvil sabe dónde está localizada una persona en una imagen, tiene la posibilidad de reducirlo a las dimensiones de su pantalla. Del mismo modo un navegador puede decidir presentar un diagrama a su usuario ciego en forma táctil o leída.

2.2.3 Anotación

En el mundo de los documentos físicos (como los libros), las personas escriben notas al margen y comentarios, subrayan pasajes, etc. Los lenguajes de marcado como *XML* permitirían añadir anotaciones de este estilo, pero actualmente es complejo el proceso de compartir las anotaciones propias con otros individuos y que estas anotaciones puedan ser empleadas por otras aplicaciones. La anotación² es un componente básico en la Web Semántica ya que es fundamental que las anotaciones se puedan compartir y porque el significado de diferentes tipos de anotaciones deberían ser comprendidas universalmente.

2.2.4 Base de datos interoperable

En la Web actual es habitual obtener datos de la misma. Estas bases de datos están generalmente separadas y no es sencillo integrar las fuentes de datos. Adicionalmente, la mayor parte de los datos usados en la Web no se

² Del latín *annotare*, añadir una nota: añadir una nota para explicar el significado de un símbolo.

encuentran en bases de datos. Esta parte de la visión de Web Semántica intenta unificar la descripción y recuperación de datos almacenados para poder ver la Web como una gran base de datos virtual. Consideremos un cinéfilo que busca datos sobre cine. Existen varias bases de datos online sobre cine, por ejemplo, el *Internet Movie Database*. Si se quisiera buscar la información disponible en todas las bases de datos online de cine sobre películas de *Woody Allen*, no se podría encontrar la información en formato compatible, ya que cada base de datos online emplearía su propio formato. Si la Web funcionara como una base de datos interoperable, nuestro cinéfilo podría obtener los datos de los sitios información y su software sería capaz de presentar la información de manera integrada.

2.2.5 Búsqueda de información

Otro elemento importante es la adquisición automática de datos. Esto significa que una aplicación determina qué datos necesita y dónde y cómo obtenerlos. En el ejemplo anterior, supongamos que nuestro cinéfilo tiene que encontrar las páginas adecuadas, analizarlas, encontrar la información deseada y organizarla. En un enfoque de Web Semántica, los datos y la forma de acceso estarían definidas de forma que una aplicación pudiera obtenerlos y usarlos automáticamente.

2.2.6 Servicios Web

Un servicio es un comportamiento que proporciona un beneficio. Ejemplos de servicios podrían ser reservas, compras, obtener precios, etc. Centrémonos en el ejemplo de una compra. Una vez se ha seleccionado el ítem a comprar, debemos asegurar que la entrega se produzca en un horario bueno para nosotros. El precio, las condiciones de compra y de entrega son

servicios que deben ser activados y coordinados. En la Web Semántica, todos estos servicios publicarían sus datos de forma procesable por las aplicaciones. Esto permitiría a una aplicación realizar la tarea, la activación de los servicios y la coordinación por nosotros. Para usar los servicios, éstos deben ser encontrados o descubiertos. El enfoque más obvio es la creación de directorios de servicios con métodos estándares de acceso. Los servicios serían entonces descritos en términos estándares, y la información sobre cómo acceder a ellos estaría disponible y se podría codificar de varias formas. Un enfoque más avanzado sería enviar peticiones de descubrimiento basadas en el servicio requerido. En este caso, los servicios candidatos describirían sus capacidades para que el cliente pudiera elegir el servicio más adecuado.

2.2.7 Agentes inteligentes

Un agente software actúa de forma autónoma, comunicándose con otros agentes software especializados para descubrir servicios, productos o información para nosotros. Por ejemplo, uno de estos agentes sabría comprar billetes de tren. Otro sabría cómo realizar la compra, y otro podría saber cómo notificar al usuario el resultado de la operación. Es evidente que se requiere una red de agentes que interactúe y sea capaz de describir sus metas usando vocabularios comunes, así como descubrir servicios y recursos de información.

2.3 Web Semántica y sistemas basados en conocimiento

Los sistemas basados en conocimiento, son objeto de investigación en Inteligencia Artificial desde hace bastantes años. Es bien sabido, que estos

sistemas tienen dos componentes básicos: una base de conocimiento de los hechos conocidos por el sistema inteligente y un motor de inferencia. Como se indica más adelante, las aplicaciones basadas en conocimiento para la Web Semántica posee estos dos elementos, aunque también haya algunas diferencias con respecto a los sistemas basados en conocimiento clásicos. Los componentes fundamentales de la arquitectura de la Web Semántica (figura 2.1), fueron propuestos por Tim Berners-Lee (<http://www.w3.org/2000/Talks/1206-xml2k-tbl/slide1-0.html>).

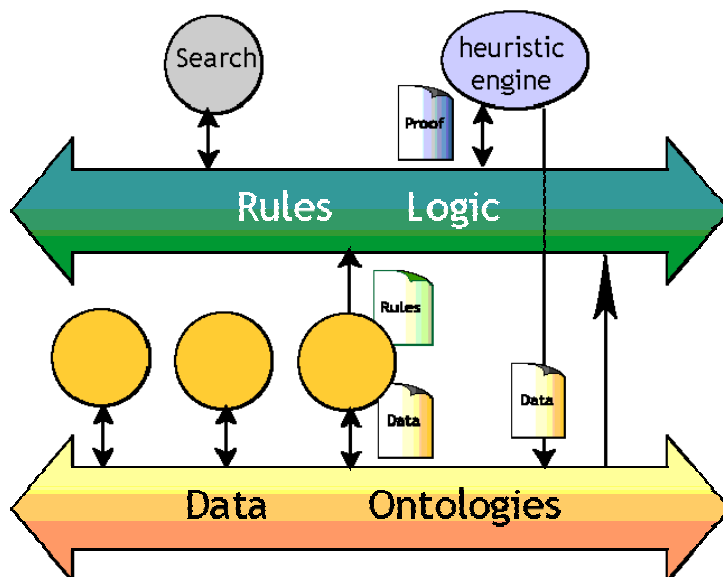


Figura 2.1. Elementos fundamentales de la Web Semántica.

La base de conocimiento, de una aplicación para la Web Semántica, generalmente puede ser construida a partir de las anotaciones, recogidas por la aplicación mientras navega por páginas Web (semánticas). La naturaleza abierta de la arquitectura de la Web, ha hecho inadecuado el uso de lenguajes de representación de conocimiento tradicionales, porque presuponen, que existe un vocabulario común compartido por todos los usuarios del sistema. En la Web Semántica, “cualquiera” podrá anotar páginas web y estas anotaciones no estarán restringidas a un vocabulario

fijo. Esto ha causado la necesidad que el World Wide Web Consortium (W3C) (<http://www.w3.org>), haya definido una recomendación estándar para representación del conocimiento en la Web Semántica: el Marco de Descripción de Recursos (RDF, Resource Description Framework) (<http://www.w3.org/RDF/>). Se comenta de forma breve la descripción del RDF, aunque será abordado en posteriores epígrafes.

Un modelo de RDF se compone de un conjunto de triplas, donde cada tripla se compone de un sujeto (el recurso que es descrito), un predicado que identifica la característica que es definida para ese recurso, y un objeto que indica el valor del predicado para el sujeto especificado.

Considerar como ejemplo simple la sentencia:

Antonio López es el autor del recurso <http://www.ubo.edu.cu/>.

Esta sentencia comprende las siguientes partes:

Sujeto (Recurso)	<i>http://www.ubo.edu.cu/</i>
Predicado (Propiedad)	Autor
Objeto (literal)	"Antonio López"

Los recursos en RDF son identificados por Universal Resource Identifiers, URIs (las URLs son el tipo más común de URIs). El sujeto y el predicado de una tripla RDF son URIs. Cualquiera puede identificar nuevos recursos a describir y nuevas características de los recursos simplemente asignándoles un URI nueva. Los recursos se designan siempre por URIs más identificadores de anclas opcionales. La extensibilidad de URIs permite la introducción de identificadores para cualquier entidad imaginable. Esto encaja muy bien con la arquitectura abierta de la Web. Los objetos pueden

ser URIs, pero también pueden ser constantes (una cadena de caracteres, un número entero,...). Disponer de anotaciones semánticas puede no ser suficiente para las aplicaciones que utilicen la Web Semántica. La mayoría de estas aplicaciones necesitan un modelo del dominio en el que operen, que incluya el vocabulario de los conceptos relevantes a ese dominio, y probablemente las propiedades que relacionan los diferentes conceptos, así como las reglas o axiomas que gobiernan ese dominio. Partiendo de ese modelo, el sistema será capaz de obtener conclusiones y/o tomar decisiones procesando las anotaciones extraídas de páginas Web. Los modelos que pueden cumplir con estos requisitos son definidos por medio de un ingrediente fundamental para el desarrollo de la Web Semántica: las ontologías (Devedzic, 2006). Por la relevancia que tienen las ontologías para este trabajo, se abordan con mayor detenimiento con posterioridad.

El tercer elemento, en que se fundamenta la Web Semántica, es el desarrollo de motores de inferencia, que implementen la semántica de los lenguajes de ontologías y anotaciones utilizados. Estos motores de inferencia, requieren para ser útiles combinar potentes capacidades de razonamiento con funcionamiento escalable. Una de las actividades que se están realizando en el campo de la Web Semántica es el desarrollo de motores de inferencia que soporten los lenguajes que se están definiendo para la Web Semántica. Podemos citar, por ejemplo, a Jena (<http://jena.sourceforge.net>), un entorno para el desarrollo de aplicaciones para Web Semántica que incluye razonadores para RDF Schema y *OWL Lite* (un subconjunto del Lenguaje ontológico *OWL*). Otro entorno de desarrollo para RDF, que incluye un motor de inferencia es SESAME (<http://www.openrdf.org>). Entre los razonadores para el lenguaje OWL se destaca el Pellet (Mindswap, 2003).

Las anotaciones semánticas, las ontologías, y los motores de inferencia, hacen posible que las aplicaciones, que emplean las tecnologías de la Web Semántica sean exitosas.

2.4 Ontologías

Los investigadores, filósofos, lingüistas y multitud de profesionales de diversas ciencias han dado múltiples definiciones a lo largo de la historia de las ontologías. En este apartado, se presenta de forma breve diferentes definiciones propuestas y estamentos de diferentes áreas, enfatizando las definiciones más utilizadas en Inteligencia Artificial y Representación del Conocimiento.

Dentro de la Filosofía, ha habido grandes pensadores que han definido el concepto de ontología de diferentes maneras, como se puede ver a continuación:

“Ontología es la ciencia de algo y de nada, del ser y del no ser, de la cosa y del modo de la cosa, de la sustancia y el accidente” (Leibniz) (Conturat, 1903)

“La filosofía trascendental es el sistema de todas nuestras cogniciones puras a priori, que podemos llamar ontología. Así, ontología trata con cosas en general, desde abstractas hasta particulares. Abarca todos los conceptos puros de la comprensión y todos los principios de la razón. Las ciencias principales que pertenecen a la metafísica son: ontología, cosmología, y teología. Ontología es una pura doctrina de elemento de toda nuestra cognición al completo, contiene la suma de todos nuestros conceptos puros que podemos tener a priori sobre la cosas” (Kant, 2001)

“La gente trata con asuntos relacionados con la teoría de entidades desde la antigüedad bajo el título de ‘Metafísica’ y, especialmente, bajo el título de ‘Ontología’ como parte de la metafísica; y ellos no han fallado siempre al reconocer las características de la libertad de existencia” (Meinong, 1921)

Las definiciones de ontologías en Inteligencia Artificial, se han basado en las definiciones filosóficas de este término, y más concretamente a la interpretación del filósofo Quine (Quine, 1961), quien dijo “...*que todo lo que puede ser cuantificado existe*”. A continuación, se presentan las definiciones más importantes y en las que se basa este trabajo.

Una de las definiciones de ontología más extendidas es la dada por Tom Gruber (Gruber, 1993):

“Una ontología es una especificación explícita de una conceptualización. El término proviene de la filosofía, donde una ontología es un recuento sistemático de la existencia. En sistemas de Inteligencia Artificial, lo que existe es lo que puede ser representado. Cuando el conocimiento de un dominio se representa mediante un formalismo declarativo, el conjunto de objetos que puede ser representado se llama universo del discurso. Esos conjuntos de objetos, y las relaciones que se establecen entre ellos, son reflejados en un vocabulario con el cual representamos el conocimiento en un sistema basado en conocimiento. Así, en el contexto de la Inteligencia Artificial, podemos describir la ontología de un programa como un conjunto de términos. En tal ontología, las definiciones asocian nombres de entidades del universo del discurso con textos comprensibles por los humanos que describen el significado de los nombres, y axiomas formales que limitan la interpretación y buen uso de dichos términos. Formalmente, una ontología es una teoría lógica”

Para comprender esta definición, conviene explicar qué es una conceptualización, la cual se puede definir como una interpretación estructurada de una parte del mundo que usan los seres humanos para pensar y comunicar sobre ella. Para un informático, una conceptualización podría ser la clasificación de sistemas informáticos atendiendo a su naturaleza física en sistemas hardware, sistemas software y sistemas firmware. Por explícita entendemos que los conceptos y las restricciones se definen de forma explícita.

La definición de Gruber ha recibido varias críticas. Por ejemplo, Nicola Guarino (Guarino, 1995), tras examinar siete posibles interpretaciones de ontologías, afirmó:

“Un punto de inicio en este esfuerzo clarificador será el cuidadoso análisis de la interpretación dada por Gruber. El problema principal de dicha interpretación es que se basa en la noción de conceptualización. Una conceptualización es un conjunto de relaciones extensionales que describen un estado particular, mientras que la noción que tenemos en mente es intensional, esto es, algo como una rejilla conceptual al que le imponemos varios posibles estados”.

Sin embargo, ésta no es la única crítica recibida por aquella definición, puesto que es considerada como demasiado general. Algunas opiniones afirman que algunas ontologías satisfacen dicha definición pero que no son útiles para desarrollar aplicaciones.

Nicola Guarino propuso una definición alternativa de ontología:

“En el sentido filosófico, podemos referirnos a una ontología como un sistema particular de categorías que representa una cierta visión del mundo. Como tal, este sistema no depende de un lenguaje particular: la ontología de Aristóteles es siempre la misma, independientemente del lenguaje usado para describirla. Por otro lado, en su uso más típico en IA, una ontología es un artefacto ingenieril constituido por un vocabulario específico para describir una cierta realidad, más un conjunto de supuestos explícitos concernientes al significado pretendido de las palabras del vocabulario. Este conjunto de supuestos tiene generalmente la forma de teorías lógicas de primer orden, donde las palabras del vocabulario aparecen como predicados unarios o binarios, respectivamente llamados conceptos y relaciones. En el caso más simple, una ontología describe una jerarquía de conceptos relacionados por relaciones de subsunción; en los casos más sofisticados, se añaden axiomas para expresar otras relaciones entre conceptos y restringir la posible interpretación.”

Según este autor, las ontologías usadas en aplicaciones reales son realmente adaptaciones ingenieriles de ontologías, no ontologías propiamente dichas. Así, por ejemplo, siguiendo esta perspectiva, “el peso de una persona es una masa” es una afirmación que podría aparecer en una ontología, mientras que “el peso de una persona es un número” puede aparecer en una adaptación de la ontología debido a limitaciones de tiempo y recursos. Sin embargo, esta idea estricta de ontología no es usada ni por los más puristas en Inteligencia Artificial.

Así, en (Guarino, 1998), el autor establece que:

“Una ontología puede especificar una conceptualización en una forma muy indirecta, puesto que i) solo puede aproximar un conjunto de modelos pretendidos; y ii) tal conjunto de modelos pretendidos sólo es una caracterización débil de una conceptualización.”

Otra definición de ontología es la presentada por Borst (Borst, 1997), que refina la definición de Gruber:

“Una ontología es una especificación formal de una conceptualización compartida.”

En este contexto, “formal” se refiere a la necesidad de disponer de ontologías comprensibles por las máquinas. Esta definición enfatiza la necesidad de consenso en la conceptualización. Finalmente, “compartida” se refiere al tipo de conocimiento contenido en las ontologías, esto es, conocimiento consensuado y no privado.

Posteriormente, las definiciones de Gruber y Borst fueron explicadas en (Studer et al, 1998) de la siguiente forma:

“Conceptualización se refiere a un modelo abstracto de algún fenómeno en el mundo a través de la identificación de los conceptos relevantes de dicho fenómeno. Explícita significa

que el tipo de conceptos y restricciones usados se definen explícitamente. Formal representa el hecho de que la ontología debería ser entendible por las máquinas. Compartida refleja la noción de que una ontología captura conocimiento consensual, esto es, que no es de un individuo, sino que es aceptado por un grupo”

Por último cabe destacar, que a día de hoy no existe una definición consensuada de ontología, si no que incluso los autores de las definiciones más reconocidas y aceptadas se las autoplatean. Este es el caso de Gruber, el cual responde en un boletín publicado en octubre de 2004 (Gruber, 2004), cuando le preguntan si cambiaría de alguna forma la definición que dio de ontología y que ha sido muchas veces referenciada:

“Bien, los componentes más importantes de esa definición de ontología son que la ontología es un artefacto de representación (una especificación), distinta del mundo que modela, y que es un artefacto diseñado, construido para un propósito. Creo que la mayoría de científicos en computación obtienen la diferencia entre una especificación del mundo, incluso para mundos sintéticos. Retrospectivamente, no cambiaría la definición pero intentaría enfatizar que nosotros diseñamos ontologías. La consecuencia de esta vista es que podemos aplicar una disciplina de ingeniería en su diseño y evaluación. Si las ontologías son cosas derivadas de una ingeniería, entonces no tenemos que preocuparnos tanto sobre si son correctas y favorecer el negocio de construirlas para hacer algo útil. Podemos diseñarlas para conocer objetivos funcionales y restricciones. Podemos construir herramientas que nos ayuden a gestionarlas y validarlas. Y podemos tener múltiples ontologías que se coordinen o compitan basadas en un criterio objetivo más que en una marca de fábrica o una autoridad.”

2.4.1 Tipos de ontologías

En la literatura, se encuentran diferentes clasificaciones de tipos de ontologías. Principalmente, se siguen dos criterios para tales clasificaciones: el tipo de conocimiento que contienen; y la motivación de la ontología.

2.4.1.1 Clasificación por el conocimiento que contienen

Este es el criterio donde existe mayor diversidad, la cual puede ser ilustrada por las dos siguientes clasificaciones de ontologías. La primera de ellas se propuso en (Van Heijst et al, 1997), donde se distinguen tres tipos de ontologías:

- **Ontologías terminológicas, lingüísticas.** Especifican los términos usados para representar conocimiento en un dominio determinado. Un ejemplo de ontologías terminológicas es la red semántica UMLS (Unified Medical Language System) (Lindberg et al, 1993). Dentro de las ontologías lingüísticas, una de la más utilizada a nivel mundial es WordNet (Fellbaum, 1998), que contiene una gran estructura de términos y relaciones Taxonómicas y Partonómicas.
- **Ontologías de información.** Especifican la estructura de los registros de la base de datos. Los esquemas de bases de datos son un ejemplo.
- **Ontologías para modelar conocimiento.** Especifican conceptualizaciones de conocimiento. Estas ontologías tienen una estructura interna mucho más rica que los anteriores tipos de ontologías, y éstas son las ontologías que interesan a los desarrolladores de sistemas basados en conocimiento.

Una clasificación alternativa es la que se puede encontrar en (Mizoguchi et al, 1995), donde también se proponen tres categorías:

- **Ontologías del dominio.** Contienen todos los conceptos asociados a un dominio particular.
- **Ontologías de tarea.** Establecen la forma en la cual se puede usar el conocimiento del dominio para realizar tareas específicas. De esta forma, una aplicación podría realizar búsquedas de información,

mientras otra podría gestionar la asignación de bloques libre de memoria.

- **Ontologías generales.** Contienen descripciones generales sobre objetos, eventos, relaciones temporales, relaciones causales, modelos de comportamiento y funcionalidades.

2.4.1.2 Clasificaciones por motivación

A continuación, se presentan dos clasificaciones distintas atendiendo a este criterio. Según la primera de ellas, se distinguen cuatro tipos de ontologías:

- **Ontologías para la representación de conocimiento.** Permiten explicar las conceptualizaciones que subyacen en los formalismos de representación de conocimiento (Davis et al, 1993).
- **Ontologías genéricas.** Definen conceptos considerados genéricos en diferentes áreas. Ejemplos de tales conceptos serían componente, subclase, proceso, estado, etc. Estas ontologías son reutilizables en diferentes dominios. Se llaman también ontologías abstractas o superteorías porque permiten definir conceptos abstractos, y dichas ontologías pueden ser usadas para definir conceptos de forma más específica en diferentes dominios. Como ejemplos podemos ver la taxonomía, la mereología, la topología y la teoría general de sistemas.
- **Ontologías del dominio.** Definen conceptualizaciones específicas del dominio. Las metodologías actuales de adquisición de conocimiento distinguen entre ontologías y conocimiento del dominio, porque el último describe situaciones factuales del dominio, mientras que las ontologías imponen descripciones sobre la estructura y contenido del conocimiento del dominio.
- **Ontologías de aplicación.** Están ligadas al desarrollo de una aplicación concreta. Tales ontologías cubren los aspectos

relacionados con aplicaciones particulares. Típicamente, estas ontologías toman conceptos de ontologías del dominio y genéricas, así como métodos específicos para realizar la tarea, por lo que no son muy adecuadas para ser reutilizadas.

Una clasificación alternativa es la propuesta por Poli (Poli, 2000). En dicha clasificación, se identifican los siguientes tipos de ontologías:

- **Ontologías generales.** Tienen que ver con las categorías fundamentales y sus conexiones de dependencia. Con respecto a las categorías fundamentales, los investigadores son cada vez más conscientes de la dificultad de manejar este nivel supremo. Por ello, es de máxima importancia emplear una organización de categorías principales que sea lo más transparente posible. Existen categorías fundamentales que se aplican a todos los niveles ontológicos. Sin embargo, muchas de las categorías *toplevel* pueden tener diferentes valores en niveles diferentes de la ontología, aunque deben tener algo en común.
- **Ontologías categóricas.** Estudian las diversas formas en las que una categoría da cuenta de los diversos niveles ontológicos, determinando la posible presencia de una teoría general que subsume sus concretizaciones. Mientras que la ontología general está más relacionada con la arquitectura de la teoría, la ontología categórica es más sensible a los detalles de las categorías individuales. Sin embargo, es obvio que ambas son necesarias.
- **Ontologías del dominio.** Se refieren a la estructuración detallada de un contexto de análisis con respecto a los subdominios que lo componen.
- **Ontologías genéricas.** Aparecen ligadas a corpus lingüísticos y léxicos conceptuales. De hecho, los términos se pueden clasificar en

varios niveles. Esto significa que cada término debería ser accesible por defecto únicamente en su sentido genérico, mientras que sus significados especializados quedan para cuando se active una ontología del dominio específica. Por otro lado, la ontología del dominio contiene términos que no tienen correspondencias analíticas en ontologías genéricas. El conocimiento del dominio “satura” el conocimiento genérico.

- **Ontología regional.** Analiza las categorías y sus conexiones de interdependencia para cada nivel ontológico (estrato o capa).
- **Ontología aplicada.** Estas ontologías son la aplicación concreta del entorno ontológico a un objeto específico (por ejemplo, un hospital).

2.4.1.3 Clasificación por el grado de formalidad

Las ontologías, también se pueden clasificar basándose en el grado de formalidad de la ontología, según este criterio (Poli, 2002):

- **Ontología descriptiva,** relacionada con la recolección de información sobre los ítems del dominio analizado. La unidad y variedad del mundo es la salida de las conexiones de dependencia y formas de independencia entre los ítems. Cosas materiales, plantas y animales, así como los productos de los talentos y actividades de animales y humanos, son ítems del mundo. En otras palabras, el mundo no sólo contiene cosas, animadas o no, sino también actividades y procesos, así como los productos derivados de los mismos. Es difícil negar que existen pensamientos, sensaciones y decisiones, así como el completo espectro de actividades mentales, y

estamos obligados a admitir la existencia de reglas, lenguajes, sociedades y costumbres (Poli, 2001).

- **Ontología formal**, que destila, filtra, codifica y organiza los resultados de una ontología descriptiva. Según esta interpretación, la ontología formal lo es en el sentido de Husserl en sus *“Logical Investigations”*. Ser formal en este sentido implica tratar con categorías como cosa, proceso, materia, forma, todo, parte, etc. Estas categorías caracterizan aspectos y tipos de realidad que todavía no han sido utilizados bajo ningún formalismo.

La ontología formal se ha desarrollado de dos maneras principales (Albertrazzi, 1996). El primer enfoque consiste en estudiar la ontología formal como parte de la ontología, y analizarla usando las herramientas de modo que se aproxima a la lógica formal: desde este punto de vista, la ontología formal examina las características lógicas de predicación, así como aquellas de las diferentes teorías de universales. El uso del paradigma específico de la teoría de conjuntos aplicada a predicación condiciona su interpretación. El segundo enfoque vuelve a los orígenes Husserlianos y analiza las categorías fundamentales de objeto, estado, parte, todo, etc, así como las relaciones entre partes y todos y sus leyes de dependencia, una vez que los conceptos materiales han sido sustituidos por sus conceptos formales correlativos al “algo” puro. Este tipo de análisis no trata con el problema de relaciones entre ontología formal y ontología material.

2.4.2 Metodologías de construcción de ontologías

Hay un alto nivel de consenso en considerar que se requiere un intenso trabajo organizacional así como costosos recursos humanos para construir ontologías. Por un lado, expertos e ingenieros del conocimiento deben

trabajar conjuntamente para crear una ontología. Por otro lado, es necesario coordinar el trabajo de los expertos y gestionar los flujos de información entre los agentes humanos implicados en el proceso de construcción. En este sentido, se requiere un complejo proceso de elicitación entre expertos e ingenieros de conocimiento. Esta situación presenta bastantes problemas, tales como la necesidad de tener reuniones entre expertos e ingenieros de conocimiento, y establecer un consenso en la planificación de la tarea para construir una ontología (Hameed, Sleeman and Preece, 2001).

Las metodologías de construcción de ontologías abarcan un conjunto de principios establecidos, procesos, prácticas, métodos y actividades usadas en el diseño, construcción, evaluación e implantación de la ontología. (Devedzic, 2006). Diversas metodologías se han sido publicadas por la comunidad científica. Algunas valoraciones de estas metodologías han sido descritas por (Corcho et al., 2003; Staab and Studer, 2004), entre las cuales:

- La mayoría de las metodologías de desarrollo de ontologías han sido propuestas para la construcción de ontologías.
- Algunas metodologías incluyen métodos para combinar, de reingeniería, mantenimiento, y desarrollo de las ontologías.
- Algunas metodologías son del desarrollo general de software y luego se aplican al desarrollo de las ontologías.

En Devedzic se comenta que no existe una metodología milagrosa, porque no hay una sola forma “correcta” de modelar un dominio. (Devedzic, 2006) Además, el desarrollo de una ontología es un proceso necesariamente iterativo. En (Fernández-Breis, 2003) se hace una clasificación de las metodologías de construcción de ontologías en cooperativas y no cooperativas. Entre las ontologías no cooperativas se pueden mencionar:

- En (Lenat et al, 1990) se publicaron los pasos generales y algunos puntos interesantes relacionados con el proceso de desarrollo de *Cyc*.
- *Metbontology* aparece en (Fernández et al., 1997) y fue extendida posteriormente (Fernández-López et al, 1999, 2000).
- El proyecto OTK (Staab et al, 2001) aplica ontologías a la información disponible electrónicamente para mejorar la calidad de la gestión de conocimiento en organizaciones grandes y distribuidas y se desarrolla *On-To-Knowledge*.

Entre las metodologías cooperativas más significativas se tienen:

- La metodología DILIGENT (Vrandecic et al, 2005) se centra en la evolución de la ontología, de los usuarios y el diseño inicial de la ontología, además que el conocimiento es medible e incremental.
- PROMPT se presenta en (Fridman-Noy and Musen, 2000) como una metodología en la que el usuario siempre decide qué conceptos son integrados puesto que fue diseñado para apoyar el proceso de integración, no para realizarlo por sí mismo.
- ONTOIN se presenta en (Fernández-Breis, 2003) como una metodología cooperativa automática de integración de ontologías con relaciones taxonómicas. Además, se expresa la semántica de las relaciones de manera formal.

2.4.2.1 Cyc

La metodología Cyc (Lenat et al, 1990) consiste en varios pasos. En primer lugar, hay que extraer manualmente el conocimiento común, que está implícito en diferentes fuentes. A continuación, una vez que se tenga suficiente conocimiento de la ontología, se puede adquirir nuevo conocimiento común usando herramientas de procesamiento de lenguaje

natural o aprendizaje computacional. Así se construyó la ontología Cyc. Esta metodología recomienda los siguientes pasos:

- a) Codificación manual de conocimiento implícito y explícito extraído de diferentes fuentes
- b) Codificación de conocimiento usando herramientas software
- c) Delegación de la mayor parte de la codificación en las herramientas

2.4.2.2 METHONTOLOGY

Methontology es una metodología para construir ontologías tanto partiendo desde cero como reusando otras ontologías, o a través de un proceso de reingeniería. Este entorno permite la construcción de ontologías a nivel de conocimiento, e incluye: (1) identificación del proceso de desarrollo de la ontología donde se incluyen las principales actividades (evaluación, gestión de configuración, conceptualización, integración, implementación, etc); (2) un ciclo de vida basado en prototipos evolucionados; y (3) la metodología propiamente dicha, que especifica los pasos a ejecutar en cada actividad, las técnicas usadas, los productos a obtener y cómo deben ser evaluados. Esta metodología está parcialmente soportada por el entorno de desarrollo ontológico WebODE. Esta metodología ha sido usada en la construcción de múltiples ontologías, como una ontología química, ontologías hardware y software, etc. Se proponen los siguientes pasos:

- a) Especificación
- b) Conceptualización
- c) Formalización
- d) Implementación
- e) Mantenimiento

2.4.2.3 On-To-Knowledge

El proyecto OTK (Staab et al, 2001) aplica ontologías a la información disponible electrónicamente para mejorar la calidad de la gestión de conocimiento en organizaciones grandes y distribuidas. La metodología proporciona guías para introducir conceptos y herramientas de gestión de conocimiento en empresas, ayudando a los proveedores y buscadores de conocimiento a presentar éste de forma eficiente y efectiva. Esta metodología incluye la identificación de metas que deberían ser conseguidas por herramientas de gestión de conocimiento y está basada en el análisis de escenarios de uso y en los diferentes papeles desempeñados por trabajadores de conocimiento y accionistas en las organizaciones. Cada una de las herramientas de la arquitectura de OKT se centra en el desarrollo de aplicaciones dirigidas por ontologías y, finalmente, describe el uso y la evaluación de la metodología mediante casos de estudio como, por ejemplo, la ontología Proper o AIFB. Esta metodología recomienda los siguientes pasos:

- a) Estudio de viabilidad
- b) Comienzo
- c) Refinamiento
- d) Evaluación

2.4.2.4 DILIGENT

DILIGENTE (Vrandecic et al, 2005) es una metodología de la ingeniería ontológica para la construcción cooperativa de ontologías. Sus requisitos de desarrollo son similares a los encontrados en la Web Semántica, debido a

que fue concebida con los requisitos de la ingeniería ontológica como los que se emplean en Web Semántica. Construir ontologías de forma cooperativa conlleva a realizar un proceso social al interactuar varios expertos. En Web Semántica este proceso ocurre de una manera distribuida, puesto que no se puede asegurar que los participantes concurren en un determinado lugar para cooperar. Entre las características de la metodología están:

- Se asume que la ontología desde el comienzo de su desarrollo no abarca todo el dominio.
- Hay un cierto tiempo de desarrollo y se adaptará de forma progresiva a las necesidades del usuario.
- Introduce diversas etapas en la que el usuario puede cambiar la ontología existente.
- Los usuarios de las ontologías pueden interactuar con otras comunidades de usuarios y compartir su ontología e integrar en la suya conocimiento de distintas comunidades.

Un aspecto importante es el que los participantes discuten las diversas propuestas en el desarrollo de la ontología y por lo tanto intercambian criterios hasta alcanzar un acuerdo. Esto hace que los esfuerzos de la ingeniería ontológica sean más eficientes.

2.4.2.5 PROMPT

En (Fridman-Noy and Musen, 1999) se presenta un enfoque para integrar ontologías. En este enfoque se introducen dos procesos diferentes: fusión y alineamiento. La fusión es el proceso por el cual dos ontologías se unen para formar una sola; adicionalmente, ambas ontologías fuente deben cubrir

dominios similares o solapados. El alineamiento implica enlazar conceptos entre las dos ontologías fuente. Sin embargo no se tienen en cuenta propiedades internas ni estructurales. Estos autores presentan un nuevo algoritmo llamado PROMPT en (Fridman-Noy & Musen, 2000), que tiene en cuenta no sólo la similitud lingüísticas, sino también la estructura de la ontología para detectar conceptos a fusionar. En los sistemas basados en PROMPT, el usuario siempre decide qué conceptos son integrados puesto que fue diseñado para apoyar el proceso de integración, no para realizarlo por sí mismo. PROMPT tiene en cuenta diferentes características de las ontologías fuente para hacer sugerencias y buscar conflictos.

2.4.2.6 ONTOIN

La integración de ontologías es uno de los principales elementos en la creación de ontologías cooperativas. La metodología ONTOIN minimiza la participación de los expertos, al no ser necesario que estén disponibles en todo momento. Esto facilita el proceso de creación cooperativa de conocimiento explícito. La metodología posee un acceso personalizado al conocimiento incluido en la ontología generada de forma cooperativa.

En la metodología ONTOIN no se emplean exclusivamente relaciones taxonómicas en el proceso de integración, sino también mereológicas. Además, la semántica y propiedades de las relaciones se formalizan. El modelo ontológico formal incluye los siguientes elementos:

- **Conceptos:** son las entidades que definen el dominio de conocimiento.
- **Atributos:** son las propiedades que definen la estructura interna de los conceptos. Pueden tener una doble naturaleza: específicos o heredados. Los atributos específicos son aquellos atributos que se definen explícitamente en un concepto dado. Los atributos

heredados son aquéllos que se derivan de las relaciones con otros conceptos del dominio.

- **Relaciones interconceptuales:** especifican la estructura externa de los conceptos, esto es, establecen qué conceptos del dominio están relacionados entre sí. Dos tipos de relaciones serán definidos y formalizados en este modelo de ontologías: mereología (o relación parte-de) y taxonomía (o relación es-un). Ambas implican dependencias jerárquicas entre los conceptos que toman parte de las mismas, de forma que dichos conceptos jugarán el rol de concepto padre o hijo de una relación taxonómica o mereológica. Además, la relación taxonómica provoca herencia de atributos, de forma que el concepto hijo heredará todos los atributos del concepto padre.
- Axiomas estructurales: son los axiomas del dominio que se pueden extraer directamente de la estructura de la ontología.

2.4.3 Lenguajes ontológicos

Los lenguajes ontológicos se consideran vehículos para expresar ontologías de forma comprensible por las máquinas. Algunos de ellos han emergido en los últimos años debido a la idea de la Web Semántica, de forma que están orientados para tal tecnología. Por ejemplo, *OWL* (Lenguaje de Ontologías Web) es la recomendación del Consorcio World Wide Web (W3C) (<http://www.w3.org/>). Sin embargo, los diferentes lenguajes han sido propuestos históricamente por los desarrolladores de herramientas ontológicas. En esta sección se presentan y discuten los lenguajes ontológicos más usados en la actualidad. Una de las premisas principales de la arquitectura de la Web Semántica es el “stack” de lenguajes. Su primera representación fue la presentada por (Berners-Lee, 2000), (ver figura 2.2).

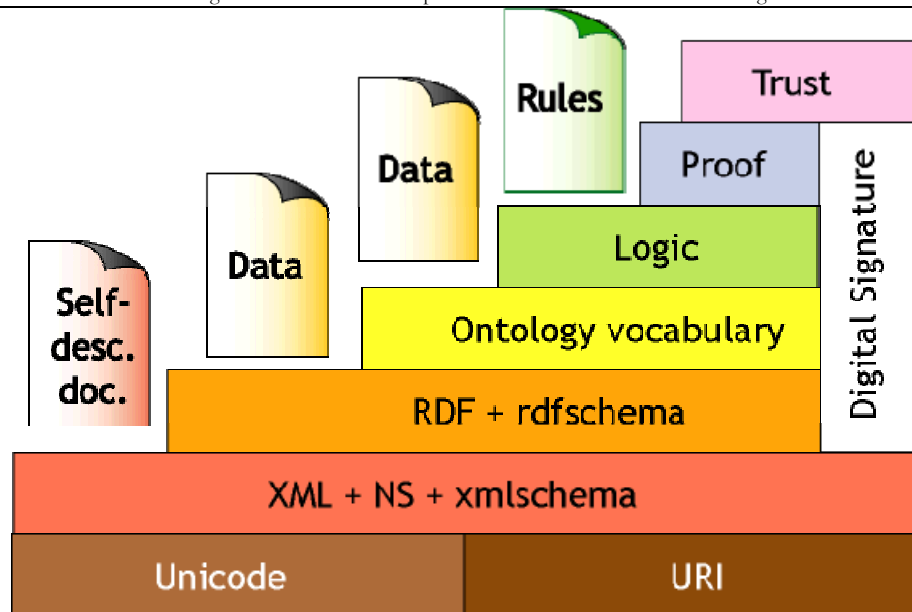


Figura 2.2. Stack de lenguajes de la Web Semántica.

2.4.3.1 RDF

El RDF (*Marco de Descripción de Recursos*) (del inglés **Resource Description Framework**) (Lassila and Webick, 1998), fue desarrollado por el W3C con el objetivo de especificar contenido semántico, estandarizado, interoperable y basado en XML. Esta especificación muestra tres representaciones del modelo de datos, como tripletes, como grafo y en XML. Existen equivalencias entre las representaciones. El mapeo entre ellas no pretende limitar la representación interna, de cada una de ellas. El modelo de datos RDF, se define formalmente como sigue: existe un conjunto llamado *Resource*, y también un conjunto de *Literals*. Hay un subconjunto de *Resources* llamados *Properties*. Por otro lado, tenemos un conjunto llamado *Statements*, donde cada elemento es un triplete de la forma *{pred, sub, obj}*, donde *pred*

es un miembro de *Properties*, **sub** es un *Resource* y **obj** es o bien un *Resource* o un *Literal*.

Para un procesador RDF, los *hechos* son *tripletes miembros de Statements*. De esta forma, el *Statement* original sigue siendo un hecho a pesar de ser reificado, puesto que el triplete que representa al *Statement* original permanece en *Statements*. Se han añadido cuatro tipos de tripletes más. La propiedad “*type*” se define para proporcionar primitivas tipadas. Se define formalmente como sigue: existe un elemento de *Properties* conocido como *RDF:type*. Los miembros de *Statement* de la forma **{RDF:type, sub, obj}** deben cumplir que *sub* y *obj* son miembros de *Resources*. Un *RDFS*Schema o *RDFs* impone restricciones adicionales en el uso del tipo. El *RDFs* no es más que una extensión semántica de *RDF*. Lo que permite definir los términos que se usarían en las declaraciones *RDF* y le otorgaría significados específicos. Además, permite especificar restricciones de tipos para los sujetos y objetos de las tri-uplas *RDF* e introduce primitivas de modelado orientado a objetos (*rdfs:Class*, *rdfs:Property*, *rdfs:subClassOf*).

Podemos definir formalmente la reificación como sigue: existe un elemento de *Resources*, no contenido en *Properties* conocido como *RDF:Statement*. Existen tres elementos en *Properties*, conocidos como *RDF:predicate*, *RDF:subject* y *RDF:object*. La reificación del triplete **{pred, sub, obj}** de *Statements* es un elemento *r* de *Resources*, que representa el triplete reificado y los elementos **s₁**, **s₂**, **s₃**, y **s₄** de *Statements* tales que:

$$\begin{aligned} \mathbf{s_1:} & \{RDF:predicate, r, pred\} ; \mathbf{s_2:} \{RDF:subject, r, subj\} \\ \mathbf{s_3:} & \{RDF:object, r, obj\} \mathbf{s_4:} \{RDF:type, r, [RDF:Statement]\} \end{aligned}$$

A continuación se muestra un ejemplo de porción de ontología en el lenguaje RDF.

```
<rdf:RDF
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:dc="http://purl.org/metadata/dublin_core#"
  xmlns:dcq="http://purl.org/metadata/dublin_core_qualifiers#">
  <rdf:Description
    about="http://www.dlib.org/dlib/may98/05contents.html">
    <dc:Title>DLIB Magazine - The Magazine for Digital Library
    Research- May 1998</dc:Title>
    <dc:Description>D-LIB magazine is a monthly compilation of
    contributed stories, commentary, and
    briefings.</dc:Description>
    <dc:Contributor rdf:parseType="Resource">
    <dcq:AgentType
    rdf:resource="http://purl.org/metadata/dublin_core_qualifiers#
    Editor"/>
    <rdf:value>Amy Friedlander</rdf:value>
    </dc:Contributor>
    <dc:Publisher>Corporation for National Research
    Initiatives</dc:Publisher>
    <dc>Date>1998-01-05</dc>Date>
    <dc:Type>electronic journal</dc:Type>
    <dc:Subject>
    <rdf:Bag>
    <rdf:li>library use studies</rdf:li>
    <rdf:li>magazines and newspapers</rdf:li>
    </rdf:Bag>
    </dc:Subject>
    <dc:Format>text/html</dc:Format>
    <dc:Identifier>urn:issn:1082-9873</dc:Identifier>
    <dc:Relation rdf:parseType="Resource">
    <dcq:RelationType
    rdf:resource="http://purl.org/metadata/dublin_core_qualifiers#IsPartOf
    "/>
    <rdf:value resource="http://www.dlib.org"/>
    </dc:Relation>
    </rdf:Description>
</rdf:RDF>
```

2.4.3.2 OWL

OWL (del inglés *Ontology Web Language*), es una propuesta de estandarización de lenguaje ontológico, especificado por un grupo de

trabajo Web Ontology del consorcio W3C (<http://www.w3.org/2001/sw/WebOnt/>), que ayudaría a solucionar los impedimentos actuales para la construcción cooperativa de ontologías, entre diferentes plataformas de construcción ontológica, además de potenciar a la Web Semántica.

En un ampliamente referenciado artículo de *Scientific American*, Berners-Lee, Hendler y Lassila escribían sobre la importancia del lenguaje ontológico *OWL* con respecto al desarrollo de la Web Semántica de la siguiente manera:

”Para que la web semántica funcione, es imprescindible que los ordenadores tengan acceso a conjuntos estructurados de información y conjuntos de reglas de inferencia que puedan utilizar para realizar el razonamiento automatizado. Científicos que investigan la inteligencia artificial ya estudiaban estos sistemas antes de que la Web se desarrollara. La representación del conocimiento, así se conoce a esta tecnología, se encuentra actualmente en un estado comparable al del hipertexto antes de la llegada de la Red: es evidentemente una buena idea, y existen algunas demostraciones muy buenas, pero todavía no ha cambiado el mundo. Contiene la semilla de aplicaciones importantes, pero para desarrollar todo su potencial necesita estar conectado a un sistema global único”.

Los lenguajes ontológicos anteriores a *OWL* han sido utilizados para desarrollar herramientas y ontologías destinadas a comunidades específicas (especialmente para ciencias y aplicaciones específicas de comercio electrónico), no fueron definidos para ser compatibles con la arquitectura de la World Wide Web en general, y la Web Semántica en particular. *OWL*, rectifica esto proporcionando un lenguaje, que utiliza la conexión

proporcionada por *RDF* para añadir las siguientes capacidades a las ontologías:

- Capacidad de ser distribuidas a través de varios sistemas.
- Escalable a las necesidades de la Web.
- Compatible con los estándares Web de accesibilidad e internacionalización.
- Abierto y extensible.

El lenguaje ontológico *OWL* extiende *RDF(s)* para permitir la expresión de relaciones complejas entre diferentes clases *RDF(s)*, y mayor precisión en las restricciones de clases y propiedades específicas. Esto incluye, por ejemplo, recursos para: las restricciones de las propiedades de clases con respecto a número y tipo; la inferencia de elementos que tienen varias propiedades son miembros de una clase en particular; los recursos para determinar si todos los miembros de una clase tendrán una propiedad en particular, o si puede ser que sólo algunos la tengan; la distinción entre relaciones *uno-a-uno*, *varios-a-uno* o *uno-a-varios*, permitiendo que las "*claves externas*" de las bases de datos puedan representarse en una ontología; la expresión de relaciones entre clases definidas en diferentes documentos en la Web; la construcción de nuevas clases a partir de uniones, intersecciones y complementos de otras, y la restricción de rangos y dominios para especificar combinaciones de clases y propiedades.

El lenguaje ontológico *OWL* se divide en tres sub-lenguajes *OWL-Lite*, *OWL-DL* y *OWL-Full*, cada uno de los cuales proporciona un conjunto definido sobre el que trabajar, siendo el más sencillo *OWL-Lite* y el más completo *OWL-Full*. (ver figura 2.3)

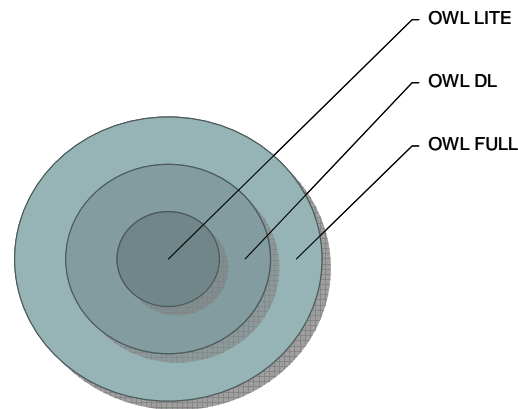


Figura 2.3 Sub-Lenguajes de OWL.

Un gran número de organizaciones han estado investigando, sobre la utilización del lenguaje ontológico *OWL* con varias de las herramientas actualmente disponibles. Además, el gobierno de los EEUU (a través de DARPA (del inglés Defense Advanced Research Projects Agency y la NSF (del inglés National Science Foundation) y la Unión Europea (mediante las infraestructuras de 5ª, 6ª y 7ª generación del programa IST (Tecnologías de la Sociedad de la Información) han estado invirtiendo en el desarrollo del lenguaje de ontologías Web. La mayoría de los sistemas actualmente emplean o se han migrando a *OWL*. Además, varias herramientas de lenguajes de ontologías, ampliamente utilizadas como el Protégé (<http://protege.stanford.edu/>), disponen actualmente de soporte para el lenguaje *OWL*. La versión de *OWL* 1.0 tiene algunas limitantes que se han corregido por un grupo de expertos en la versión *OWL* 1.1, existiendo el compromiso de los diseñadores de los razonadores Web Semánticos más importantes de darle soporte en un plazo muy breve. La extensión *OWL* 1.1 se tramita por el Comité de la W3C para su aprobación.

La relación entre la Web Semántica, y el lenguaje *OWL* en particular, y el trabajo en la Inteligencia Artificial, es parecida a la relación entre la Web y la comunidad del hipertexto, basada en algunas motivaciones iguales, pero con una arquitectura muy diferente que cambia drásticamente la manera en la que la tecnología puede desplegarse. En el siguiente fragmento de código de una ontología que modela conocimiento de un curso, representada en lenguaje *OWL*.

```
<?xml version="1.0" ?>
  <rdf:RDF xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
    xmlns:p1="http://www.owl-ontologies.com/assert.owl#"
    xmlns="http://klt.inf.um.es/dago/doctorado/mutimedia.owl#"
    xmlns:owl="http://www.w3.org/2002/07/owl#"
    xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"
    xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
    xml:base="http://klt.inf.um.es/dago/doctorado/mutimedia.owl">
    <owl:Ontology rdf:about="" />
    <owl:Class rdf:ID="AVI">
    <rdfs:subClassOf>
      <owl:Class rdf:ID="Contenedores_de_video" />
    </rdfs:subClassOf>
    <owl:disjointWith>
      <owl:Class rdf:ID="OGM" />
    </owl:disjointWith>
    </owl:Class>
    <owl:Class rdf:about="#OGM">
    ...
    <owl:ObjectProperty rdf:ID="hasBitrate_de_WAV">
      <rdfs:domain rdf:resource="#WAV" />
      <rdfs:range rdf:resource="#Bitrate" />
    </owl:ObjectProperty>
    <owl:ObjectProperty rdf:ID="hasCabecera_de_WAV" />
  </rdf:RDF>
```

2.5 Anotación semántica

Como se había comentado previamente la Web Semántica puede ser vista como una extensión de la Web actual, en la cual la información contenida

en las páginas Web (además de en lenguaje natural) debe estar representada formalmente para permitir que los ordenadores entiendan tal información y puedan procesarla inteligentemente (Berners-Lee, 2001). Para dar al contenido disponible en la Web una descripción formal, procesable por ordenador y hacer posible la visión de la Web Semántica, necesitamos agregar metadatos semánticos³ a tales recursos Web. El proceso de la adición de metadatos semánticos a los recursos Web se refiere comúnmente en el estado del arte como anotación semántica⁴. En general, la anotación semántica de un recurso Web (una página Web, una imagen, un correo electrónico,...) requiere relacionar su contenido entero o una parte de él (por ejemplo, una palabra concreta) con cierto identificador. Tal identificador (generalmente una URI), determina inequívocamente un concepto que se menciona en el contenido del recurso. Los identificadores de los conceptos que se utilizarán en el proceso de la anotación son obtenidos de conceptualizaciones de ciertos dominios del conocimiento, que toman típicamente la forma de ontologías.

Debido a que las anotaciones son la base del procesamiento automático de páginas Web, la anotación semántica tiene gran importancia. En consecuencia, este tema ha sido, y continúa siendo, un campo importante de investigación en el área de la Web Semántica. Se pueden encontrar decenas de enfoques, que se clasifican atendiendo a diversos criterios, como por ejemplo, el grado de automatización de las tareas de anotación o la clase de recursos web que pueden ser anotados. Atendiendo al grado de automatización, podríamos clasificar las herramientas y los sistemas de anotación, en manuales y sistemas de anotación (semi)automáticos.

³ Del griego *semantikos*, significado, del griego *meta*, más allá, y del latín *datum*, dato: dato acerca del significado de otro dato.

⁴ Del griego *semantikos*, significado, y del latín *annotare*, añadir una nota: añadir una nota para explicar el significado de un símbolo.

2.5.1 Sistemas de anotación manuales

Es el caso de sistemas como, por ejemplo, *Annotea* (Kahan, 2001), *SMORE* (Semantic Markup, Ontology and RDF Editor) (Kalyanpur, 2002) o *CREAM* (Creating RELational, Annotation-based Metadata) (Handschuh, 2002).

En el proyecto *Annotea* se construyó una infraestructura basada en RDF, donde las anotaciones fueran una posible imagen de esa infraestructura. Las anotaciones que se manejan son colecciones de afirmaciones sobre un documento. Pueden ser comentarios, correcciones tipográficas, hipótesis o puntuaciones; lo que se sabe a ciencia cierta es que hay un autor que hace una afirmación sobre un documento o parte de él en algún momento. Los metadatos de la anotación, descritos como esquema RDF especializado, dan información como la fecha de creación de la anotación, el nombre del autor, el tipo de anotación, la URI del documento anotado, y un puntero a la parte del documento que fue anotada. Los metadatos incluyen también la URI del cuerpo de la anotación, que se asume que es un documento XHTML. Los metadatos no dicen nada sobre cómo se presenta la anotación al usuario; esta es una decisión que se deja al diseñador de la aplicación. El proyecto *CREAM* es una plataforma de trabajo que permite la anotación de metadatos relacionados empleando una suite intuitiva.

Estos sistemas proporcionan típicamente un interfaz de usuario que permite a los anotadores humanos ver y navegar simultáneamente las ontologías y los recursos Web, usando el conocimiento modelado en las ontologías para agregar anotaciones a recursos Web. También merece la pena mencionar como enfoque de anotación manual aquellas propuestas, que consisten en

ampliar las capacidades de las herramientas de autor, para permitirles incluir anotaciones semánticas en los documentos que están siendo creados. Como ejemplo podemos mencionar *Semantic Word* (Tallis, 2003).

2.5.2 Sistemas de anotación (semi)automáticos

En este grupo podemos encontrar sistemas como, *AeroDAML* (Kogut, 2001), *SemTag* (Dill, 2005), *S-CREAM* (Handschuh, 2002), *PANKOW* (Cimiano, 2004), *C-PANKOW* (Cimiano, 2005), *KIM* (Popov, 2003) o *MnM* (Vargas-Vera, 2002). Básicamente, estos sistemas explotan técnicas de PLN (procesamiento de lenguaje natural) para extraer las referencias en el texto a ciertos conceptos descritos en ontologías. Estos sistemas requieren generalmente como entrada patrones o corpus de documentos utilizados para entrenar el sistema. Por ejemplo, el sistema *S-CREAM* emplea la suite *CREAM*, que es un sistema de anotación manual, y el sistema adaptativo de adquisición de información *Amilcare* (<http://nlp.shef.ac.uk/amilcare/>). *MnM* es una herramienta que permite la anotación de documentos *HTML* con los elementos de una ontología cargada previamente en la aplicación. Incorpora un navegador que permite visitar las distintas páginas Web. La anotación se realiza seleccionando una cadena de texto de la página Web visualizada en el navegador, así como el elemento ontológico correspondiente. Esta acción coloca un par de etiquetas *XML* de inicio y cierre alrededor de la cadena seleccionada.

En relación con la clase de recursos que pueden ser anotados, la mayoría de los enfoques existentes, están dedicados a la anotación de recursos con contenido textual. Éste es el caso de la mayoría de los sistemas referidos previamente, especialmente de aquéllos que usan técnicas PLN. Sin embargo, últimamente existe un interés creciente en la anotación de

recursos cuyo contenido no es textual. Teniendo esto en cuenta, no es sorprendente encontrar enfoques para la anotación de imágenes (Wielemaker, 2002), audio (Cano, 2004) y multimedia (Bloehdorn, 2005). Por ejemplo, el sistema *AKTivemedia* (Tuffield, 2006), realiza la anotación de textos e imágenes. *AKTivemedia* se basa en las ontologías automatizando el proceso de la anotación, sugiriendo conocimiento al usuario de una manera interactiva mientras anota y por lo tanto reduciendo al mínimo el esfuerzo.

Se pueden encontrar enfoques donde la información a ser anotada no es el contenido de un recurso Web, sino un servicio (Patil, 2004). En ese sentido, podemos decir que la anotación semántica sigue las tendencias en investigación en Web Semántica, cubriendo no sólo aspectos de la Web clásica, sino también otros más innovadores como los Servicios Web o los Servicios GRID (Global Resource Information Database).

2.6 Modelos de similitud semántica

La similitud ontológica es importante para la recuperación e integración de ontologías. Uno de los métodos más empleado es la determinación de la similitud semántica. La evaluación de la similitud semántica, es un problema con una larga historia, en la inteligencia artificial, la psicología y lingüística. (Maedche, 2002).

Los modelos de evaluación de similitud semántica se pueden clasificar de forma general en: basados en sus características, basados en las relaciones semánticas, basados en el contenido de la información, y basados en la información del contexto. Los modelos basados en sus características son propuestos por los psicólogos cognoscitivos, que juzgan las semejanzas en términos de características de los conceptos u objetos, tales como,

propiedades, papel, normativas, y reglas. Los modelos basados en las relaciones semánticas se han empleado de forma general en la informática. Estas relaciones semánticas se organizan en redes semánticas, donde los nodos denotan conceptos y sus enlaces representan las relaciones. Debido su empleo de estas redes semánticas, en las investigaciones actuales, se sugiere su uso para la determinación de la similitud semántica. Un acercamiento a la semejanza semántica, que viene del dominio lingüístico cognoscitivo, presenta un modelo para la evaluación de la similitud, que considera el contexto de palabras en el texto o las oraciones. (Rodríguez, 2003).

2.6.1 Modelo basado en las características

En (Tversky, 1977) se define una medida de la similitud, para el proceso de búsqueda de las características. Se determinó un valor de la semejanza, que no es tan sólo el resultado de características comunes, sino también el resultado de las diferencias entre dos objetos. Tomando dos objetos a y b , el proceso de evaluación es definido por la función de intersección $(A \cap B) = \{x \in \mathfrak{R} / x \in A \text{ y } x \in B\}$, es decir, las características comunes entre a y b , y la diferencia de característica entre a y b $(A - B) = \{x \in \mathfrak{R} / x \in A \text{ y } x \notin B\}$, el conjunto de características que pertenecen a a , pero no a b . Tversky define en la siguiente expresión la semejanza entre dos objetos $S(a, b)$:

$$S(a, b) = \theta f(A \cap B) - \alpha f(A - B) - \beta f(B - A), \text{ para } \theta, \alpha \text{ y } \beta \geq 0 \quad (2.1)$$

Los términos θ , α y β no son más que los pesos o ponderaciones, para las características semejantes o no de los objetos. La definición de estas ponderaciones, permiten tener una asimetría en la determinación de la

similitud. La determinación de los pesos es dado, por la importancia relativa de las características de los objetos, en caso de que su importancia sea la misma, la similitud entre los objetos sería una función lineal de las características comunes. La expresión normalizada de la similitud sería la siguiente:

$$S(a,b) = \frac{f(A \cap B)}{f(A \cap B) + \alpha f(A - B) + \beta f(B - A)}, \text{ para } \alpha \text{ y } \beta \geq 0 \quad (2.2)$$

Una estrategia diferente para este modelo basado en las características es determinar una distancia semántica entre los conceptos, como su distancia Euclidiana semántica en espacios multidimensionales (Rips, 1973). En el trabajo de Rips, se describe una evaluación de la similitud por una función monótonica de la interpolación de la distancia, dentro de un espacio multidimensional, donde los ejes en este espacio describen las características de los conceptos. La distancia entre dos puntos en un espacio multidimensional se calcula mediante la expresión que aparece a continuación, donde n es el número de dimensiones y X_{ij} es el valor del objeto i en la dimensión j .

$$d(a,b) = \left[\sum_{k=1}^n |X_{a,k} - X_{b,k}|^2 \right]^{(1/2)} \quad (2.3)$$

En (Krumhansl, 1978) también se sugirió una función para evaluar la distancia de la similitud, que complementa la distancia entre puntos con la densidad del espacio. Se le llamó modelo distancia-densidad. El modelo de la distancia-densidad, define una función de distancia \bar{d} , donde $d(a, b)$ es la

distancia normal, $\vartheta(a)$ es la función de la densidad, y α , y β son pesos relativos de la función de la densidad.

$$\bar{d}(a,b) = d(a,b) + \alpha\vartheta(a) + \beta\vartheta(b), \text{ con } \alpha \text{ y } \beta \geq 0 \quad (2.4)$$

Este trabajo argumenta que el modelo distancia-densidad puede explicar las variaciones en la similitud del objeto, con la condición que esta similitud sea mayor, que la similitud entre dos objetos.

En un trabajo más reciente (Goldstone, 1994), se propuso un nuevo modelo para la evaluación de similitud en escenarios, que comparten muchas características con el proceso cognoscitivo basado en el razonamiento. Goldstone plantea que, ni los acercamientos basados en modelos de búsqueda de características, ni los de modelos basados en el cálculo de la distancia de las características explican la correspondencia entre los escenarios. Este tipo de correspondencia llega a ser relevante mientras se comparen escenarios estructurados proporcional y jerárquicamente. Las representaciones de proporción contienen predicados relacionados, tales como las relaciones espaciales (por ejemplo, arriba, abajo, izquierda, y derecha). Las representaciones jerárquicas implican que las entidades están relacionadas o interactúan, tal como X es parte de Y o X es una clase de Y . El modelo de Goldstone, llamado SIAM, evalúa la similitud como la activación interactiva y el mapa entre las características, los objetos, y las reglas. La semejanza total entre dos objetos es determinada por la comparación de *característica-a-característica* entre los objetos, ajustados por la importancia de la semejanza en términos del grado de alineamiento.

Una desventaja de los modelos basados en las características, es que dos entidades pueden ser similares si tienen características comunes; sin

embargo, la similitud que un concepto posee o se asocia a una característica, puede ser una cuestión del grado (Krumhansl, 1978). Por lo tanto, una característica específica puede ser más importante para el significado de una entidad que otra.

2.6.2 Modelo basado en relaciones semánticas

La distancia semántica da lugar a una manera intuitiva y directa de evaluar semejanza en una red semántica jerárquica. Este tipo de jerarquía es una manera común y eficiente de organizar y de conectar conceptos (Collins y Quillian, 1969). Para una red semántica con solamente con relaciones *is-a*, el entramado de conexión semántico y la distancia semántica son equivalentes, pudiendo utilizarse el último como medida del anterior (Rada, 1989). En este contexto, la distancia conceptual es la longitud del camino más corto entre dos nodos en una red semántica.

Aunque el modelo basado en la distancia semántica ha sido apoyado por numerosos experimentos, que han demostrado que está bien adaptado para dominios específicos, tiene la desventaja de ser altamente sensible a la red jerárquica predefinida. En un escenario real, los nodos adyacentes no son necesariamente equidistantes. Las densidades irregulares pueden dar resultados inesperados en las medidas de las distancias conceptuales. El efecto de la densidad sugiere que, a mayor densidad, más pequeña es la distancia entre los nodos. Con respecto a la profundidad de la jerarquía, la distancia disminuye mientras que una desciende en la jerarquía, porque las diferencias entre los nodos se basan en detalles sutiles. Por el contrario, la mayoría de los conceptos en el centro, o en las secciones superiores de la red jerarquía, están espacialmente cercanos, se consideran que conceptualmente son similares.

Para explicar la arquitectura subyacente de una red jerárquica, el modelo de la distancia semántica debe permitir un esquema con pesos en los índices y ponderaciones variables (Lee, 1993). Para determinar la ponderación de las características estructurales de la red, se considera, la densidad local, la profundidad de un nodo en una jerarquía, el tipo de acoplamiento (es decir, tipo de relación semántica), y la fuerza de un acoplamiento del borde (es decir, proximidad entre nodo hijo y su nodo padre).

Algunos estudios han considerado distancias ponderadas en una red semántica (Sussna, 1993; Jiang & Conrath, 1997), propusieron asignar pesos en función de la fuerza del acoplamiento (LS), de la profundidad del nodo (DP), de la densidad local (LD) de un nodo, de la densidad total (WD), y del tipo de acoplamiento (T).

$$wt(c, p) = \left(\beta + (1 - \beta) \frac{WD}{LD(p)} \right) \left(\frac{dp(p) + 1}{dp(p)} \right)^\alpha LS(c, p) T(c, p) \quad (2.5)$$

Los parámetros α ($\alpha \geq 0$) y β ($0 \leq \beta \leq 1$), ponderan el grado del factor de profundidad y densidad del nodo.

La fortaleza del enlace (LS) de un nodo hijo a su nodo padre, es proporcional a la probabilidad condicional de encontrar una instancia del concepto hijo c_i dado una instancia de su padre p .

$$LS(c_i, p) = -\log \left(P(c_i|p) = \frac{P(c_i \cap p)}{P(p)} = \frac{P(c_i)}{P(p)} \right) \quad (2.6)$$

En (Sussna, 1993) se define una medida de la similitud en función de la ponderación de la distancia en una red semántica, considerando la densidad local, la profundidad en la jerarquía, y el tipo de relaciones que aparecen. La ponderación de la fortaleza del enlace entre dos nodos de una jerarquía, se define en las ecuaciones siguientes:

$$wt(c_1, c_2) = \frac{wt(c_1 R c_2) + wt(c_2 \bar{R} c_1)}{2dp} \quad (2.7)$$

$$wt(xRy) = \max_R - \frac{\max_R - \min_R}{n_R(x)} \quad (2.8)$$

Donde R es una relación, \bar{R} es la inversa de la relación; dp es la profundidad entre dos nodos; \max y \min son el máximo y el mínimo peso posible para la relación específica R ; y $n_R(x)$ es el número de relaciones R desde el nodo x .

Los modelos basados en la distancia semántica han sido ampliamente utilizados en sistemas de información (Collet, 1991; Bright, 1994; Bishr, 1997; Guarino, 1999); sin embargo, presentan las mismas desventajas con respecto a las características cognoscitivas en la evaluación de la similitud. Los modelos de distancia semántica satisfacen todas las propiedades de la métrica, son independientes del contexto, altamente sensibles a la estructura semántica, consideran solamente las relaciones *is-a* entre los conceptos, y se obtienen valores altos de similitud para los conceptos que tienen un mismo ancestro.

2.6.3 Modelo basado en el contenido de la información

Los modelos basados en contenido de la información usan una red jerárquica y la teoría de la información para determinar la similitud semántica (Resnik, 1999; Richardson y Smeaton, 1996). La idea principal es

que entre más información compartan dos conceptos, mayor similitud poseen.

La similitud conceptual se considera en términos de similitud de las clases. La semejanza entre dos clases es aproximada al contenido de información en la primera *super-clase* en la jerarquía de las que dependen las dos clases. La idea general del contenido de la información es que, al aumentar la probabilidad de ocurrencia de un concepto en un corpus, la información que contiene disminuye. Cuando más abstracto es un concepto, más bajo es el contenido de información. El contenido de la información de esta super-clase se deriva del análisis estadístico de la frecuencia de ocurrencia de las palabras o términos en el corpus. La siguiente expresión permite calcular el contenido de la información, donde $P(c)$ es la probabilidad P de la ocurrencia de c en el corpus.

$$IC(c) = -\log \frac{1}{P(c)} \quad (2.9)$$

En el caso de la herencia múltiple (Cardelli, 1984), la similitud puede ser determinada por el mejor valor de la similitud, entre todos los que se puedan determinar, para las clases. La expresión que define la función de similitud para este modelo es la siguiente, donde $S(c1, c2)$, el conjunto de los conceptos que incluyen $c1$ y el $c2$, y el IC es el contenido de información de un concepto o la clase.

$$S(c_1, c_2) = \max_{c \in Sup(c_1, c_2)} [IC(c)] \quad (2.10)$$

El modelo basado en el contenido de la información requiere menos información sobre los detalles de la estructura de la red. La determinación

del contenido de la información puede adaptar una estructura estática de conocimiento a múltiples contextos. (Resnik, 1999). Por otra parte, las palabras polisémicas y sinonímicas pueden tener un contenido de información con valores no del todo adecuados. Este modelo puede generar un resultado elevado para la comparación de clases, porque no distingue los valores de la similitud de cualquier par de clases en una sub-jerarquía mientras su denominador común sea igual (Jiang y Conrath, 1997).

2.6.4 Modelo basado en el contexto

Estudiando la relación entre la similitud semántica y la similitud del contexto, (Miller y Charles, 1991) plantearon un acercamiento del contexto a la similitud semántica. La representación del contexto de una palabra abarca las condiciones sintácticas, semánticas, pragmáticas, y estilísticas que afectan el uso de esa palabra. Además, encontraron que la similitud entre las representaciones del contexto es uno de los múltiples factores para la evaluación de la similitud entre palabras. Su trabajo reveló una relación clara entre la similitud semántica y la similitud del contexto, cuando las palabras pertenecen a la misma categoría sintáctica (es decir, sustantivos, verbos, adjetivos, o adverbios). Para tales palabras, la evaluación de la similitud se define en términos del grado de poder sustituir o no las palabras en oraciones. Si las palabras se pueden sustituir a menudo por otra palabra en el mismo contexto, son más similares. El problema con esta medida de la similitud está en la dificultad de definir una manera sistemática de calcularla.

2.7 Algunas aplicaciones de la Web Semántica

La Web Semántica se apoya en sus tecnologías para tener una diversidad de usos y aplicaciones en el desarrollo de la ciencia actual. Entre las aplicaciones de la Web Semántica más conocidas, están los buscadores semánticos como el SWOOGLE (<http://swoogle.umbc.edu/>) y las aplicaciones *RSS* y *FOAF*.

La aplicación *RSS* es un vocabulario *RDF* basado en *XML*, que permite la catalogación de información (noticias y eventos), de tal manera que sea posible encontrar información precisa adaptada a las preferencias de los usuarios. Los archivos *RSS* contienen metadatos sobre fuentes de información especificadas por los usuarios, cuya función principal es avisar a los usuarios de que los recursos que ellos han seleccionado para formar parte de esa *RSS* han cambiado, sin necesidad de comprobar directamente la página, es decir, notifican de forma automática cualquier cambio que se realice en esos recursos de interés seleccionados.

FOAF es un proyecto de Web Semántica, que permite crear páginas Web para describir personas, vínculos entre ellos, y cosas que hacen y crean. Se trata de un vocabulario *RDF*, que permite tener disponible información personal de forma sencilla y simplificada para que pueda ser procesada, compartida y reutilizada. Dentro de *FOAF*, se puede destacar *FOAF-a-Matic* (<http://www.ldodds.com/foaf/foaf-a-matic.es.html>). Se trata de una aplicación Javascript, que permite crear una descripción *FOAF* de uno mismo. Con esta descripción, los datos personales, serán compartidos en la Web pasando a formar parte de un motor de búsqueda, donde será posible descubrir información a cerca de una persona en concreto y de las comunidades de las que es miembro de una forma sencilla y rápida. *FOAFNAUT* (<http://www.foafnaut.org/>), por su lado, se utiliza para mostrar relaciones de estructuras *FOAF* con *SVG*.

Otros ejemplos de aplicaciones basadas en Web Semántica pueden encontrarse en *SWAD-Europe: Aplicaciones de Web Semántica - Análisis y Selección*. En la dirección (http://www.w3.org/2001/sw/Europe/reports/open_demonstrators/hp-applications-survey).

2.8 La Web Semántica y el e-learning

Las tecnologías para la representación y el procesamiento de la semántica de la información son cada vez más relevantes dentro de la comunidad científica. Entre los procesos donde existe consenso de lo importante de su presencia se encuentra el de e-learning. Según Koper, la importancia de la Web Semántica para el e-learning depende de cuánto contribuye la misma a la realización de tres objetivos: incrementar la efectividad de la educación, hacer más atractiva la educación y disminuir la carga de trabajo o disminuir los costos. (Koper, 2004).

Las propiedades fundamentales de la Web Semántica permiten cumplir los requerimientos que conlleva el proceso de e-learning como rapidez, aprendizaje just-in-time y pertinencia. (Stojanovic et al, 2001). El uso de las tecnologías de la Web Semántica contribuye de manera importante a la realización de las siguientes actividades deseables del e-learning (Antoniou y Harmelen, 2004; Santos et al, 2005):

- Conducir al aprendiz. Describiendo ontologías que permitan enlazar materiales de aprendizaje de diferentes autores es posible diseñar cursos personalizados, adaptables, donde se diseña un camino “semántico” que garantice que los materiales pueden ser

recuperados dentro del contexto del espacio de aprendizaje que se esté estudiando.

- Flexibilizar el acceso. Una de las ventajas del e-learning es que el conocimiento puede ser accedido en el orden en que lo desee el estudiante, de acuerdo con sus intereses y metas. Sin embargo, se puede definir una semántica apropiada para restringir el acceso a ciertos materiales en los casos en que existan pre-requisitos, manteniendo siempre la posibilidad de acceder al conocimiento de manera no lineal.
- Integración. Las tecnologías de la Web Semántica pueden proveer una plataforma uniforme para los procesos de negocio en las organizaciones, y se pueden integrar actividades educativas en ese proceso. Esta opción puede ser especialmente valorada en organizaciones donde el personal deba mantenerse constantemente actualizado.

Desde el punto de vista de la preparación de materiales de aprendizaje, éstos pueden ser anotados semánticamente de forma que puedan ser reutilizados de manera simple para otros cursos. Asimismo, también se puede facilitar el acceso a los contenidos preferidos por el usuario. Estos procesos de búsqueda y navegación semántica son posibles gracias a la tecnología ontológica.

En la siguiente tabla se muestra cómo se puede ajustar la Web Semántica a las necesidades del e-learning (Stojanovic et al, 2001).

Requerimiento	E-learning	Web Semántica
Entrega	El estudiante determina una agenda	Los ítems de conocimiento se distribuyen en la Web, y se enlazan con ontologías consensuadas
Acceso	No lineal	El usuario describe la situación de antemano y realiza búsquedas semánticas del material deseado
Simetría	Aprendizaje como actividad integrada	Ofrece el potencial para convertirse en una plataforma de integración para todos los procesos de negocio
Modalidad	Aprendizaje continuo	Entrega activa de la información que crea un entorno dinámico de aprendizaje
Autoridad	Distribuida, el contenido viene de la interacción de educador y participantes	Tan descentralizada como sea posible.
Personalización	Personalizado, el contenido se determina por las necesidades de usuario	Un usuario busca el material que se ajusta a sus necesidades
Adaptabilidad	Dinámica, el contenido cambia constantemente a través de entradas de usuario, experiencias, nuevas prácticas, etc.	Permite el uso de conocimiento proporcionado de diversas formas mediante la anotación semántica de los materiales.
Forma de respuesta	Reaccionario, responde al problema en cuestión	Cada usuario tiene su agente personalizado que se comunica con otros agentes para obtener materiales

Tabla 2.1. Requerimientos del e-learning y su respuesta en la Web Semántica.

La Web Semántica puede ser tratada como una plataforma muy aconsejable para implementar un sistema para el e-learning, ya que proporciona mecanismos útiles en el desarrollo de ontologías para el aprendizaje, la anotación semántica de materiales, su combinación para la definición de cursos y su posterior evaluación, habiendo recibido este último proceso menor atención hasta la fecha. En el capítulo anterior, se argumentó la importancia de las evaluaciones mediante preguntas abiertas, y el poco desarrollo en las distintas plataformas de formación colaborativas y no colaborativas de la calificación de este tipo de preguntas de forma semi-automática o automáticas. Luego de realizarse un recorrido por las distintas

tecnologías de la Web Semántica, se puede afirmar que estas tecnologías pueden ayudar a proponer una solución a la evaluación de preguntas abiertas o de desarrollo en los entornos del e-learning.

2.9 Problemática

Las plataformas educativas o formativas tienen una tendencia hacia el desarrollo de una formación centrada en el estudiante, lo que fomenta el empleo de nuevas tecnologías que permitan la colaboración y una mayor interacción entre los integrantes del proceso. La evaluación dejó de ser una actividad meramente evaluativa, para convertirse en una actividad de aprendizaje más, teniendo una gran importancia el feedback o retroalimentación de las actividades formativas que incluyen las evaluaciones de las materias desarrolladas. En el estudio del estado del arte que se realizó, se hizo evidente que estas plataformas de formación no poseen en su mayoría mecanismos que hagan flexible el proceso de evaluación mediante preguntas abiertas, lo que limita la posibilidad de tener una retroalimentación o feedback de las actividades evaluativas en ambientes colaborativos. Por ello se planteó: **desarrollar mecanismos flexibles mediante tecnologías de la Web Semántica que permitan evaluar las preguntas abiertas o de desarrollo en los entornos de e-learning.**

2.10 Conclusiones

En este capítulo se han descrito las tecnologías de la Web Semántica, destacándose las ontologías y la anotación semántica. Se ha analizado el concepto de la Web Semántica, sus componentes principales y su relación con los Sistemas Basados en Conocimiento. En lo que respecta a las ontologías, al ser una de las tecnologías principales en la Web Semántica, se ha analizado su conceptualización, distintas clasificaciones, así como las metodologías de construcción ontológicas más actuales. Se han descrito los principales lenguajes empleados en la Web Semántica para la representación del conocimiento. También se ha descrito la anotación semántica otra de las tecnologías fundamentales de la Web Semántica desde la óptica de los sistemas manuales de anotación y los semi-automáticos. En cuanto a los modelos de similitud semántica, se tratan los más empleados. Por último, se describe cómo la Web Semántica mejora algunos de los requerimientos del proceso de e-learning. Esto permite plantearse la problemática a la que se enfrenta esta investigación desde una perspectiva de la Web Semántica.

En el próximo capítulo se hará un análisis de la metodología desarrollada para dar solución a la evaluación de las preguntas abiertas con el empleo de tecnología semántica.

Metodología de evaluación de exámenes en e-learning

3.1 Introducción

En este capítulo, se presenta la metodología que permite la creación de exámenes, de preguntas abiertas o desarrollo y la de evaluación de las mismas. Las ontologías se emplean para la representación del conocimiento del curso, las respuestas esperadas y las dadas por los estudiantes. La anotación semántica se emplea en la metodología para la evaluación de respuestas en entornos de e-learning.

La metodología sigue las siguientes fases: 1) creación de la ontología del curso, 2) creación de preguntas, 3) selección y anotación de las preguntas del examen, 4) anotación de las respuestas, y 5) función de evaluación.

3.2 Conceptos básicos

A lo largo del capítulo se emplean una serie de conceptos que se definen para tener una mayor claridad en la presentación de la metodología de evaluación de preguntas abiertas o de desarrollo en el e-learning.

- **Cursos.** Constituye una experiencia educativa, que puede ser considerada como la unidad básica de planificación, estructuración y realización del trabajo docente. En esta investigación se realiza una

conceptualización del dominio, mediante la creación de una ontología del curso o experiencia educativa que se imparte.

- **Exámenes.** Actividades evaluativas que se desarrollan con el objetivo de apreciar los resultados alcanzados en el proceso formativo. En la investigación se construyen en base a los objetivos del curso, la conceptualización del dominio y las actividades evaluativas que lo componen.
- **Preguntas.** Constituye uno de los recursos evaluativos para determinar el grado de aprovechamiento académico que se obtiene. En la investigación se clasifican en preguntas cerradas y preguntas abiertas. Constituyen un elemento básico de los exámenes.

3.3 Metodología de preparación de preguntas y exámenes

La evaluación, se basa en la realización de ciertas actividades a través de las cuales el profesor y los alumnos recogen información sobre los avances y los resultados de aprendizaje, logrados durante el proceso de aprendizaje seguido. Las actividades evaluativas se realizan durante el proceso de aprendizaje o al final del proceso, con el fin de tomar decisiones, ya sea para acreditar el curso o para mejorar algún aspecto que impacta en el éxito del estudiante. Para lograr una correcta evolución deben de intervenir una serie de elementos, que hagan factible el proceso de evaluación. La evaluación de las intervenciones de los estudiantes se realiza con el empleo de tecnologías de la Web Semántica, por lo que el curso, los exámenes y las preguntas que los componen deben de ser desarrollados empleando técnicas de representación que poseen dichas tecnologías.

En el apartado se analiza la metodología que se sigue para generar los exámenes y las preguntas, lo que permite posteriormente el empleo de la metodología de evaluación de preguntas abiertas o de desarrollo con el empleo de tecnologías de la Web Semántica que se propone. La metodología de evaluación describe una solución que se basa en elementos de la tecnología de la Web Semántica, y uno de sus tecnologías pilares, las ontologías. Por lo que, se construye una ontología que modela el dominio del conocimiento de un curso real. (Figura 3.1). Lo que ofrece una mayor facilidad de uso, y la posibilidad de crear un recurso independiente y autónomo. Otra de las ventajas se refiere a la riqueza de la información que permite representar: partiendo de los conceptos, atributos y relaciones, por lo que es posible trazar una estructura conceptual tan detallada y completa como sea necesario. En esta ontología se realiza la creación de una instancia de *EXAM_QUESTION_ANSWER*, lo que permite definir las preguntas que posee el examen evaluativo. La instancia *COURSE* a su vez permite definir el dominio del curso desarrollado. Esta ontología se nombra como ontología OeLE.

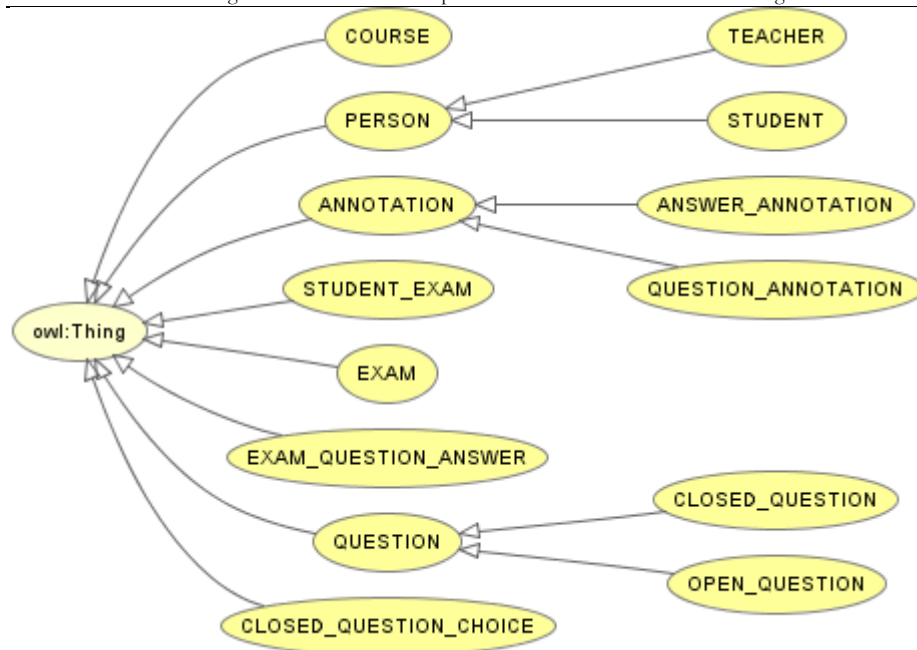


Figura 3.1. Fragmento ontología del dominio.

Además, esta ontología describe los tipos de anotaciones que se pueden realizar (Figura 3.2). Lo que facilita que el modelo de anotaciones sea fácilmente extensible, compatible y reutilizable en caso de que surjan nuevos requisitos, nuevos tipos de anotaciones y pueda ser empleado de manera eficiente en otras aplicaciones. En la construcción de la ontología se empleó el editor de ontologías Protégé, que es el resultado de un proyecto desarrollado por la Universidad de Stanford (<http://protege.stanford.edu>). Aunque, es posible desarrollarla en cualquier editor de ontologías que las represente en lenguaje ontológico *OWL*. La ontología modelada puede ser consultada (<http://klt.inf.um.es/~oele/>).

Las anotaciones que se realizan para las preguntas y respuestas, que componen las pruebas de evaluación son instancias del correspondiente tipo de anotación contenido en este modelo. Por ello, también se almacenan en el lenguaje ontológico *OWL*, obteniendo las ventajas anteriores.



Figura 3.2. Ontología del dominio. Fragmento de la parte de anotación.

3.3.1 Preparación de preguntas cerradas

Las preguntas cerradas es un conjunto de posibles preguntas, donde solo una es la respuesta correcta. La evaluación de este tipo de preguntas es sencilla, y no es necesario crear anotaciones semánticas para su evaluación, por ello están implementadas de forma automática en la mayoría de las plataformas educativas. Una pregunta cerrada puede ser formalmente definida como la siguiente tupla:

$$\mathbf{Pregunta_Cerrada (P)} = \langle \text{descripción}, \{\text{respuesta } i\}, \text{respuesta_correcta}, \text{valor} \rangle$$

donde:

- descripción: es la descripción de la pregunta o enunciado de la misma.
- respuesta_i: es el conjunto de posibles respuestas, donde $i = 1..n$
- respuesta_correcta: es la respuesta correcta del conjunto de respuestas correctas. $\in \{respuesta_i\}$
- valor: es el valor o coeficiente que se le asigna a la respuesta correcta.

Por ejemplo la pregunta: *¿Cuándo ganó España su primer Campeonato Mundial de Baloncesto?* Que tendría las posibles respuestas siguientes:

- a) 1999
- b) 1953
- c) 2002
- d) 2006

La respuesta correcta es la d) y que tendría un valor de 5 puntos.

```
<CLOSED_QUESTION rdf:ID="QUESTION_01">
  < description rdf:datatype="&xsd:string" >¿Cuándo ganó España su primer
  Campeonato Mundial de Baloncesto?</ descripción >
  <value rdf:datatype="&xsd;float">5.0</value>
  <expected_answer rdf:datatype="&xsd:string">2006</expected_answer>
    <choices rdf:resource="# 1999"/>
    <choices rdf:resource="# 1953"/>
    <choices rdf:resource="# 2002"/>
    <choices rdf:resource="# 2006"/>
  <TEACHER
  rdf:ID="JESUALDO_TOMAS_FERNANDEZ_BREIS">
    <creates_questions rdf:resource="#QUESTION_01"/>
  </TEACHER>
</ CLOSED_QUESTION >
```

Cuatro instancias similares de *CLOSED_QUESTION_CHOICE* (Selección de la pregunta cerrada) son generadas como las siguientes:

```
< CLOSED_QUESTION_CHOICE rdf:ID=" 2006">  
  <description rdf:datatype="&xsd:string">2006</description>  
  <seleccion_ rdf:resource="#QUESTION_01"/>  
</CLOSED_QUESTION_CHOICE>
```

3.3.2 Preparación de preguntas abiertas

En la metodología de evaluación se prevé que las preguntas abiertas se responden en lenguaje natural, por lo que su corrección de forma automática o semi-automática se convierte en un proceso más complejo. En este caso el profesor necesita escribir y anotar semánticamente las preguntas. Para las preguntas abiertas o de desarrollo, la tupla sería de esta forma:

Pregunta_abierta (A) = *<descripción, respuesta_esperada, {pregunta_annotada_i}, valor>*

donde:

- descripción: es la descripción de la pregunta o enunciado de la misma.
- respuesta_esperada: es opcional y contiene la respuesta correcta en lenguaje natural de la pregunta abierta que se formuló.
- pregunta_annotada_i: es el conjunto de anotaciones semánticas definidas para la pregunta realizada.
- valor: es el valor o coeficiente que se le asigna a la respuesta correcta.

Las anotaciones en la *respuesta_esperada* representan la respuesta esperada “formalizada”, puesto que contendrían las entidades semánticas que se deben identificar por los estudiantes en la respuesta a la pregunta formulada. Las anotaciones que se realizan para la *respuesta_esperada* que componen las pruebas de evaluación son instancias del modelo *OPEN_QUESTION*. Por ello, también se almacenan en el lenguaje ontológico OWL, obteniendo los mismos beneficios comentados anteriormente para el modelo de anotaciones.

Por ejemplo, en la pregunta “*En el diseño de materiales hemos de prestar atención diferenciada al diseño pedagógico y al diseño técnico. ¿Cuáles son los elementos a tener en cuenta en los respectivos tipos de diseño?*”, sería representado en el lenguaje ontológico OWL de la siguiente forma:


```
< OPEN_QUESTION rdf:ID="PREGUNTA_2">
  < description rdf:datatype="&xsd:string">
    En el diseño de materiales hemos de prestar atención diferenciada al diseño
    pedagógico y al diseño técnico. ¿Cuáles son los elementos a tener en cuenta en los
    respectivos tipos de diseño?
  </description>
  <valor rdf:datatype="&xsd:float">10.0</valor>
  <question_id rdf:datatype="&xsd:string">2</question_id>
  <expected_answer rdf:datatype="&xsd:string">
    Cuando estamos creando o evaluando un material por medio de las
    nuevas tecnologías, sea para soportarse en la red o para incluirse en
    un soporte físico (CD-ROM, DVD...), debemos atender a dos
    aspectos principales que marcan el mismo y a los cuales tendremos
    que prestar atención diferenciada </expected_answer>
  < pregunta_creada_por_el_profesor rdf:resource=
    "#Dagoberto Castellanos Nieves"/>
</ OPEN_QUESTION >
```

Se necesita además de esta información representada en el lenguaje ontológico OWL, anotar semánticamente la respuesta esperada por el profesor, empleando la ontología del curso. Las anotaciones de las preguntas abiertas están compuestas por un conjunto de elementos ontológicos (conceptos, relaciones, atributos y valores de los atributos). Las anotaciones como los conceptos pueden usarse para representar los dominios principales (por ejemplo, estudiantes); los atributos, representan las propiedades de los conceptos (por ejemplo, el login del usuario); las relaciones, establecen la relación semántica entre dos conceptos (por ejemplo, los estudiantes toman un curso).

Las propiedades de una categoría ontológica en particular entre la anotación de una pregunta y una respuesta difieren. La anotación de una pregunta es definida por la tupla:

Anotación_pregunta (Pa): $\langle \text{ontología}, \text{anotación_entidad}, \text{valor_cuantitativo} \rangle$

donde:

- **ontología**: es la ontología del curso.
- **anotación_entidad**: representa la anotación del conocimiento de la entidad (conceptos, relaciones, atributos y valores).
- **valor_cuantitativo**: es el valor cuantitativo asociado a la preguntas, los valores serían entre 1 y 10. El valor se asigna por la importancia que tenga entidad de conocimiento en el contexto individual de la pregunta.

La representación del conociendo de la entidad (*anotación_entidad*) esta definido por los conceptos, atributos y relaciones:

- **Anotación_entidad_concepto**: $\langle \text{nombre_entidad}, \text{importancia} \rangle$, donde *nombre_entidad* es el nombre del termino en la ontología; e *importancia* es el valor del elemento en el contexto de la pregunta.
- **Anotación_entidad_atributo**: $\langle \text{nombre_entidad}, \text{nombre_concepto}, \text{importancia} \rangle$, donde *nombre_entidad* es el nombre del termino en la ontología; *nombre_concepto* es el concepto asociado a el atributo de la ontología; e *importancia* es el valor del elemento en el contexto de la pregunta.
- **Anotación_entidad_relación**: $\langle \text{nombre_entidad}, \text{nombre_concepto1}, \text{nombre_concepto2}, \text{importancia} \rangle$, donde *nombre_entidad* corresponde a el termino en la ontología, *nombre_concepto_i* son los conceptos

que están asociados por la relación en la ontología; e *importancia* es el valor del elemento en el contexto de la pregunta.

Dado un *Pregunta_ anotación (Pa)*, la siguiente regla puede ser aplicada:

$$x = Pa. anotación_entidad.nombre_entidad \rightarrow x \in Pa.ontología$$

En la pregunta anotada, se definen las entidades que el estudiante tiene identificada de la respuesta esperada. El profesor o instructor del curso anota el conocimiento asociado a las entidades (conceptos, atributos, relaciones y valores) con sus correspondientes valores cuantitativos y cualitativos definidos por él. A continuación, un fragmento de la anotación de una pregunta abierta. Concretamente se corresponde a la relación “*el sistema de codificación es parte del diseño técnico*” y la *importancia* de la relación es 4.

```
<Question_relation_annotation rdf:ID="Anotacion_relacion_pregunta_2">
< entity_name rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">
PART OF</ entity_name >
<concept2 rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">
technical design</concept2>
<concept1 rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">
coding systems</concept1>
< quantitative_value rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int">
4</ quantitative_value >
</ Question_relation_annotation >
```

3.3.3 Preparación de los exámenes

Los exámenes están compuestos por actividades evaluativos como las preguntas. Estas pueden ser tanto preguntas abiertas como cerradas, por lo que luego de construir las preguntas, los exámenes pueden ser definidos

seleccionando las preguntas que se incluyen en los mismos. Los exámenes se definen como:

Examen (E): $\{Pregunta_Examen_i\}$

donde

Pregunta_Examen(PE) es el par $\langle pregunta, valor \rangle$, siendo pregunta una pregunta abierta o cerrada; valor no es más que el valor de la pregunta en el contexto del examen.

En el ejemplo siguiente se representa en lenguaje ontológico OWL, un fragmento de una pregunta de examen de un curso.

```
<EXAM rdf:ID="CONTENT_DESIGN_EXAM_1">
  <questions>
    <OPEN_QUESTION rdf:ID="QUESTION_1">
      <question_id rdf:datatype="... #string">3</question_id>
      <question_created_by_teacher
        rdf:resource="#DAGOBERTO_CASTELLANOS"/>
      <value rdf:datatype="... #float">30.0</value>
      <text_description rdf:datatype="... #string">¿Cuales son los principales
        aspectos a considerar en el diseño de contenidos con las nuevas tecnologías?
      </text_description>
    </OPEN_QUESTION>
  </questions>
  <course_exam rdf:resource="#CONTENT_DESIGN_COURSE"/>
</EXAM>
```

3.4 Metodología de evaluación

La metodología de evaluación que se define es flexible, y se basa en la evaluación de la similitud de propiedades ontológicas, como los conceptos, relaciones y atributos, del conocimiento representado y anotado mediante ontologías. En la determinación de la similitud o semejanza de estos elementos de las ontologías, se emplean varios criterios. Se presentará los

supuestos de partida que se tienen en la metodología, se define la política de evaluación, una descripción de las similitudes de cada elemento ontológico y se formalizan las expresiones que permiten su determinación. Además, se realiza una ejemplificación de la determinación de la similitud de los elementos ontológicos en un curso real.

3.4.1 Supuestos de partida

La metodología que se propone para la evaluación de preguntas abiertas o desarrollo parte de los siguientes supuestos:

- **Las ontologías pueden utilizarse para representar conocimiento.**
- **Los expertos en un dominio pueden extraer conocimiento a partir de textos y otros materiales de ese dominio.** En el dominio que se analiza los expertos del dominio serían los profesores e instructores que preparan el material del curso que se imparte. Este conocimiento, que se representa en las ontologías puede ser reutilizado y ampliado a largo del curso, ya sea por integración de conocimiento o por el feedback con los estudiantes.
- **Las respuestas a las preguntas de los exámenes contienen conocimiento.** Pueden aparecer entidades de conocimiento a lo largo de la respuesta de los estudiantes de una manera explícita, aunque a veces el conocimiento puede estar expresado de manera implícita.
- **Se puede realizar anotaciones semánticas, donde se extraen los elementos ontológicos relevantes, conceptos o clases, atributos y relaciones.**

3.4.2 Política de evaluación

La metodología de evaluación se define en base a los siguientes elementos: ontología del curso, respuesta esperada a la pregunta, respuesta del alumno, y ponderación de la respuesta. Cada pregunta tiene asociada una *anotación/respuesta esperada* formada por un conjunto de propiedades ontológicas:

- **Conceptos.** Cada concepto vendrá identificado por su expresión lingüística asociada. Ejemplos: *ordenador, impresora, periférico, componentes informáticos,...*
- **Atributos.** Cada atributo vendrá identificado por su nombre y el concepto al que pertenece. Asimismo, cada atributo puede tener definido un conjunto de valores asociados. Ejemplos: *ordenador.mbram, ordenador.hdcapacidad,...*
- **Relaciones.** Cada relación vendrá identificada por su tipo de relación o nombre de relación, y los términos asociados a los conceptos que participan en la misma. Ejemplos: *es-un(impresora, periférico), ...*
- **Valores.** Cada valor vendrá identificado por su nombre, el atributo a que pertenece y el valor que posee. Ejemplo: *ordenador.mbram.capacidad = 1024M*

Cada anotación que se realiza a la pregunta, tendrá asociados los metadatos contemplados, la puntuación cuantitativa y cualitativa. Las respuestas del alumno, tiene asociada una anotación, formada por un conjunto de los mismos elementos ontológicos que en el caso anterior, aunque sin llevar asociado un valor de puntuación de su respuesta.

Se determina la similitud entre los elementos ontológicos de la respuesta del alumno y de la respuesta esperada (correcta). Para ello, en primer lugar, se analiza la similitud entre los elementos ontológicos del mismo tipo (clases, atributos y relaciones), presente en la ontología construida. Luego se determina con el empleo de la función de evaluación la calificación obtenida. En el estudio del arte de la similitud de elementos ontológicos varios autores tienen aportaciones (Resnik, 1999; Maedche, 2002; Rodríguez, 2003; Euzenat, 2004). La metodología desarrollada para la evaluación de las preguntas abiertas o de desarrollo, emplea elementos de estas investigaciones, al definir algunas de las funciones que se emplean en las mismas, y teniendo en cuenta las propiedades de las relaciones de reflexividad y simetría.

3.4.3 Similitud de conceptos

La similitud de conceptos, evalúa el grado de similitud existente, entre los conceptos en la respuesta del alumno y en la respuesta esperada. Teniendo en cuenta que los conceptos que se comparan, son de la misma ontología. La comparación de similitud, de cada concepto de la respuesta del alumno, se hace con todos los conceptos de la respuesta correcta o esperada.

Se llama $Sim_conceptos(C_i, C_j)$, a la función que calcula, la similitud existente entre dos conceptos de la misma ontología. Como parámetros, los conceptos C_i y C_j , donde C_i es el concepto presente en la respuesta del alumno, y C_j es el concepto presente en la respuesta esperada (correcta) definida por el profesor. El resultado de esta función, es un valor numérico entre 0 y 1, que indica como de iguales o no, son los conceptos C_i y C_j . Un valor más próximo a cero indica que difieren, y un valor próximo a uno

indica que son muy semejantes. El valor 1 indica similitud de un 100%, es decir los conceptos son idénticos. En caso contrario, se calcula un coeficiente de similitud entre los conceptos, teniendo en cuenta la distancia ontológica entre los conceptos, la similitud existente entre las propiedades (atributos y relaciones) de cada concepto y la similitud lingüística.

3.4.3.1 Proximidad ontológica

La proximidad ontológica, entre los nodos, está determinada por el camino mínimo a seguir en el árbol de la ontología. Al tratarse del camino mínimo, se considera que este camino pasará forzosamente por el primer padre en común, que tengan ambos conceptos. Se considera la proximidad ontológica como los nodos intermedios entre ambos conceptos de la ontología.

Tradicionalmente se viene definiendo la proximidad ontológica entre dos conceptos C_i y C_j en función del número de nodos intermedios entre C_i y C_j en el árbol. En la (figura 3.3) consideremos la siguiente jerarquía de conceptos:

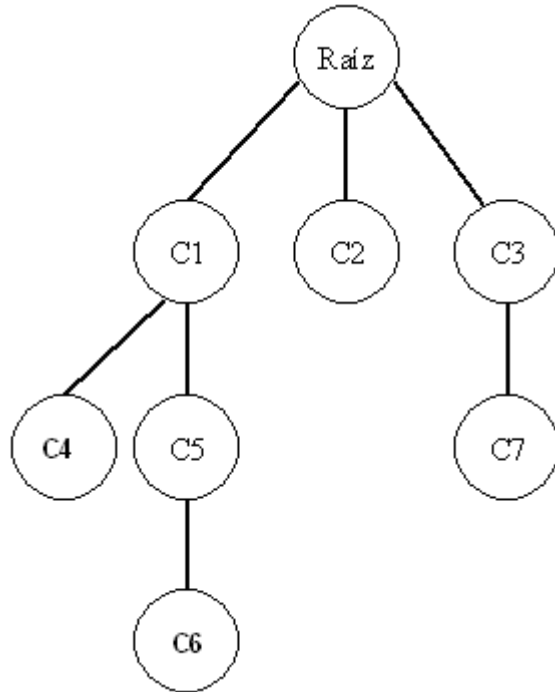


Figura 3.3. Jerarquía de conceptos de una ontología

La proximidad ontológica entre los nodos C_4 y C_6 estará determinada por el camino mínimo a seguir en el árbol para, partiendo de C_4 , llegar a C_6 . Al tratarse del camino mínimo, debemos considerar que este camino pasará forzosamente por el primer padre en común que tengan ambos conceptos, en este caso, el nodo C_1 . Así, si consideramos la proximidad ontológica como los nodos intermedios entre C_4 y C_6 , en el ejemplo tendrá un valor de 2.

La definición de la proximidad ontológica entre dos conceptos, a saber, C_i y C_j , de una ontología dada, se puede formular de la siguiente manera:

$$\text{Proximidad}(C_i, C_j) = 1 - \frac{\text{Número de nodos}}{\text{Número total de nodos}} \quad (3.1)$$

Por lo tanto, la distancia entre los conceptos C_i y C_j viene dada por el cociente entre: *Número de nodos* existentes entre los nodos C_i y C_j dentro del camino de longitud mínima que une los conceptos dentro de la jerarquía, pasando por el primer padre común, y el *Número total de nodos* de la jerarquía de conceptos de la ontología. Al dividirse por el *Número total de nodos* logramos que la expresión 3.1 devuelva un valor normalizado comprendido entre 0 y 1.

3.4.3.2 Distancia definicional

Las propiedades comunes entre los conceptos, es decir, tanto atributos, como las relaciones, influyen en las similitudes que existen entre ellos. La determinación de la similitud entre el conjunto de propiedades será determinado por el propuesto por (Rodríguez & Egenhofer, 2003). Por tanto, se define una expresión, que cuantifica la similitud de las propiedades de C_i y C_j que estamos evaluando. Esta función se denomina como *Propiedades* (C_i, C_j). La función de *Propiedades* (C_i, C_j) esta determinada por las propiedades comunes y no comunes a los conceptos C_i y C_j .

Se define la función *AtributosComunes*(C_i, C_j) como el conjunto de atributos que tienen en común dos conceptos, a saber, C_i y C_j .

Se define la función *RelacionesComunes* (C_i, C_j) como el conjunto de relaciones que tienen en común dos conceptos, a saber, C_i y C_j , de manera que el

dominio de la relación está formado por la clase C_i , y el rango de la relación está formado por la clase C_j .

Se define la función *Comunes* (C_i, C_j) como la suma del número de atributos en común más el número de relaciones en común de los conceptos C_i y C_j

$$\text{Comunes}(C_i, C_j) = \left| \text{AtributosComunes}(C_i, C_j) \right| \cup \left| \text{RelacionesComunes}(C_i, C_j) \right| \quad (3.2)$$

Se define la función *AtributosNoComunes* (C_i, C_j) como el conjunto de atributos en que difieren dos conceptos, a saber, C_i y C_j . Dicho de otra manera, es el conjunto de atributos que aparecen en C_i pero que no aparecen en C_j .

Se define la función *RelacionesNoComunes* (C_i, C_j) como el conjunto de relaciones que no tienen en común dos conceptos, a saber, C_i y C_j , de manera que el dominio de la relación está formado por la clase C_i y el rango de la relación está formado por la clase C_j .

Se define la función *NoComunes* (C_i, C_j) como la sumatoria de número de atributos no comunes más el número de relaciones no comunes de los conceptos C_i y C_j .

$$\text{NoComunes}(C_i, C_j) = \left| \text{AtributosNoComunes}(C_i, C_j) \right| \cup \left| \text{RelacionesNoComunes}(C_i, C_j) \right| \quad (3.3)$$

A partir de las funciones anteriores, se define una función general, que se denomina *Propiedades* (C_i, C_j), que da una medida del grado de similitud entre

dos conceptos C_i y C_j basada en las propiedades que tienen en común y en las que difieren:

$$Propiedades(C_i, C_j) = \frac{Comunes(C_i, C_j)}{Comunes(C_i, C_j) + p_1(C_i, C_j)NoComunes(C_i, C_j) + \dots + (1 - p_1(C_i, C_j))NoComunes(C_j, C_i)} \quad (3.4)$$

En esta función, el parámetro $p_1(C_i, C_j)$ es una medida de la profundidad relativa de los conceptos C_i y C_j en la jerarquía de conceptos. (Rodríguez & Egenhofer, 2003).

Cuando la profundidad del concepto C_i sea menor o igual que la profundidad del concepto C_j en la jerarquía, entonces $p_1(C_i, C_j)$ vendrá definida como:

$$p_1(C_i, C_j) = \frac{Profundidad(C_i)}{Profundidad(C_i) + Profundidad(C_j)} \quad (3.5)$$

En caso contrario, cuando la profundidad del concepto C_i es mayor que la profundidad del concepto C_j , $p_1(C_i, C_j)$ se define como:

$$p_1(C_i, C_j) = \frac{1 - Profundidad(C_i)}{Profundidad(C_i) + Profundidad(C_j)} \quad (3.6)$$

Tal y como se ha definido, la función $Propiedades(C_i, C_j)$ nos devolverá un valor comprendido en el intervalo cerrado $[0, 1]$.

3.4.3.3 Distancia lingüística

La distancia lingüística entre dos conceptos C_i y C_j es una medida de la similitud entre dos palabras, indica el valor mínimo de transformaciones, es decir, inserciones, eliminaciones y sustituciones para obtener la similitud entre las palabras.

La literatura recoge varios algoritmos para cuantificar la distancia lingüística entre dos términos. Se optó por utilizar el algoritmo de Levenshtein (Levenshtein, 1966). Por lo tanto, se define la función $IgualNombre(C_i, C_j)$ como una medida de la distancia lingüística entre C_i y C_j basada en el algoritmo de Levenshtein:

$$IgualNombre(C_i, C_j) = \frac{1}{(1 + L(C_i, C_j))} \quad (3.7)$$

Siendo $L(C_i, C_j)$ la distancia de Levenshtein. Esta función devuelve un valor en el intervalo cerrado $[0, 1]$

3.4.3.4 Definición de la función de similitud entre conceptos

Las distancias que se definieron en los tópicos anteriores permiten determinar la función de similitud entre los conceptos C_i y C_j como:

$$\begin{aligned} \text{Sim_conceptos}(C_i, C_j) = & \alpha_c \text{Distancia}(C_i, C_j) + \beta_c \text{Propiedades}(C_i, C_j) + \dots \\ & \dots + \delta_c \text{Igualnombre}(C_i, C_j) \end{aligned} \quad (3.8)$$

Los parámetros de ponderación α_c , β_c y δ_c son una medida estimativa de la importancia que se da en la función de evaluación a cada una de las distancias que intervienen en la similitud.

- α_c : indica el peso de la distancia ontológica entre C_i y C_j dentro de la función de evaluación. La escala de valores que puede tomar se encuentran entre $[0, 1]$
- β_c : indica el peso de la distancia definicional entre C_i y C_j dentro de la función de evaluación. La escala de valores que puede tomar se encuentran entre $[0, 1]$
- δ_c : indica el peso de la distancia lingüística entre C_i y C_j dentro de la función de evaluación. La escala de valores que puede tomar se encuentran entre $[0, 1]$

Los valores α_c , β_c y δ_c se transforman en la escala entre 0 y 1, determinando su cociente por la sumatoria de los tres $0 \leq \alpha_c \leq 1$, $0 \leq \beta_c \leq 1$ y $0 \leq \delta_c \leq 1$, para $\alpha_c + \beta_c + \delta_c = 1$. Cualquier similitud entre dos conceptos nos dará un valor en el intervalo cerrado $[0, 1]$

3.4.4 Similitud de atributos

Se puede obtener una medida de la similitud existente entre dos atributos At_i y At_j de la ontología. De manera similar a la función de similitud para dos conceptos C_i y C_j , la similitud para dos atributos At_i y At_j , se determina

por la similitud lingüística entre los mismos, la similitud de conceptos a los que pertenecen y la similitud del conjunto de valores que poseen.

3.4.4.1 Similitud entre los conjuntos de valores

Una primera aproximación al cálculo de la similitud entre dos atributos, a saber, At_i y At_j , pasa por estudiar los conjuntos de valores de ambos.

Sea $Valores(At_i)$, el conjunto de valores del atributo i . Sea $Valores(At_j)$ el conjunto de valores del atributo j . La similitud de estos conjuntos de valores es la intersección de sus elementos.

A partir de los anteriores conjuntos, se define la función de similitud entre los valores de dos atributos At_i y At_j , $SimilitudValores(At_i, At_j)$, en función de sus respectivos conjuntos de valores, como:

$$SimilitudValores(At_i, At_j) = \frac{|Valores(At_i) \cap Valores(At_j)|}{|Valores(At_i) \cup Valores(At_j)|} \quad (3.9)$$

La similitud de los atributos At_i y At_j , en función de sus conjuntos de valores, se determinará como el número común de valores que tienen ambos atributos entre el número total de valores existentes en ambos conjuntos. Esta función devolverá un valor en el intervalo cerrado $[0,1]$.

3.4.4.2 Distancia lingüística

La distancia lingüística entre dos atributos At_i y At_j , es una medida de la similitud entre dos palabras, indica el valor mínimo de transformaciones, es decir, inserciones, eliminaciones y sustituciones para obtener la similitud entre las palabras.

Son muchos los algoritmos que se utilizan para cuantificar la distancia lingüística entre dos términos. Se optó por utilizar el algoritmo de Levenshtein (Levenshtein, 1966). Por lo tanto, se definió la función $IgualNombre(At_i, At_j)$ como una medida de la distancia lingüística entre los atributos At_i y At_j basada en el algoritmo de Levenshtein:

$$IgualNombre(At_i, At_j) = \frac{1}{(1 + L(At_i, At_j))} \quad (3.10)$$

Siendo $L(At_i, At_j)$ la distancia de Levenshtein. El valor de la función será en el intervalo cerrado $[0,1]$.

3.4.4.3 Similitud entre conceptos

La similitud entre conceptos hace referencia a la medida de similitud existente entre los conceptos a los que pertenecen los atributos At_i y At_j . Esta medida de similitud ya se calculó anteriormente como:

$$\begin{aligned} Sim_conceptos(C_iAt_i, C_jAt_j) = & \alpha_c Distancia(C_iAt_i, C_jAt_j) + \dots \\ & \dots + \beta_c Propiedades(C_iAt_i, C_jAt_j) + \delta_c Igualnombre(C_iAt_i, C_jAt_j) \end{aligned} \quad (3.11)$$

siendo $\alpha_c + \beta_c + \delta_c = 1$

Los parámetros de ponderación α_c , β_c y δ_c son una medida estimativa de la importancia que se da en la función de evaluación a cada una de las distancias que intervienen en la determinación de la similitud entre conceptos.

En este caso, $C_i At_i$ es el concepto al que pertenece el atributo At_i , y $C_j At_j$ es el concepto al que pertenece el atributo At_j .

3.4.4.4 Determinación de la similitud entre atributos

A partir de los resultados anteriores, se define la función de similitud entre atributos, $SimilitudAtributos(At_i, At_j)$ como:

$$\begin{aligned} SimilitudAtributos(At_i, At_j) = & \alpha_a IgualNombre(At_i, At_j) + \dots \\ & \dots + \beta_a SimilitudValores(At_i, At_j) + \delta_a Similitud_conceptos(C_i At_i, C_j At_j) \end{aligned} \quad (3.12)$$

Siendo $0 \leq \alpha_a \leq 1$, $0 \leq \beta_a \leq 1$ y $0 \leq \delta_a \leq 1$, para $\alpha_a + \beta_a + \delta_a = 1$

En caso de que los atributos pertenezcan al mismo concepto, $Sim_conceptos(C_i At_i, C_j At_j) = 1$, y si son el mismo atributo, $At_i = At_j$, entonces $SimilitudValores(At_i, At_j) = 1$

3.4.5 Similitud de relaciones

La similitud entre dos relaciones, se basa en la similitud lingüística de las relaciones, y en la similitud de los conceptos que relacionan. Por lo tanto, la similitud entre dos relaciones $R_i(C'_i, C''_i)$ y $R_j(C'_j, C''_j)$ se define como:

$$\begin{aligned} \text{Similitud Relaciones}(R_i, R_j) = & \alpha_r \text{IgualNombre}(R_i, R_j) + \dots \\ & \dots + \beta_r \text{Sim_conceptos}(C'_i, C'_j) \text{Sim_conceptos}(C''_i, C''_j) \end{aligned} \quad (3.13)$$

Siendo $0 \leq \alpha_r \leq 1$ y $0 \leq \beta_r \leq 1$, con $\alpha_r + \beta_r = 1$

Los parámetros de ponderación α_r y β_r son una medida estimativa de la importancia que se da en la función de evaluación a cada una de las distancias que intervienen en la determinación de la similitud entre las relaciones.

Para obtener la similitud entre los nombre de las relaciones, $\text{IgualNombre}(R_i, R_j)$, se aplica el algoritmo de Levenshtein (Levenshtein, 1966).

$$\text{IgualNombre}(R_i, R_j) = \frac{1}{(1 + L(R_i, R_j))} \quad (3.14)$$

3.4.6 Métodos de evaluación

Al describirse los diferentes tipos de cálculos de similitud, se puede determinar un resultado concreto, numérico, al proceso de evaluación. Se obtiene una función de evaluación que engloba todas las funciones de

similitud analizadas. Al corregir las preguntas se compara los vectores de anotaciones; lo que posibilita tener de dos métodos de evaluación: el método estricto y el no estricto o flexible.

En el método estricto, la anotación de la respuesta del alumno aparece en la anotación de la respuesta correcta, o no aparece, y no caben otras posibilidades. En caso de que aparezca, se califica según la importancia de la anotación o ponderación que se le diera a la misma. En caso de que no aparezca, esta anotación no suma puntos o no tiene ninguna ponderación cualitativa o cuantitativa.

En el método no estricto, la anotación de la respuesta del alumno no debe corresponder en un 100% con la anotación de la respuesta correcta. En este caso, se aplican las estimaciones de similitud en base a las funciones diseñadas. Por ejemplo, si una anotación en la respuesta del alumno habla de *ordenadores portátiles*, y la anotación de la respuesta correcta habla de *ordenadores de sobremesa*. En ambos casos se habla de *ordenadores*, y además, podemos suponer que en la jerarquía de conceptos de la ontología el concepto de *ordenador portátil* y el de *ordenador de sobremesa* son **subclases** de *ordenador*. Es decir, hay una cierta similitud entre la respuesta del alumno y la respuesta correcta anotada previamente. Estas observaciones dan lugar a dos métodos de evaluación distintos ya mencionados:

- Un método de evaluación estricto, en el que solamente se consideran similitudes del 100%.
- Un método de evaluación flexible en el que se consideran similitudes por encima del umbral predeterminado por el evaluador (por ejemplo, un 70%)

Los dos métodos de evaluación, el estricto y el flexible o no estricto, dan lugar a funciones generales de evaluación, con características distintas para cada uno de estos métodos.

3.4.6.1 Método de evaluación estricto

El método de evaluación estricto, sólo se considerarán válidas similitudes totales, esto es, conceptos iguales, los mismos atributos y las relaciones. La respuesta esperada, estaría anotada semánticamente, es decir, compuesta por elementos ontológicos, que llamaremos (E) y la anotación semántica de la respuesta del alumno y que denotaremos por (A).

La función de evaluación, para este método estricto tendrá en cuenta similitudes totales, del 100%, entre conceptos, atributos y relaciones. Por tanto, se compondrá de tres funciones parciales, que permitirán evaluar las similitudes entre los elementos ontológicos: similitud entre los conceptos, similitud entre atributos, y similitud entre las relaciones. La sumatoria de los resultados de las funciones de similitud, será el resultado de la evaluación, o sea, la calificación dada a la respuesta del alumno.

En el cálculo de la similitud entre conceptos, se aplica la función $Evalua_conceptos(H, G)$ sobre los conjuntos de anotaciones H y G :

$$Evalua_conceptos(H, G) = \sum H_i.valor,$$
$$\exists j : Sim_conceptos(H_i.elem, G_j.elem) = 1$$

(3.15)

La ecuación 3.15 realiza una sumatoria de las puntuaciones cuantitativas, asociadas como metadatos, en cada anotación de conceptos. Para cada concepto H_i existente en el conjunto de anotaciones \mathbf{H} , si existe un concepto G_j en el conjunto de anotaciones \mathbf{G} , de manera que la similitud entre ambos conceptos es del 100% (o sea, 1), se suma a la calificación final la puntuación $H_i.valor$, almacenada como metadato de la anotación.

El cálculo de la similitud entre atributos se determina mediante la función *Evalua_atributos*:

$$\begin{aligned}
 Evalua_atributos(H,G) &= \sum H_i.valor, \\
 &\exists j : SimilitudAtributos(H_i.elem, G_j.elem) = 1
 \end{aligned}
 \tag{3.16}$$

Esta función, realiza una sumatoria de las puntuaciones cuantitativas, asociadas como metadatos, en cada anotación de los atributos. Para cada atributo H_p existente en el conjunto de anotaciones \mathbf{H} , si existe un atributo G_j en el conjunto de anotaciones \mathbf{G} , de manera que la similitud, entre ambos atributos es del 100% (o sea, 1), se suma a la calificación final la puntuación $G_j.valor$, almacenada como metadato de la anotación del atributo.

Para calcular la similitud entre relaciones, se aplica la función *Evalua_relaciones*:

$$\begin{aligned}
 Evalua_relaciones(H,G) &= \sum H_i.valor, \\
 &\exists j : SimilitudRelaciones(H_i.elem, G_j.elem) = 1
 \end{aligned}
 \tag{3.17}$$

Esta función realiza la sumatoria de las puntuaciones cuantitativas, asociadas como metadatos, en cada anotación de relaciones. Para cada relación H_i existente en el conjunto de anotaciones \mathbf{H} , si existe un relación G_j en el conjunto de anotaciones \mathbf{G} , de manera que la similitud entre ambas relaciones es del 100% (o sea, 1), se suma a la calificación final la puntuación $H_i.valor$, almacenada como metadato de la anotación.

La calificación resultante será la obtenida de la sumatoria de las tres funciones anteriores, considerando \mathbf{H} como el conjunto de anotaciones de la respuesta correcta E , y \mathbf{G} el conjunto de anotaciones de la respuesta del alumno A .

$$\begin{aligned} Evaluacion(E, A) = & Evalua_conceptos(E, A) + Evalua_atributos(E, A) + \dots \\ & \dots + Evalua_relaciones(E, A) \end{aligned} \quad (3.18)$$

3.4.6.2 Método de evaluación flexible

En este caso se introducirá un factor de permisibilidad (a_p) ante la imprecisión de la respuesta o divergencia entre la anotación esperada (E) y la respuesta del alumno (A). La similitud entre conceptos, atributos o relaciones no es del 100%, por lo que se aplica las funciones de similitud para conceptos, atributos y relaciones, considerando solamente en la evaluación final aquellas similitudes, que queden por encima de un cierto umbral (a_p). Las funciones de evaluación serán modificadas como sigue.

La similitud entre conceptos, se aplica la función *Evalua_conceptos* sobre los conjuntos de anotaciones H y G :

$$\begin{aligned}
 \textit{Evalua_conceptos}(H, G) &= \sum H_i.\textit{valor}, \\
 &\exists j : \textit{Sim_conceptos}(H_i.\textit{elem}, H_j.\textit{elem}) \geq \alpha_p
 \end{aligned}
 \tag{3.19}$$

En la ecuación 3.19, realiza una sumatoria de las puntuaciones cuantitativas, asociadas como metadatos, en cada anotación de conceptos. Para cada concepto H_i existente en el conjunto de anotaciones \mathbf{H} , si existe un concepto G_j en el conjunto de anotaciones \mathbf{G} , de manera que la similitud entre ambos conceptos está por encima del umbral α_p , se suma a la calificación final la puntuación $H_i.\textit{valor}$, almacenada como metadato de la anotación.

Para calcular la similitud entre atributos, se emplea la función *Evalua_atributos*:

$$\begin{aligned}
 \textit{Evalua_atributos}(H, G) &= \sum H_i.\textit{valor}, \\
 &\exists j : \textit{SimilitudAtributos}(H_i.\textit{elem}, G_j.\textit{elem}) \geq \alpha_p
 \end{aligned}
 \tag{3.20}$$

En la ecuación 3.20 se realiza la sumatoria de las puntuaciones cuantitativas, asociadas como metadatos en cada anotación de atributos. Para cada atributo H_i existente en el conjunto de anotaciones \mathbf{H} , si existe un atributo G_j en el conjunto de anotaciones \mathbf{G} , de manera que la similitud entre ambos atributos está por encima del umbral α_p , se suma a la calificación final la puntuación $H_i.\textit{valor}$, almacenada como metadato de la anotación del atributo.

Para calcular la similitud entre relaciones, se aplica la función *Evalua_relaciones*:

$$\begin{aligned} \text{Evalua_relaciones}(H, G) &= \sum H_i.\text{valor}, \\ &\exists j : \text{SimilitudRelaciones}(H_i.\text{elem}, G_j.\text{elem}) \geq \alpha_p \end{aligned} \quad (3.21)$$

En la ecuación 3.21 se realiza la sumatoria de las puntuaciones cuantitativas, asociadas como metadatos, en cada anotación de las relaciones. Para cada relación H_p existente en el conjunto de anotaciones \mathbf{H} , si existe un relación G_j en el conjunto de anotaciones \mathbf{G} , de manera que la similitud entre ambas relaciones está por encima del umbral α_p , se suma a la calificación final la puntuación $H_p.\text{valor}$, almacenada como metadato de la anotación.

La calificación resultante, será la obtenida de la sumatoria de las de las tres funciones 3.19, 3.20 y 3.21, considerando \mathbf{H} como el conjunto de anotaciones de la respuesta correcta (E), y \mathbf{G} el conjunto de anotaciones de la respuesta del alumno (A):

$$\begin{aligned} \text{Evaluacion}(E, A) &= \text{Evalua_conceptos}(E, A) + \text{Evalua_atributos}(E, A) + \dots \\ &\dots + \text{Evalua_relaciones}(E, A) \end{aligned} \quad (3.22)$$

3.4.7 Ponderaciones de las funciones

En la determinación de la similitud de las propiedades ontológicas y en las funciones de evaluación se emplean parámetros que hacen una personalización del proceso. Estos parámetros pueden ser elegidos por los investigadores de acuerdo a criterios como una mayor importancia de la similitud lingüística, proximidad de los conceptos, una mayor similitud entre

los conceptos o entre los valores de sus atributos. Las combinaciones pueden ser diversas, lo que hace que la metodología sea muy flexible y abierta, pero a la vez puede dar resultados que no se adapten a un dominio en concreto. Por lo que se impone una correcta selección de los parámetros en cada dominio al que se aplique la metodología.

3.5 Ejemplo de cálculo de la metodología de evaluación

El ejemplo se realizó con el curso “*Diseño y evaluación de materiales didácticos*” en el Departamento de Métodos de Investigación y Diagnóstico en Educación de la Universidad de Murcia (<http://www.um.es/depmide/>). Una caracterización amplia del curso, aparece en el capítulo de validación de la metodología, donde se expone la experiencia de uso y los resultados de forma detallada.

El examen que se diseñó para la evaluación del curso estaba compuesto por cuatro preguntas abiertas o de desarrollo. Las preguntas fueron anotadas en la ontología del curso. En el fragmento, aparece representada una de las preguntas “*¿Cuáles son los aspectos principales a tener en cuenta en el diseño de materiales con nuevas tecnologías?*”. Esta pregunta se emplea para desarrollar el ejemplo, en el que se ilustra el proceso de evaluación de la respuesta a la pregunta. La pregunta formulada y la respuesta esperada se representan de esta forma empleando el lenguaje ontológico OWL.

```
...
<creates_questions>

<OPEN_QUESTION rdf:ID="Pregunta_1">
  <text_description
    rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string"
    >
    ¿Cuáles son los aspectos principales a tener en cuenta en el diseño de
    materiales con nuevas tecnologías?
  </text_description>
  <question_created_by_teacher rdf:resource="#MARIA_PAZ_PRENDES"/>
  <expected_answer xml:lang="es">
    El proceso de diseño de materiales didácticos es básico para tomar las
    decisiones con las que posteriormente se afronta la fase de
    producción de medios. Este proceso es importante afrontarlo desde
    la consideración de que las decisiones pedagógicas han de primar
    sobre las de tipo estético o técnico. Además las decisiones a tomar en
    un proceso de estas características han de considerar como elementos
    claves la potencial audiencia a la cual nos dirigimos y el contexto de
    uso, así como la adecuación a las posibles metodologías, contenidos,
    objetivos,...
    Ya sea con medios tradicionales o sea con nuevas tecnologías, los
    aspectos principales son similares. Así, debemos tener en cuenta en el
    diseño de materiales con Nuevas Tecnologías lo siguiente: bases del
    diseño, fases del proceso, recomendaciones del diseño y herramientas
    para el diseño de material.
  </expected_answer>
  <value
    rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#float">2.0</value>
  <question_id
    rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#string">1</question_i
  d>
  <in_exam rdf:resource="#CONTENT_DESIGN_EXAM_1"/>
</OPEN_QUESTION>
</creates_questions>
...
```

El resto de las preguntas y elementos ontológicos anotados, pueden ser consultados en <http://klt.inf.um.es/~oele/ontologiadiseomiedios.owl>. La métrica de la ontología desarrollada aparece en la (tabla 3.1).

Elemento Ontológico	Definidos
Clases	80
Atributos	17
Relaciones	36

Tabla 3.1. Métrica de la ontología.

Las anotaciones de las preguntas, las respuestas esperadas y las respuestas dadas en el ejemplo, fueron realizadas empleando los pasos descritos en los apartados anteriores.

En la tabla 3.2 muestra la anotación de los elementos ontológicos de la respuesta esperada, con los valores cuantitativos y cualitativos, asignados a cada elemento. Se calcula la similitud que poseen los elementos ontológicos anotados de la respuesta esperada, y los anotados de la respuesta del estudiante.

Categoría	Denominación	Valor {Cuantitativo; Cualitativo}
Concepto	Bases de diseño	{1; <alto>}
Concepto	Fases de diseño	{1; <alto>}
Concepto	Herramientas	{1; <alto>}
Concepto	Recomendaciones	{1; <alto>}
Concepto	Interfaz usuario	{1; <alto>}
Atributos	Aspectos principales	{0.5; <medio>}
Atributos	Método	{0.5; <medio>}
Relación	Componente interfaz usuario	{1; <medio>}
Relación	Componente interactividad	{1; <medio>}

Tabla 3.2. Anotación de la respuesta esperada.

Se han elegido la anotación de la respuesta dada por un estudiante a la pregunta anterior. Algunas de las anotaciones de la respuesta del estudiante aparecen en la tabla 3.3.

Elementos ontológicos anotados de la respuesta del estudiante	
Conceptos	{ <i>Bases de diseño</i> }
	{ <i>Diseño pedagógico</i> }
	{ <i>Flexibilidad</i> }
	{ <i>Interfaz de Usuario</i> }
	{ <i>Material</i> }
	...
	{ <i>Contexto de uso</i> }
	{ <i>Sistemas de codificación</i> }
	{ <i>Diseño Contenidos</i> }
	{ <i>Herramientas</i> }
Relaciones	{ <i>Son Bases de diseño(Diseño Pedagógico, Diseño Técnico)</i> }
	{ <i>Son Bases de diseño(Diseño Pedagógico, Diseño Técnico)</i> }
	{ <i>Componente diseño contenidos(Diseño Pedagógico, Diseño Contenidos)</i> }
	...
	{ <i>Son Bases de diseño(Diseño Pedagógico, Diseño Técnico)</i> }
	{ <i>Componente navegación (Diseño Pedagógico, Navegación)</i> }
Atributos	{ <i>Impacto de uso</i> }
	{ <i>Método</i> }
	...
	{ <i>Claridad</i> }
	{ <i>Costos</i> }

Tabla 3.3. Elementos ontológicos anotados de la respuesta del estudiante.

En la determinación de los parámetros de las funciones de similitud y de evaluación, se definen varias combinaciones, que establecen la importancia relativa de cada factor sobre los demás. Con esta importancia relativa se determinó los valores para el curso (tabla 3.4).

Similitud de conceptos	Valor
Ponderación de la similitud de la distancia ontológica (α_c)	0,5
Ponderación de la similitud ontológica definicional (β_c)	0,4
Ponderación de la similitud lingüística (δ_c)	0,1
Similitud de atributos	
Ponderación de la similitud lingüística (α_a)	0,3
Ponderación de la similitud de valores (β_a)	0,2
Ponderación de la similitud de conceptos (δ_a)	0,5
Similitud de relaciones	
Ponderación de la similitud lingüística (α_r)	0,3
Ponderación de la similitud de conceptos (β_r)	0,7
Similitud global	
Umbral de similitud (α_p)	0,8

Tabla 3.4. Ponderación o pesos de las funciones de similitud.

Luego de desarrollarse los pasos anteriores, se determina la similitud que existe entre los distintos elementos o propiedades ontológicas; se calcula el grado de similitud entre los elementos ontológicos anotados de la respuesta esperada, y las anotaciones de los elementos de la respuesta dada. En el ejemplo, se sigue el mismo orden propuesto en los tópicos anteriores, para una mayor claridad.

3.5.1 Cálculo de similitud de conceptos

Los conceptos, que pertenecen a la misma ontología, y tienen igual nombre, el valor de la similitud es el máximo, en este caso es igual a 1. Este es el caso del concepto *Bases de diseño y Herramientas*, que aparece tanto en la anotación de la respuesta esperada, como en la respuesta anotada dada por el estudiante al responder la pregunta. Aunque el concepto *Diseño pedagógico*, que aparece en la respuesta dada por el estudiante, no tiene un concepto idéntico en la respuesta esperada. Por lo tanto, es necesario calcular la similitud de este concepto, con cada concepto de los incluidos en la respuesta esperada, para evaluar el grado de similitud o cercanía entre los conceptos.

Se eligió, el concepto *Diseño pedagógico* de la respuesta dada por el estudiante, y el concepto *Fases de diseño* de la respuesta esperada. La metodología prevé, que se haga para todo los conceptos, para determinar el de mayor similitud y posterior evaluación con respecto al grado o umbral de similitud si se realiza una evaluación por el método no estricto o flexible.

Se denota el concepto *Fases de diseño* como C_1 y *Diseño pedagógico* como C_2 . Se emplea la expresión (3.8) para evaluar la similitud ontológica de los conceptos.

$$\text{Sim_conceptos}(C_1, C_2) = \alpha_c \text{Distancia}(C_1, C_2) + \beta_c \text{Propiedades}(C_1, C_2) + \dots \\ \dots + \delta_c \text{Igualnombre}(C_1, C_2)$$

Sustituyendo los valores de los pesos seleccionados se tendría la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} Sim_conceptos(C_1, C_2) &= 0,5 Flexibilidad(C_1, C_2) + 0,4 Propiedades(C_1, C_2) + \dots \\ &\dots + 0,1 Igualnombre(C_1, C_2) \end{aligned}$$

La *Proximidad*(C_1, C_2) se determina por la expresión (3.1).

$$Proximidad(C_1, C_2) = 1 - \frac{Número\ de\ nodos}{Número\ total\ de\ nodos} = 1 - \frac{1}{80} = 0,9875$$

Las *Propiedades*(C_1, C_2) se determinan empleando la expresión (3.2).

$$Propiedades(C_1, C_2) = \frac{Comunes(C_i, C_j)}{Comunes(C_1, C_2) + p_1(C_1, C_2)NoComunes(C_1, C_2) + \dots \\ \dots + (1 - p_1(C_1, C_2))NoComunes(C_2, C_1)}$$

El número de las propiedades comunes de los conceptos serían:
 $Comunes(C_1, C_2) = 3$, el número de las propiedades no comunes de los
conceptos C_1, C_2 $NoComunes(C_1, C_2) = 9$ y las propiedades no comunes de
 C_2, C_1 $NoComunes(C_2, C_1) = 4$

La profundidad de los conceptos $p_1(C_1, C_2)$ se determinó por la expresión (3.5).

$$p_1(C_1, C_2) = \frac{\text{Profundidad}(C_1)}{\text{Profundidad}(C_1) + \text{Profundidad}(C_2)} = \frac{1}{1+2} = 0,333$$

La determinación de $\text{IgualNombre}(C_1, C_2)$ se realizó mediante la expresión (3.7).

$$\text{IgualNombre}(C_1, C_2) = \frac{1}{(1 + L(C_1, C_2))} = \frac{1}{1+10} = 0,091$$

Sustituyendo los resultados de las expresiones anteriores en la expresión (3.2).

$$\text{Propiedades}(C_1, C_2) = \frac{3}{3 + (0,333)9 + (1 - 0,333)4} = 0,347$$

Con estos resultados, se sustituye en la expresión, para determinar el grado de similitud, entre los conceptos *Fases de diseño* (C_1) y *Diseño pedagógico* (C_2).

$$\text{Sim_conceptos}(C_1, C_2) = 0,5(0,9875) + 0,4(0,3468) + 0,1(0,091) = 0,654$$

3.5.2 Cálculo de similitud de atributos

Los atributos, al igual que los conceptos y relaciones, constituyen los elementos ontológicos, que se consideran en la metodología, para la evaluación de las preguntas abiertas o de desarrollo. De forma semejante a los conceptos, los atributos que tenga igual nombre, pertenezcan a una

misma ontología y sean del mismo concepto, tendrán la máxima similitud entre ellos. Se eligieron los siguientes atributos, para ejemplificar la metodología que se sigue, para determinar la similitud de los atributos. El atributo *Impacto de uso*, denotado por At_2 , que pertenece al concepto *Contexto de uso* (C_2), y fue anotado de la respuesta dada por el estudiante, y el atributo *Aspectos principales*, denotado por At_1 , que pertenece al concepto *Bases de diseño* (C_1), que fue anotado en la respuesta esperada.

La similitud de atributos se determinó empleando la expresión (3.12).

$$\begin{aligned} SimilitudAtributos(At_1, At_2) = & \alpha_a IgualNombre(At_1, At_2) + \dots \\ & \dots + \beta_a SimilitudValores(At_1, At_2) + \delta_a Similitud_conceptos(C_1At_1, C_2At_2) \end{aligned}$$

La distancia lingüística entre los atributos *Impacto de uso* (At_2) y *Aspectos principales* (At_1) se determinó por la expresión 3.10.

$$IgualNombre(At_1, At_2) = \frac{1}{(1 + L(At_1, At_2))} = \frac{1}{1 + 15} = 0,0625$$

Se determinó la similitud de los valores de los atributos empleando la expresión (3.9)

$$SimilitudValores(At_1, At_2) = \frac{|Valores(At_1) \cap Valores(At_2)|}{|Valores(At_1) \cup Valores(At_2)|} = \frac{3}{8} = 0,375$$

La determinación de la similitud de los conceptos a los que pertenecen los atributos, se realizó con la expresión (3.11). Siendo, el cálculo semejante al

realizado en la determinación de la similitud de los conceptos *Fases de diseño* y *Diseño pedagógico*.

$$\begin{aligned} Sim_conceptos(C_1At_1, C_1At_2) &= \alpha_c \text{Distancia}(C_1At_1, C_2At_2) + \dots \\ &\dots + \beta_c \text{Propiedades}(C_1At_1, C_2At_2) + \delta_c \text{Igualnombre}(C_1At_1, C_2At_2) \end{aligned}$$

$$Sim_conceptos(C_1At_1, C_1At_2) = 0,5(0,9875) + 0,4(0) + 0,1(0,083) = 0,502$$

Se pueden sustituir los resultados anteriores en la expresión, para determinar la similitud entre los atributos.

$$SimilitudAtributos(At_1, At_2) = 0,3(0,0625) + 0,2(0,375) + 0,5(0,014) = 0,101$$

3.5.3 Cálculo de similitud de las relaciones

Las relaciones, junto a los conceptos y atributos, constituyen los elementos ontológicos, que se consideran en la metodología de evaluación. En la determinación de la similitud de las relaciones, se incluyen los conceptos a los que estas relaciones enlazan o relacionan. Las relaciones, al igual que los demás elementos ontológicos analizados, tienen una similitud máxima, si pertenecen a la misma ontología, y posee el mismo nombre y relacionan a los mismos conceptos.

Se eligieron las siguientes relaciones: *Componente interfaz usuario*, que se denota por R_1 y relaciona los conceptos *Diseño técnico*(C'_1) y *Interfaz usuario* (C'_2), y la relación *Componente diseño contenidos* que denota por R_2 y relaciona los conceptos *Diseño pedagógico*(C''_1) y *Diseño contenidos* (C''_2).

La similitud de las relaciones se determinó empleando la expresión (3.13).

$$\begin{aligned} SimilitudRelaciones(R_1, R_2) = & \alpha_r IgualNombre(R_1, R_2) + \dots \\ & \dots + \beta_r Sim_conceptos(C_1, C_2) Sim_conceptos(C_1'', C_2'') \end{aligned}$$

La determinación de la similitud lingüística se realizó mediante la siguiente expresión:

$$IgualNombre(R_1, R_2) = \frac{1}{(1 + L(R_1, R_2))} = \frac{1}{1 + 14} = 0,066$$

La similitud de los conceptos que relacionan R_1 y R_2 se determinó de forma similar a la empleada con anterioridad. Aunque, en este caso, se determinó la similitud conceptual de cada concepto que es relacionado por *Componente interfaz usuario* (R_1) y *Componente diseño contenidos* (R_2).

Con los resultados anteriores se puede determinar la similitud de las relaciones *Componente interfaz usuario* (R_1) y *Componente diseño contenidos* (R_2)

$$SimilitudRelaciones(R_1, R_2) = 0,3(0,066) + 0,7(0,075)(0,15) = 0,027$$

La metodología de evaluación contempla dos métodos, el método estricto y el flexible. En ambos se realizan una sumatoria de las similitudes evaluadas, en cada uno de los elementos ontológicos, que conforman la respuesta esperada y la dada. Se diferencian en el grado la similitud, para cuantificar o no, el elemento ontológico. En el caso estricto, el grado de similitud debe ser máximo o de un 100% y en el flexible es controlable, a través del grado o coeficiente de permisibilidad. En el ejemplo, se realizó una sumatoria de

cada uno de los elementos ontológicos, es decir, conceptos, atributo y relaciones, comparándolos con el grado de permisibilidad elegido y determinar, si forman o no, parte de la respuesta válida o esperada. El resultado de esta sumatoria sería la calificación que obtendría el estudiante a la pregunta realizada.

3.6 Conclusiones

En este capítulo se describe la metodología a seguir en la preparación de las preguntas y exámenes, para poder emplear una metodología basada en tecnología semántica en la evaluación de estas preguntas. Se formalizan las expresiones de similitud de las propiedades ontológicas que se emplean en la evaluación de los cursos, además de explicar los métodos seguidos para el procesamiento de las ontologías (representadas en el lenguaje ontológico *OWL*). La metodología de evaluación de cursos con preguntas que se desarrolló a lo largo del capítulo, brinda no sólo la posibilidad de tener una evaluación estricta, sino la de poner permitir una tolerancia en los criterios que se evalúan. Con el desarrollo de un ejemplo y la formalización de las expresiones, se plantea la posibilidad de poder utilizar la metodología en cursos reales. En el próximo capítulo, se muestran los resultados obtenidos en la aplicación de la metodología en cursos reales, evaluándose los resultados a través de criterios estadísticos.

OeLE: Plataforma basada en tecnologías de la Web Semántica para la evaluación de exámenes

4.1 Introducción

En capítulos anteriores se ha descrito el estado del arte, la metodología y algunos ejemplos de su aplicación. En este capítulo se trata la herramienta OeLE (*Ontology e-Learning Evaluation*), que implementa la metodología que se desarrolló en esta investigación, para dar soporte a la evaluación de exámenes basados en preguntas abiertas y cerradas. La herramienta hace un recorrido por todos los pasos de la metodología de evaluación, desde la creación y anotación de las preguntas y exámenes hasta la evaluación de los mismos. Se mostrará la funcionalidad ofrecida por el sistema. Además, se hará especial hincapié en la funcionalidad para profesores y estudiantes.

4.2 Arquitectura de OeLE

La herramienta *OeLE* ha sido implementada utilizando tecnologías de desarrollo basadas en software libre y en un entorno multiplataforma. En el siguiente *diagrama de despliegue de UML*, se percibe la arquitectura física del sistema. (Figura 4.1).

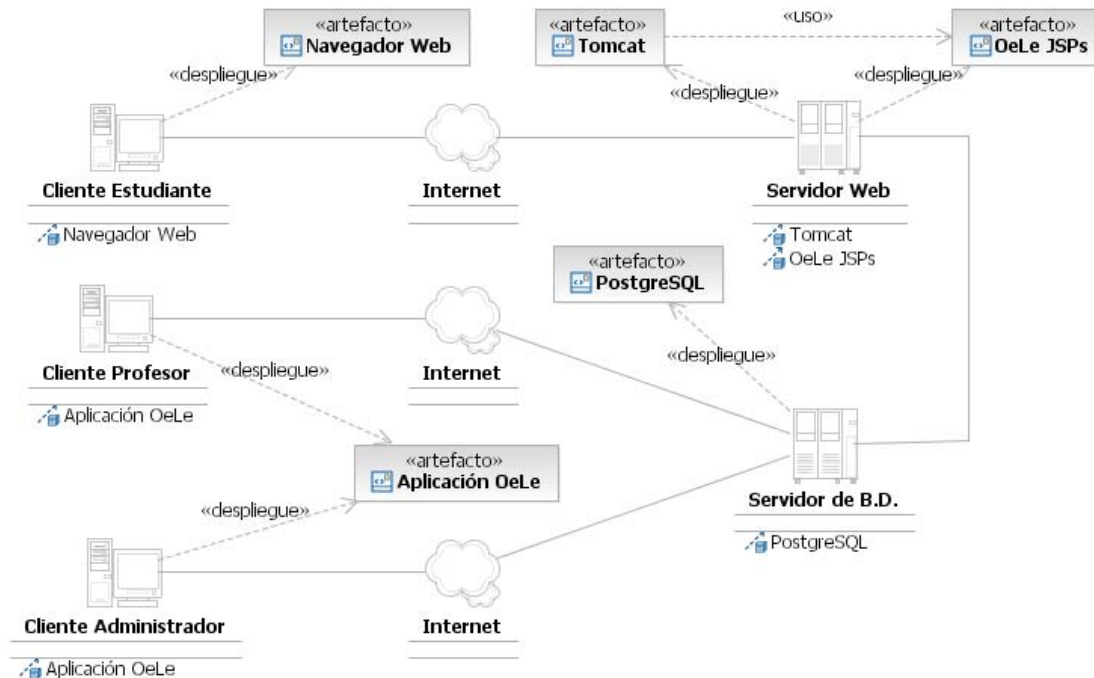


Figura 4.1 Arquitectura física de OeLE.

Los elementos ontológicos que se emplean para el desarrollo de la metodología de evaluación de las preguntas abiertas. Se extraen mediante *Jena* (<http://jena.sourceforge.net/>), que es un entorno de trabajo de código abierto para el desarrollo de aplicaciones basadas en el concepto de la Web Semántica. En líneas generales, este framework es una colección de clases e interfaces que permiten manejar las características y elementos definitorios de la ontología, expresada en OWL. Las varias APIs que incluye Jena permiten soporte para RDF, OWL y otros estándares de la Web Semántica, incluyendo un motor de SPARQL para consultas. Además, Jena incluye una variedad de tipos de razonadores; transitivo, en base a reglas RDFS, para OWL, para DAML y un razonador genérico para reglas. Adicionalmente, Jena no se limita a sus propias soluciones, incluye componentes de tipo plugin e interfaces con otras soluciones externas, de manera que se puede

conectar a Jena con un razonador independiente si se requiere. Otra de las características de Jena que se emplea en el desarrollo de la plataforma es la persistencia. Esto permite que las ontologías del curso y las anotaciones semánticas que se realizan sean almacenadas en un SGBD. En el desarrollo de OeLE se empleó el SGBD PostgreSQL.

La plataforma constituye una implementación del modelo cliente-servidor en dos o tres niveles, dependiendo del tipo de cliente por el que vaya a ser utilizada la herramienta desarrollada. Cada tipo de cliente se corresponde con uno de los roles que puede desempeñar el usuario en el proceso de evaluación:

- El rol de *administradores* lo desempeñan aquellos usuarios cuya misión sea la de gestionar la parte no docente del proceso de evaluación, es decir, el mantenimiento de las bases de datos de personal, cursos y estudiantes, así como la matriculación y la adscripción de profesores a cursos.
- El rol de *profesores* lo desempeñan los usuarios que supervisan el desarrollo docente del proceso de evaluación, es decir, la adscripción de ontologías a cursos, la creación y mantenimiento de preguntas y exámenes, la anotación de las respuestas esperadas y de las dadas por los alumnos y el proceso de calificación de los exámenes.
- El rol de *estudiantes* lo desempeñan aquellos usuarios que son objeto del proceso de evaluación, es decir, los que realizan el examen creado por el profesor, respondiendo sus preguntas.

La aplicación para administradores y profesores está desarrollada en el lenguaje de programación *Java*. Por ello la aplicación puede emplearse en diversas plataformas.

En el caso de los estudiantes, la herramienta de acceso a los exámenes es una pequeña aplicación *Web* de tres niveles. En el servidor Web se despliega una serie de *JSPs* (JavaServer Pages), que implementan la funcionalidad deseada en la aplicación. La aplicación basada en *JSPs* accede al servidor de base de datos donde se almacena la información del curso en cuestión, autentifican al usuario, recuperan el examen y lo muestran al alumno, y le permiten realizarlo, almacenando sus respuestas.

4.3 Funcionalidad para administradores

En este tópico se describe la funcionalidad ofrecida por el sistema, para los administradores, profesores y estudiantes. Se hará especial hincapié en la funcionalidad para profesores y estudiantes.

4.3.1 Acceso al Sistema

Luego de instalada la aplicación mediante un proceso intuitivo y breve, se puede ejecutar el fichero con la aplicación y aparecerá la siguiente ventana (Figura 4.2), que valida la entrada de los usuarios al sistema.



Figura 4.2. Autenticación de usuarios.

Se introduce el nombre de usuario y la clave. Si se elige entrar como administrador, se despliega la ventana principal.



Figura 4.3. Pantalla principal del perfil del administrador.

4.3.2 Gestión de administradores

Dentro del menú *Administradores*, o bien desde la ventana principal de la aplicación, se encuentran las siguientes opciones: agregar, editar y eliminar. La pantalla que se muestra en los tres casos sería similar (ver Figura 4.3), variando las acciones posibles, según el perfil del usuario. En los casos de editar y eliminar, debemos seleccionar un administrador previamente. Los campos que se deben introducir son los siguientes: nombre, apellidos, DNI, dirección, teléfono, móvil, eMail, fecha de alta, nombre de usuario y clave. También se puede incluir una fotografía del usuario en cuestión (ver Figura 4.4).



Figura 4.4. Creación del usuario administrador y de su perfil personal.

4.3.3 Gestión de profesores

Dentro del menú *Profesores*, o bien desde la ventana principal de la aplicación, se encuentran las siguientes opciones: *agregar*, *editar*, *adscribir a curso* y *eliminar*. Los campos que se pueden introducir son los siguientes: nombre, apellidos, DNI, dirección, teléfono, móvil, eMail, fecha de alta, nombre de usuario y clave. También se puede incluir una fotografía y convertir al profesor en administrador del sistema (ver Figura 4.5).

Profesor - Editar

Datos personales

Nombre	Javier	Apellidos	Gómez		Fotografía	
D.N.I.		Dirección			Cambiar	
Teléfono		Móvil			eMail	Eliminar
Fecha de alta	26/06/2006	Usuario	jgomez		Clave	*****

Cursos a los que está adscrito

	Ver datos
	Adscribir
	Desvincular

Modificar Recargar Hacer administrador Quitar de profesor

Figura 4.5. Creación del usuario profesor y de su perfil personal.

La opción *Adscribir* se utiliza para relacionar a uno o más profesores con los cursos que imparten. Al seleccionar la opción *Adscribir*, se abre una ventana en la que se selecciona a un profesor y a continuación se abre la ventana con el listado de cursos a los que el profesor no está adscrito aún. Se puede seleccionar el curso o cursos a los que queremos adscribir al profesor, quien quedará relacionado con ellos. En caso de que el profesor ya esté adscrito a todos los cursos posibles, aparecerá una ventana informativa que indicará que no hay cursos disponibles para ese profesor. (ver Figura 4.6)

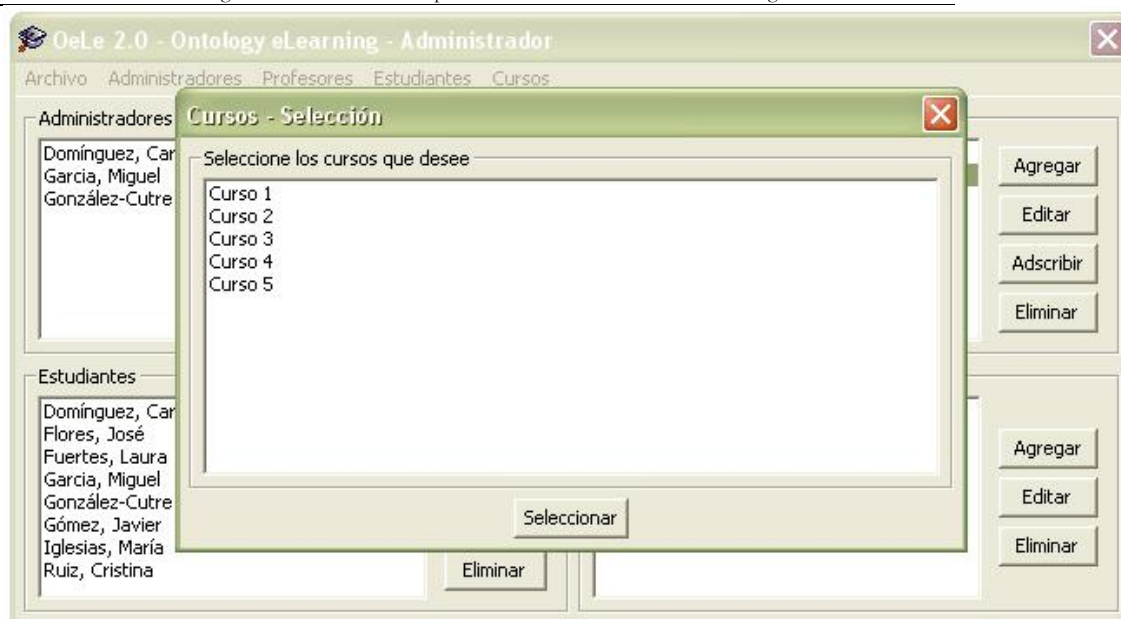


Figura 4.6. Adscripción de los profesores a cursos.

4.3.4 Gestión de Estudiantes

Dentro del menú *Estudiantes*, o bien directamente desde la ventana principal de la aplicación, se encuentran las siguientes opciones: *agregar*, *editar*, *matricular* y *eliminar*. Los campos que se pueden introducir son los siguientes: nombre, apellidos, DNI, dirección, teléfono, móvil, eMail, fecha de alta, nombre de usuario y clave. También se puede incluir una fotografía, y convertirlo en profesor o administrador. (ver Figura 4.7).

Figura 4.7. Creación del usuario estudiante y de su perfil personal.

La opción *Matricular* permite relacionar a un estudiante con los cursos a los que se ha matriculado. Al seleccionar la opción *Matricular*, se abre una ventana en la que se selecciona a un estudiante y a continuación se despliega la ventana con el listado de cursos a los que el estudiante no está aún matriculado. Aquí se puede seleccionar el curso o cursos a los que queremos matricular al estudiante, que quedará relacionado con ellos. En caso de que el estudiante ya esté matriculado en todos los cursos posibles, nos aparecerá una ventana informativa que nos indicará que no hay cursos disponibles para ese estudiante.

4.3.5 Gestión de Cursos

Dentro del menú *Cursos*, o bien desde la ventana principal de la aplicación se encuentran las siguientes opciones: *agregar*, *editar* y *eliminar*. Los campos que

se pueden introducir son los siguientes: nombre, URL, fecha de inicio, fecha de finalización y objetivos del curso.

The screenshot shows a web application window titled "Curso - Editar". It contains the following sections:

- Datos del curso:** Includes input fields for "Nombre" (containing "Curso 1"), "Objetivos" (containing "Cocina"), "URL", "Fecha inicio" (18/05/2006), and "Fecha fin" (18/05/2006).
- Profesores adscritos:** A list containing "Fuentes, Laura", "González-Cutre Coll, Nacho", and "Ruiz, Cristina". To the right are buttons for "Ver datos", "Adscribir", and "Desvincular".
- Estudiantes matriculados:** A list containing "Flores, José", "Fuentes, Laura", "García, Miguel", "González-Cutre Coll, Nacho", "Gómez, Javier", and "Ruiz, Cristina". To the right are buttons for "Ver datos", "Matricular", and "Desvincular".

At the bottom of the window are "Modificar" and "Recargar" buttons.

Figura 4.8 Información de profesores, cursos y estudiantes adscritos.

En esta ventana, aparte de los datos del curso, se encuentra una lista de profesores adscritos y de estudiantes matriculados, de los que podremos consultar los datos seleccionando pulsando la opción *Ver datos*. Asimismo, podremos borrar (o asignar o matricular) a un profesor (o alumno) de un curso, seleccionándolo y pulsando el botón *Desvincular* (o *adscribir* o *matricular*). (ver Figura 4.8).

4.4 Funcionalidad para profesores

4.4.1 Acceso al Sistema

El acceso al sistema en este caso es de forma similar a la de los demás usuarios del sistema. La entrada al sistema es la que aparece en la figura 4.2, que valida la entrada de los usuarios al sistema, según el perfil de usuario definido para el acceso.

4.4.2 Configuración de Parámetros

Dentro del menú *Archivo* se encuentra la opción *Parámetros*, en la que se pueden ajustar los distintos parámetros del programa y la opción *Salir* del programa. Al seleccionar la opción *Parámetros*, se abre una nueva ventana donde el profesor podrá elegir el idioma de los exámenes (español o inglés) y el método de corrección (flexible o estricto). Asimismo, en esta ventana el profesor podrá introducir los parámetros de comparación de elementos ontológicos: la ponderación de la distancia ontológica, la similitud de propiedades y la distancia lingüística de los conceptos, y los valores de ponderación de la distancia lingüística, similitud de valores y de conceptos de los atributos. Finalmente deberá introducirse el valor del umbral de similitud global. (ver Figura 4.9)

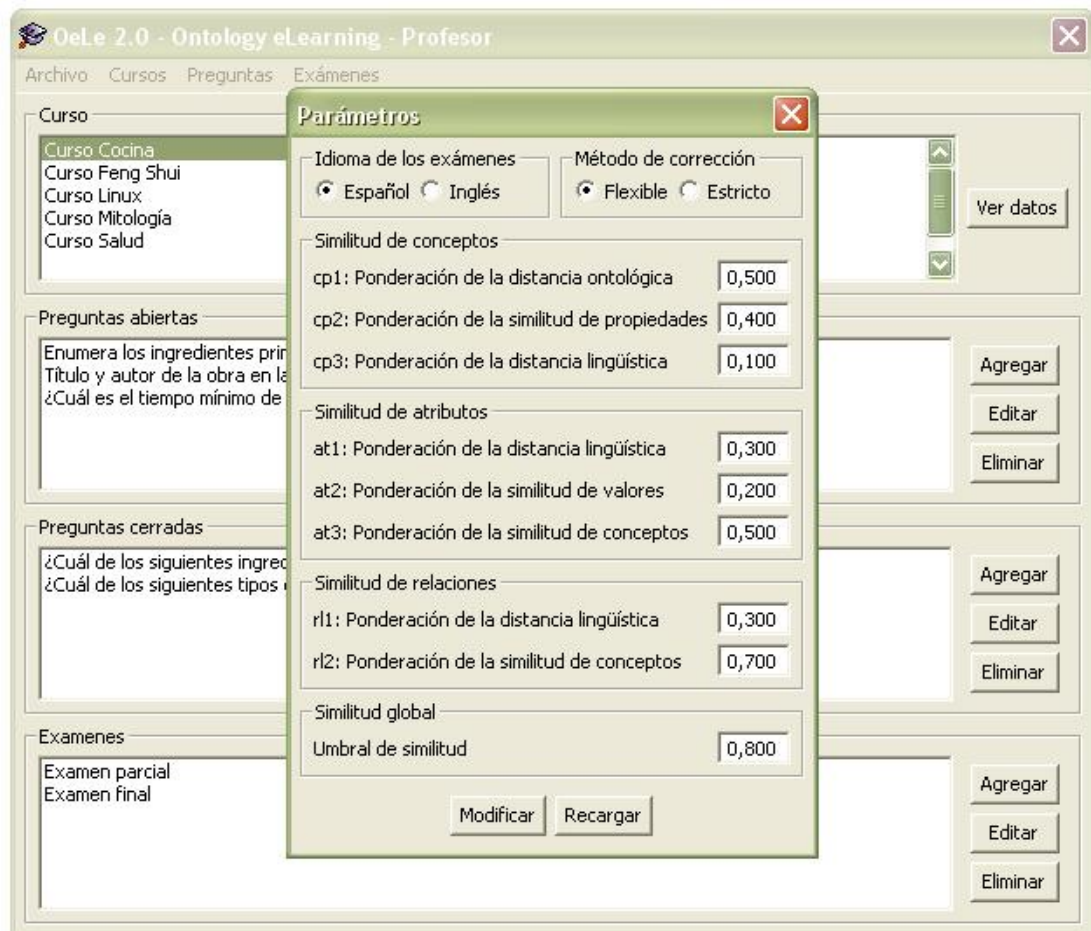


Figura 4.9. Parámetros definidos en la aplicación.

4.4.3 Gestión de Cursos

Al seleccionar el menú *Cursos*, se abre un desplegable con la opción *Editar*. Si selecciona, aparece una ventana con el listado de cursos disponibles. La ventana que se muestra es similar a la mostrada a los administradores para tal efecto. Se diferencian en que un profesor no podrá (des)matricular alumnos ni (des)adscribir profesores, pero podrá trabajar con la ontología del curso. (ver Figura 4.10)

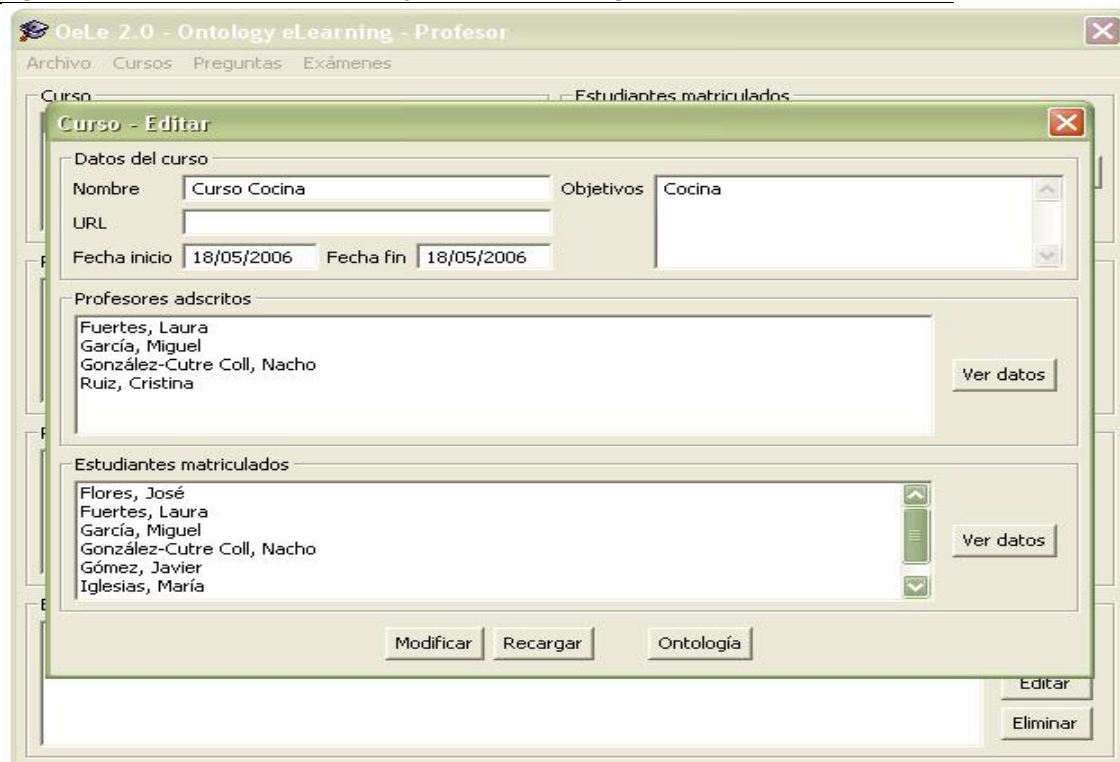


Figura 4.10. Gestión de cursos de los profesores.

Si se pulsa el botón *Ontología*, se abre una ventana con la ontología que está relacionada con el curso. Se puede ver la estructura de la ontología, sus etiquetas fijas y las modificables. Además, se pueden ver los datos de las etiquetas fijas y agregar, editar o eliminar etiquetas modificables. En la parte inferior de esta ventana también se encuentran los botones *Cambiar*, para cambiar la ontología relacionada con el curso, y el botón *eliminar* para quitar la relación entre la ontología y el curso. (ver Figura 4.11)

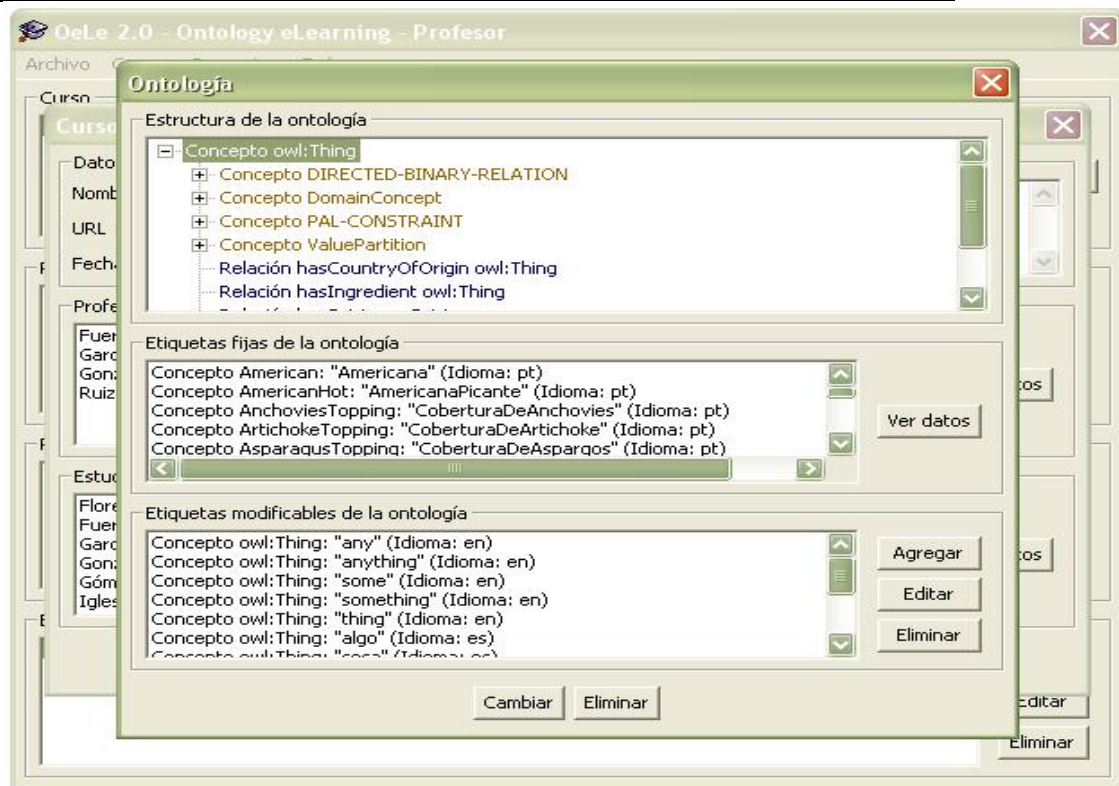


Figura 4.11. Ontología del curso seleccionado.

4.4.4 Gestión de Preguntas

Al seleccionar el menú *preguntas* se puede elegir, entre preguntas abiertas o preguntas cerradas, o bien utilizar la ventana principal de la aplicación para realizar la selección deseada.

4.4.4.1 Preguntas Abiertas

Al seleccionar *preguntas abiertas* se despliega un segundo menú en el que se puede elegir entre las opciones: *agregar*, *editar* o *eliminar* una pregunta, operación que también podemos realizar desde la ventana principal. Tanto si se elige *Agregar*, *Editar* como *Eliminar*, se abrirá una nueva ventana en la que seleccionamos el curso. Si se realiza la operación en la ventana principal,

el curso se seleccionará automáticamente y será el actual. Los datos que se introducen para una pregunta son: enunciado, respuesta esperada y fecha de creación. Pulsando el botón *Exportar*, podremos guardar los datos de la pregunta en formato IMS/QTI, para poder ser reutilizados por otros programas. Pulsando el botón *Anotar*, se abrirá una nueva ventana en la que aparece la respuesta esperada y podremos anotarla. (ver Figura 4.12)



Figura 4.12. Preguntas abiertas.

En esta ventana se puede anotar la respuesta de forma manual o automática. Si se hace de forma manual, se deben seleccionar los elementos deseados de la ontología y pulsar la flecha que lo añadirá a *Anotaciones*. Esta acción abrirá una nueva ventana con el elemento a anotar en la que tendremos que

especificar el valor cualitativo del elemento (de muy alto a muy bajo) y su valor cuantitativo (entre 1 y 10). (ver Figura 4.13)

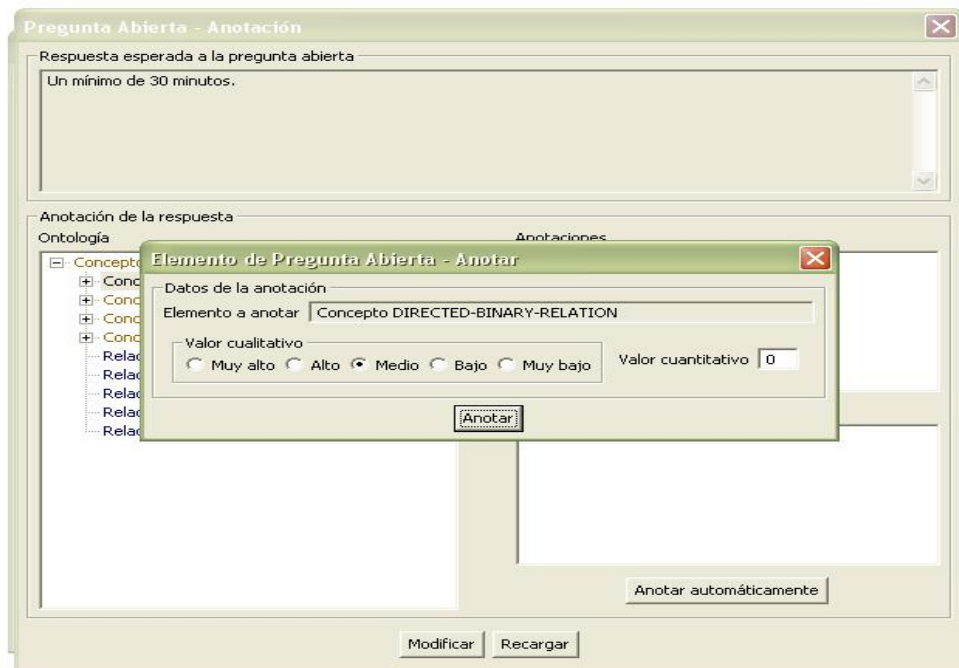


Figura 4.13. Valores cuantitativos y cualitativos de los elementos ontológicos.

Si optamos por anotar las respuestas automáticamente, sólo tendremos que pulsar *Anotar* automáticamente y a continuación seleccionar los elementos anotados y añadirlos al panel de *Anotaciones* pulsando la flecha de la parte superior del panel de *Anotaciones* automáticas. Para guardar los cambios pulsaremos el botón *Modificar*, y para descartarlos pulsaremos *Recargar*.

4.4.4.2 Preguntas Cerradas

Al seleccionar preguntas cerradas, se despliega un segundo menú en el que podemos elegir entre las opciones: *agregar*, *editar* o *eliminar* una pregunta. Si se selecciona la opción *Agregar*, se abrirá una nueva ventana, en la que podremos seleccionar el curso que nos interese, y a continuación introducir una nueva pregunta con sus posibles respuestas, señalando cuál de ellas es la

Capítulo 4. OeLE: Plataforma basada en tecnologías de la Web Semántica para la evaluación de exámenes correcta y fecha de creación. Esta ventana también ofrece la opción de *exportar* la pregunta a formato IMS/QTI para reutilizarla con otro programa. (ver Figura 4.14)

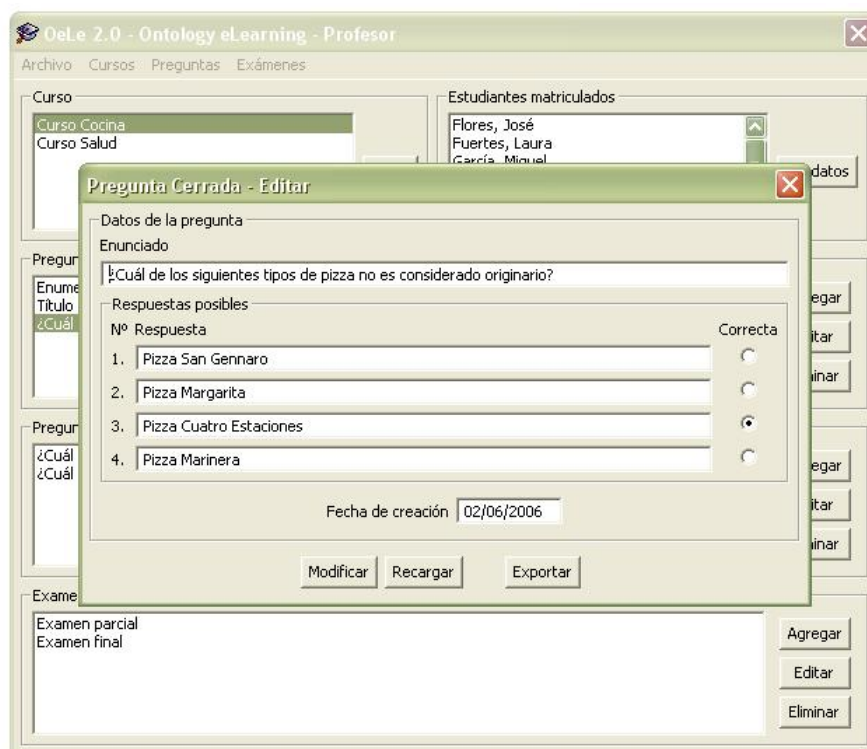


Figura 4. 14. Preguntas cerradas.

4.4.5 Gestión de Exámenes

En el menú *Exámenes* encontramos las siguientes opciones: *Agregar*, *Editar* y *Eliminar*, al igual que ocurre en la ventana principal del programa. En primer lugar se debe asignar un nombre al examen además de la fecha de creación. Entonces, abrirá la ventana en la que editaremos el examen. Mediante la parte de la ventana con la etiqueta *Preguntas*, podremos añadir preguntas existentes o eliminar otras ya incluidas mediante las flechas.

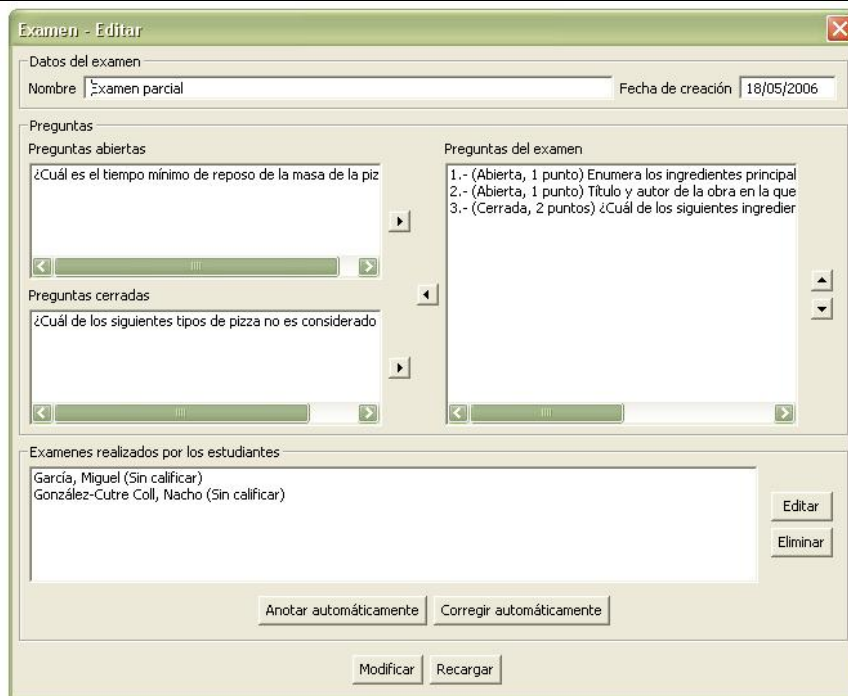


Figura 4.15. Exámenes realizados por los estudiantes.

En la parte de la ventana llamada “*Exámenes realizados por los estudiantes*” aparece el listado de estudiantes que han realizado exámenes del curso en cuestión. Al seleccionar el examen de un estudiante y pulsar el botón *editar* se abrirá una ventana en la que podremos ver las preguntas con las respuestas del estudiante, anotar las respuestas y corregir el examen. (ver Figura 4.15)

The screenshot shows a web application window titled "Examen - Editar". It contains several sections:

- Datos del estudiante:** A form with fields for Name (Miguel), Surnames (García), D.N.I., Address, Telephone, Mobile, Email, Date of birth (21/06/2006), Username (mgarcia), and Password (*****). A profile picture of a man in a hat is shown next to the name.
- Datos del examen:** A form with fields for Name (Examen parcial), Number of questions (3), Maximum score (4), Date of creation (18/05/2006), and Date of realization (06/09/2006).
- Preguntas:** A table with columns: Tipo, Num, Pregunta, Max, Man, and Aut. It lists three questions:

Tipo	Num	Pregunta	Max	Man	Aut
Abierta	1	Enumera los ingredientes principales de la pizza Ma...	1		
Abierta	2	Titulo y autor de la obra en la que aparece la prime...	1		
Cerrada	3	¿Cuál de los siguientes ingredientes no se utiliza en...	2		
- Calificación:** Two checkboxes for "Calificación Manual" and "Calificación Automática".
- Buttons:** "Anotar", "Corregir", "Ver datos", "Modificar", and "Recargar".

Figura 4.16. Exámenes realizados por el estudiante.

En esta ventana (figura 4.16) se aprecian los datos de los estudiantes y los exámenes que ha realizado. En el apartado *Preguntas* se observa el tipo de pregunta (abierta o cerrada), el número de pregunta, el enunciado, la puntuación máxima por cada respuesta, la calificación manual de la respuesta y la calificación automática. Mediante el botón *Ver datos*, se abre una ventana que nos muestra los datos de la pregunta: enunciado, puntuación máxima, datos de la respuesta correcta y la respuesta marcada por el estudiante, calificación anual y automática. Cuando todas las preguntas estén corregidas aparecerá la calificación (manual y automática) en la parte inferior de la ventana. Seleccionando una pregunta abierta y pulsando el botón *Anotar* se abrirá una ventana en la que podremos anotar

la respuesta dada por el estudiante, tal y como vimos para la anotación de las respuestas esperadas. Al seleccionar una pregunta abierta y pulsando el botón *Corregir* se abrirá una ventana en la que veremos el enunciado de la pregunta, la respuesta esperada, la respuesta del estudiante, las anotaciones de la respuesta esperada y las anotaciones de la respuesta del estudiante. En la misma ventana veremos cuál es la puntuación máxima de la pregunta y podremos introducir nuestra calificación manual. Pulsando el botón *Corregir Automáticamente*, se generará la calificación automática siempre que se haya anotado previamente la respuesta esperada y la obtenida. Se puede guardar los cambios introducidos con el botón *Modificar*, o descartarlos con el botón *Recargar*. (ver Figura 4.17)

Examen - Editar

Respuesta a Pregunta Abierta - Corregir

Datos de la pregunta

Enunciado

Enumera los ingredientes principales de la pizza Margarita

Respuesta esperada

Los ingredientes principales de la pizza Margarita son queso mozzarella, salsa de tomate, aceite de oliva y albahaca.

Anotaciones de la respuesta esperada

(Bajo, 1) Concepto Margherita
(Muy alto, 5) Relación Margherita hasTopping MozzarellaTopping
(Alto, 3) Relación Margherita hasTopping TomatoTopping

Puntuación máxima 1

Datos de la respuesta

Respuesta obtenida

Estribo, yunque y martillo.

Anotaciones de la respuesta obtenida

Datos de la calificación

Calificación Manual Calificación Automática

Corregir Automáticamente

Modificar Recargar

Figura 4.17. Corrección de pregunta abierta.

Mediante este botón, se abre una ventana que muestra los datos de la pregunta: enunciado, respuesta esperada, anotaciones de la respuesta esperada, puntuación máxima, respuesta obtenida, anotaciones de la respuesta obtenida, calificación anual y automática.(ver Figura 4.18)

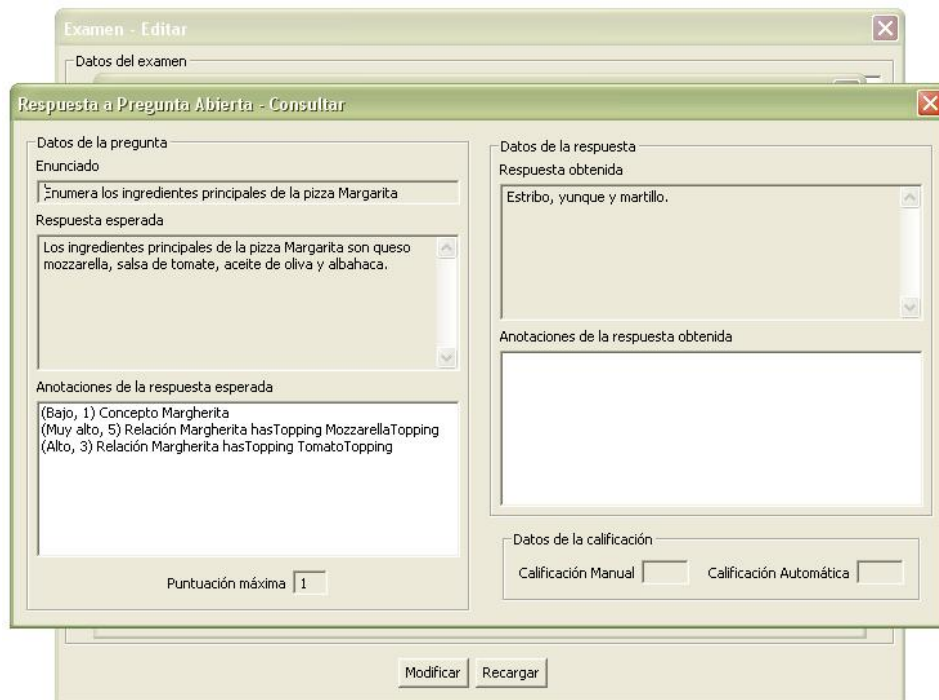


Figura 4.18. Consulta de pregunta abierta.

Finalmente, al seleccionar una pregunta cerrada y pulsar el botón *Corregir* se abre una ventana en la que podremos calificar la respuesta manual y automáticamente. (ver Figura 4.19)



Figura 4.19. Calificación de preguntas abiertas y cerradas.

4.5 Funcionalidad para estudiantes

4.5.1 Acceso al Sistema

Para acceder al sistema, el estudiante únicamente debe introducir la dirección del sitio Web en el navegador web, con lo que se accede a la siguiente página, donde se tendrá que introducir su nombre de usuario y clave. (ver Figura 4.20)



OeLe

Ontology eLearning

USUARIO:

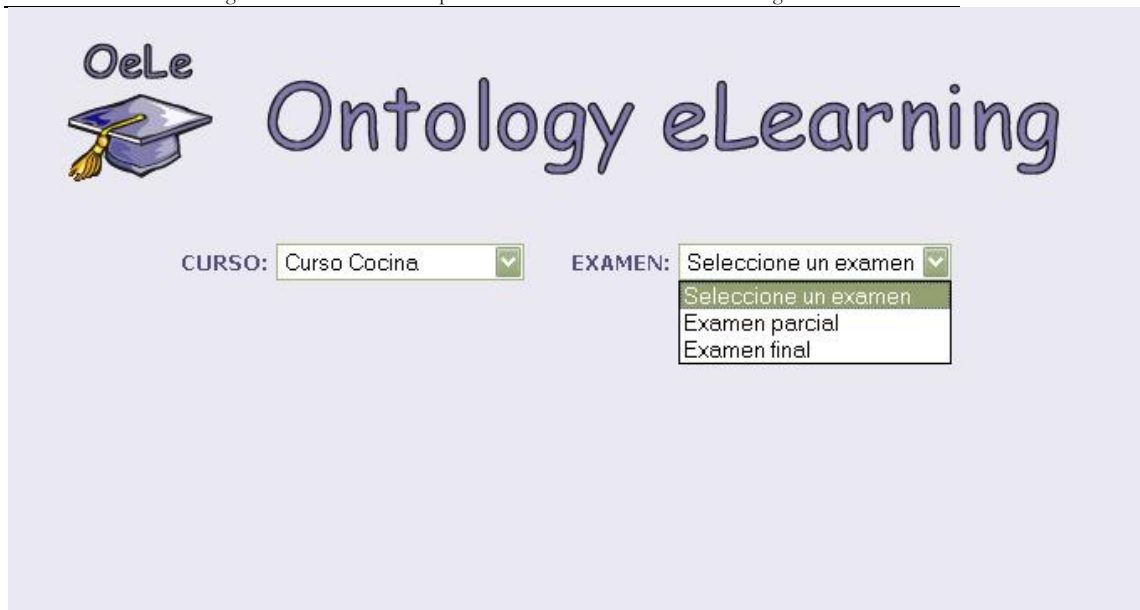
CLAVE:

ENTRAR

Figura 4.20. Control de acceso al sistema para estudiantes.

4.5.2 Realización de exámenes

Al introducir el nombre de usuario y la clave, el estudiante será dirigido a la página de selección de curso. Al pulsar sobre el desplegable de la izquierda, etiquetado con *Curso*, aparece la lista de cursos los que está inscrito. Tras elegir el curso, se podrá seleccionar el examen o exámenes disponibles de la lista desplegable de la derecha *Examen*. (ver Figura 4.21)



The screenshot shows the OeLe Ontology eLearning interface. At the top left is the OeLe logo, which includes a graduation cap icon. To the right of the logo is the text "Ontology eLearning" in a large, stylized font. Below the logo and title, there are two dropdown menus. The first is labeled "CURSO:" and has "Curso Cocina" selected. The second is labeled "EXAMEN:" and has "Seleccione un examen" selected. A dropdown menu is open for the "EXAMEN:" field, showing three options: "Seleccione un examen" (highlighted), "Examen parcial", and "Examen final".

Figura 4.21. Selección de curso y examen del curso.

Tras seleccionar el examen, se podrá visualizar en pantalla la lista de preguntas que lo componen. Una vez completado el examen, el estudiante deberá pulsar el botón *Guardar*. Finalmente, al terminar el proceso se abre una ventana que confirma que los datos se han enviado correctamente. (ver Figura 4.22)

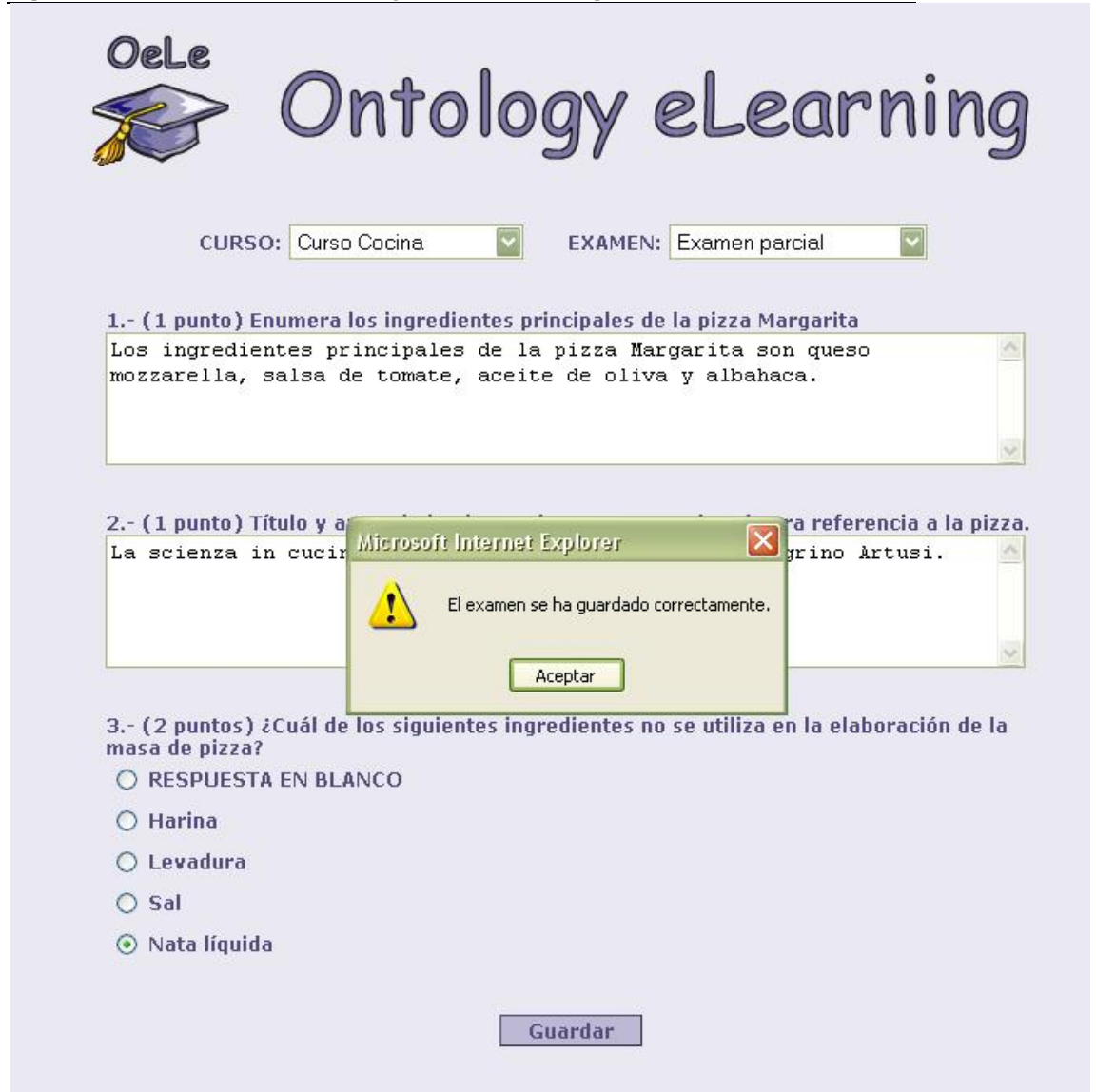


Figura 4.22. Preguntas del examen seleccionado y confirmación de envío.

4.6 Estandarización del Sistema

Entre las características que se exigen a las plataformas educativas, están el empleo de o respeto a los estándares. En nuestro caso, la plataforma OeLE cumple con varios estándares de la Web Semántica como los mencionados

lenguajes ontológicos OWL y RDF. La interoperatividad entre las diferentes plataformas o sistemas para la educación, requiere una apropiada solución para las descripciones heterogéneas de los metadatos o esquemas del dominio (Stojanovic et al., 2001).

En la aplicación, se desarrolló una opción de exportar las preguntas utilizando un formato XML de acuerdo a las especificaciones del estándar IMS/QTI versión 2.0. El IMS/QTI es una especificación del IMS (<http://www.imspjroject.org/>), que es un consorcio abierto e internacional de consumidores, vendedores y organizaciones interesadas en el campo de la enseñanza, y en especial de e-learning, que se dedica al desarrollo de especificaciones muy variadas que cubren prácticamente todos los aspectos de este campo, llegando a constituir verdaderos estándares de facto. La especificación *QTI (Question and Test Interoperability, Interoperabilidad de Preguntas y Exámenes)* describe un formato de datos basado en XML para intercambiar información entre distintos sistemas de e-learning sobre preguntas y exámenes, y sobre los elementos o ítems que los componen, describiendo cómo los sistemas deben presentar los ítems al usuario. Un ítem incluye la pregunta que se presenta al usuario y, opcionalmente, otros componentes como el procesamiento de la respuesta o puntuación, retroalimentación instantánea o consejos, y otros mecanismos para mejorar el examen y la evaluación.

El empleo de los ítems *QTI*, la plataforma se puede integrar muy bien con otras especificaciones educativas y de enseñanza, como *SIF (Schools Interoperability Framework, Marco de Interoperabilidad Escolar)* o *SCORM (US Department of Defense's Shareable Courseware Object Reference Model, Modelo de Referencia de Objetos de Aprendizaje Compartibles del Departamento de Defensa de los Estados Unidos)*.

4.7 Conclusiones

En este capítulo se ha descrito la funcionalidad de la aplicación para los tres actores principales de la plataforma: administradores del sistema, profesores y estudiantes. Se han mostrado las figuras o diálogos principales de la plataforma, las respuestas más comunes del sistema, así como las distintas opciones. Además, se ha descrito el estándar que se ha utilizado en la aplicación para lograr la comunicación entre los sistemas empleados en el entorno de la formación.

Validación

5.1 Introducción

En capítulos anteriores, se han desarrollado diferentes ideas sobre los principales elementos tecnológicos que se han considerado para mejorar el proceso educativo, a saber, e-learning y las tecnologías semánticas. También se ha presentado una metodología para el desarrollo de cursos, además de una plataforma de e-learning que la implementa. Esta metodología incorpora etapas de desarrollo de las ontologías del curso, creación de exámenes y preguntas y la evaluación de preguntas. En este capítulo se realiza la validación de esta metodología en entornos presenciales y no presenciales. Se realiza la validación empleando dos cursos reales, tanto en un curso totalmente presencial y el otro desarrollado mediante una plataforma de formación electrónica.

5.2 Metodología de validación

Vamos a aplicar la metodología de desarrollo de cursos. Creamos la ontología del curso, las preguntas y los exámenes. Estos exámenes serían respondidos por los estudiantes. Se realizará la evaluación de los exámenes, empleando la metodología para el desarrollo de los cursos y el método tradicional de evaluación con la intervención activa del profesor. Esto nos generaría un conjunto de datos que serán analizados estadísticamente. Los conjuntos de datos y los factores que intervienen, sugieren el empleo de los modelos de análisis de varianza (ANOVA) con medidas repetitivas (MR).

Estos modelos permiten estudiar el efecto de uno o más factores cuando al menos uno de ellos es un factor intra-sujetos. Caracterizándose un factor intra-sujetos o con medidas repetitivas, en que todos los niveles del factor se les aplican al mismo sujeto. (Girden, 1992; Visauta, 2007).

Entre las ventajas de los diseños de medidas repetitivas (MR) se encuentran las siguientes: requieren menos sujetos que un diseño completamente aleatorio y permiten eliminar la variación residual debida a las diferencias entre los sujetos (pues se utilizan los mismos). Por el contrario, es necesario controlar algunos de los efectos atribuibles precisamente a la utilización de los mismos sujetos, tales como el efecto de arrastre, que ocurre cuando se administra una condición antes de que haya finalizado el efecto de otra administrado previamente; o el efecto del aprendizaje por la práctica, que ocurre cuando las respuestas de los sujetos pueden mejorar con la repetición y, como consecuencia de ello, los tratamientos administrados en último lugar parecen más efectivos que los administrados en primer lugar, sin que haya diferencias reales entre ellos (en casos como estos es conveniente controlar el orden de presentación de las condiciones).

En la validación de la metodología es favorable el empleo de estas técnicas, al no verse afectada por los efectos adversos que pueden surgir al emplearse el empleo de los análisis de varianza (ANOVA) con medidas repetitivas (MR).

En los modelos de medidas repetidas debe cumplirse el supuesto de normalidad y el de esfericidad. Las técnicas de ANOVA son robustas a las desviaciones de la normalidad. (Bisquerra, 1989). En la esfericidad, las varianzas entre cada dos niveles del factor con medidas repetidas hay que suponer que son iguales, lo cual equivale a que la matriz de varianzas-

covarianzas sea circular o esférica. La prueba de esfericidad *W de Mauchly* permite comprobarlo, aunque si hay factores con dos niveles, no tiene sentido la esfericidad, sólo existe una covarianza que es igual a sí misma, por lo que, cuando son dos niveles, puede asumirse que el supuesto se cumple. (Mauchly, 1940)

Una vez que se realiza el análisis multivariado, es recomendable realizar la aproximación univariada para analizar si hay incongruencia entre sus resultados y la multivariada. En caso de existir incongruencia y cumplirse el supuesto de esfericidad, la aproximación univariada es más potente que la multivariada y, en ese caso, la respuesta se daría por esta última. En los casos en los que exista diferencia de las medidas de las calificaciones en alguno de los factores que se analizan, se realizan comparaciones múltiples para determinar quien provoca la diferencia.

En la validación se siguieron los siguientes pasos: 1) definir los objetivos, 2) plantear las hipótesis, 3) verificar las hipótesis y 4) establecer las conclusiones. El análisis estadístico de los resultados se realizó con el paquete SPSS (*Statistical Product and Service Solutions*) versión 14.0, para Windows.

5.3 Caso de estudio: Diseño y evaluación de materiales didácticos

El primer caso de estudio para la validación se realizó con el curso on-line “Diseño de Medios Didácticos” que oferta el Departamento de Didáctica y Organización Escolar de la Facultad de Educación de la Universidad de Murcia. Esta asignatura se ha impartido durante el segundo cuatrimestre del curso académico 2005/06. El grupo lo constituyen 14 personas, 10 chicas y

4 chicos. Del grupo de alumnos de la asignatura, 6 cursan 4º de la Licenciatura en Pedagogía y 8 alumnos/as cursan 5ª de dicha licenciatura. El curso se desarrolló en la modalidad no presencial y una sola convocatoria. En el examen que respondieron los estudiantes se empleó una plataforma de e-learning que implementa la metodología de evaluación de exámenes objeto de la validación.

5.3.1 Creación de ontología y examen

La ontología del curso se desarrolló usando el editor de ontologías Protégé, aunque pueden emplearse otros que permitan obtener una ontología representada en el lenguaje ontológico OWL. La ontología la podemos consultar en <http://klt.inf.um.es/~oele/>

La métrica de la ontología aparece en la tabla 3.1. El examen se realizó con cuatro preguntas abiertas o de desarrollo. Las mismas fueron anotadas semánticamente, con la ayuda de la ontología desarrollada para el curso y la plataforma de e-learning. Las preguntas y su puntuación aparecen en la Tabla 5.1.

Preguntas	Puntuación
1 -¿Cuáles son los aspectos principales a tener en cuenta en el diseño de materiales con Nuevas Tecnologías?	20%
2- En el diseño de materiales hemos de prestar atención diferenciada al diseño pedagógico y al diseño técnico. ¿Cuáles son los elementos a tener en cuenta en los respectivos tipos de diseño?	20%
3- Determina las fases del diseño de materiales con Nuevas Tecnologías.	30%
4- Enuncia recomendaciones para el diseño de materiales.	30%

Tabla 5.1. Preguntas abiertas del caso y su calificación.

5.3.2 Objetivos del caso

Los objetivos que se proponen para validar la metodología en este primer caso de estudio fueron los siguientes:

- Determinación de la **no existencia de diferencias significativas entre las medias de las calificaciones en los métodos de evaluación manuales y el que se realiza con la metodología de evaluación** implementada en la plataforma de e-learning.
- Determinación de la **no existencia de diferencias significativas entre las medias de las calificaciones en las distintas preguntas del examen.**
- Determinación de la **no existencia de diferencias significativas entre las medias de las calificaciones en la interacción de los factores método-preguntas.**

Cada examen fue calificado por dos profesores por el método tradicional o manual y una tercera vez de forma semi-automatizada empleando la metodología de evaluación implementada en la plataforma de e-learning desarrollada. Se dice que se calificó de forma semi-automatizada al tener que anotar manualmente los profesores las respuestas de los estudiantes en la ontología. Los resultados de la evaluación para las 3 calificaciones aparecen en la tabla 5.2. En la validación se tomó toda la población de estudiantes, es decir, se procesaron todos los exámenes de todos los estudiantes que se presentaron, no se trabajó con una muestra de los exámenes.

Estudiante	Método Calif. 1				Método Calif. 2				Método Calif. 3			
	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4
1	1	1	2	1	0,9	1,5	2,1	0,7	0	1,6	2,7	2,2
2	0	1,5	1	0,7	0	1,3	1,1	0,5	1,3	1	0	0,9
3	0	0,2	2	0,8	0	0,2	2	0,7	0,5	0,2	2,7	1,6
4	2	0,1	2	1,2	2	0,3	2,1	1	1,6	0	2,8	2,5
5	1	1,8	2	1,4	0,9	1,9	2,1	1,4	0	1,6	3	2,8
6	2	1,8	2	1	2	2	2,2	1	0	0,9	2,3	1,2
7	2	2	2	1,3	2	1,8	2	1,4	1,5	1,6	3	2,5
8	1	1,8	2	1	0,6	1,9	2	1	0,7	1,6	2,7	2,3
9	0	1,6	2	0,2	0,3	1,6	2	0,3	0	1,7	2,2	0,6
10	1	1,3	3	1	1,1	1,7	2,4	1,1	0	1,6	2,6	2,2
11	2	1,6	2	0,7	2	1,8	2,2	0,7	1,1	1,5	2,9	1
12	1	1,8	2	1,1	1,1	1,6	1,9	1,2	1	1,3	3	2,9
13	1	2	2	1,5	0,6	2	2,3	1,4
14	0	1	2	1,1	0,3	1,2	1,9	1,2	0	1	2,5	2,3

Tabla 5.2. Calificaciones por métodos manuales y la metodología.

Los métodos de calificaciones 1 y 3 (**Método Calif. 1** y **Método Calif. 3**) corresponden a las evaluaciones realizadas por los profesores de forma manual o tradicional en las 4 preguntas del examen (**P1**,..., **P4**), el segundo método de calificación (**Método de Calif. 2**), corresponde a la calificación efectuada empleando la metodología de evaluación.

Se determinó que la *calificación* obtenida es la variable dependiente o la medida. Entre los factores que intervienen se tienen el *factor método*, que serían las formas o variantes con que se evalúan los exámenes. Los niveles o valores del factor método serían: *manual* (primer profesor), *metodología* (el que se realiza con la metodología) y *manual* (segundo profesor). Un segundo *factor* lo constituyen las *preguntas* incluidas en el examen. Sus niveles serían: *primera*, *segunda*, *tercera* y *cuarta pregunta*. Concluyendo los factores seleccionados para realizar un modelo de análisis de varianza (ANOVA) con

medidas repetitivas (MR) serían: el *factor método* con los *niveles* (*manual*₁; *metodología*₁; *manual*₂) y el *factor preguntas* con los *niveles* (*pregunta*₁, *pregunta*₂, *pregunta*₃, *pregunta*₄). Además, se evaluó la interrelación entre los factores *método-preguntas*.

5.3.3 Hipótesis del caso

Cuando se analiza el *factor método*, en todas las preguntas del examen, se plantean verificar las siguientes hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

donde:

μ_1 : Media de las calificaciones utilizando el método manual₁

μ_2 : Media de las calificaciones utilizando el método con la metodología₁

μ_3 : Media de las calificaciones utilizando el método manual₂

La hipótesis sería la no existencia de diferencias significativas en la media de las calificaciones entre los diferentes métodos de evaluación.

Cuando se analiza el *factor preguntas*, con todos los métodos de calificación del examen, se plantean verificar las siguientes hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$$

donde:

μ_1 : Media de las calificaciones de la pregunta₁

μ_2 : Media de las calificaciones de la pregunta₂

μ_3 : Media de las calificaciones de la pregunta₃

μ_4 : Media de las calificaciones de la pregunta₄

La hipótesis sería la no existencia de diferencias significativas en la media de las calificaciones entre las diferentes preguntas del examen.

5.3.4 Verificación del la hipótesis del caso

En el procesamiento de los datos del caso se definen los factores intra-sujetos y las distintas combinaciones que se establecen. (Tabla 5.3).

Métodos	Preguntas	Variable dependiente
Manual (1)	Pregunta (1)	calif1_p1
	Pregunta (2)	calif1_p2
	Pregunta (3)	calif1_p3
	Pregunta (4)	calif1_p4
Metodología (1)	Pregunta (1)	calif2_p1
	Pregunta (2)	calif2_p2
	Pregunta (3)	calif2_p3
	Pregunta (4)	calif2_p4
Manual (2)	Pregunta (1)	calif3_p1
	Pregunta (2)	calif3_p2
	Pregunta (3)	calif3_p3
	Pregunta (4)	calif3_p4

Tabla 5.3. Factores intra-sujetos

En el análisis multivariado, cuyos resultados aparecen en la tabla 5.4, a los factores *método*, *pregunta* y *la interrelación método-pregunta* se les realizan varios estadígrafos de los que dispone la herramienta de análisis estadístico

empleada (SPSS 14). Para una descripción de los cuatro estadísticos multivariados: la traza de Pillai, la lambda de Wilks, la traza de Hotelling y la raíz mayor de Roy, se puede consultar (Bock, 1975; Tabachnik y Fidel, 1983)

Efecto		Valor	F	Gl de la hipótesis	Gl del error	Significación
Método	Traza de Pillai	,340	2,837(a)	2,000	11,000	,102
	Lambda de Wilks	,660	2,837(a)	2,000	11,000	,102
	Traza de Hotelling	,516	2,837(a)	2,000	11,000	,102
	Raíz mayor de Roy	,516	2,837(a)	2,000	11,000	,102
Preguntas	Traza de Pillai	,877	23,689(a)	3,000	10,000	,000
	Lambda de Wilks	,123	23,689(a)	3,000	10,000	,000
	Traza de Hotelling	7,107	23,689(a)	3,000	10,000	,000
	Raíz mayor de Roy	7,107	23,689(a)	3,000	10,000	,000
Método * Preguntas	Traza de Pillai	,865	7,498(a)	6,000	7,000	,009
	Lambda de Wilks	,135	7,498(a)	6,000	7,000	,009
	Traza de Hotelling	6,427	7,498(a)	6,000	7,000	,009
	Raíz mayor de Roy	6,427	7,498(a)	6,000	7,000	,009

a Estadístico exacto

Tabla 5.4. Contrastes multivariados.

El **análisis de contraste multivariado** muestra como resultado que el *factor método* tiene un nivel crítico (Sig. = 0.112) en los estadígrafos analizados, que es mayor que el nivel de significación (0,05) por lo que **no se puede rechazarse H_0** . El *factor preguntas* tiene un nivel crítico (Sig. = 0,00) en los estadígrafos analizados, que es menor que el nivel de significación (0,05) por lo que **puede rechazarse H_0** . La interrelación entre los factores *método*preguntas* tiene un nivel crítico (Sig. = 0,009) en los estadígrafos analizados, que es menor que el nivel de significación (0,05) por lo que **puede rechazarse H_0** .

En la prueba de esfericidad de *Mauchly*, para la determinación de la esfericidad de los factores que intervienen. Esta prueba contrasta la hipótesis nula H_0 de que la matriz de covarianza de error de las variables dependientes transformadas es proporcional a una matriz identidad. Los resultados aparecen en la tabla 4.5. Acerca del grado corrector *Epsilon* y sus dos estimaciones *Greenhouse-Geisser* y *Huynh-Feldt*, se puede consultar (Box, 1954; Greenhouse-Geisser, 1958; Huynh-Feldt, 1976).

Efecto intra-sujetos	W de Mauchly	Chi-cuadrado aprox.	gl	Significación	Epsilon(a)		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Límite-inferior
Método	,149	20,911	2	,000	,540	,552	,500
Preguntas	,713	3,629	5	,605	,840	1,000	,333
Método * Preguntas	,000	82,303	20	,000	,302	,353	,167

Tabla 5.5. Prueba de esfericidad de Mauchly.

La prueba de *Mauchly* permite determinar que el *factor método* tiene un nivel crítico (Sig. = 0,00) menor que el nivel de significación (0,05), por lo que **rechazamos la esfericidad del factor**. El *factor preguntas*, en cambio, tiene un nivel crítico (Sig = 0,605) mayor que el nivel de significación (0,05), por lo que **no podemos rechazar la esfericidad del factor**. La interrelación entre los *factores método*preguntas* tiene un nivel crítico (Sig. = 0,00) menor que el nivel de significación (0,05), por lo que **rechazamos la hipótesis de esfericidad**.

Al no cumplirse para el *factor método* la hipótesis de esfericidad, se puede basar la decisión en los resultados de la **prueba de contrastes multivariados**, pues no le afectan el incumplimiento del supuesto de esfericidad, o en los resultados de la **prueba de efectos intra-sujetos**,

conocido también como **estadístico F univariado**. En el caso del *factor preguntas* al cumplir el supuesto de esfericidad es preferible utilizar la aproximación **estadístico F univariado**, pues, en condiciones de esfericidad, el estadístico **univariado F** es más potente que los **estadísticos multivariados**, sobre todo en muestras pequeñas. Si ambas aproximaciones conducen a la misma conclusión es irrelevante utilizar una u otra. (Visauta, 2007).

La determinación de la **prueba de efectos intra-sujetos** o **estadístico F univariado** y el análisis de sus resultados muestran que el *factor método* en las cuatro versiones del **estadístico F** (la no corregida y las 3 corregidas) conducen a la misma conclusión, puesto que el nivel crítico (Sig.) es mayor que 0,05, por lo que **no se puede rechazar H_0** . La prueba de **aproximación univariada** tiene como resultado un nivel crítico (Sig.) menor que el 0,05 para el *factor preguntas*, por lo que **se rechaza H_0** (ver tabla 5.6)

Fuente		Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Método	Esfericidad asumida	1,652	2	,826	5,226	,013
	Greenhouse-Geisser	1,652	1,081	1,529	5,226	,038
	Huynh-Feldt	1,652	1,104	1,497	5,226	,037
	Límite-inferior	1,652	1,000	1,652	5,226	,041
Error(Metodo)	Esfericidad asumida	3,794	24	,158		
	Greenhouse-Geisser	3,794	12,969	,293		
	Huynh-Feldt	3,794	13,242	,287		
	Límite-inferior	3,794	12,000	,316		
Preguntas	Esfericidad asumida	35,853	3	11,951	17,389	,000
	Greenhouse-Geisser	35,853	2,521	14,224	17,389	,000
	Huynh-Feldt	35,853	3,000	11,951	17,389	,000
	Límite-inferior	35,853	1,000	35,853	17,389	,001
Error(Preguntas)	Esfericidad asumida	24,742	36	,687		
	Greenhouse-Geisser	24,742	30,249	,818		
	Huynh-Feldt	24,742	36,000	,687		
	Límite-inferior	24,742	12,000	2,062		
Metodo * Preguntas	Esfericidad asumida	10,270	6	1,712	16,575	,000
	Greenhouse-Geisser	10,270	1,814	5,661	16,575	,000
	Huynh-Feldt	10,270	2,119	4,847	16,575	,000
	Límite-inferior	10,270	1,000	10,270	16,575	,002
Error (Metodo * Preguntas)	Esfericidad asumida	7,435	72	,103		
	Greenhouse-Geisser	7,435	21,769	,342		
	Huynh-Feldt	7,435	25,427	,292		
	Límite-inferior	7,435	12,000	,620		

Tabla 5.6. Pruebas de efectos intra-sujetos

Para interpretar el efecto de la interacción de *métodos*preguntas*, debido a que se obtuvo que su efecto es significativo se realizó el gráfico de perfil. (Figura 5.1).

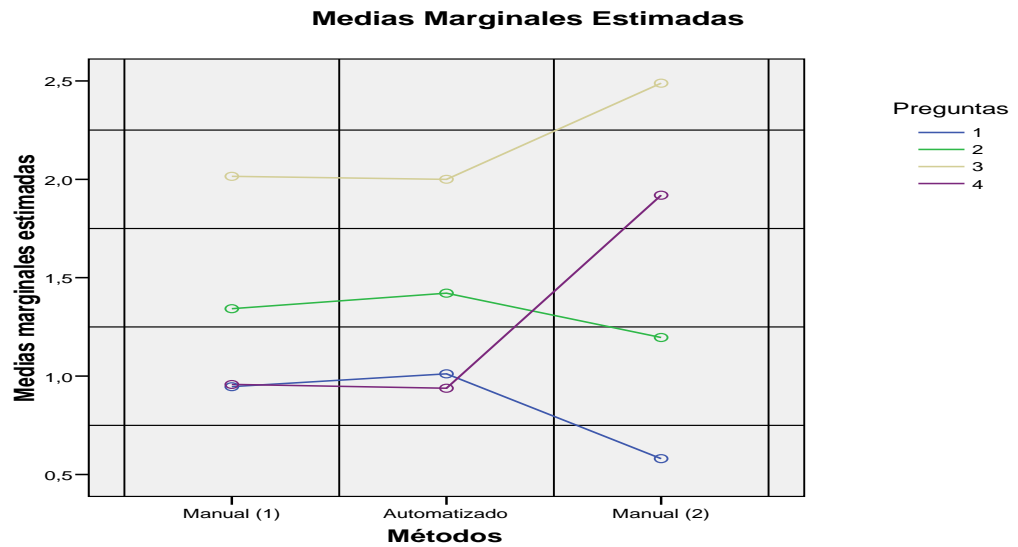


Figura 5.1. Gráfico de perfil.

La gráfica del perfil permite valorar el comportamiento de la calificación en las cuatro preguntas empleando los tres métodos de evaluación. Algunas valoraciones serían las siguientes:

- En la *pregunta*₁ y la *pregunta*₂ la calificación se comporta de forma similar en el método de evaluación *manual*₁ y con la *metodología*₁ con una ligera tendencia a aumentar, a diferencia del método *manual*₂, donde hay una tendencia a disminuir, siendo más acentuada la disminución en el caso de la *pregunta*₁.
- En la *pregunta*₃ y *pregunta*₄ la calificación se comporta de forma similar con el empleo del método *manual*₁ y la *metodología*₁, pues solo sufre un ligero decremento, mientras que con el método *manual*₂ la tendencia es a crecer, siendo más acentuada en la *pregunta*₄.

En el efecto del *factor pregunta* se rechazó la hipótesis nula deben efectuarse comparaciones múltiples para determinar qué pregunta provoca la

diferencia. Para ello se utilizará el criterio de *Bonferroni* (Bonferroni, 1930).

(ver Tabla 5.7).

Pregunta (I)	Pregunta (J)	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación(a)	Intervalo de confianza al 95 % para la diferencia(a)	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	-0,474	0,231	0,379	-1,204	0,256
	3	-1,322(*)	0,177	0	-1,88	-0,764
	4	-0,426	0,189	0,262	-1,021	0,17
2	1	0,474	0,231	0,379	-0,256	1,204
	3	-,848(*)	0,189	0,005	-1,444	-0,251
	4	0,048	0,196	1	-0,57	0,666
3	1	1,322(*)	0,177	0	0,764	1,88
	2	,848(*)	0,189	0,005	0,251	1,444
	4	,896(*)	0,129	0	0,489	1,303
4	1	0,426	0,189	0,262	-0,17	1,021
	2	-0,048	0,196	1	-0,666	0,57
	3	-,896(*)	0,129	0	-1,303	-0,489

(a) Ajuste para comparaciones múltiples: Bonferroni.

Tabla 5.7. Comparaciones por pares.

Las diferencias aparecen marcadas con (*) y según estos resultados la calificación en la *pregunta₃* difiere de las preguntas *pregunta₁*, *pregunta₂* y la *pregunta₄*. Por lo que se puede afirmar que la *pregunta₃* es la que provoca las diferencias.

Luego de realizar el análisis de varianza ANOVA con medias repetitivas, se aplicó una *prueba no paramétrica*. Se empleó la *prueba de Friedman*, que es un análisis similar al de medias repetitivas pero sin que sea necesario el cumplimiento de los supuestos de normalidad e igualdad de varianzas. (Friedman, 1937). Al realizar esta prueba con las calificaciones obtenidas por los tres métodos de calificación (*manual₁*, *manual₂* y *metodología₁*) se obtuvieron los resultados de la tabla 5.8.

N	52
Chi-cuadrado	3,646
gl	2
Sig. asintót.	,162

Tabla 5.8. Estadístico de contraste. Prueba de Friedman.

En los métodos de evaluación el nivel crítico (Sig. asínt. = 0,162) es mayor que el nivel de significación (0,05), por lo que **no se puede rechazar la hipótesis nula (H_0)**, que en este caso sería la no existencia de diferencias significativas en las calificaciones entre los métodos de calificación.

Además se realizó otra *prueba no paramétrica* para determinar la existencia de diferencias significativas entre los distintos métodos de calificación. Se empleó la *prueba de Wilcoxon* que permite realizar comparaciones entre pares de variables. (Wilcoxon, 1945). Se seleccionaron los siguientes pares (método manual₁ - método manual₂), (método manual₁ - método metodología₁), (método manual₂ - método metodología₁). Los resultados de *prueba de Wilcoxon* aparecen en las tablas 5.9 y 5.10.

Pares de variables		N	Rango promedio	Suma de rangos
Automático - Manual1	Rangos negativos	22(a)	23,05	507,00
	Rangos positivos	27(b)	26,59	718,00
	Empates	7(c)		
	Total	56		
Manual2 - Manual1	Rangos negativos	19(d)	20,92	397,50
	Rangos positivos	30(e)	27,58	827,50
	Empates	3(f)		
	Total	52		
Manual2 - Automático	Rangos negativos	21(g)	23,48	493,00
	Rangos positivos	31(h)	28,55	885,00
	Empates	0(i)		
	Total	52		

- a Automático < Manual1 f Manual2 = Manual1
b Automático > Manual1 g Manual2 < Automático
c Automático = Manual1 h Manual2 > Automático
d Manual2 < Manual1 i Manual2 = Automático
e Manual2 > Manual1

Tabla 5.9. Rangos en la prueba de Wilcoxon.

	Calificación Automática - Calificación Manual 1	Calificación Manual 2 - Calificación Manual 1	Calificación Manual 2 - Calificación Automática
Z	-1,051(a)	-2,140(a)	-1,785(a)
Sig. asintót. (Bilateral)	,293	,032	,074

a Basado en rangos negativos.

Tabla 5.10. Prueba de Wilcoxon.

Los resultados indican que el nivel crítico bilateral (*Sig. asintót. bilateral*) es mayor, en los tres casos, que el nivel de significación (0,05), por lo que entre los pares (método manual₁ - método manual₂), (método manual₁ - método metodología₁) y (método manual₂ - método metodología₁) no existen diferencias significativas entre los distintos métodos de evaluación.

5.3.5 Conclusiones del caso

En este caso de estudio se determinó que la hipótesis de igualdad de media de las calificaciones por el método tradicional y el método en el que se emplea la metodología de evaluación no tiene diferencias significativas y tienen igual calidad. Lo que permite afirmar que la metodología empleada en la evaluación de los exámenes es tan válida como las calificaciones realizadas por los métodos tradicionales. En el caso de las preguntas que componen al examen, si hay diferencias entre las calificaciones entre las distintas preguntas. Esta conclusión demuestra que las preguntas pueden tener distintos grados de dificultad para los estudiantes, por lo que las calificaciones que obtenga en cada una de ellas pueden no ser similares. La interacción de estos dos factores, el método y las preguntas tienen, diferencias significativas en la calificación.

5.4 Caso de estudio: Sistemas Multimedia e Integración Gráfica

El segundo caso que se empleó en la validación fue la asignatura “Sistemas Multimedia e Integración Gráfica” con estudiantes del 2º curso de Ingeniería Técnica en Informática de Sistemas, que imparte el Departamento de Informática y Sistemas de la Universidad de Murcia. El curso se desarrolló en la modalidad presencial, y en este estudio se usaron los datos recogidos en esta asignatura durante 3 años consecutivos. No se empleó ninguna plataforma de e-learning para impartir el curso, ni en la evaluación que se realizó. Se tomaron las calificaciones de todos los estudiantes en las convocatorias que se realizaron. Este curso se impartió en los cursos 04/05, 05/06 y 06/07. Las respuestas de los estudiantes fueron

introducidas posteriormente para su procesamiento con la plataforma de evaluación.

5.4.1 Creación de ontología y examen

El editor de ontologías es el Protégé, que fue comentado anteriormente. La métrica de la ontología desarrollada aparece en la tabla 5.11. La ontología aparece en la dirección <http://klt.inf.um.es/~oele>.

Elemento Ontológico	Definidos
Clases	70
Atributos	42
Relaciones	32

Tabla 5.11. Métrica de la ontología.

El examen que se diseñó está compuesto por dos preguntas abiertas, que fueron anotadas semánticamente en la ontología desarrollada para el curso. Las preguntas y la puntuación aparecen en la tabla 5.12. La puntuación de las preguntas varía en función de la convocatoria y el curso, al estar el examen formado por varias preguntas.

Preguntas	Puntuación
1- Clasificar los formatos de audio WAV, MP3 y OGG Vorbis y atendiendo a los siguientes parámetros: (1) existencia de cabecera, (2) CBR/VBR, (3) posibilidad de sonido multicanal, y (4) compresión con o sin pérdida.	Varía en función de la convocatoria
2- Clasificar los contenedores de vídeo AVI, OGM y Matroska atendiendo a los siguientes parámetros: (1) cantidad y tipo de flujos de datos; (2) soporte de formatos de vídeo y audio; y (3) soporte para contenidos extra además de audio y vídeo.	Varía en función de la convocatoria

Tabla 5.12. Preguntas abiertas y su calificación.

5.4.2 Objetivos del caso

Los objetivos que se proponen en la validación de la metodología de evaluación en este segundo caso serían:

- Determinación de la **no existencia de diferencias significativas entre las medias de las calificaciones en el método de evaluación manual y el que se realiza con la metodología de evaluación.**
- Determinación de la **no existencia de diferencias significativas entre las medias de las calificaciones en las distintas preguntas de los exámenes.**
- Determinación de la **no existencia de diferencias significativas entre las medias de las calificaciones en las distintas convocatorias de los exámenes.**
- Determinación de la **no existencia de diferencias significativas entre las medias de las calificaciones en la interacción de los factores *métodos*preguntas*.**
- Determinación de la **no existencia de diferencias significativas entre las medias de las calificaciones en la interacción de los factores *métodos*convocatorias*.**
- Determinación de la **no existencia de diferencias significativas entre las medias de las calificaciones en la interacción de los factores *preguntas*convocatorias*.**
- Determinación de la **no existencia de diferencias significativas entre las medias de las calificaciones en la interacción de los factores *métodos*preguntas*convocatorias*.**

Las respuestas de estos exámenes fueron calificadas por dos métodos: de forma manual y empleando la metodología de evaluación propuesta en esta tesis. Las calificaciones obtenidas de la evaluación de los exámenes aparecen en la tabla 5.13.

MP1F	MP1J	MP1S	MP1D	MP2F	MP2J	MP2S	MP2D	AP1F	AP1J	AP1S	AP1D	AP2F	AP2J	AP2S	AP2D
9	6	0	7	0	10	0	4	8,9	10,9	0	7,5	0	10,33	0	4,2
4	7,5	8	6	4	0	9,67	0	4,1	6,3	10,01	5,5	3,75	0	9,67	0
10	7,5	9,2	9	8	0	11,67	0	10,3	7,4	0	9	8	0	11,67	0
11	5	9	9	0	0	0	0	5	7,5	8	8,8	0	0	0	0,2
10	7	9	9	0	2,67	4	2,67	10,3	4,5	9,18	9,3	0	2,52	3,98	2,37
.	0	9	10	.	0	4	6,67	.	7	9,65	10	.	0	4	6,67
.	10	5	.	.	7,33	2	.	.	0	9	.	.	7,68	2	.
.	7,5	10	.	.	1,47	5,33	.	.	9,9	8,68	.	.	1,37	5,44	.
.	9,5	.	.	.	0	.	.	.	7,75	.	.	.	0	.	.
.	7,5	.	.	.	2,67	.	.	.	9,5	.	.	.	2,67	.	.
.	6,66	.	.	.	0	.	.	.	7,8	.	.	.	0	.	.
.	7	.	.	.	0	.	.	.	6,86	.	.	.	0	.	.
.	7,5	.	.	.	5,33	.	.	.	7	.	.	.	5,29	.	.
.	7,5	.	.	.	2,93	.	.	.	7,35	.	.	.	3,6	.	.
.	6,66	.	.	.	0	.	.	.	7,68	.	.	.	0	.	.
.	9,2	.	.	.	0	.	.	.	6,66	.	.	.	0	.	.
.	7,5	.	.	.	4,4	.	.	.	9,2	.	.	.	4,51	.	.
.	8	.	.	.	0	.	.	.	7,69	.	.	.	0	.	.
.	7,5	.	.	.	0	.	.	.	7,78	.	.	.	0	.	.
.	7	.	.	.	0	.	.	.	7,38	.	.	.	0	.	.
.	0	.	.	.	0	.	.	.	7	.	.	.	0,2	.	.
.	8,33	.	.	.	2,67	.	.	.	0	.	.	.	2,46	.	.
.	9,2	.	.	.	6	.	.	.	8,38	.	.	.	6	.	.
.	0	.	.	.	0	.	.	.	9,18	.	.	.	0	.	.

Tabla 5.13. Calificaciones por métodos y por convocatorias.

Los métodos de calificaciones son el método manual (**M**) y el método automatizado o empleando la metodología (**A**). Las preguntas son pregunta 1 y pregunta 2 (**P1** y **P2**), y las convocatorias se denominan por los meses en que se realizaron (**F** – Febrero, **J** - Junio, **S** – Septiembre y **D** – Diciembre).

Un ejemplo, **MP2S** – Método manual (**M**), segunda pregunta (**P2**) y convocatoria de septiembre (**S**).

La *calificación* obtenida es la variable dependiente o la medida en el experimento. Los factores seleccionados para realizar un modelo de análisis de varianza (ANOVA) con medidas repetitivas (MR) son: el *factor métodos* con los *niveles* (*manual, metodología*), el *factor preguntas* con los *niveles* (*pregunta₁, pregunta₂*), el *factor convocatoria* con los *niveles* (*febrero, junio, septiembre, diciembre*). Además, se evalúa la interrelación entre los factores *método*preguntas*, *método*convocatorias*, *preguntas*convocatorias* y *método*preguntas*convocatorias*.

5.4.3 Hipótesis del caso

Cuando se analiza el *factor método* en todas las preguntas y convocatorias del examen, se plantea verificar las siguientes hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

donde:

μ_1 : Media de las calificaciones utilizando el método manual

μ_2 : Media de las calificaciones utilizando el método automático o la metodología

La hipótesis sería la no existencia de diferencias significativas en la media de las calificaciones entre los diferentes métodos de evaluación.

Cuando se analiza el *factor preguntas* con todos los métodos de calificación y convocatorias del examen, se plantea verificar las siguientes hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

donde:

μ_1 : Media de las calificaciones en la pregunta₁

μ_2 : Media de las calificaciones en la pregunta₂

La hipótesis sería la no existencia de diferencias significativas en la media de las calificaciones entre las diferentes preguntas del examen.

Cuando se analiza el *factor convocatorias*, con todos los métodos de calificación y preguntas del examen, se plantean verificar las siguientes hipótesis:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$$

μ_1 : Media de las calificaciones en la convocatoria de febrero

μ_2 : Media de las calificaciones en la convocatoria de junio

μ_3 : Media de las calificaciones en la convocatoria de septiembre

μ_4 : Media de las calificaciones en la convocatoria de diciembre

La hipótesis sería la no existencia de diferencias significativas en la media de las calificaciones entre las diferentes convocatorias.

5.4.4 Verificación de la hipótesis del caso

En el procesamiento de los datos del caso, se definen los factores intra-sujetos y las distintas combinaciones que se establecen entre estos factores, sus niveles y las interrelaciones entre los factores. (Tabla 5.14).

Métodos	Preguntas	Convocatorias	Variable dependiente
Manual	Pregunta (1)	Convocatoria (1)	MP1F
		Convocatoria (2)	MP1J
		Convocatoria (3)	MP1S
		Convocatoria (4)	MP1D
	Pregunta (2)	Convocatoria (1)	MP2F
		Convocatoria (2)	MP2J
		Convocatoria (3)	MP2S
		Convocatoria (4)	MP2D
Metodología	Pregunta (1)	Convocatoria (1)	AP1F
		Convocatoria (2)	AP1J
		Convocatoria (3)	AP1S
		Convocatoria (4)	AP1D
	Pregunta (2)	Convocatoria (1)	AP2F
		Convocatoria (2)	AP2J
		Convocatoria (3)	AP2S
		Convocatoria (4)	AP2D

Tabla 5.14. Factores intra-sujetos del experimento.

Los resultados del **análisis multivariado** de los factores y sus interrelaciones aparecen en la tabla 5.15. De los mismos, se determina una serie de conclusiones parciales, que pueden ser corroboradas o no, por las demás pruebas estadísticas que se realizan.

Efecto		Valor	F	Gl de la hipótesis	Gl del error	Significación
Métodos	Traza de Pillai	0,134	,621(a)	1	4	0,475
	Lambda de Wilks	0,866	,621(a)	1	4	0,475
	Traza de Hotelling	0,155	,621(a)	1	4	0,475
	Raíz mayor de Roy	0,155	,621(a)	1	4	0,475
Preguntas	Traza de Pillai	0,818	17,918(a)	1	4	0,013
	Lambda de Wilks	0,182	17,918(a)	1	4	0,013
	Traza de Hotelling	4,48	17,918(a)	1	4	0,013
	Raíz mayor de Roy	4,48	17,918(a)	1	4	0,013
Convocatorias	Traza de Pillai	0,114	,086(a)	3	2	0,961
	Lambda de Wilks	0,886	,086(a)	3	2	0,961
	Traza de Hotelling	0,129	,086(a)	3	2	0,961
	Raíz mayor de Roy	0,129	,086(a)	3	2	0,961
Métodos * Preguntas	Traza de Pillai	0,146	,682(a)	1	4	0,455
	Lambda de Wilks	0,854	,682(a)	1	4	0,455
	Traza de Hotelling	0,17	,682(a)	1	4	0,455
	Raíz mayor de Roy	0,17	,682(a)	1	4	0,455
Métodos * Convocatorias	Traza de Pillai	0,307	,296(a)	3	2	0,83
	Lambda de Wilks	0,693	,296(a)	3	2	0,83
	Traza de Hotelling	0,444	,296(a)	3	2	0,83
	Raíz mayor de Roy	0,444	,296(a)	3	2	0,83
Preguntas * Convocatorias	Traza de Pillai	0,863	4,196(a)	3	2	0,198
	Lambda de Wilks	0,137	4,196(a)	3	2	0,198
	Traza de Hotelling	6,294	4,196(a)	3	2	0,198
	Raíz mayor de Roy	6,294	4,196(a)	3	2	0,198

Métodos * Preguntas * Convocatorias	Traza de Pillai			3	2	0,844
	Lambda de Wilks	0,29 0,71	,272(a) ,272(a)	3	2	0,844
	Traza de Hotelling	0,408	,272(a)	3	2	0,844
	Raíz mayor de Roy	0,408	,272(a)	3	2	0,844

Tabla 5.15. Contrastes multivariados.

Las principales conclusiones que se obtienen de la prueba del **contraste multivariado** son descritas a continuación:

- En el efecto del *factor métodos* el nivel crítico (Sig. = 0,475) es mayor que el nivel de significación (0,05), por lo que **no se puede rechazar la hipótesis nula (H_0)**. Esto significa que el *factor métodos* no incide en la calificación que obtiene el estudiante, es decir, **la calificación es la misma cualquiera sea el método de utilizado (manual o automatizado)**.
- En el efecto del *factor preguntas* el nivel crítico (Sig. = 0,013) es menor que el nivel de significación (0,05), por lo que **se puede rechazar la hipótesis nula (H_0)**, que significa que **el efecto de este factor es significativo en las calificaciones obtenidas**.
- En el efecto del *factor convocatorias* el nivel crítico (Sig. = 0,961) es mayor que el nivel de significación (0,05), por lo que **no se puede rechazar la hipótesis nula (H_0)**. Por lo tanto el *factor convocatorias* no incide en la calificación que obtiene el estudiante, es decir, **la calificación es la misma en cualquiera de las convocatorias**.
- En el efecto de la interacción *método*preguntas* el nivel crítico (Sig. = 0,455) es mayor que el nivel de significación (0,05), por lo que **no podemos rechazar la hipótesis nula (H_0)**, lo que significa que el efecto de la interacción entre *método*preguntas* no es significativo.

- El efecto de la interacción *métodos*convocatorias* tiene un nivel crítico (Sig = 0,830) mayor que el nivel de significación (0,05), por lo que **no se puede rechazar la hipótesis nula (H_0)**, lo que significa que el efecto de la interacción entre *métodos*convocatorias* no es significativo.
- El efecto de la interacción *preguntas*convocatoria* tiene un nivel crítico (Sig = 0,198) mayor que el nivel de significación (0,05), por lo que **no se puede rechazar la hipótesis nula (H_0)**, lo que significa que el efecto de la interacción entre *preguntas*convocatoria* no es significativo en las calificaciones.
- El efecto de la interacción *métodos*preguntas*convocatorias* tiene un nivel crítico (Sig = 0,844) mayor que el nivel de significación (0,05), por lo que **no se puede rechazar la hipótesis nula (H_0)**, lo que significa que el efecto de la interacción entre *métodos*preguntas*convocatorias* no es significativo en las calificaciones.

Entre los supuestos que deben de cumplirse en la prueba de ANOVA con medidas repetidas, está la esfericidad. Los resultados de la *prueba de esfericidad de Mauchly* permiten la determinación de la esfericidad y aparecen en la tabla 5.16.

Efecto intra-sujetos	W de Mauchly	Chi-cuadrado aprox.	gl	Significación	Epsilon(a)		
					Greenhouse-Geisser	Huynh-Feldt	Límite-inferior
Métodos	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Preguntas	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Convocatorias	,127	5,615	5	,372	,467	,641	,333
Métodos *	1,000	,000	0	.	1,000	1,000	1,000
Preguntas							
Métodos *	,238	3,907	5	,585	,699	1,000	,333
Convocatorias							
Preguntas *	,022	10,410	5	,080	,501	,737	,333
Convocatorias							
Métodos *							
Preguntas *	,258	3,684	5	,617	,701	1,000	,333
Convocatorias							

Tabla 5.16. Prueba de esfericidad de Mauchly.

Al contrastar la hipótesis de esfericidad mediante el estadístico *W de Mauchly* con los resultados anteriores se aprecia que:

- El efecto del *factor métodos* tiene sólo dos niveles, por lo que **existe una covarianza** que es igual a sí misma.
- El efecto del *factor preguntas* tiene sólo dos niveles, por lo que **existe una covarianza** que es igual a sí misma.
- El efecto del *factor convocatorias* tiene un nivel crítico (Sig = 0,372) mayor que el nivel de significación (0,05), por lo que **no podemos rechazar la hipótesis de esfericidad (H_0)**.
- El efecto de la interacción *método*preguntas* tiene sólo dos niveles, por lo que **existe una covarianza** que es igual a sí misma.
- El efecto de la interacción *métodos*convocatorias* tiene un nivel crítico (Sig = 0,585) mayor que el nivel de significación (0,05), por lo que **no se puede rechazar la hipótesis de esfericidad (H_0)**.

- El efecto de la interacción *preguntas*convocatoria* tiene un nivel crítico (Sig = 0,080) mayor que el nivel de significación (0,05), por lo que podemos aceptar la hipótesis de esfericidad (H_0).
- El efecto del factor *métodos*preguntas*convocatorias* tiene un nivel crítico (Sig = 0,617) mayor que el nivel de significación (0,05), por lo que **no se puede rechazar la hipótesis de esfericidad (H_0)**.

En este caso **todos los factores cumplen con la hipótesis de esfericidad**, lo que condiciona que se haga un análisis mediante la **prueba univariada** asociada, que es más potente que la **multivariada** en presencia de esfericidad. Tabla 5.17.

Fuente		Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Significación
Métodos	Esfericidad asumida	1,176	1	1,176	,621	,475
	Greenhouse-Geisser	1,176	1,000	1,176	,621	,475
	Huynh-Feldt	1,176	1,000	1,176	,621	,475
	Límite-inferior	1,176	1,000	1,176	,621	,475
Preguntas	Esfericidad asumida	410,962	1	410,962	17,918	,013
	Greenhouse-Geisser	410,962	1,000	410,962	17,918	,013
	Huynh-Feldt	410,962	1,000	410,962	17,918	,013
	Límite-inferior	410,962	1,000	410,962	17,918	,013
Convocatorias	Esfericidad asumida	12,997	3	4,332	,140	,934
	Greenhouse-Geisser	12,997	1,400	9,285	,140	,801
	Huynh-Feldt	12,997	1,922	6,761	,140	,864
	Límite-inferior	12,997	1,000	12,997	,140	,727
Métodos * Preguntas	Esfericidad asumida	1,181	1	1,181	,682	,455
	Greenhouse-Geisser	1,181	1,000	1,181	,682	,455
	Huynh-Feldt	1,181	1,000	1,181	,682	,455
	Límite-inferior	1,181	1,000	1,181	,682	,455
Métodos * Convocatorias	Esfericidad asumida	4,360	3	1,453	,600	,627

	Greenhouse-Geisser	4,360	2,098	2,078	,600	,578
	Huynh-Feldt	4,360	3,000	1,453	,600	,627
	Límite-inferior	4,360	1,000	4,360	,600	,482
Preguntas * Convocatorias	Esfericidad asumida	88,414	3	29,471	1,686	,223
	Greenhouse-Geisser	88,414	1,504	58,783	1,686	,256
	Huynh-Feldt	88,414	2,212	39,974	1,686	,240
Métodos * Preguntas * Convocatorias	Límite-inferior	88,414	1,000	88,414	1,686	,264
	Esfericidad asumida	3,922	3	1,307	,556	,654
	Greenhouse-Geisser	3,922	2,104	1,864	,556	,602
	Huynh-Feldt	3,922	3,000	1,307	,556	,654
	Límite-inferior	3,922	1,000	3,922	,556	,497

Tabla 5.17. Pruebas de efectos intra-sujetos o univariada.

Con los resultados obtenidos al realizar la **prueba univariada** se pueden deducir las siguientes conclusiones:

- En el efecto del *factor métodos* el nivel crítico (Sig. = 0,475) es mayor que el nivel de significación (0,05), por lo que **no se puede rechazar la hipótesis nula (H_0)**, significa que el *factor métodos* no incide en la calificación que obtiene el estudiante, es decir, que la **calificación es la misma cualquiera que sea el método de calificación utilizado (manual o automatizado)**.
- En el efecto del *factor preguntas* el nivel crítico (Sig. = 0,013) es menor que el nivel de significación (0,05), por lo que **se puede rechazar la hipótesis nula (H_0)** lo que significa que el efecto de este factor es **significativo en las calificaciones obtenidas**.
- En el efecto del *factor convocatorias* el nivel crítico (Sig. = 0,934) es mayor que el nivel de significación (0,05), por lo que **no se puede rechazar la hipótesis nula (H_0)** lo que significa que el *factor convocatorias* no incide en la calificación que obtiene el estudiante, es

decir, que **la calificación se comporta de forma similar en todas las convocatorias.**

- En el efecto de la interacción *método*preguntas* el nivel crítico (Sig. = 0,455) es mayor que el nivel de significación (0,05), por lo que **no se puede rechazar la hipótesis nula (H_0)** lo que significa que el efecto de la interacción entre *método*preguntas* no es significativo.
- El efecto de la interacción *métodos*convocatorias* tiene un nivel crítico (Sig = 0,627) mayor que el nivel de significación (0,05), por lo que **no se puede rechazar la hipótesis nula (H_0)** lo que significa que el efecto de la interacción entre *métodos*convocatorias* no es significativo.
- El efecto de la interacción *preguntas*convocatoria* tiene un nivel crítico (Sig = 0,223) mayor que el nivel de significación (0,05), por lo que **no se puede rechazar la hipótesis nula (H_0)** lo que significa que el efecto de la interacción entre *preguntas*convocatoria* no es significativo en las calificaciones.
- El efecto de la interacción *métodos*preguntas*convocatorias* tiene un nivel crítico (Sig = 0,654) mayor que el nivel de significación (0,05), por lo que **no se puede rechazar la hipótesis nula (H_0)** lo que significa que el efecto de la interacción entre *métodos*preguntas*convocatorias* no es significativo en las calificaciones.

Como en el efecto del *factor pregunta* se rechazó la hipótesis nula deben efectuarse comparaciones múltiples para determinar qué pregunta provoca la diferencia. Se emplea el criterio de *Bonferroni* (Bonferroni, 1930). En este caso, al ser dos preguntas el resultado que se obtiene es que existe diferencia entre ambas preguntas. (Tabla 5.18).

Pregunta (I)	Pregunta (J)	Diferencia entre medias (I-J)	Error típ.	Significación(a)	Intervalo de confianza al 95 % para la diferencia(a)	
					Límite inferior	Límite superior
1	2	4,533(*)	1,071	,013	1,560	7,506
2	1	-4,533(*)	1,071	,013	-7,506	-1,560

Basadas en las medias marginales estimadas.

(a) Ajuste para comparaciones múltiples: Bonferroni.

Tabla 5.18. Comparaciones por pares.

Adicionalmente se realizó una *prueba no paramétrica* en la que no es necesario que se cumplan los supuestos de normalidad y homogeneidad de las varianzas. En concreto se empleó la *prueba de Friedman* que es un análisis similar al de medias repetitivas. (Friedman, 1937). Al realizar esta prueba con las calificaciones obtenidas por los dos métodos de calificación ($manual_1$ y $metodología_1$) se obtuvieron los resultados de la tabla 5.19.

N	86
Chi-cuadrado	,205
gl	1
Sig. asintót.	,651

Tabla 5.19. Estadístico de contraste. Prueba de Friedman.

En los métodos de evaluación el nivel crítico (Sig. = 0,651) es mayor que el nivel de significación (0,05), por lo que **no se puede rechazar la hipótesis nula (H_0)**, que sería la no existencia de diferencias significativas en las calificaciones entre los métodos de evaluación. Esto indica de forma similar a los resultados obtenidos con las *pruebas paramétricas* que no hay variación significativa en las calificaciones en cualquiera de los métodos de calificación empleados ($manual_1$ y $metodología_1$). Esto demuestra que el *factor método* no es significativo en las calificaciones obtenidas. Además, se realizó la *prueba de Wilcoxon* que es también una *prueba no paramétrica*.

(Wilcoxon, 1945). En este caso el par estaría formado por los métodos manual₁ - método metodología₁. Los resultados de la *prueba de Wilcoxon* aparecen en las tablas 5.20 y 5.21.

		N	Rango promedio	Suma de rangos
Automático – Manual	Rangos negativos	37(a)	40,42	1495,50
	Rangos positivos	41(b)	38,67	1585,50
	Empates	8(c)		
	Total	86		

a Automático < Manual

b Automático > Manual

c Automático = Manual

Tabla 5.20. Rangos en la prueba de Wilcoxon.

	Automático - Manual
Z	-,224(a)
Sig. asintót. (Bilateral)	,823

a Basado en rangos negativos.

Tabla 5.21. Prueba de Wilcoxon.

Los resultados de la *prueba de Wilcoxon* indican que no existen diferencias significativas entre los métodos de evaluación manual y en el que se emplea la metodología de evaluación. Al ser el nivel crítico (Sig = 0,823) mayor que el nivel de significación (0,05).

5.4.5 Conclusiones del caso

En este caso de estudio se determinó que la hipótesis de igualdad de medias de las calificaciones por el método tradicional y el método en el que se emplea la metodología de evaluación propuesta aquí no tiene diferencias significativas y tienen igual calidad. Lo que muestra que las calificaciones realizadas con la metodología no difieren de las que realiza el profesor de forma tradicional. En el caso de las preguntas que componen el examen, sí

hay diferencias entre las calificaciones de las distintas preguntas. Esta conclusión demuestra que las preguntas pueden tener distintos grados de dificultad para los estudiantes, por lo que las calificaciones que obtenga en cada una de ellas pueden no ser similares. Las distintas convocatorias no tienen un aporte significativo en la variación de las calificaciones de los estudiantes. Algo similar ocurre con la interacción entre los factores que intervienen.

5.5 Análisis de usabilidad de la plataforma

En el primer caso de estudio también fue evaluada la usabilidad de la herramienta para la aplicación de evaluaciones con preguntas abiertas en e-learning, mediante una encuesta que se les aplicó a los estudiantes. Este estudio no fue realizado en el segundo caso de estudio al no ser empleada la plataforma directamente por los estudiantes. En el estudio participaron todos los estudiantes que realizaron el examen de la asignatura optativa on-line “Diseño de Medios Didácticos”.

Los instrumentos utilizados han sido la plataforma de evaluación, y un cuestionario para la valoración de la experiencia. El cuestionario está constituido por once ítems basados en escala de valoración tipo Likert, con intensidad de 1(nada) a 5 (mucho). Los ítems son referentes a:

- Acceso y realización de la prueba de evaluación.
- Diseño de la interfaz del alumno.
- Disponibilidad de herramientas de ayuda.
- Predisposición hacia la evaluación de desarrollo en red.

El cuestionario consta de dos preguntas abiertas destinadas a la opinión y/o valoración general del alumno sobre la herramienta de evaluación y la modalidad de examen de desarrollo en red.

Luego de realizar el examen y procesar la encuesta, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- La mayoría manifiesta que le ha resultado sencillo el acceso a la prueba de evaluación, no ha tenido dificultades y ha realizado la prueba de evaluación con facilidad y sin problemas técnicos, aunque una pequeña parte del alumnado sí encontró cierta dificultad en estos aspectos.
- Respecto a la interfaz de la plataforma, la mayor parte del alumnado opina que el tamaño de la letra es adecuado, el tipo de letra utilizado es claro y legible, y la organización de la información en pantalla es bastante adecuada. Todos los alumnos consideran que la combinación de colores en pantalla es agradable.
- En cuanto a la opción de ayuda, los alumnos manifiestan que no dispone de esta opción. A la mayoría de los alumnos le ha gustado realizar un examen de desarrollo en red, al tiempo que les impone respeto este modo de evaluación y casi todos prefieren realizar una prueba objetiva antes que de desarrollo si es utilizando el ordenador. La mayor parte del alumnado manifiesta que esta forma de evaluación en red condiciona en gran medida una metodología de estudio diferente a la de un examen de desarrollo tradicional, con lápiz y papel.
- En cuanto a la herramienta de evaluación, los alumnos encontraron una serie de carencias o dificultades que atienden a: incluir información adicional y ayudas, en relación con lo cual es conveniente mejorar los aspectos de información referente a

confirmación de guardado de respuestas; así mismo, proponen poder procesar el texto de repuestas (darle formato, personalizarlo...). Entre los aspectos positivos de la herramienta apuntan la posibilidad de disponer de amplio rango de caracteres o espacio para las respuestas y la sencillez de la misma. Respecto a la opinión del alumnado sobre realizar exámenes de desarrollo en red, manifiestan que encuentran como problemática el hecho de que les resulta más complicado el examen de desarrollo en red que el tipo test en red. Como aspectos favorables, plantean que les es cómodo (debido a que la flexibilización de tiempos y espacios contribuye a reducir su ansiedad ante la prueba), al tiempo que les permite trabajar con el material y ampliarlo, con lo que adquieren mayor conocimiento de la materia. Perciben este modo de evaluación como una forma más de evaluar en enseñanza no presencial y una idea innovadora y práctica.

- Por su parte, los alumnos que han realizado la prueba de evaluación con dificultad opinan que, a pesar de todo, les ha gustado bastante realizar un examen de desarrollo en red. Las diferencias que se plantean entre los alumnos correspondientes a distinto curso académico atienden a que: la prueba de evaluación les ha parecido muy sencilla a más alumnos de 4º que de 5º son éstos también, quienes más manifiestan haber realizado la prueba de evaluación con mucha facilidad. Es a los alumnos de 5º, a quienes les ha gustado con más intensidad realizar un examen de desarrollo en red, al tiempo que son más los alumnos de este curso a quienes les impone respeto realizar un examen de desarrollo en red y prefieren realizar una prueba objetiva antes que de desarrollo, si utilizan el ordenador. A los alumnos de ambos cursos, la evaluación en red les condiciona

mucho una metodología de estudio diferente a la de un examen de desarrollo tradicional. El acceso a la prueba de evaluación ha resultado sencillo tanto para los chicos como para las chicas, aunque algunas chicas han realizado la prueba de evaluación con problemas técnicos. Es a los chicos a quienes les ha gustado con más intensidad realizar una prueba de desarrollo mediante la red, al tiempo que es a éstos a quienes les impone menos respeto la evaluación en red. Son más las chicas que los chicos, quienes opinan que la evaluación en red condiciona mucho una metodología de estudio diferente a la de un examen tradicional, así como que, si utilizan el ordenador, prefieren antes realizar una prueba objetiva que de desarrollo.

5.6 Conclusiones

En las dos asignaturas que se evaluó, tanto en la modalidad presencial en todas sus convocatorias, como en la modalidad no presencial, en el comportamiento de las metodologías de evaluación no hubo variaciones significativas en la media de las calificaciones, por lo que la metodología empleada en la plataforma de evaluación se puede considerar adecuada para la evaluación semiautomatizada de las preguntas abiertas en entornos educativos.

Conclusiones y Trabajo Futuro

Este trabajo investigativo, se inició con la intención de analizar las posibilidades de las Tecnologías de la Web Semántica, para dar soporte a los procesos de evaluación de exámenes en entornos e-learning. Lo que permitió diseñar una metodología, para la evaluación semiautomática de exámenes, basados en preguntas abiertas, que hiciera uso de dichas tecnologías. En esta sección se darán algunas conclusiones, se abordará el trabajo futuro, el cumplimiento de los objetivos marcados y los avances logrados.

6.1 Aportaciones

En un nivel general, se ha desarrollado una plataforma software, que asiste al profesor en la evaluación de exámenes, que pueden contener tanto preguntas cerradas, como preguntas abiertas o de desarrollo. Se investigó, haciendo énfasis en el soporte a las preguntas abiertas, si bien, se consideró de interés incluir preguntas cerradas, para disponer de una plataforma integral.

La plataforma OeLE proporciona entornos diferentes para profesores, administradores y alumnos. Esta plataforma ha sido empleada en contextos formativos diferentes. Se cubrieron casos de estudio de diferentes ámbitos, educativos y tecnológicos. Se escogieron, un curso impartido en la Facultad de Educación y otro impartido en la Facultad de Informática, ambos en la Universidad de Murcia. Además, se decidió que ambos casos de estudio

tuvieran un perfil diferente. De esta forma, la experiencia en la Facultad de Educación se articuló mediante una única edición de un curso no presencial, mientras que la experiencia en la Facultad de Informática se realizó empleando tres ediciones de una asignatura reglada. De esta forma, se consiguió emplear la metodología con cursos y grupos de alumnos de perfiles diferenciados, y con profesores con una formación diferente, para que los resultados no estuvieran ligados a una determinada área de conocimiento.

Se pone a disposición de los investigadores de una metodología y herramienta informática, basadas en tecnologías estándares de la Web Semántica y del E-learning, para intentar convertir la fase de evaluación en una nueva oportunidad de aprendizaje, sin incrementar el coste en el profesorado. Para conseguirlo, se parte un marco basado en tecnologías de la Web Semántica, para la corrección semiautomática de exámenes, que incluyen preguntas abiertas. Los resultados, permiten el uso del conocimiento explícito de un curso, representado mediante ontologías, para guiar el proceso de diseño y corrección de exámenes. La creación de ontologías, reporta de inmediato la ventaja de obtener explícitamente la categorización de los elementos y relaciones, que intervienen en el modelo de conocimiento, de forma que éste puede ser editado, gestionado y reutilizado. Las intervenciones de los estudiantes, así como sus respuestas en lenguaje natural, se procesan para obtener las conceptualizaciones parciales, que serán objeto de evaluación. Se evalúan los conceptos adquiridos, con respecto a los conocimientos, que el estudiante debería haber adquirido durante el curso. Esta labor se realiza de forma semiautomatizada, al ser dirigida por el profesor del curso, suministrando conocimiento experto al sistema.

En la investigación, se ha trabajado en diferentes componentes del proceso de evaluación, al tiempo que se ha propuesto una metodología para la evaluación de cursos, utilizables tanto en contextos presenciales como no presenciales. En resumen, las principales aportaciones del trabajo han sido:

- **Una metodología para la impartición de cursos.** Esta metodología se basa en la construcción de una ontología del curso, de forma que todos los aspectos relevantes del mismo serán modelados en dicha ontología. Esta ontología se emplea como referencia a la hora de diseñar los exámenes y de evaluar el rendimiento de los alumnos.
- **Una metodología para el diseño de exámenes.** En la metodología, un examen se construye basado en preguntas, cuyo contenido y respuesta esperada se anota con respecto al conocimiento del curso, así como, se cuantifica la importancia de cada parte de la respuesta en el contexto de la pregunta y del examen. Por lo tanto, se está generando una base de recursos de preguntas y respuestas, anotadas con respecto al conocimiento del curso expresado en la ontología del mismo.
- **Una metodología basada en semántica para la evaluación de los exámenes.** Esta metodología, se basa en una API (del inglés **Application Programming Interface**) de cálculo de similitud semántica, entre elementos ontológicos desarrollada en el ámbito de la investigación. Las funciones de cálculo de similitud semántica y de evaluación de las respuestas del alumno han sido diseñadas en pos de conseguir una metodología flexible y fácilmente ampliable. La metodología de evaluación, es capaz de trabajar con preguntas cuya respuesta esperada es conocida, y por lo tanto, puede ser anotada semánticamente. También, permite trabajar con preguntas con más

de una posible respuesta válida anotable, puesto que, se podría evaluar la respuesta del alumno frente a cada respuesta válida y seleccionar la de mejor puntuación.

- **Una implementación software (la plataforma OeLE) de las metodologías anteriores.** Se construyó una plataforma, que permite realizar correctamente las pruebas con la metodología de evaluación de exámenes.
- **Experiencia práctica en cursos reales.** Se obtuvieron experiencias prácticas satisfactorias, puesto validan la hipótesis inicial de la utilidad de las tecnologías de la Web Semántica, para facilitar la labor del profesor, en la calificación de exámenes basados en preguntas de desarrollo.

6.2 Trabajo futuro

Aún quedan muchas pautas por investigar, experimentar y que constituyen pautas del trabajo a seguir, tales como:

- **Desarrollar una base de recursos de evaluación,** que puede ser compartida eficientemente con comunidades de profesores de la misma materia, de forma que les suponga menos esfuerzo el diseño de nuevas pruebas de evaluación y se pueda conseguir uniformidad o armonizar los niveles de exigencia requeridos a los alumnos por parte de diferentes profesores de una misma asignatura en el mismo centro o bien en centros diferentes.
- **Desarrollar una metodología para la extracción del conocimiento de las respuestas de los estudiantes.** Esta metodología, se basaría en el uso de técnicas de procesamiento de lenguaje natural guiado por la ontología del curso, de manera que busca los elementos de conocimiento relevantes para el curso. Estas

técnicas hacen uso, entre otros elementos, de diccionarios de sinónimos para procesar la información.

- **El empleo de técnicas de aprendizaje, para obtener el conjunto óptimo de parámetros dados unos criterios de evaluación especificados por el profesor.** La metodología de evaluación trabaja a partir de una configuración dada por el conjunto de parámetros de las funciones de evaluación, el umbral de similitud, y el método de puntuación. Esta configuración determina el modelo de calificación a seguir, por lo que se podría estudiar ajustar esta configuración a la forma de calificar que tiene cada profesor.
- Actualmente se puede optar por conceder todos los puntos asignados a esa respuesta correcta, o bien dar una puntuación proporcional a la similitud entre la respuesta del alumno y la respuesta esperada a la pregunta. **Se podría valorar el uso de funciones no lineales para asignar la puntuación.** Pudiendo homogeneizar los procesos de calificación en una materia impartida por varios profesores, puesto que podrían acordar los criterios de calificación y éstos serían aplicados automáticamente por la herramienta. Contribuyendo a eliminar los aspectos subjetivos, en la evaluación de un alumno particular, y las diferencias producidas por la evaluación de un mismo examen por parte de profesores diferentes.
- La detección de errores importantes por parte de los alumnos, esta parcialmente tratada en la actualidad por la metodología. Es posible, en casos de elementos que supondrían grandes errores conceptuales, es posible restar puntos por su mal empleo. Por otra parte, **actualmente no se está realizando razonamiento sobre las**

respuestas, por lo que no se detectan inconsistencias dentro de la respuesta. Esto es, si el estudiante dice “*A*” y “*no A*”, al haber detectado “*A*” que es la respuesta esperada, estaríamos dándole la respuesta por correcta, a no ser que aparezca penalización por detectar “*no A*”.

6.3 Difusión de la investigación

Las características descriptivas y funcionales de la plataforma desarrollada que implementa la metodología de evaluación de preguntas abiertas han sido publicadas en congresos de ámbito nacional e internacional organizados por la comunidad científica. Los resultados alcanzados tras la validación de aquella serán publicados en revistas científicas de alto índice de impacto. Además, el software desarrollado y la documentación serán distribuidos bajo licencia pública LGPL (GNU). El trabajo realizado en esta tesis doctoral ha sido realizado en el contexto de los proyectos de investigación “Evaluación en e-learning basada en tecnologías de la Web Semántica y el procesamiento del lenguaje natural” (00670/PI/04) y “Plataforma basada en estándares de la Web Semántica y del e-learning para la mejora de los procesos de autoevaluación y aprendizaje autónomo” (05738/PI/07) financiados por la Fundación Séneca, Agencia Regional de Ciencia y Tecnología.

6.4 Conclusiones

Este trabajo representa un intento de mejora en el proceso de evaluación en los entornos e-learning. Al concluirlo el trabajo, se desarrolló una metodología, que permiten con el empleo de tecnologías de la Inteligencia Artificial y concretamente con las tecnologías de la Web Semántica, construir sistemas que automaticen o semi-automaticen la evaluación de preguntas abiertas o de desarrollo en los entornos e-learning. Los resultados fueron validados en cursos reales desarrollados en la Universidad de Murcia, tanto en cursos presenciales como en los no presenciales. Las hipótesis de los estudios de análisis de varianza, permiten afirmar, que la metodología desarrollada, así como los parámetros que se eligieron en la calificación del curso fueron satisfactorios. Por lo que es posible desarrollar sistemas con el empleo de tecnología semántica, para optimizar el proceso evaluativo en el e-learning.

Bibliografía

- Akeroyd, J. (2005). *Information management and e-learning - Some perspectives. Aslib Proceedings*, 57(2), 157-167.
- Albertrazzi, L (1996). "Material and Formal Ontology", in R. Poli, P. Simons (eds.), *Formal Ontology*. Kluwer, Dordrecht, 199-232.
- Anderson, L.W., Krathwohl (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. New York: Longman.
- Anderson, T., Elloumi, F. (2004). *Theory and Practice of Online Learning*. Athabasca: Athabasca University.
- Anido, L., Llamas, M., Fernandez, M.J., Caerio, M., Santos, J., Rodríguez, J. (2001). "A component model standardized Web-based education", in: *Proceedings of The Tenth International World Wide Web Conference*, Hong Kong. <http://www10.org/cdrom/papers/106/>. Consultada 03/12/2006.
- Barrientos P., X., Villaseñor, S., G. (2006). "De la enseñanza a distancia al *e-learning*. Consonancias y disonancias". *Revista Telos: Cuadernos de comunicación, tecnología y sociedad*, N°. 67, 76-79.
- Baumgartner, P., H. Häfele, (2002). *e-learning Praxishandbuch: Auswahl von Lernplattformen*. Marktübersicht - Funktionen - Fachbegriffe. Innsbruck-Wien, StudienVerlag.
- Bermejo, S. (2005). "Cooperative electronic learning in virtual laboratories through forums". *IEEE Transactions on Education*, 48(1), 140-149.
- Berners-Lee, T. (2000). *Tejiendo la red. El inventor de la World Wide Web nos descubre su origen*. Madrid: Siglo XXI de España Editores.
- Berners-Lee, T., Hendler, J., Lassila, O. (2001). *The Semantic Web*. Scientific American.

- Bishr, Y. (1997). *Semantic Aspects of Interoperable GIS*. Ph.D. Thesis, Wageningen Agricultural University and ITC, The Netherlands.
- Bloehdorn, S., Petridis, K., Saathoff, C., Simou, N., Tzouvaras, V., Avrithis, Y., Handschuh, S., Kompatsiaris, Y., Staab, S., Strintzis, M.G. (2005). "Semantic Annotation of Images and Videos for Multimedia Analysis". In *Proceedings of the Second European Semantic Web Conference, ESWC 2005*, LNCS 3532, 592-607.
- Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals*; B. S. Bloom (Ed.) David McKay Company, Inc, 201-207.
- Bock, R. D. (1975). *Multivariate statistical methods in behavioral research*. New York, McGraw-Hill.
- Bonferroni, C. E. (1930). *Elementi di statistica generale*. Libreria Seber, Firenze.
- Bonk, C., and King, K. (1998). *Electronic Collaborators*. Lawrence Erlbaum, Mahwah, NJ.
- Bordas, I. Sepúlveda, F., Rajadell, N. (2001). *La evaluación educativa: Evaluar el proceso enseñanza aprendizaje. Didáctica General para psicopedagogos*. Madrid: UNED, 393-423.
- Borst, W.N (1997). *Construction of Engineering Ontologies for Knowledge Sharing and Reuse*. CTTT Ph.D-thesis series No.97-14. University of Twente. Enschede, The Netherlands.*
- Box, G. (1954). "Some theorems on quadratic forms applied in the study of analysis of variance problems: II effects of inequality of variance and of correlation of errors in two-way classification". *Annals of Mathematical Statistics*, 25, 484-498.
- Bright, M., Hurson, A., Pakzad, S. (1994). "Automated Resolution of Semantic Heterogeneity in Multidatabases". *ACM Transactions on Database Systems* 19(2), 212-253.
- Cano, P., Koppenberger, M.(2004). "Automatic sound annotation". *Machine Learning for Signal Processing*.

- Cardelli, L. (1984). "A Semantic of Multiple Inheritance." in: G. Kahn, D. McQueen, and G. Plotkin (eds.), *Semantics of Data Type. Lecture Notes in Computer Science* 173, Springer-Verlag, New York, 51-67.
- Cimiano, P., Handschuh, S., Staab, S. (2004). "Towards the Self-annotating Web". *13th International World Wide Web Conference, WWW*, New York, USA, Mayo 17-22, 462-471.
- Cimiano, P., Ladwig, G., Staab, S. Gimme. (2005). "The Context: Context-driven Automatic Semantic Annotation with C- PANKOW". *14th International World Wide Web Conference, WWW* Chiba, Japan, Mayo, 10-14.
- Coll, C. i altres (1997). *Psicologia de la instrucció*. EDIUOC. Universitat Oberta de Catalunya. Barcelona.
- Collet, C., Huhns, M., Shen, W.(1991). "Resource Integration Using a Large Knowledge Base" in *Carnot. Computer* 24(12), 55-62.
- Collins, A., Quillian, M. (1969). "Retrieval Time From Semantic Memory". *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 8, 240-247.
- Corcho, O., Fernández -López, M., and Gómez-Pérez, A. (2003). Methodologies, tool and languages, for buildings ontologies. Where is their meeting point?, *Data and Knowledge Engineering* 46(1), 41-64.
- Couturat, L. (1903). *Opuscles et fragments inédits de Leibniz*, Paris, France.
- Davis, R., Sorbe, H., Szolovits, P. (1993). "What is a Knowledge Representation?" *AI Magazine. Spring*, 17-33.
- Devedzic, V. (2006). *Semantic Web an Education*. Springer, 1 edition.
- Dill, S., Eiron, N., Gibson, D., Gruhl, D., Guha, R., hingran, A., Kanungo, JT., Rajagopalan, S. A., Tomkins, Tomlin, J.A., Zien, J.Y. (2003). "SemTag and Seeker: Bootstrapping the semantic web via automated semantic annotation". *WWW Conference*, Budapest, Hungary, Mayo.

- Duarte, A. (1996). "Los Desafíos de las Nuevas Tecnologías y las Tecnologías Avanzadas para la Educación y la Enseñanza: Los Entornos Hipertexto", en Cabero, J.; Cerdeira, M., Gómez, G.: *Medios de Comunicación, Recursos y Materiales para la Mejora Educativa II*. Kronos. Sevilla, 243-257.
- Euzenat. J., Valtchev, P. (2004). "An integrative proximity measure for ontology alignment". In *Proceedings of European Conference on Artificial Intelligence*, Valencia, Spain.
- Fellbaum, C. (1998). *WordNet: An Electronic Lexical Database*. The MIT Press.
- Fernández-Breis, T. J. (2003). Un entorno de integración de ontologías para el desarrollo de sistemas de gestión del conocimiento. Universidad de Murcia, Facultad de Informática.
- Fernández-López, M., Gómez Pérez, A., Rojas Amaya, M. D. (2000). "Ontologies crossed life cycles". *Workshop on Knowledge Acquisition, Modelling and Management (EKAW)*. Editor Springer Verlag, Jean Les Pins Francia, 65-79.
- Fernández-López, M., Gómez-Pérez, A., Pazos-Sierra, A., Pazos-Sierra, J. (1999). "Building a Chemical Ontology Using METHONTOLOGY and the Ontology Design Environment". *IEEE Intelligent Systems & their applications*. January/February, 37-46.
- Fridman-Noy, N., Musen, M.A. (1999). "An Algorithm for Merging and Aligning Ontologies: Automation and Tool Support". *16th National Conference on Artificial Intelligence, Workshop on Ontology Management*, Orlando, FL.
- Fridman-Noy, N., Musen, M.A. (2000). "PROMPT: Algorithm and Tool for Automated Ontology Merging and Alignment". *17th National Conference on Artificial Intelligence*, Austin, Texas.
- Friedman, M. (1937). "The use of ranks to avoid the assumption of normality implicit in the analysis of variance". *Journal of the American Statistical Association*, 32, 675-701.
- Friesen, N., and McGral, R., (2002). "International e-Learning specifications". *International Review of Research in Open and Distance Learning* 3(2). <http://www.irrodl.org/content/v3.2/tech11.html>. Consultado el 27/11/2006.
- García, A., L. (2002). *La educación a distancia. De la teoría a la práctica*, Madrid.

- Geisser, S. y Greenhouse, S.W. (1958). "An extension of Box's results on the use of the F distribution in multivariate analysis". *The Annals of Mathematical Statistics*, 29, 885-891.
- Girden, E. R. (1992). *ANOVA: Repeated Measures*. Sage Publications, Newbury Park, CA.
- GNU. Gnu lesser general public license. <http://www.gnu.org/copyleft/lesser.html>.
- Goldstone, R. (1994). "Similarity, Interactive Activation, and Mapping". *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition* 20(1), 3-28.
- González-Videgaray, M. (2007). "Evaluación de la reacción de alumnos y docentes en un modelo mixto de aprendizaje para Educación Superior". *RELIEVE*, v. 13, n. 1. http://www.uv.es/RELIEVE/v13n1/RELIEVEv13n1_4.htm. Consultado el 27/05/2007.
- Gruber, T. R. (1993). "A translation approach to portable ontology specifications". *Knowledge Acquisition* Vol. 5, 199-220.
- Gruber, T. R. (2004). "Interview to Tom Gruber". *AIS SIGSEMIS Bulletin* 1(3), October 2, 4.
- Guarino, N. (1995). "Formal Ontology, Conceptual Analysis and Knowledge Representation". *International Journal of Human and Computer Studies*, 43(5/6), 625-640.
- Guarino, N. (1998). "Formal Ontology and Information Systems". *Proceedings of FOIS'98*, 3-15.
- Guarino, N., Masolo, C., Verete, G. (1999). "OntoSeek: Content-Based Access to the Web". *IEEE Intelligent Systems* 14(3), 70-80.
- Hameed, A., Sleeman, D., Preece, A. (2001). "Detecting Mismatches Among Experts' Ontologies Acquired through Knowledge Elicitation". In *Proceedings of 21st SGES International Conference on Knowledge Based Systems and Applied Artificial Intelligence*, Cambridge, U.K.

- Handschuh, S., Staab, S. (2002). "Authoring and Annotation of Web Pages in CREAM". *Proceedings of the 11th International World Wide Web Conference, WWW 2002*, Honolulu, Hawaii, Mayo 7-11. ACM Press.
- Handschuh, S., Staab, S., Ciravegna, F. (2002). "SCREAM: Semi-automatic CREation of Metadata". *Proceedings of the European Conference on Knowledge Acquisition and Management - EKAW- 2002*. Madrid, Octubre, 1-4.
- Heijst, V., Schreiber, G., A.T., Wielinga, B. J. (1997). "Using explicit ontologies in KBS development". *International Journal of Human Computer Studies*, 45, 183-292.
- Henry. (2001). *E-learning technology, content and services*. Education + Training, 3(4), 249-255.
- Hosie, P., & Schibeci, R. (2005). "Checklist and context-bound evaluations of online learning in higher education". *British Journal of Educational Technology*, 36(5), 881-895.
- Huynh, H. y Feldt, L.S. (1976). "Estimation of the Box correction for degrees of freedom from sample data randomized block and split-plot designs". *Journal of Educational Statistics*, 1, 69-82.
- ITC. (1998). *ITC's Definition of Distance Education*. en <http://www.itcnetwork.org/definition.htm>. Consultado el 01/04/06.
- Jiang, Conrath, D. (1997). "Semantic Similarity Based on Corpus Statistics and Lexical Taxonomy". *International Conference on Computational Linguistics (ROCLING X)*, Taiwan, pp. 19-35.
- Jonassen, D., Rorher-Murphy, L. (1999). "Activity Theory as a framework for designing constructivist learning environments". *Educational Technology: Research and Development*, 46 (1)
- Kahan, J., Koivunen, M-R., Prud'Hommeaux, E., Swick, R.R. (2001). "Annotea: An Open RDF Infraestructure for Shared Web Annotations". In *WWW10 Conference*, Hong Kong, Mayo 1-5.

- Kalyanpur, A., Hendler, J., Parsia, B., Golbeck, J. (2002). SMORE - Semantic Markup, Ontology, and RDF Editor. <http://www.mindswap.org/papers/SMORE.pdf>. Consultado 6/7/2006.
- Kant, I. (2001). *Lectures on metaphysics - Part III Metaphysik L2*. Cambridge University Press.
- Kirkpatrick, Donald, (1994). *Evaluating Training Programs*. Berrett-Koehler Publishers, Inc. San Francisco, CA.
- Kogut, P., Holmes, W. (2001). "AeroDAML: Applying Information Extraction to Generate DAML Annotations from Web Pages". *First International Conference on Knowledge Capture (K-CAP 2001). Workshops on Knowledge Markup and Semantic Annotation*, Victoria, B.C.
- Koper, R. (2004). "Use of the Semantic Web to Solve Some Basic Problems in Education". *Journal of Interactive Media in Education*, (6).
- Krumhansl, C., (1978). "Concerning the Applicability of Geometric Models to Similarity Data: The Interrelationship Between Similarity and Spatial Density". *Psychological Review* 85(5), 445-463.
- Lassila, O., Webick, R. (1999). Resource Description Framework (RDF) Model and Syntax.
- Lee, J., Kim, M., Lee, Y. (1993). "Information Retrieval Based on Conceptual Distance in IS-A Hierarchies". *Journal of Documentation* 49(2), 188-207.
- Lenat, D.B. and Guha, R.V. (1990). *Building Large Knowledge Based Systems. Representation and Inference in the CYC Project*. Addison-Wesley, Reading, MA.
- Levenshtein, V. (1966). "Binary Codes capable of correcting deletions, insertions, and reversals". *Cybernetics and Control Theory*, 10(8), 707-710.
- Lindberg, D.A.B., Humphrey, B.L., McCray, A.T. (1993). "The Unified Medical Language System". *Methods of Information in Medicine*. 32, 281-291.
- Maedche, A., Staab, S. (2002). "Measuring Similarity between Ontologies". *Proceedings of European Conference in Artificial Intelligence*, Lyon, France.

- Mauchly, J. W. (1940). "Significance test for sphericity of a normal-n-variate distribution". *Annals of Mathematical Statistics*, 11, 204-209.
- Meinong, A (1921). *Self-presentation*. Raymond Schmidt (ed.) Die Deutsch.
- Miller, G., Charles, W. (1991). "Contextual Correlates of Semantic Similarity". *Language and Cognitive Processes* 6(1), 1-28.
- Mindswap, (2003). Pellet OWL reasoner. <http://www.mindswap.org/2003/pellet/>. Consultado 2/04/2006.
- Mizoguchi, R., Vanwelkenhuysen, J., Ikeda, M. (1995). "Task Ontology for Reuse of Problem Solving Knowledge. Towards Very Large Knowledge Bases". *KnowledgeBuilding and Knowledge Sharing*, 46-59.
- Nipper, S. (1989). *Third Generation Distance Learning and Computer Conferencing*. En: Mason, R.D.; Kaye, A.R. (ed.) *Mindweave: communication, computers, and distance education*. Oxford: Pergamon Press.
- Obringer, L.A. (2005). How E-Learning Works. <http://computer.howstuffworks.com/elearning4.html>. Consultado el 28/10/2006.
- Padua, J. E. (2003). *Una introducción a la educación a distancia*. Buenos Aires, FCE.
- Patil, S. A., Oundhakar, Sheth, A., Verma, K. (2004). "METEOR-S Web service Annotation Framework". In *Proceedings of the 13th International World Wide Web Conference, WWW*, New York, USA, 553-562.
- Paulse, M.F., (2003). *Online Education al Learning Management Systems*. Global Elearning in a Scandinavian Perpestive, NKI Forlaget, Oslo.
- Poli, R. (2000). "Levels of Reality. BISCA 2000: Bolzano International Schools". In *Cognitive Analysis Dependence and Dynamic Categories*.
- Poli, R. (2001). *Alwis: Ontology for Knowledge Engineers*, PhD thesis, Utrecht.

- Poli, R. (2002). *Descriptive, Formal, and Formalized Ontologies*. In D. Fiset (ed.), Edmund Husserl's Logical Investigations 1901–2001: Origins and Posterity of Phenomenology (forthcoming).
- Popov, B., Kiryakov, A., Kirilov, A., Manov, D., Ognyanoff, D., Goranov, M. (2003). "Semantic Annotation Platform". *Proceedings of Second International Semantic Web Conference, ISWC*, LNCS 2870, 835-849.
- Quine, W.O. (1961). *From a Logical Point of View, Nine Logico-Philosophical Essays*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press e Philosophie der Gegenwart in Selbstdarstellung - vol. I
- Rada, R., Mili, H., Bicknell, E., Blettner, M. (1989). "Development and Application of a Metric on Semantic Nets". *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics* 19(1), 17-30.
- Resnik, O. (1999). "Semantic Similarity in a Taxonomy: An Information-Based Measure and its Application to Problems of Ambiguity and Natural Language". *Journal of Artificial Intelligence Research* 11, 95-130.
- Richard, I. A. (2004). *Learning to Teach*. McGraw-Hill Higher Education.
- Richardson, R., Smeaton, A. (1996). "An Information Retrieval Approach to Locating Information in Large Scale Federated Database Systems". *Dublin City University, School of Computer Applications, Dublin, Ireland, Technical Report CA-0296*.
- Rips, L., Shoben, J., Smith, E. (1973). "Semantic Distance and the Verification of Semantic Relations". *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior* 12, 1-20.
- Rodríguez, A. (2000). *Assessing Semantic Similarity Among Spatial Entity Classes*, in Spatial Information Science and Engineering. PhD Thesis. University of Maine: Maine.
- Rodríguez, M.A., Egenhofer, M.J. (2003). "Determining Semantic Similarity Among Entity Classes From Different Ontologies". *IEEE Transactions on Data and Knowledge Engineering*.

- Romiszkowski, A. (2004). "How's the E-learning Baby? Factors Leading to Success or Failure of an Educational Technology Innovation". *Educational Technology*, Vol. 44, No. 1, January-February, 5-27.
- Rosenberg, M. (2001). *E-learning: estrategias para transmitir conocimiento en la era digital*, Bogotá, McGraw Hill.
- Sales, A. y Adell, J. (1999). Una experiencia de educación online: curso de formación de formadores virtuales. Comunicación presentada a EDUTECH'99, Sevilla.
- Santos, J., Llamas, M. (2005). "Design of a Semantic Web-based Brokerage Architecture for the E-learning Domain. A Proposal for a Suitable Ontology". *35th ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference IEEE*.
- Staab, S., and Studer, R. (2004). *Handbook on Ontologies*, Springer-Verlag, Berlin.
- Staab, S., Schnurr, H.P., Studer, R., Sure, Y. (2001). "Knowledge Processes and Ontologies". *IEEE Intelligent Systems*, 16(1).
- Stojanovic, Lj., Staab, S., and Studer, R., (2001). "eLearning based on the Semantic Web". *Proceedings of WebNet. World Conference on the WWW and the Internet*, Orlando, Florida, USA.
- Studer, R., Benjamins, R., Fensel, D. (1998). "Knowledge Engineering: Principles and Methods". *Data and Knowledge Engineering* 25(1-2), 161-197.
- Sussna, M. (1993). "Word Sense Disambiguation for Free-text Indexing Using a Massive Semantic Network". *Second International Conference on Information Knowledge Management, CIKM*, 67-74.
- Tabachnick, B. G., & Fidel, L. S. (1983). *Using multivariate statistics*. New York: Harper & Row.
- Tallis, M. (2003). "Semantic Word Processing for Content Authors". *Second International Conference on Knowledge Capture, K-CAP*, Sanibel, Florida, USA.

- Tuffield M., Harris S., Duplaw D., Chakravarthy A., Brewster C., Gibbins N., O'Hara K., Ciravegna F., Sleeman, D., Snadbolt N., Wilks Y. (2006). "Image Annotation with Photocopain". *Proceedings of the Fifteenth World Wide Web Conference*, Edinburgh.
- Tversky, A. (1977). "Features of Similarity". *Psychological Review*. 84(4), 327-352.
- Vargas-Vera, M., Motta, E., Domingue, J., Lanzoni, M., Stutt, F., Ciravegna, F. (2002). "MnM: Ontology Driven Semi-Automatic and Automatic Support for Semantic Markup". *13th International Conference on Knowledge Engineering and Management EKAW*, Springer Verlag.
- Visauta V., B. (2007). *Análisis Estadístico con SPSS 14*. 3ª ed. Madrid. McGraw-Hill.
- Vrandečić, D., Sofia, H., Sure, Y., Tempich, C. (2005). "The DILIGENT Knowledge Processes". *Journal of Knowledge Management* 9 (5), 85-96.
- Wang, M. Y., & Hwang, M. J. (2004). "The e-learning library: only a warehouse of learning resources?" *Electronic Library*, 22(5), 408-415.
- Wielemaker, J., Schreiber, A.Th., Wielinga, B.J. (2003). Supporting Semantic Image Annotation and Search. *Annotations for the Semantic Web. Handbuch, S.and Staab, S. (Eds.)*, IOS Press, 147-155.
- Wilcoxon, F. (1945). "Individual comparison by ranking methods". *Biometrics*, 1, 80-83.
- Williams, P., Nicholas, D., & Gunter, B. (2005). "E-learning: what the literature tells us about distance education - An overview". *Aslib Proceedings*, 57(2), 109-122.
- Wilson, B. (2002). "Trends and futures of education: Implications for distance education". *The Quarterly Review of Distance Education*, Vol. 3(1), 91-103.
- Zamora, H. G. (2002). "La evaluación, parte fundamental e integral del proceso de aprendizaje". *EduTEKA*, 6(18).
- Zenger, J. T., & Walker, T. J. (2000). Impact of the internet on entomology teaching and research. *Annual Review of Entomology* (45), 747-767.