

ACTA DE EVALUACIÓN DE LA TESIS DOCTORAL

Año académico 2018/19

DOCTORANDO: **YAGO CORRAL, HECTOR**
D.N.I./PASAPORTE: **03142217A**

PROGRAMA DE DOCTORADO: **D442-INGENIERÍA DE LA INFORMACIÓN Y DEL CONOCIMIENTO**
DPTO. COORDINADOR DEL PROGRAMA: **CIENCIAS DE LA COMPUTACION**
TITULACIÓN DE DOCTOR EN: **DOCTOR/A POR LA UNIVERSIDAD DE ALCALÁ**

En el día de hoy 08/05/19, reunido el tribunal de evaluación nombrado por la Comisión de Estudios Oficiales de Posgrado y Doctorado de la Universidad y constituido por los miembros que suscriben la presente Acta, el aspirante defendió su Tesis Doctoral, elaborada bajo la dirección de **JULIA MARIA CLEMENTE PARRAGA // DANIEL RODRIGUEZ GARCIA**.

Sobre el siguiente tema: *UNA PROPUESTA DE SISTEMA DE RECOMENDACIÓN BASADO EN COMPETENCIAS Y MODELADO DEL ESTUDIANTE ONTOLÓGICO*

Finalizada la defensa y discusión de la tesis, el tribunal acordó otorgar la CALIFICACIÓN GLOBAL¹ de (**no apto, aprobado, notable y sobresaliente**): SOBRESALIENTE

Alcalá de Henares, 8 de MAYO de 2019

EL PRESIDENTE




Fdo.: ARANTZA CASILLAS RUBIO
FIGUEROA BAONZA

EL SECRETARIO



Fdo.: ANTONIO GARCIA CABOT

EL VOCAL



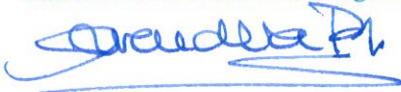
Fdo.: MARIA EL CARMEN SUAREZ DE

Con fecha 27 de mayo de 2019 la Comisión Delegada de la Comisión de Estudios Oficiales de Posgrado, a la vista de los votos emitidos de manera anónima por el tribunal que ha juzgado la tesis, resuelve:

- Conceder la Mención de "Cum Laude"
 No conceder la Mención de "Cum Laude"

FIRMA DEL ALUMNO,

La Secretaria de la Comisión Delegada



Fdo.: YAGO CORRAL, HECTOR

¹ La calificación podrá ser "no apto" "aprobado" "notable" y "sobresaliente". El tribunal podrá otorgar la mención de "cum laude" si la calificación global es de sobresaliente y se emite en tal sentido el voto secreto positivo por unanimidad.

INCIDENCIAS / OBSERVACIONES:

En aplicación del art. 14.7 del RD. 99/2011 y el art. 14 del Reglamento de Elaboración, Autorización y Defensa de la Tesis Doctoral, la Comisión Delegada de la Comisión de Estudios Oficiales de Posgrado y Doctorado, en sesión pública de fecha 27 de mayo, procedió al escrutinio de los votos emitidos por los miembros del tribunal de la tesis defendida por **YAGO CORRAL, HECTOR**, el día 08 de mayo de 2019, titulada, *UNA PROPUESTA DE SISTEMA DE RECOMENDACIÓN BASADO EN COMPETENCIAS Y MODELADO DEL ESTUDIANTE ONTOLÓGICO* para determinar, si a la misma, se le concede la mención "cum laude", arrojando como resultado el voto favorable de todos los miembros del tribunal.

Por lo tanto, la Comisión de Estudios Oficiales de Posgrado **resuelve otorgar** a dicha tesis la

MENCIÓN "CUM LAUDE"


Alcalá de Henares, 31 de mayo de 2019
EL VICERRECTOR DE INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA
F. Javier de la Mata de la Mata

Copia por e-mail a:

Doctorando: YAGO CORRAL, HECTOR

Secretario del Tribunal: ANTONIO GARCIA CABOT

Directores de Tesis: JULIA MARIA CLEMENTE PARRAGA // DANIEL RODRIGUEZ GARCIA

Código Seguro De Verificación:	81aT+JjIyGoTpNxFS1bHnw==	Estado	Fecha y hora	
Firmado Por	Francisco Javier De La Mata De La Mata - Vicerrector de Investigación Y Transferencia	Firmado	03/06/2019 13:17:02	
Observaciones		Página	27/27	
Url De Verificación	https://vfirma.uah.es/vfirma/code/81aT+JjIyGoTpNxFS1bHnw==			



Universidad
de Alcalá

ESCUELA DE DOCTORADO
Servicio de Estudios Oficiales de
Posgrado

DILIGENCIA DE DEPÓSITO DE TESIS.

Comprobado que el expediente académico de D./D^a _____
reúne los requisitos exigidos para la presentación de la Tesis, de acuerdo a la normativa vigente, y habiendo
presentado la misma en formato: soporte electrónico impreso en papel, para el depósito de la
misma, en el Servicio de Estudios Oficiales de Posgrado, con el nº de páginas: _____ se procede, con
fecha de hoy a registrar el depósito de la tesis.

Alcalá de Henares a _____ de _____ de 20 _____



Fdo. El Funcionario



Universidad
de Alcalá

DPTO. DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN
Escuela Politécnica Superior
Campus Universitario. Edificio Politécnico
28871 Alcalá de Henares (Madrid) España
Teléfonos: +34 91 885 6645
Fax: +34 91 885 6646
e-mail: dpto.ccomputacion@uah.es

Dra. D^a. Julia Clemente Párraga, Profesora Titular de Escuela del Área de Arquitectura y Tecnología de Computadores del Departamento de Automática de la Universidad de Alcalá.

Dr. D. Daniel Rodríguez García, Profesor Titular de Universidad del Área de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial del Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Alcalá.

HACEN CONSTAR:

Que, una vez concluido el trabajo de tesis doctoral titulado: **“UNA PROPUESTA DE SISTEMA DE RECOMENDACIÓN BASADO EN COMPETENCIAS Y MODELADO DEL ESTUDIANTE ONTOLÓGICO”** realizado por D. Héctor Yago Corral, dicho trabajo tiene suficientes méritos teóricos, que se han contrastado adecuadamente mediante validaciones experimentales y que son altamente novedosos. Por todo ello consideran que procede su defensa pública.

Y para que así conste, firman la presente en Alcalá de Henares, a 14 de febrero de 2019.

La Directora de la Tesis

Dra. D^a. *Julia Clemente Párraga*

El Codirector de la Tesis

Dr. D. *Daniel Rodríguez*



Universidad
de Alcalá

DPTO. DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

Escuela Politécnica Superior

Campus Universitario. Edificio Politécnico

28871 Alcalá de Henares (Madrid) España

Teléfonos: +34 91 885 6645

Fax: +34 91 885 6646

e-mail: dpto.ccomputacion@uah.es

Dr. D. José Javier Martínez Herraiz, Profesor Titular de Universidad del Área de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial, en calidad de Coordinador del Programa de Doctorado en Ingeniería de la Información y del Conocimiento de la Universidad de Alcalá.

CERTIFICO: Que la Comisión Académica del Programa ha aprobado la presentación de la Tesis Doctoral titulada “UNA PROPUESTA DE SISTEMA DE RECOMENDACIÓN BASADO EN COMPETENCIAS Y MODELADO DEL ESTUDIANTE ONTOLÓGICO” realizada por D. HECTOR YAGO CORRAL, dirigida por la Dra. D^a. Julia María Clemente Párraga y co-dirigida por el Dr. D. Daniel Rodríguez García.

La Tesis Doctoral reúne los requisitos científicos de originalidad y rigor metodológicos para ser defendida ante un tribunal. Esta Comisión ha tenido también en cuenta la evaluación positiva anual del doctorando, habiendo obtenido las correspondientes competencias establecidas en el Programa.

Y para que así conste, firmo la presente en Alcalá de Henares, a 21 de febrero de 2019.

Dr. José Javier Martínez Herraiz



Programa de Doctorado en
INGENIERÍA DE LA INFORMACIÓN Y DEL
CONOCIMIENTO

Tesis Doctoral:
UNA PROPUESTA DE SISTEMA DE RECOMENDACIÓN
BASADO EN COMPETENCIAS Y MODELADO DEL
ESTUDIANTE ONTOLÓGICO

Autor:
D. Héctor Yago Corral

Directores:

DRA. Julia María Clemente Párraga

DR. Daniel Rodríguez García

Alcalá de Henares, 2019

A Luis Miguel, Angelines y Óscar que con su ejemplo y dedicación me han guiado para llegar al final del camino.

Homines, dum docent discunt
Lucius Annaeus S eneeca

Agradecimientos

Son las 8:00 de la mañana de un lunes, te sientas en tu silla, enciendes el ordenador y te decides a escribir la última sección de la tesis. “Hoy la acabo” te prometes, “ es la sección más corta y ni siquiera es obligatoria, seguro que la acabo enseguida” tratas de convencerte, pero sabes que no es verdad. Ha pasado casi un lustro desde que comenzaste esta aventura, probablemente la más dura de tu vida y te pones a pensar. ¿Cómo resumo todo el cariño que he recibido durante todos estos años en un par de párrafos? ¿Cuántas veces estuve a punto de abandonar el doctorado porque parecía que todo el esfuerzo estaba siendo en vano? ¿A cuántas cosas he tenido que renunciar por estar con la tesis? ¿Ha merecido la pena? Dejas de pensar y haces lo que sabes que funciona, respiras hondo, te armas de paciencia y comienzas a escribir los últimos párrafos para agradecer de la manera que mejor sabes a todos aquellos que te han apoyado durante este largo camino.

En primer lugar te acuerdas de tu familia más cercana, de tu padre Luis Miguel quien tantas veces te ha dicho que todo lleva su tiempo y que al final obtendrás tu recompensa, de tu madre Angelines que te ha escuchado hasta la saciedad y que ha sufrido con tu tesis el triple que tu y de tu hermano Óscar que te ha servido de inspiración y del que has aprendido más de lo que cualquier libro pueda enseñarte. Para ellos tienen que ser las primeras líneas piensas. A continuación te vienen a la mente tus abuelos. Te entristeces al pensar que Luis y Lucia te vieron comenzar la tesis pero no te han visto acabarla. Afortunadamente sabes que siguen contigo, que están desde el primer día y que seguirán después del último. Por supuesto, también piensas en Evaristo que se fue antes pero que su fuerza te sigue acompañando. Evidentemente piensas en Polo, ella te ha dicho un millón de veces que busques un equilibrio, que en la vida no todo es trabajar y sabes que cuando acabes estas líneas y hables con ella para decirle que por fin has terminado, se alegrará como nadie. En siguiente instancia, cuando miras un poquito más allá te acuerdas del resto de miembros de la familia que han seguido con interés tus avances estos años y también se merecen unas líneas.

En segundo lugar piensas en, quienes durante todos los años de duro esfuerzo han estado luchando codo con codo en el trabajo. Te acuerdas de Julia y agradeces al destino el haber solicitado aquella beca de colaboración cuando todavía no tenías ni la carrera. Desde el primer momento te demostró que para ella los alumnos eran una prioridad. Hoy, una carrera, un máster y una tesis más tarde te sigue demostrando día a día esos valores. También te acuerdas de Dani, quien no dudó ni un segundo en ser la solución de tus problemas, en ser la voz desenfadada que te decía que todo iba a salir bien. Evidentemente te acuerdas de tus amigos de la universidad, ya se encuentren en tu salita, en otro departamento o en otra universidad.

En último lugar te acuerdas de todos esos amigos que han estado aguantándote las pocas veces que has podido quedar con ellos, que han comprendido a la perfección que no podías estar con ellos tanto como te gustaría y que a pesar de eso, han seguido luchando para verte aunque sea 5 minutos. Sabes que gracias a esas personas no te has vuelto loco, que esos ratos te han permitido coger el oxígeno que te faltaba y continuar el camino hasta la meta. En este momento, a las 22:00 del mismo lunes, comprendes que “esa familia que has elegido” también es partícipe de tu tesis y que todos se merecen un huequecito en este largo, pero por fin acabado, trabajo.

Los grandes avances en el campo de la Informática e Internet han permitido su aplicación a prácticamente cualquier disciplina. Una de las áreas más beneficiadas es la Educación que ha visto cómo, gracias a los avances tecnológicos, surgían nuevos paradigmas, estrategias, plataformas, métodos de comunicación, etc. En consecuencia, el aprendizaje ha evolucionado desde un punto de vista en el que el profesor era la figura principal hasta otra perspectiva en la que los estudiantes se convierten en los protagonistas del aprendizaje. En este nuevo enfoque constructivista, el modelo basado en competencias es cada vez más utilizado ya que proporciona flexibilidad, facilita el autoaprendizaje y acerca los mundos académico y laboral. Las competencias, junto con los instrumentos de evaluación correspondientes, como por ejemplo rúbricas, facilitan una evaluación más objetiva de los conocimientos y habilidades demostrados por el estudiante en su desempeño.

Los estudios recientes incluyen competencias en meta-dominios no abordados en los modelos más utilizados en el siglo XX, tales como la taxonomía de Bloom. Las competencias, junto con propiedades de los estudiantes (estado de conocimiento, preferencias, perfil, etc.) y su progresión, se han convertido en soporte fundamental para la aplicación de múltiples procesos en entornos educativos tales como la monitorización, el diagnóstico, la recomendación, o la supervisión. A través de estos procesos, que pueden ser aplicados al inicio, durante o al finalizar una determinada actividad, es posible inferir información acerca del progreso del estudiante, predecir con anterioridad una situación anómala, ayudar al profesor en la toma de decisiones de tutoría a realizar con cada estudiante, etc. Para llevar a cabo cualquiera de estas tareas de manera adecuada, es fundamental disponer de un modelado del estudiante apropiado que permita registrar toda la información necesaria sobre el estudiante; su perfil, su estado de conocimientos, su progreso durante el aprendizaje, etc. Sería muy beneficioso que este modelado, además de almacenar dicha información, incorporase mecanismos a partir de los cuales sea posible inferir información adicional sobre el estado de conocimiento del alumno.

En el marco de esta tesis doctoral, se propone la creación de un prototipo de sistema de recomendación basado en competencias. Para ello, se ha decidido utilizar una extensa red de ontologías que almacena un amplio rango de información referente a su aprendizaje. Esta red ha sido elaborada a partir de una versión previa, siguiendo una guía metodológica para el desarrollo de ontologías así como un conjunto de recursos ontológicos y no ontológicos analizados en el estado del arte. El prototipo de sistema de recomendación implementado ha sido evaluado mediante tres casos prácticos en los que los estudiantes llevan a cabo una experiencia de aprendizaje procedimental en tres entornos diferentes.

Como conclusiones de la línea de investigación llevada a cabo, se pueden extraer las siguientes: (1) en el modelado del aprendizaje, la flexibilidad tiene un papel crucial para lograr un equilibrio entre disponer de la mayor información posible acerca del estudiante para ofrecer funcionalidades personalizadas y registrar la menor información personal por motivos de privacidad, seguridad, etc., (2) los modelos de competencias deben poder ser aplicados al mayor número de meta-dominios posible en el campo educativo con el fin de representar más fielmente la realidad de los mundos académico y laboral, (3) la aplicación de instrumentos de evaluación como rúbricas, apropiadamente diseñadas, puede ayudar a una evaluación más objetiva de los conocimientos y habilidades del estudiante, (4) problemas como el arranque en frío o la sobreexplotación deben ser tenidos en cuenta en la especificación de requisitos de un sistema de recomendación y, en concreto, aplicado en el campo

educativo, (5) es aconsejable seguir una metodología para el desarrollo de una red de ontologías que haga especial hincapié en la reutilización de recursos, la evaluación y el mantenimiento de la red modular. Adicionalmente, se ha contribuido al estado del arte en el campo de sistemas de recomendación basados en competencias mediante la reingeniería de una red modular de ontologías denominada Ontología del Estudiante, la descripción de una metodología para la adaptación del sistemas de recomendación basado en competencias, el diseño de un conjunto de patrones de reglas de diagnóstico y recomendación y la creación de una aplicación Web para monitorizar información registrada en la ontología tales como acciones, estados de objetivos, actividades o recomendaciones.

A partir de este trabajo surgen nuevas líneas de actuación relacionadas con la red de ontologías y el sistema de recomendación basado en competencias. La red de ontologías puede ser extendida reutilizando otras propuestas de ontologías, modelos o taxonomías vinculados con el aprendizaje. Otras líneas futuras posibles se basan en mejoras del sistema de recomendación como la extensión de los patrones de reglas diseñados para incrementar el tipo y/o número de recomendaciones, o la ampliación de la taxonomía de criterios de recomendación establecida. Asimismo, el análisis de nuevos desafíos en este ámbito ayudaría a crear un sistema cada vez más completo y flexible. En este sentido, la aplicación también podría ser mejorada con el fin de proporcionar mayor funcionalidad y aumentar sus características como las de accesibilidad.

the proposed competence-based recommender system, the design of a taxonomy of recommendation criteria and rule patterns, as well as the development of a web application to monitor information about student's learning process registered in the ontology such as actions, objective states, activities and recommendations.

New lines of work related to the ontology network and competence-based recommender system arise. The ontology network can be extended reusing other models, taxonomies or ontologies linked to the learning area. Other possible future lines are based on recommendations system improvements such as the extension of designed rule patterns in order to increase the type and number of recommendations, or the extension of the recommendation criteria taxonomy established here. Likewise, the application can be improved to allow more functionalities and characteristics such as good accessibility features.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	XVIII
ÍNDICE DE FIGURAS	XXII
ÍNDICE DE TABLAS	XXVIII
1 Introducción	1
1.1 Aprendizaje basado en competencias	1
1.2 Objetivos del trabajo	2
1.3 Estructura del trabajo	3
2 Fundamentos teóricos	5
2.1 Diseño instruccional	5
2.1.1 Especificaciones de diseño instruccional	5
2.1.2 Competencias	10
2.1.2.1 Diferencias entre competencia, objetivo y resultado de aprendizaje	12
2.1.2.2 Clasificación de las competencias	13
2.1.2.3 Modelado de las competencias	16
2.1.2.4 Evaluación de las competencias	17
2.1.3 Instrumentos de evaluación	19
2.1.3.1 Rúbricas	22
2.2 Ingeniería ontológica	25
2.2.1 Componentes	25
2.2.2 Lenguajes ontológicos	26
2.2.2.1 Lenguajes de representación de conocimiento tradicionales	26
2.2.2.2 Lenguajes de marcado de ontologías	27
2.2.2.2.1 RDF	27
2.2.2.2.2 OWL	28
2.2.2.3 Lenguajes de marcado de reglas	29
2.2.2.3.1 RuleML	29
2.2.2.3.2 TRIPLE	29
2.2.2.3.3 Jena	30
2.2.2.3.4 SWRL	30
2.2.2.3.5 W3C RIF	32
2.2.2.3.6 R2ML	32
2.2.2.4 Lenguaje de consulta de ontologías	33
2.2.2.4.1 SPARQL	33
2.2.2.4.2 SQWRL	33
2.2.3 Herramientas ontológicas	34
2.2.3.1 Herramientas de desarrollo de ontologías	35
2.2.3.2 Motores de inferencia	36
2.2.4 Metodologías de desarrollo de ontologías	38
2.3 Sistemas de recomendación	49

2.3.1	Sistemas de recomendación basados en el contenido	51
2.3.2	Sistemas de recomendación basados en filtrado colaborativo	52
2.3.3	Sistemas de recomendación basados en el conocimiento	54
2.3.4	Sistemas de recomendación híbridos	55
2.3.5	Otros tipos de sistemas de recomendación	56
2.3.5.1	Sistemas de recomendación demográficos	57
2.3.5.2	Sistemas de recomendación basados en utilidad	57
3	Estado del arte	58
3.1	Modelado del estudiante	59
3.1.1	IMS LIP	59
3.1.2	IEEE PAPI	61
3.1.3	Dolog LP	62
3.1.4	FOAF	62
3.1.5	EduPerson	63
3.1.6	Ontología del Estudiante	64
3.2	Modelos de competencias	66
3.2.1	Taxonomía de objetivos de Bloom	66
3.2.2	Ciclo de habilidades de Romiszowski	70
3.2.3	Taxonomía de Marzano	72
3.2.4	Modelo de competencias de Paquette	75
3.3	Rúbricas para la evaluación de competencias	77
3.3.1	Rúbricas para evaluar el trabajo en grupo	77
3.3.2	Rúbricas para evaluar el trabajo de comunicación oral	88
3.3.3	Rúbricas para evaluar el trabajo de comunicación escrita	93
3.4	Sistemas de recomendación relacionados con el aprendizaje	98
3.4.1	Altered Vista	98
3.4.2	RACOFI	99
3.4.3	QSIA	99
3.4.4	Cyclades	100
3.4.5	LORM	103
3.4.6	Moodle	104
3.4.7	CourseRank	105
3.4.8	LSRS	106
3.4.9	Protus	106
3.4.10	Isis y ReMashed	111
3.4.11	RPL	112
3.4.12	EmployLeaP RS	113
3.5	Sistemas de recomendación basados en competencias	115
3.5.1	Información contextual	118
3.5.2	RQ1: ¿Qué criterios permiten el análisis de los sistemas de recomendación y como se pueden evaluar estos criterios?	119
3.5.3	RQ2: ¿Cuál es la naturaleza de las competencias en los actuales sistemas de recomendación basados en competencias?	124
3.6	Análisis crítico de la situación	127
3.6.1	Análisis crítico del modelado del estudiante	127
3.6.2	Análisis crítico de los modelos de competencias	128
3.6.3	Análisis crítico de las rúbricas para la evaluación de competencias	131
3.6.4	Análisis crítico de los sistemas de recomendación	133
3.6.5	Análisis crítico de sistemas de recomendación basados en competencias	137

4	Planteamiento del problema y supuestos del trabajo	140
4.1	Motivación	140
4.2	Objetivos	141
4.3	Requisitos	142
4.4	Supuestos	143
4.5	Hipótesis	144
4.6	Planteamiento de la solución	145
4.7	Restricciones	146
5	Aportación propuesta	147
5.1	Arquitectura y funcionamiento básico	147
5.2	Metodología de adaptación del sistema de recomendación	149
5.2.1	Guía metodológica para la adaptación del modelado de la red de ontologías	149
5.2.2	Guía metodológica para la creación y adaptación del prototipo de sistema de recomendación	151
5.3	Sistema de recomendación basado en competencias	153
5.3.1	Adaptación del modelado al sistema de recomendación	154
5.3.1.1	Actividad 1 - Especificación de las necesidades de la red de ontologías	154
5.3.1.2	Actividad 2 - Reingeniería de la red de ontologías	164
5.3.1.2.1	Reingeniería de la Ontología de Paquette	173
5.3.1.2.2	Reingeniería de la ontología de diseño instruccional	181
5.3.1.2.3	Reingeniería de la ontología de rúbricas	182
5.3.1.3	Actividad 3 - Instanciación de los elementos independientes del usuario	184
5.3.2	Adaptación del método de diagnóstico y creación del método de recomendación	184
5.3.2.1	Actividad 4 - Extensión de la taxonomía de criterios empleada para el diagnóstico y para la recomendación	184
5.3.2.2	Actividad 5 - Extensión de los patrones de reglas para el diagnóstico o recomendación	186
5.3.2.2.1	Patrones de reglas relacionados con las acciones	186
5.3.2.2.2	Patrones de reglas relacionados con objetivos y competencias	190
5.3.2.2.3	Patrones de reglas de diagnóstico - actividades	198
5.3.2.3	Actividad 6 - Extensión de las reglas específicas	202
5.3.2.4	Actividad 7 - Comprobación de los predicados	202
5.3.2.5	Actividad 8 - Traducción de las nuevas reglas al lenguaje de marcado de reglas	207
5.3.2.6	Actividad 9 - Extensión o modificación de las reglas del Módulo de Resolución de Conflictos	207
5.3.3	Instanciación del modelo y evaluación del modelado	208
5.3.3.1	Actividad 10 - Instanciación de los elementos específicos de cada usuario	208
5.3.3.2	Actividad 11 - Evaluación del modelado	208
5.3.3.2.1	Subtarea 11.1 - Evaluación de las cuestiones de competencia	208
5.3.3.2.2	Subtarea 11.2 - Validación a través de casos de prueba	209

5.3.3.2.3	Subtarea 11.3 - Evaluación de las reglas desarrolladas en la ontología	209
5.3.4	Planificación	211
5.3.4.1	Actividad 1 - Especificación de los criterios del sistema de recomendación	211
5.3.4.2	Actividad 2 - Especificación de los requisitos y restricciones adicionales del sistema de recomendación	214
5.3.5	Diseño iterativo del sistema de recomendación	218
5.3.5.1	Actividad 3 - Diseño del diagrama de casos de uso	218
5.3.5.2	Actividad 4 - Diseño conceptual	220
5.3.5.3	Actividad 5 - Diseño de los diagramas de navegación	220
5.3.5.4	Actividad 6 - Diseño de los diagramas de presentación	221
5.3.5.5	Actividad 7 - Diseño de los diagramas de secuencia	221
5.3.6	Desarrollo iterativo de la aplicación	223
5.3.6.1	Actividad 8: Desarrollo de la estructura	224
5.3.6.2	Actividad 9: Desarrollo de las vistas	225
5.3.6.3	Actividad 10: Desarrollo del controlador	227
5.3.6.4	Actividad 11 - Desarrollo del modelo	228
5.3.6.5	Actividad 12 - Evaluación del sistema de recomendación	229
6	Experimentación y resultados	232
6.1	Experimento I: Aprendizaje en un laboratorio de química	232
6.1.1	Adaptación de ON-SMMILE para el experimento 1	241
6.1.2	Validación del experimento 1 mediante casos de prueba	242
6.1.2.1	Experimento 1 - Caso de prueba 1	243
6.1.2.2	Experimento 1 - Caso de prueba 2	244
6.1.2.3	Experimento 1 - Caso de prueba 3	245
6.2	Experimento II: Aprendizaje en un laboratorio de sistemas operativos	247
6.2.1	Diseño de experiencia de aprendizaje	248
6.2.2	Validación del experimento 2 mediante casos de prueba	258
6.2.2.1	Experimento 2 - Caso de prueba 1	258
6.2.2.2	Experimento 2 - Caso de prueba 2	259
6.2.2.3	Experimento 2 - Caso de prueba 3	262
6.3	Experimento III: Aprendizaje de técnicas de primeros auxilios	264
6.3.1	Diseño de la experiencia de aprendizaje	265
6.3.2	Validación del experimento 3 mediante casos de prueba	271
6.3.2.1	Experimento 3 - Caso de prueba 1	271
6.3.2.2	Experimento 3 - Caso de prueba 2	274
6.3.2.3	Experimento 3 - Caso de prueba 3	277
7	Conclusiones	281
7.1	Conclusiones relacionadas con el estado de la cuestión	281
7.2	Conclusiones relacionadas con el desarrollo de la aplicación	282
7.3	Principales contribuciones de este trabajo	283
8	Líneas de trabajo futuro	285
9	Apéndice A: Descripción de la red de ontologías desarrollada	287
10	Apéndice B: Encuesta de la herramienta de recomendación	379
11	Bibliografía	384

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1	Estructura del documento.	3
2.1	Esquema del lenguaje PALO.	6
2.2	Modelo conceptual expresado en UML. Extraído de (Koper and Mander- veld, 2004).	6
2.3	Modelo conceptual de IMS LD. Extraído de https://www.imslobal.org/learningdesign/ldv1p0/imsld_infv1p0.html	7
2.4	Representación UML de LDL. Extraído de (Martel et al., 2006).	8
2.5	Perspectivas recogidas en poEML. Extraído de (Caeiro et al., 2014).	8
2.6	Fragmento de ScenEdit. Extraído de (Emin and Pernin, 2015).	9
2.7	Clasificación de competencias del proyecto Tuning (González and Wage- naar, 2005).	14
2.8	Clasificación de competencias según el modelo de iceberg de Spencer (Spencer and Spencer, 1993).	14
2.9	Modelo genérico de gerente (Spencer and Spencer, 1993).	15
2.10	Progreso de un estudiante en una competencia.	18
2.11	Metodología de creación de rúbricas.	24
2.12	Arquitectura del <i>framework</i> Jena e interacción con diferentes APIs. Extraído de https://jena.apache.org/getting_started/index.html	31
2.13	Clasificación de lenguajes semánticos.	34
2.14	Estados y actividades de la metodología METHONTOLOGY. Extraído de (Fernández-López et al., 1997).	39
2.15	Actividad de evaluación de ontologías. Adaptación de (Suárez-Figueroa et al., 2007).	42
2.16	Reutilización y reingeniería de recursos no ontológicos. Adaptación de (Suárez-Figueroa et al., 2007).	42
2.17	Actividad de reutilización de ontologías. Adaptación de (Suárez-Figueroa et al., 2007).	43
2.18	Actividad de reingeniería de ontologías. Adaptación de (Suárez-Figueroa et al., 2007).	43
2.19	Actividad de alineación de ontologías. Adaptación de (Suárez-Figueroa et al., 2007).	43
2.20	Ejemplificación de las acciones realizadas en el escenario 6.	44

2.21	Actividad de evaluación de ontologías. Adaptación de (Suárez-Figueroa et al., 2007).	44
2.22	Actividad de reestructuración de ontologías. Adaptación de (Suárez-Figueroa et al., 2007).	45
2.23	Tareas propuestas para la localización de ontologías. Adaptación de (Espinoza et al., 2009).	45
2.24	Metodología YAMO. Extraído de (Dutta et al., 2015).	46
2.25	Metodología SOC. Extraído de (Gregor et al., 2016).	47
2.26	Metodología UPON Lite. Extraído de (De Nicola and Missikoff, 2016).	48
2.27	Metodología eXtreme Design. Extraído de (Blomqvist et al., 2016).	48
2.28	Arquitectura de los sistemas de recomendación basados en contenido. Extraído de (Ricci et al., 2011).	52
2.29	Diferencias entre los sistemas de recomendación basados en filtrado colaborativo. Extraído de www.salemmarafi.com/ .	53
2.30	Sistemas de recomendación demográficos y basados en utilidad.	57
3.1	Estructura de datos del estudiante de IMS LIP. Extraído de (Global Learning Consortium, 2002).	60
3.2	Estructura de datos del estudiante de IEEE PAPI. Extraído de (IEEE, 2002).	61
3.3	Modelo conceptual del perfil de usuario. Extraído de (Dolog and Nejdli, 2003).	62
3.4	Diagrama de FOAF. Extraído de https://www.flickr.com/photos/danbri/1856478164/ .	63
3.5	Principales relaciones entre las ontologías. Figura extraída de (Clemente, 2011).	64
3.6	Taxonomía de Bloom, Krathwohl y Harrow.	66
3.7	Comparativa entre la taxonomía original de Bloom y la de Anderson.	68
3.8	Taxonomía digital de Bloom.	69
3.9	Asociación del Modelo SAMR y la taxonomía revisada de Bloom.	69
3.10	Representación del ciclo de habilidades de Romiszowski de 1984.	70
3.11	Adaptación del ciclo de habilidades al modelo PRPP en 1993 y 1995.	71
3.12	Adaptación del ciclo de habilidades al modelo PRPP en 1997 y 2005.	71
3.13	Niveles de la taxonomía de conocimiento de Marzano.	72
3.14	Clasificación de operaciones por niveles de la taxonomía de Marzano.	73
3.15	Comparación entre las taxonomías de Bloom y Marzano.	74
3.16	Componentes de los tres dominios de la taxonomía de Marzano. Adaptación de (Marzano and Kendall, 2006).	74
3.17	Extensión de la ontología de competencias para habilidades genéricas. Extraído de (Paquette, 2007).	75
3.18	Extensión de la ontología de competencias para indicadores de rendimiento. Extraído de (Paquette, 2007).	76

3.19 Comparación de dos competencias a través del modelo de Paquette. Extraído de (Paquette, 2007).	76
3.20 Cuestionario de evaluación de equipo. Extraído de (Ekwaro-Osire and Orono, 2007).	78
3.21 Rúbrica de presentación oral. Extraída de (Delgado and Fonseca-Mora, 2010).	79
3.22 Rúbrica de presentación escrita. Extraída de (Delgado and Fonseca-Mora, 2010).	80
3.23 Rúbrica para marcadores sociales. Extraída de (Piedra et al., 2010).	80
3.24 Rúbrica para evaluar el proceso de trabajo en grupo. Adaptación de (Merino, 2011).	81
3.25 Rúbrica del <i>capstone experience</i> . Extraída de (Chow et al., 2012).	82
3.26 Rúbrica del demandante de empleo. Extraída de (Chow et al., 2012).	83
3.27 Rúbrica de gestión de proyectos. Extraída de (Tachikawa et al., 2013).	83
3.28 Primer dominio de la rúbrica de trabajo en equipo. Extraída de (Vila Merino and Badia Miró, 2013).	84
3.29 Segundo dominio de la rúbrica de trabajo en equipo. Extraída de (Vila Merino and Badia Miró, 2013).	85
3.30 Tercer dominio de la rúbrica de trabajo en equipo. Extraída de (Vila Merino and Badia Miró, 2013).	86
3.31 Fragmento de la rúbrica PSCR. Extraída de (Schreiber et al., 2012).	90
3.32 Rúbrica de comunicación oral de 1 ^{er} nivel. Extraída de (Juárez Vives, 2013).	91
3.33 Rúbrica de comunicación oral de 2 ^o nivel. Extraída de (Juárez Vives, 2013).	91
3.34 Rúbrica de presentación oral. Extraída de www.readwritethink.org	92
3.35 Rúbrica de presentación oral. Extraída de (Evans et al., 2015).	93
3.36 Medallas relacionadas con las competencias. Extraída de (Evans et al., 2015).	93
3.37 Fragmento de rúbrica de evaluación. Extraída de (Thomas, 2005).	94
3.38 Rúbrica de tercer nivel de comunicación escrita.	95
3.39 Fragmento de la rúbrica de escritura. Extraído de (Sundeen, 2014).	96
3.40 Fragmento de la rúbrica de evaluación de artículos científicos. Extraído de (Larkin, 2014).	97
3.41 Rúbrica de comunicación escrita. Extraído de (Evans et al., 2015).	97
3.42 Funcionamiento del método boca a boca.	98
3.43 Componentes de RACOFI.	99
3.44 Comparación en la escalabilidad de los sistemas colaborativos genéricos y QSIA.	100
3.45 Interfaz de usuario de CYCLADES. Extraído de (Avancini and Straccia, 2005).	101
3.46 Interfaz de usuario de CYCLADES. Extraído de (Avancini and Straccia, 2005).	102

3.47	Funcionamiento del sistema de recomendación basado en <i>Moodle</i>	104
3.48	Recomendaciones en CourseRank. Extraído de (Koutrika et al., 2008). . .	105
3.49	Funcionamiento del modelo de Markov.	106
3.50	Interacción de los componentes en los sistemas de tutoría. Extraído de (Vesin et al., 2009).	107
3.51	Proceso de aprendizaje y recomendación. Extraído de (Vesin et al., 2012). .	108
3.52	Fragmento de la ontología <i>domain ontology</i> . Extraído de (Vesin et al., 2012). .	108
3.53	Fragmento de la ontología <i>learner model</i> . Extraído de (Vesin et al., 2012). .	109
3.54	Fragmento de la ontología <i>task ontology</i> . Extraído de (Vesin et al., 2012). .	109
3.55	Fragmento de la ontología <i>teaching strategy ontology</i> . Extraído de (Vesin et al., 2012).	110
3.56	Fragmento de la ontología <i>interface ontology</i> . Extraído de (Vesin et al., 2012).	110
3.57	Árbol de decisiones del sistema de recomendación Isis. Extraído de (Drachler et al., 2009).	111
3.58	Métodos disponibles en el sistema de recomendación RPL.	113
3.59	Implementación de la ontología. Extraído de (Dascalu et al., 2016). . . .	113
3.60	Diseño de la ontología. Extraído de (Dascalu et al., 2016).	114
3.61	Plataforma EmployLeaP. Extraído de (Dascalu et al., 2016).	114
3.62	Número de publicaciones agrupadas por tipo.	118
3.63	Número de propuestas por país.	119
3.64	Relación entre el tipo de recomendación y el modelo de dominio.	120
3.65	Dominio de los sistemas de recomendación.	121
3.66	Implementación de los sistemas de recomendación.	122
3.67	Recomendaciones a partir de las características.	123
5.1	Arquitectura propuesta en este trabajo.	148
5.2	Esquema de la metodología.	149
5.3	Esquema de la metodología de desarrollo del prototipo de SR.	152
5.4	Adaptación de «StudentProfile».	164
5.5	Estructura jerárquica de las clases superiores de la ontología «Learnin- gObjective».	165
5.6	Estructura jerárquica de la clase «SocialObjective».	165
5.7	Estructura jerárquica de la clase «ProductiveObjective».	167
5.8	Estructura jerárquica de la clase «EthicalObjective».	169
5.9	Reingeniería de la ontología «StudentState». Adaptación realizada a la ontología de (Clemente, 2011).	172
5.10	Reingeniería de la ontología «StudentTrace». Adaptación realizada a la ontología de (Clemente, 2011).	172
5.11	Diseño de la ontología «Recommendation».	173

5.12	Ontología de habilidades. Adaptación realizada de (Paquette, 2007).	174
5.13	Ontología simplificada para el modelo de competencias de Paquette. Extraído de (Paquette, 2016).	175
5.14	Reglas relacionadas con la definición de la propiedad «levelReliability».	180
5.15	Diagrama de clases de «LearningDesign». Adaptación realizada a la ontología de (Amorim et al., 2006).	182
5.16	Diagrama de clases de «Rubric». Adaptación de la ontología de (Panulla and Kohler, 2010).	183
5.17	Diagrama de clases relacionadas con «Rubric».	183
5.18	Taxonomía basada en acciones.	185
5.19	Taxonomía basada en objetivos y competencias.	185
5.20	Taxonomía basada en actividades.	185
5.21	Diagrama del proceso de creación de una actividad.	212
5.22	Diagrama del proceso de realización de una actividad.	212
5.23	Requisito RF1.	216
5.24	Requisito RF2.	216
5.25	Requisito RF8.	216
5.26	Requisito RF4.	217
5.27	Requisito RF5.	217
5.28	Restricción RNF1.	217
5.29	Restricción RNF2.	217
5.30	Restricción RNF3.	218
5.31	Restricción RNF4.	218
5.32	Casos de uso de la propuesta (I).	219
5.36	Fragmento del diagrama conceptual para la herramienta de recomendación.	220
5.37	Fragmento del diagrama de navegación principal de la aplicación.	221
5.38	Diagrama de presentación del menú de acciones.	222
5.39	Diagrama de presentación del menú de recomendaciones para el estudiante.	222
5.40	Diagrama de secuencia de la consulta acerca de las recomendaciones existentes de una competencia.	223
5.41	Diagrama de comunicación de los componentes principales de la aplicación.	224
5.42	Vista asociada con el profesor acerca de las acciones en el sistema de recomendación.	226
5.43	Vista asociada con el estudiante de los criterios de las rúbricas de un estudiante en el SR.	227
6.1	Plan de preparación de una disolución de ácido sulfúrico al 5%.	233
6.2	Clases añadidas a la jerarquía «ProceduralKnowledge».	242
6.3	Clases añadidas a la jerarquía «GeometricObject».	242
6.4	Resultados de aprendizaje 1 y 2.	248

6.5	Resultados de aprendizaje 3 y 4.	248
6.6	Resultados de aprendizaje 5 y 6.	249
6.7	Resultados de aprendizaje 7 y 8.	249
6.8	Resultados de aprendizaje 9 y 10.	249
6.9	Resultados de aprendizaje 11 y 12.	249
6.10	Resultados de aprendizaje 13 y 14.	250
6.11	Actualización del LMS y la ontología.	250
6.14	Plan de realización de la implementación parcial de un intérprete de órdenes.	253
6.15	Menú de actividades referentes a los primeros auxilios del hogar.	265
6.16	Escenarios diseñados para el experimento 3.	266
6.17	Plan de realización de una actividad de primeros auxilios.	266
6.18	Clases añadidas a la jerarquía «PunctualAction».	268
6.19	Clases añadidas a la jerarquía «GeometricObject».	269
6.20	Resultados de aprendizaje 1 y 25.	270
6.21	Resultados de aprendizaje 26 y 2	270
6.22	Resultados de aprendizaje 5 y 6.	270
6.23	Resultados de aprendizaje 10 y 14.	270

ÍNDICE DE TABLAS

2.1	Características de los EML revisados.	9
2.2	Variación del nivel de desempeño en las competencias del conductor del autobús al modificar el país de trabajo.	11
2.3	Variación del nivel de desempeño en las competencias de la estudiante con el transcurso del tiempo.	12
2.4	Características de competencias, objetivos y resultados de aprendizaje.	13
2.5	Comparación de los instrumentos de evaluación directos.	21
2.6	Comparación de los instrumentos de evaluación indirectos.	21
2.7	Fragmento de la rúbrica de evaluación de trabajos final de grado de la UAH.	23
2.8	Diferencias entre los diferentes subtipos de OWL.	29
2.9	Lista de instancias de series de televisión.	51
2.10	Lista de instancias de usuarios.	51
2.11	Lista de instancias de series de televisión.	53
2.12	Lista de instancias de teléfonos móviles.	55
3.1	Actitudes de trabajo en grupo/equipo. Adaptación de (Goodwin and Bobadies, 2005).	77
3.2	Fragmento de la rúbrica de toma de decisiones. Extraído de (Vance et al., 2014).	87
3.3	Secuencia de tratamiento recibido.	95
3.4	Estadísticas descriptivas por casos.	96
3.5	Satisfacción de los usuarios con ReMashed.	112
3.6	Cuestiones de investigación.	115
3.7	Términos incluidos en la consulta.	116
3.8	Proceso de filtrado de los artículos de revisión bibliográfica.	117
3.9	Proceso de filtrado de las bibliotecas digitales y motores de búsqueda académicos.	118
3.10	Características comunes en los sistemas de recomendación analizados.	124
3.11	Recopilación de las características de los modelados.	128
3.12	Comparación de los modelos de competencias en función del meta-dominio.	129
3.13	Comparación de los modelos de competencias en función de las habilidades receptoras.	130

3.14	Comparación de los modelos de competencias en función de las habilidades de reproducción.	130
3.15	Comparación de los modelos de competencias por habilidades de producción.	131
3.16	Comparación de los modelos de competencias en función de las habilidades de autogestión.	131
3.17	Comparación de los criterios en las rúbricas relevantes de trabajo en grupo.	132
3.18	Comparación de los criterios en las rúbricas más relevantes de comunicación oral.	133
3.19	Comparación de los criterios en las rúbricas relevantes de comunicación escrita.	133
3.20	Características de los sistemas de recomendación de filtrado colaborativo.	134
3.21	Características de los sistemas de recomendación de filtrado colaborativo.	134
3.22	Características de los sistemas de recomendación híbridos.	135
3.23	Características de los sistemas de recomendación híbridos.	135
4.1	Relación entre requisitos y objetivos establecidos.	143
5.1	Cuestiones de competencia específicas de una <i>unidad de aprendizaje</i>	155
5.2	Cuestiones de competencia específicas de un <i>recurso de aprendizaje</i>	155
5.3	Cuestiones de competencia específicas de un <i>diseño de aprendizaje</i>	156
5.4	Cuestiones de competencia específicas de un <i>rol</i>	156
5.5	Cuestiones de competencia específicas de un <i>entorno</i>	156
5.6	Cuestiones de competencia específicas de una <i>actividad</i>	156
5.7	Cuestiones de competencia específicas de una <i>obra</i>	156
5.8	Cuestiones de competencia específicas de una <i>condición</i>	157
5.9	Cuestiones de competencia específicas de una <i>propiedad</i>	157
5.10	Cuestiones de competencia específicas de una <i>habilidad</i>	157
5.11	Cuestiones de competencia específicas de un <i>objetivo de aprendizaje</i>	157
5.12	Cuestiones de competencia específicas de una <i>competencia</i>	157
5.13	Cuestiones de competencia específicas relacionadas con un <i>nivel de desempeño</i>	158
5.14	Cuestiones de competencia específicas relacionadas con una <i>rúbrica</i>	158
5.15	Cuestiones de competencia específicas relacionadas con una <i>categoría</i> . . .	158
5.16	Cuestiones de competencia específicas relacionadas con un <i>criterio</i> de la rúbrica.	158
5.17	Cuestiones de competencia específicas relacionadas con un <i>criterio de desempeño</i>	158
5.18	Cuestiones de competencia específicas relacionadas con un <i>nivel de desempeño</i>	159
5.19	Cuestiones de competencia específicas relacionadas con una dirección en el <i>perfil del estudiante</i>	159

5.20	Cuestiones de competencia específicas relacionadas con la información de contacto del <i>perfil del estudiante</i>	160
5.21	Cuestiones de competencia específicas relacionadas con la información de una recompensa del <i>perfil del estudiante</i>	160
5.22	Cuestiones de competencia específicas relacionadas con la información de un agente del <i>perfil del estudiante</i>	160
5.23	Cuestiones de competencia específicas relacionadas con la información de un agente del <i>perfil del estudiante</i>	160
5.24	Cuestiones de competencia específicas relacionadas con la información demográfica del <i>perfil del estudiante</i>	160
5.25	Cuestiones de competencia específicas relacionadas con la información de una actividad del <i>perfil del estudiante</i>	161
5.27	Cuestiones de competencia específicas relacionadas con una <i>afiliación</i> . . .	161
5.28	Cuestiones de competencia específicas relacionadas con la información de accesibilidad del <i>perfil del estudiante</i>	162
5.29	Cuestiones de competencia específicas relacionadas con una <i>clave de seguridad</i>	162
5.30	Cuestiones de competencia específicas relacionadas con un <i>interés</i>	162
5.31	Cuestiones de competencia específicas relacionadas con la información de una competencia del <i>perfil del estudiante</i>	162
5.32	Cuestiones de competencia específicas relacionadas con la información del expediente académico del <i>perfil del estudiante</i>	162
5.33	Cuestiones de competencia específicas relacionadas con una relación. . . .	163
5.34	Cuestiones de competencia específicas relacionadas con el estado del estudiante.	163
5.35	Cuestiones de competencia específicas relacionadas con la traza del estudiante.	163
5.36	Cuestiones de competencia específicas relacionadas con la recomendación. .	163
5.37	Análisis DAFO de la ontología de competencias de Paquette.	177
5.38	Resumen de los criterios propuestos.	179
5.39	Patrones de reglas de diagnóstico definidos en el ME de Clemente (2011). .	186
5.39	Patrones de reglas de diagnóstico definidos en el ME de Clemente (2011). .	187
5.40	Ejemplos de posibles recomendaciones de competencias.	196
5.41	Extensión de los predicados relacionados con la jerarquía «LearningDesign». .	202
5.42	Extensión (EX) de los predicados relacionados con la jerarquía de «Competence».	202
5.42	Extensión (EX) de los predicados relacionados con la jerarquía de «Competence».	203
5.43	Extensión (EX) de los predicados relacionados con la jerarquía de «KnowledgeObject». Versión original (VO) disponible en la tesis de Clemente (2011).	204

5.44	Extensión (EX) de los predicados relacionados con la jerarquía de «KnowledgeObject». Versión original (VO) disponible en la tesis de Clemente (2011).	205
5.45	Extensión (EX) de los predicados relacionados con la jerarquía de «Rubric».	205
5.46	Extensión (EX) de los predicados relacionados con las jerarquías de «StudentProfile» y «StudentInformation». Versión original disponible en (Clemente, 2011).	205
5.47	Extensión (EX) de los predicados relacionados con la jerarquía de «StudentState».	206
5.48	Extensión (EX) de los predicados relacionados con la jerarquía de «LearningObjective». Versión original (VO) disponible en la tesis de Clemente (2011).	206
5.49	Evolución de una cuestión de competencia durante el transcurso del proyecto.	209
5.50	Análisis genérico de la evaluación de las reglas.	210
5.51	Características del sistema de recomendación.	230
5.52	Características del sistema de recomendación (Cont.).	230
5.53	Implementación de los requisitos no funcionales del sistema.	231
5.54	Implementación de los requisitos no funcionales del sistema.	231
6.1	Codificación de las acciones del plan como operadores en la ontología.	233
6.1	Codificación de las acciones del plan como operadores en la ontología.	234
6.1	Codificación de las acciones del plan como operadores en la ontología.	235
6.2	Lista de instancias de objetivos de tipo «KnowsRecognize».	235
6.3	Lista de instancias de objetivos de tipo «KnowsWhereIs».	235
6.3	Lista de instancias de objetivos de tipo «KnowsWhereIs».	236
6.4	Lista de instancias de objetivos de tipo «KnowsWhatIs».	236
6.5	Lista de instancias de objetivos de tipo «KnowsWhatIsFor».	236
6.6	Lista de instancias de objetivos de tipo «KnowsThat».	236
6.6	Lista de instancias de objetivos de tipo «KnowsThat».	237
6.7	Lista de instancias de objetivos de tipo «KnowsThatNextActionIs».	237
6.7	Lista de instancias de objetivos de tipo «KnowsThatNextActionIs».	238
6.8	Lista de instancias de objetivos de tipo «KnowsThatNextOperatorIs».	238
6.9	Lista de instancias de objetivos de tipo «KnowsThatActionInPlanPost».	238
6.9	Lista de instancias de objetivos de tipo «KnowsThatActionInPlanPost».	239
6.10	Lista de instancias de objetivos de tipo «IsAbleToBuild».	239
6.11	Lista de instancias de objetivos de tipo «IsAbleToChoose».	239
6.12	Lista de instancias de objetivos de tipo «IsAbleToApply».	239
6.12	Lista de instancias de objetivos de tipo «IsAbleToApply».	240
6.13	Lista de instancias de objetivos de tipo «Responsibility».	240

6.14	Lista de instancias de objetivos de tipo «StressControl».	240
6.15	Lista de instancias de objetivos de tipo «Autodidact».	240
6.16	Lista de instancias de objetivos de tipo «Autodidact».	241
6.17	Rúbrica de la actividad <i>Preparación de una disolución de ácido sulfúrico al 5 %</i> .	241
6.18	Codificación de las acciones del plan como operadores dentro de la ontología.	254
6.18	Codificación de las acciones del plan como operadores dentro de la ontología.	255
6.19	Rúbrica para la evaluación del trabajo individual de la actividad <i>Implementación parcial de un intérprete de órdenes</i> .	256
6.20	Rúbrica para la evaluación del trabajo colectivo de la actividad <i>Implementación parcial de un intérprete de órdenes</i> .	257
6.21	Tabla de distribución de roles del primer grupo en la actividad del experimento 2.	258
6.22	Tabla de preguntas realizadas por los miembros del grupo.	258
6.23	Tabla de indicadores de desempeño de los estudiantes para algunas de las competencias del experimento 2 (demostrado/predefinido como estándar).	259
6.24	Tabla de indicadores de desempeño de los estudiantes para algunas de las competencias del experimento 2 (demostrado/predefinido como estándar).	260
6.25	Tabla de preguntas realizadas por los miembros del grupo.	260
6.26	Tabla resumen del nivel de desempeño obtenido por los estudiantes en los criterios asociados a la actividad.	261
6.27	Tabla resumen de recomendaciones recibidas antes, durante y después de la actividad.	262
6.28	Tabla de distribución de roles del tercer grupo en la actividad del experimento 2.	262
6.29	Algunas entradas del diario de los alumnos para el experimento 2.	263
6.30	Tabla resumen del nivel de desempeño obtenido por los estudiantes en los criterios asociados a la actividad.	264
6.31	Resumen de recomendaciones recibidas antes, durante y después de la actividad.	264
6.32	Representación de las acciones, operadores y objetos del plan.	267
6.32	Representación de las acciones, operadores y objetos del plan.	268
6.33	Tabla resumen de la secuencia de acciones seguida por el estudiante en el primer intento de la actividad.	272
6.34	Tabla resumen de las recomendaciones tras el 1 ^{er} intento.	272
6.35	Tabla resumen de la secuencia de acciones seguida por el estudiante en el segundo intento de la actividad.	273
6.36	Tabla resumen del estado de las competencias del estudiante tras el segundo intento de la actividad (conseguido/estándar).	273
6.37	Tabla resumen de las recomendaciones tras el 3 ^{er} intento.	274
6.38	Tabla resumen de la secuencia de acciones seguida por la aprendiz en el primer intento de la actividad.	275

6.38	Tabla resumen de la secuencia de acciones seguida por la aprendiz en el primer intento de la actividad (cont.).	276
6.39	Tabla resumen del estado de las competencias de la estudiante tras el primer intento de la actividad. En verde se muestran los indicadores de desempeño superados.	276
6.40	Tabla resumen de la secuencia de acciones seguida por Mary en el primer intento de la actividad.	279
6.41	Tabla resumen del estado de las competencias de la estudiante tras el primer intento de la actividad (conseguido/estándar).	280
6.42	Fragmento de tabla resumen de las recomendaciones tras el 2º intento.	280
9.1	Descripción de la ontología AssessmentInstrument . A partir de ella, se crea la ontología Rubric . Dicha ontología ha sido adaptada de (Panulla and Kohler, 2010).	288
9.6	Descripción de la ontología Competence . Ontología adaptada de (Paquette, 2007).	293
9.9	Descripción de la ontología LearningObjective . Ontología adaptada de (Clemente, 2011).	296
9.21	Descripción de la ontología StudentProfile . Ontología adaptada de (Clemente, 2011) y (Global Learning Consortium, 2002).	308
9.25	Descripción de la ontología UnitOfLearning . Ontología adaptada de (Amorim et al., 2006).	312
9.27	Descripción de la ontología LearningDesign . Ontología adaptada de (Amorim et al., 2006).	314
9.34	Descripción de la ontología KnowledgeObject . Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).	321
9.70	Descripción de la ontología StudentInformation . Ontología adaptada de (Clemente, 2011).	357
9.71	Descripción de la ontología Recommendation	358
9.72	Descripción de la ontología StudentState . Ontología adaptada de (Clemente, 2011).	359
9.85	Descripción de la ontología StudentTrace . Ontología adaptada de (Clemente, 2011).	372

Desde el nacimiento de Internet en la década de los 60, la informática ha dado pasos agigantados hasta convertirse en una disciplina aplicable a prácticamente cualquier ámbito o dominio. Con este auge, la tecnología en el campo de la Educación se ha visto fuertemente favorecida surgiendo métodos, plataformas, herramientas y un sinnúmero de componentes relacionados con este entorno. Asimismo, la figura del estudiante ha ido adquiriendo cada vez más relevancia en este proceso que ha evolucionado de un paradigma centrado en el profesor a otro enfocado principalmente en el estudiante. Con este cambio de paradigma, la recolección de información acerca del estudiante se considera indispensable para poder ofrecerle una estrategia de tutoría adaptable acorde al estado actual de sus conocimientos, a sus características personales, preferencias, etc., para proporcionar un diagnóstico preciso sobre el proceso de su aprendizaje o una recomendación personalizada con el objeto de mejorar su aprendizaje.

1.1. Aprendizaje basado en competencias

De forma paralela al nacimiento de Internet, surge el aprendizaje basado en competencias. Este enfoque tiene como finalidad el desarrollo del estudiante en los ámbitos académico, profesional, social, etc. Para alcanzar esta meta, el aprendizaje basado en competencias busca asegurar que los estudiantes adquieran el conocimiento y las habilidades esenciales para tener éxito en los centros educativos (colegios, universidades, etc.) o durante su vida laboral. La gran ventaja de este enfoque con respecto a los tradicionales es el nivel de detalle proporcionado, tanto a los estudiantes como a los profesores, respecto al progreso en la adquisición de los conocimientos que presentan los estudiantes. Esta característica ayuda a identificar las fortalezas y debilidades de un estudiante o grupo de estudiantes en una materia concreta. De igual modo, el aprendizaje basado en competencias puede reducir la subjetividad en la evaluación de los estudiantes al poder valorar con mayor precisión sus conocimientos y habilidades en base a las competencias asociadas a la actividad.

El aprendizaje basado en competencias dispone, entre otros, de un gran aliado en la evaluación de los estudiantes, las rúbricas. Estas constituyen un instrumento de evaluación, habitualmente en forma de tabla, que relaciona unos criterios con posibles niveles de desempeño. Mediante este instrumento de evaluación, es posible evaluar el desempeño del estudiante en los diferentes criterios establecidos en una actividad. Si la rúbrica ha sido diseñada correctamente, cada criterio permitirá la evaluación de, al menos, una competencia. Igualmente, toda competencia asociada a una actividad debe estar representada en, al menos, un criterio de la rúbrica. En relación con esta afirmación, cabe destacar que cuanto más información se disponga acerca de las competencias (por ejemplo mediante varios intentos de logro), mayor será la fiabilidad del estado del aprendizaje del estudiante.

Esta combinación de aprendizaje basado en competencias y rúbricas puede aplicarse a

cualquier experiencia de aprendizaje. *The glossary of education reform*¹ define experiencia de aprendizaje como:

Cualquier interacción, curso, programa o experiencia en la cual tenga lugar el aprendizaje independientemente de quién transmita la información (profesor, juego, etc.) y de si las interacciones se producen en un entorno educativo tradicional o no.

A partir de la información obtenida de los alumnos en las experiencias de aprendizaje es posible realizar recomendaciones que ayuden al estudiante en su proceso de aprendizaje. Con esta premisa en mente, surgen los sistemas de recomendación relacionados con el aprendizaje. Dichos sistemas emplean los datos registrados para extraer posibles mejoras y sugerirlas. Habitualmente, estas recomendaciones están centradas en los recursos que el estudiante puede consultar sobre algún concepto que no domina. No obstante, también pueden recomendarse actividades, competencias, compañeros o cualquier otro elemento estrechamente relacionado con el aprendizaje.

Un amplio conjunto de los sistemas de recomendación existentes, emplea las ontologías como sistema de almacenamiento y que facilita la inferencia. Studer (1998) define ontología como:

Especificación formal y explícita de una conceptualización compartida.

En otras palabras, una ontología permite la representación de entidades (conceptos, propiedades, etc.) y restricciones en un modelo abstracto, procesable por una máquina y cuyo conocimiento debe ser consensuado.

1.2. Objetivos del trabajo

Gracias a un diseño apropiado de las competencias asociadas a las actividades de una materia a enseñar/aprender, el aprendizaje de las mismas puede adquirir más rigurosidad y objetividad. A través del estado de las competencias y de las rúbricas es posible evaluar la progresión del estudiante en la experiencia de aprendizaje.

A partir de esta premisa surge la meta final de este trabajo. Esta meta es:

Desarrollar un sistema de recomendación basado en competencias y rúbricas. Este sistema ofrecerá recomendaciones de grano fino basadas en el estado de las competencias y de grano grueso basadas en la valoración de las rúbricas. El proceso se llevará a cabo mediante una red modular de ontologías que posibilite el almacenamiento y la inferencia de la información.

Esta meta ha sido descompuesta en diversos objetivos específicos descritos en la Sección 4.2 y enunciados a continuación:

- Desarrollar un Modelo del Estudiante flexible que permita expresar un amplio rango de información acerca del proceso de aprendizaje.
- Desarrollar un Modelo del Estudiante conforme a estándares y/o recursos de reconocido prestigio para facilitar su reutilización y facilidad de aprendizaje.
- Desarrollar un prototipo de sistema de recomendación flexible y fácilmente adaptable a diferentes entornos, tales como EVIEs, MOOCs o LMS y dominios.
- Desarrollar un prototipo de sistema de recomendación centrado en las competencias que ofrezca recomendaciones de diferente nivel de granularidad.

¹<http://edglossary.org/learning-experience/>

En la Sección 4.2 se describen, además de los objetivos, otros aspectos clave como la motivación, requisitos, supuestos, hipótesis, planteamiento de la solución y restricciones.

1.3. Estructura del trabajo

Esta tesis doctoral ha sido organizada en diferentes capítulos y secciones que serán explicados a continuación. Esta estructura puede apreciarse en la Figura 1.1.



Figura 1.1: Estructura del documento.

El primer capítulo presenta la introducción de este trabajo. En él se indica, en primer lugar, una descripción general del contexto en el que se enmarca el trabajo y la motivación por la que se desarrolla el proyecto. En segundo lugar, se pretende ofrecer una idea detallada de la meta de este trabajo a través de los objetivos del proyecto. En último lugar, se indica cómo ha sido estructurado este trabajo. El segundo capítulo comprende los fundamentos teóricos necesarios para el buen entendimiento de la línea de investigación realizada en la tesis. Estos aspectos incluyen el marco teórico referente al diseño instruccional (DI), la ingeniería ontológica y los sistemas de recomendación. Es importante destacar que se tendrán en cuenta principalmente los fundamentos teóricos relacionados con el aprendizaje. El tercer capítulo abarca el estado del arte, es decir, el estudio de las propuestas interesantes planteadas en las áreas afines, con el objetivo de aprovechar los conocimientos de otros investigadores y de especificar los aspectos novedosos que podrán ofrecerse en los proyectos futuros desarrollados a partir de este estudio. El estado del arte se encuentra estructurado en diferentes secciones donde se estudiarán los modelos de competencias más populares, las rúbricas para la evaluación de competencias y los sistemas de recomendación relacionados con el aprendizaje y con las competencias. Finalmente, en una nueva sección, se expondrán los resultados obtenidos en este análisis. El cuarto capítulo ofrece el planteamiento del problema y los supuestos de este trabajo. En este capítulo se describe la motivación, los objetivos o metas que tratarán de alcanzarse con la realización del trabajo, los requisitos necesarios que debe cumplir la solución propuesta, los supuestos o

premisas que se van a asumir desde el inicio del trabajo, las hipótesis que se pretenden evaluar y el planteamiento de la solución, incluyendo las decisiones que se han tomado, las tareas a realizar, así como las restricciones o aspectos que no serán tenidos en cuenta en este trabajo. El quinto capítulo detalla la aportación propuesta. Esto incluye la arquitectura y el funcionamiento básico, la descripción de las metodologías, la reingeniería de las ontologías realizada, el diseño del sistema, la implementación del prototipo y las pruebas del sistema. El sexto capítulo expone la información sobre la experimentación y los resultados. En él, se definirán los experimentos realizados y se ofrecerá el análisis de los mismos. En el séptimo capítulo se detallarán las conclusiones que han sido obtenidas a lo largo de este trabajo. En el octavo capítulo se describen las posibles líneas de trabajo futuro que pueden abordarse tras las aportaciones presentadas en la línea de investigación de la presente tesis. Finalmente, se especificarán los anexos del trabajo y la bibliografía consultada a partir de la cual se ha desarrollado este documento.

A lo largo de este capítulo se presentan las bases teóricas y tecnológicas en las que se fundamenta la herramienta de recomendación propuesta. Mediante esta sección se pretende dar un soporte teórico de los conceptos clave relacionados con este trabajo. En primer lugar, se describen el concepto de diseño instruccional, los lenguajes EML más importantes y se profundiza en los conceptos de competencias e instrumentos de evaluación, en los que se centrará gran parte de este trabajo. En segundo lugar, las principales características de la ingeniería ontológica son detalladas incluyendo componentes, lenguajes, metodologías, herramientas y motores de inferencia. En último lugar, se presentan los diferentes tipos de sistemas de recomendación: basados en contenido, filtrado colaborativo, conocimiento, híbridos y otros menos frecuentes.

2.1. Diseño instruccional

El diseño instruccional (o *learning design* en inglés) describe el método que permite a los estudiantes alcanzar los objetivos de aprendizaje deseados después de llevar a cabo un conjunto de experiencias de aprendizaje utilizando los recursos existentes en un entorno ([Amorim et al., 2006](#)). Este concepto ha ganado popularidad en los últimos años con el auge de la red de redes y a partir de él, han surgido nuevas formas de aprendizaje, estándares, herramientas educativas, aplicaciones o especificaciones.

Las especificaciones para el diseño instruccional reciben el nombre de lenguajes de modelado educacional (EML por sus siglas en inglés). Su objetivo es el desarrollo de modelos de información que posibiliten la organización y el modelado de unidades de aprendizaje desde un punto de vista pedagógico, incluyendo elementos como los objetivos o las experiencias de aprendizaje. A continuación, se describen los EMLs más importantes que han surgido en el siglo XXI.

2.1.1. Especificaciones de diseño instruccional

A principios de siglo, Artacho y Maíllo desarrollan PALO, un EML consolidado para describir y diseñar contenido y entornos de aprendizaje ([Rodríguez-Artacho et al., 2004](#)). Este enfoque proporciona a los usuarios una fácil interoperabilidad, mantenimiento y reusabilidad gracias a la representación de los recursos independiente de la tecnología. PALO se compone de cinco niveles de entornos de aprendizaje de acuerdo al propósito educativo, logística y aspectos estructurales y de definición de la actividad. El *nivel de contenido* es responsable de describir los elementos educativos teniendo en cuenta la reusabilidad, granularidad y mecanismos de referencia. El *nivel de tarea* representa elementos básicos educativos para permitir el aprendizaje del estudiante, evaluación e interacción con el profesor. El *nivel estructural* implica la organización y composición de contenido y tareas. El *nivel de planificación* abarca la organización temporal y las dependencias previas para llevar a cabo una actividad. Finalmente, el *nivel de gestión* incluye el control de la información relacionado con los accesos y actividades desarrolladas (véase Figura 2.1). PALO es considerado uno de los EMLs más importantes y, en consecuencia, se observa su influencia en otras propuestas más recientes ([Barros and Verdejo, 2016](#)).

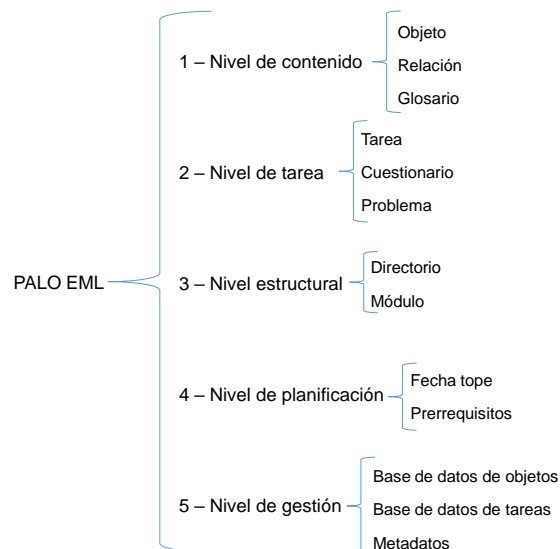


Figura 2.1: Esquema del lenguaje PALO.

Más tarde, Koper y Manderveld desarrollaron una especificación educativa de unidades de aprendizaje. Este trabajo proporciona flexibilidad en la creación de diferentes tipos de objetos de aprendizaje para apoyar nuevos paradigmas de enseñanza/aprendizaje (Koper and Manderveld, 2004). Se basa en un meta-modelo ampliamente extendido que ha influido en la mayoría de EMLs posteriores (véase Figura 2.2). En esta propuesta se identifican los siguientes axiomas: (i) una persona aprende actuando con el entorno; (ii) aprender significa que el estudiante es capaz de realizar más rápido actividades en entornos similares o que es capaz de llevar a cabo actividades en nuevos entornos; (iii) el entorno está compuesto de objetos y seres vivos específicamente interrelacionados; (iv) una persona puede ser animada a llevar a cabo actividades si existe la motivación, circunstancias personales, contexto y entorno adecuados; y (v) estos axiomas son igualmente válidos si se aplican a grupos. Esta especificación detalla la importancia de los roles, objetivos de aprendizaje, prerrequisitos, entornos, actividades, estructura de actividades, actuación, condiciones, etc.

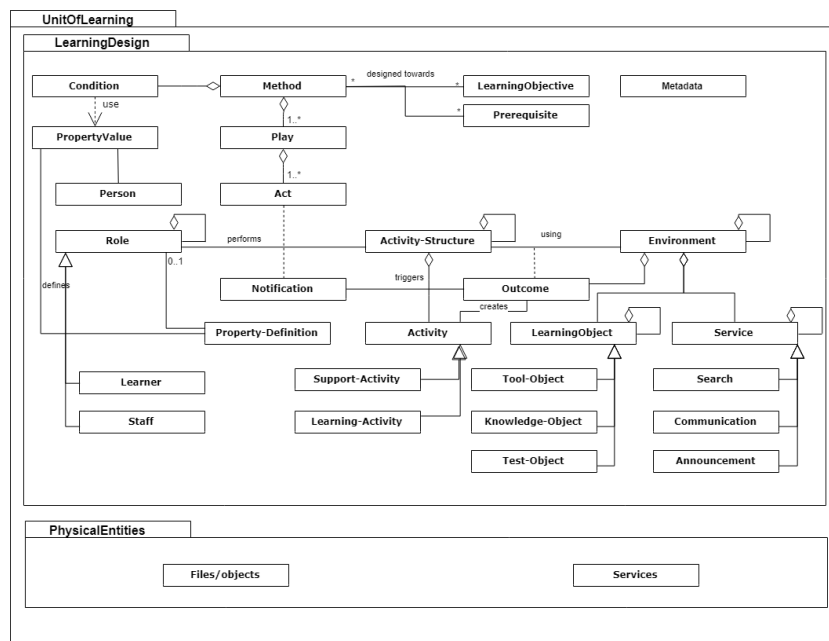


Figura 2.2: Modelo conceptual expresado en UML. Extraído de (Koper and Manderveld, 2004).

Koper y colegas también desarrollaron otra propuesta conocida como IMS Learning Design (IMS LD) que evoluciona de la especificación previamente descrita, en un intento de integrarla con otras especificaciones del IMS (Koper and Olivier, 2004). La propuesta incorpora tres niveles diferentes: (i) el *Nivel A* incluye objetivos de aprendizaje, roles, actividades, estructura de actividad, entornos, recursos y métodos; (ii) el *Nivel B* permite la inclusión de condiciones y propiedades; (iii) el *Nivel C* proporciona la capacidad de notificación (véase Figura 2.3). Esta especificación es un estándar de facto para la representación de cualquier diseño de aprendizaje permitiendo una gran cantidad de técnicas pedagógicas. El IMS LD ha sido aplicado a muchas propuestas educativas durante la última década. Entre las propuestas más importantes, deben resaltarse el desarrollo de un *framework* que facilita la integración de componentes software en IMS LD (Magnisalis et al., 2011) o el desarrollo del editor LPCEL que proporciona un amplio nivel de expresividad para los modelos basados en IMS LD (Torres et al., 2014).

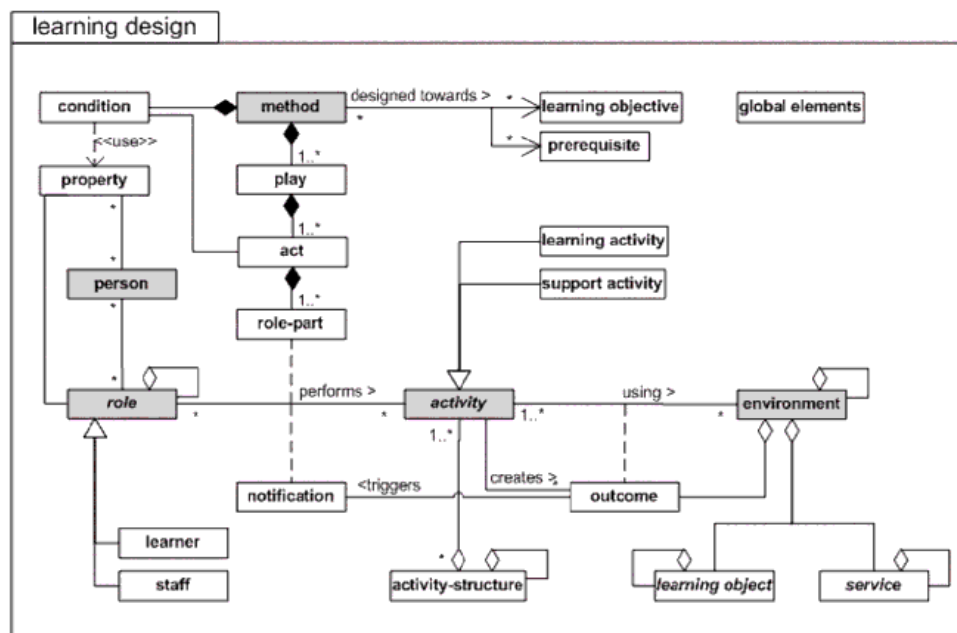


Figura 2.3: Modelo conceptual de IMS LD. Extraído de https://www.imsglobal.org/learningdesign/ldv1p0/imslld_infv1p0.html.

Otra propuesta que especifica un meta-modelo para formalizar actividades enfatizando aquellas estrechamente relacionadas con plataformas *e-learning*, surgió en 2006 para facilitar el modelado de situaciones de aprendizaje colaborativas (Martel et al., 2006). Esta propuesta difiere de otras especificaciones puesto que, en este trabajo, las actividades pedagógicas no pueden ser divididas en una sucesión de tareas que llevar a cabo. Además, incluye el concepto de escenario como la especificación de una actividad de aprendizaje, es decir, los escenarios especifican las *preguntas wh* relacionadas con una actividad. Cada escenario proporciona a los estudiantes e instructores recursos, herramientas, servicios o instrumentos para desempeñar o evaluar una actividad. Esta especificación está compuesta de las siguientes entidades además de los escenarios: la entidad *Activity Structure* organiza la progresión de interacciones entre los participantes; la entidad *Participant Interaction* representa el intercambio entre los participantes durante el proceso de adquisición de conocimiento; la entidad *Participation Roles* involucra a los estudiantes, instructores, tutores, etc.; la entidad *Activity Arena* define el lugar donde la actividad es desempeñada; el concepto *Rules* describe las precondiciones y condiciones finales de una actividad; la entidad *Position* muestra la reacción y percepción de los participantes con respecto a una actividad; la entidad *Observables* representa la traza de los estudiantes a lo largo de una actividad (véase Figura 2.4).

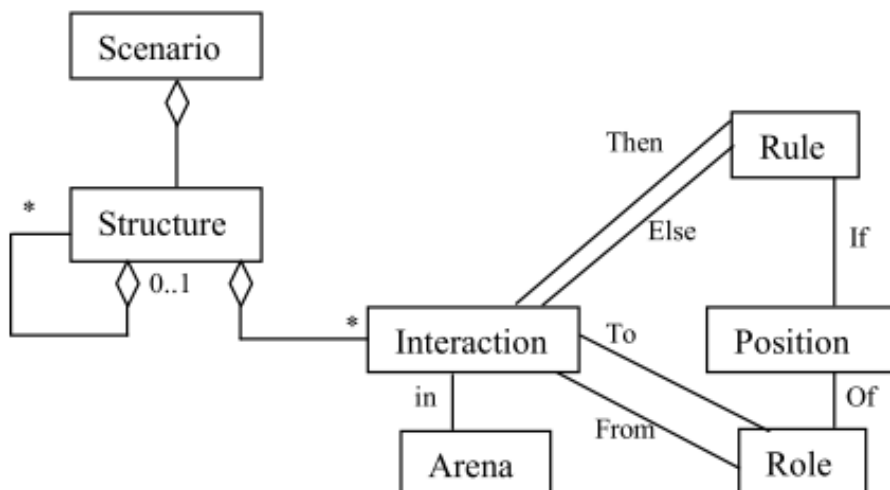


Figura 2.4: Representación UML de LDL. Extraído de (Martel et al., 2006).

Caeiro y colegas desarrollaron un EML orientado a perspectivas (poEML por sus siglas en inglés) como un método de apoyo para el modelado de unidades de aprendizaje (Caeiro et al., 2014). Este EML está basado en los principios de separación de asuntos (divide y vencerás) y en la teoría de actividad que relaciona las actividades con el entorno. Los autores identifican trece perspectivas que pueden ser modeladas usando poEML (*estructural, funcional, participante, entorno, información, herramientas, organización, autorización, consciencia, interacción, orden, temporal y causa*). Esta información queda ilustrada en la Figura 2.5.

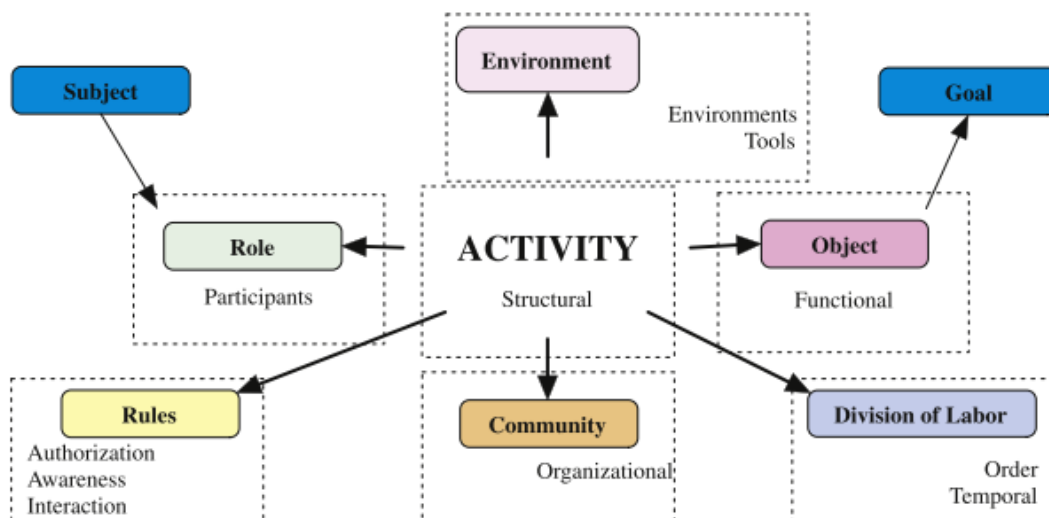


Figura 2.5: Perspectivas recogidas en poEML. Extraído de (Caeiro et al., 2014).

El último trabajo revisado relacionado con EMLs fue desarrollado dentro del proyecto de investigación CAUSA. Está considerado como un *framework* conceptual que permite (i) estructurar los escenarios de aprendizaje a través de un entorno gráfico, (ii) reutilizar y (iii) compartir prácticas. El modelo crea escenarios adaptables, instanciables, apropiados y comprensibles por los instructores (véase Figura 2.6). En este trabajo se considera que su propuesta es complementaria a los EMLs puesto que proporciona métodos y herramientas que facilitan la actividad de diseño de tareas. El modelo está siendo utilizado actualmente en el sistema educativo de secundaria francés (Emin and Pernin, 2015).

Figura 2.6: Fragmento de ScenEdit. Extraído de (Emin and Pernin, 2015).

A continuación se resumen, en la Tabla 2.1, las principales características de todos los EML analizados. Estas características hacen referencia a la aplicación sobre el aprendizaje, a la estructura de la propuesta, a las posibilidades de personalización y a la información del contexto extraíble a partir de este EML, respectivamente.

Tabla 2.1: Características de los EML revisados.

EML	Aplicación de aprendizaje	Estructura	Personalización	Contexto
PALO (2004)	<i>Framework</i> basado en el diseño instruccional.	Contenido, estructura, actividad, secuencia y gestión.	Define entidades y relaciones para proporcionar flexibilidad.	Información como prerequisites u organización.
EML (2004)	Especificación que define los conceptos reales.	Esquema XML que define los elementos como actividades o roles.	Un sistema adaptado conforme a las características del estudiante.	Información relacionada con el entorno (objetos o servicios).
IMS LD ONT (2006)	Modelado ontológico basado en la especificación IMS LD.	Ontología que proporciona un modelo con propiedades generales.	Tres niveles de diseño de acuerdo con las necesidades reales.	Desempeño en el acto cuando se informa sobre el papel de la función.
Ldl (2006)	Meta-modelo de actividades basado en escenarios de aprendizaje.	Aproximación centrada en el profesor (escenarios, reglas, etc.).	Pre y post condiciones para adaptar las reacciones.	Lugar, servicios y contenidos de las actividades.
PoEML (2014)	Lenguaje que separa la información en perspectivas.	Aproximación centrada en el estudiante (objetivos, roles, etc.).	Información en segundo plano (casos y pistas).	Trece perspectivas basadas en unidades de aprendizaje.
CAUSA (2015)	Escenarios de aprendizaje y módulos.	Escenarios = roles + actividades + servicios + recursos.	Los escenarios son diseñados según las necesidades reales.	Indicadores como estrategia pedagógica.

2.1.2. Competencias

Uno de los conceptos clave que se tratan a lo largo de este trabajo es el de competencias. Aunque la idea detrás de este concepto es razonablemente sencilla, en la literatura se han propuesto diferentes definiciones con el transcurso de los años. A continuación se procede a analizar las definiciones más relevantes sobre competencias.

El término de competencias fue propuesto inicialmente por David McClelland (1973), uno de los psicólogos americanos más populares del siglo XX quien lo definió como:

El conocimiento, habilidades, rasgos, aptitudes, conceptos de uno mismo, valores o motivos directamente relacionados con el rendimiento de trabajo o resultados importantes de la vida y que permiten diferenciar una ejecución de calidad de una ejecución estándar.

A pesar de que en esta definición original ya se puede vislumbrar el término como lo conocemos hoy en día, la definición resulta demasiado compleja y específica. Por este motivo, este concepto ha ido matizándose a lo largo de los años. De este modo, el doctor Boyatzis ofrece una década más tarde una definición genérica sobre el mismo (1982). Boyatzis define competencia como:

Una característica o combinación de características que ayudan a una persona a alcanzar un buen nivel de rendimiento en un trabajo.

Si la definición de McClelland era demasiado compleja y específica, la ofrecida por Boyatzis simplifica y generaliza en exceso la definición. En el año 2002, el estándar IMS-RDCEO ofrece una definición intermedia sobre este concepto en la que se especifican los elementos que forman las competencias (IMS-Global, 2002). En este sentido, el estándar IMS-RDCEO define competencia como:

Combinación de conocimiento, habilidades, tareas y resultados de aprendizaje.

Otra definición del término competencia bastante popular es la ofrecida en el proyecto Tuning. Este proyecto originado en Europa en el año 2000, trató de unificar criterios en la educación europea. En el año 2005, los integrantes del proyecto Tuning, González y Wagenaar (2005), definen competencia como:

Una combinación dinámica de conocimiento, comprensión, capacidades y habilidades.

Otra definición de competencia relevante ha sido ofrecida por el doctor Gilbert Paquette (2007). Este político y profesor considera que este término combina los elementos de conocimiento, habilidad y desempeño. Así pues, él define competencia del siguiente modo:

Competencia es la combinación de conocimiento (conceptual, procedural o estratégico), habilidad (capacidad para usar las habilidades y el conocimiento adquirido en nuevas situaciones o contextos) y desempeño (nivel de maestría de una competencia).

A través de todas estas definiciones se pueden identificar conceptos clave relacionados con las competencias como *conocimiento, habilidades o capacidades*. Con la finalidad de ofrecer una definición lo más formal y completa posible, se procede a definir también estos términos. Según el diccionario de Oxford, el término **conocimiento** hace referencia al *conjunto de habilidades, información o realidades que son adquiridas a través de la educación o experiencia*. Asimismo, la **habilidad** se considera la *aptitud innata, talento, destreza o capacidad que ostenta una persona para llevar a cabo y por supuesto con éxito, una determinada actividad, trabajo u*

oficio. La **actitud** se define como la *capacidad y buena disposición que una persona ostenta para desempeñar una determinada tarea*. Se denomina **capacidad** al *conjunto de recursos y aptitudes que tiene un individuo para desempeñar una determinada tarea*. Finalmente, el Marco Europeo de Cualificaciones para el aprendizaje permanente (EQF por sus siglas en inglés) define **resultados de aprendizaje** en términos de *conocimientos, destrezas y competencias*.

Si bien es cierto que estas definiciones representan correctamente, en su conjunto, el término competencia, a nuestro juicio, estas definiciones son solo parcialmente completas puesto que en ningún momento hacen referencia a su posible evolución con el transcurso del tiempo o en otros contextos. Tras este breve análisis acerca del término competencia desde sus inicios hasta la actualidad, considerando las definiciones más prestigiosas, se procede a ofrecer la definición que será tomada en cuenta a lo largo de este trabajo.

Una competencia es, en definitiva, la combinación de conocimiento, habilidad y desempeño que demuestra una persona en un instante y contexto determinado.

Para explicar la aportación ofrecida en este trabajo acerca de esta definición se especifican a continuación algunos ejemplos. El primero de ellos tratará de explicar que el contexto influye en las competencias y por tanto debe ser tenido en cuenta en su especificación. El segundo intenta demostrar la importancia temporal en la adquisición de competencias observando que estas pueden variar positiva o negativamente con el transcurso del tiempo.

Suponga por ejemplo que Roberto es un conductor de autobuses español con más de diez años de experiencia. Probablemente, dada su experiencia, Roberto tendrá un desempeño alto en la habilidad de conducir autobuses. Esto incluye conocimientos como saber dónde y cómo deben ser aparcados, comprender las señales de tráfico o cómo se reposta carburante. Si ahora Roberto decide irse a un país como Inglaterra o Australia a trabajar donde se conduce por la izquierda en lugar de por la derecha, como en España, es posible que su desempeño en esta competencia pueda verse reducido al tener que enfrentarse a una situación novedosa. En este nuevo país también puede verse mermada su capacidad para ofrecer información a los pasajeros tanto por el idioma como por el desconocimiento de lugares emblemáticos de la ciudad. El nivel de desempeño en un fragmento de las competencias asociadas a Roberto es mostrado en la [Tabla 2.2](#).

Tabla 2.2: Variación del nivel de desempeño en las competencias del conductor del autobús al modificar el país de trabajo.

Competencia	Desempeño Inicial	Desempeño Final
Capacidad para ser puntual.	Alto	Alto
Capaz de dar información.	Alto	Estándar
Dispuesto a trabajar por las noches.	Alto	Alto
Habilidad para conducir.	Alto	Estándar
Permiso de conducir completo.	Alto	Alto
Trabaja solo.	Alto	Alto

Una vez analizado Roberto, imagínese ahora a María, una estudiante de instituto que debe realizar una prueba escrita sobre las ideas del filósofo Platón. María, al igual que muchos compañeros decide aprenderse de memoria la lección y demuestra en el examen los conocimientos acerca de este autor. Una semana más tarde, el profesor de María, en un experimento de investigación, decide volver a realizar, esta vez sin avisar a los estudiantes, exactamente el mismo examen para el que se prepararon los estudiantes una semana antes. Para su sorpresa,

María y muchos otros estudiantes demuestran un menor nivel de conocimiento. Con este simple experimento, el profesor comprueba que el nivel de desempeño demostrado por los estudiantes hace una semana es ahora menor, por lo que verifica que existe un factor temporal que debe ser tenido en cuenta con respecto a las competencias. La Tabla 2.3 muestra un fragmento de la variación del nivel de desempeño de María tras la realización de las dos pruebas escritas.

Tabla 2.3: Variación del nivel de desempeño en las competencias de la estudiante con el transcurso del tiempo.

Competencia	Desempeño Inicial	Desempeño Final
Capacidad de análisis y síntesis.	Alto	Alto
Capacidad de razonamiento crítico.	Estándar	Estándar
Destreza para relacionar la perspectiva histórica, sistemática, teórica y práctica de los problemas filosóficos.	Alto	Bajo
Capacidad de comprender las diversas concepciones filosóficas y de argumentar sobre ellas.	Estándar	Bajo

A través de estos dos ejemplos queda patente la importancia que tienen los factores contextuales y temporales en la evaluación por competencias. En cuanto a los factores se refiere, Paquette propone cinco criterios a tener en cuenta: la frecuencia con la que se alcanza una competencia (en algún caso o en todos), autonomía (con o sin ayuda), contexto (familiar o desconocido), alcance (total o parcial) y complejidad (débil, media o alta). Desde nuestro punto de vista, los criterios son adecuados ya que establecen propiedades de las competencias que influyen en su alcance. Sin embargo, los niveles son demasiado restrictivos considerando de la misma forma a una persona que ha alcanzado la competencia solo una vez que al que la ha conseguido todas las veces menos una, o al que lo ha hecho de manera completamente guiada y al que solo ha necesitado una ligera ayuda puntual. Por este motivo, se estudiarán a lo largo de este trabajo las alternativas para realizar ponderaciones más ajustadas a la realidad.

Con anterioridad a la realización de este estudio, conviene comprender las diferencias entre el término competencia y otros conceptos cercanos como objetivo o resultado de aprendizaje. Estos términos son muchas veces empleados como sinónimo dando lugar a confusiones y dificultando la comprensión de las materias por parte de los estudiantes. Por este motivo, se ha decidido explicar las diferencias entre estos conceptos (competencia, objetivo de aprendizaje y resultado de aprendizaje) en el siguiente apartado.

2.1.2.1. Diferencias entre competencia, objetivo y resultado de aprendizaje

El término competencia es a menudo confundido con el de objetivo o resultado de aprendizaje. Con la finalidad de ofrecer una visión más general, se procede a ofrecer una breve definición tanto de objetivo como de resultado de aprendizaje antes de pormenorizar las diferencias de los tres conceptos. La Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA, 2009) define objetivo de aprendizaje como:

Declaraciones generales que indican los contenidos fundamentales, el enfoque, la dirección y los propósitos que hay detrás de la asignatura o el programa, desde el punto de vista del profesor.

Por su parte, el término resultado de aprendizaje puede definirse como una sentencia específica clara y concisa que describe con exactitud lo que el alumno sabe o puede hacer como resultado del proceso de aprendizaje (Otter, 1992).

A la hora de comparar los conceptos de competencia, objetivo y resultado de aprendizaje, es necesario contrastar diferentes aspectos. El primer aspecto a tener en cuenta sobre estos conceptos es el ámbito de aplicación. Mientras que los objetivos y los resultados de aprendizaje son propios del proceso de aprendizaje, las competencias pueden ser aplicadas a otros entornos como el laboral. El segundo aspecto a destacar está relacionado con el nivel de aplicación, puesto que las competencias y objetivos se definen, generalmente, a alto nivel mientras que los resultados de aprendizaje son más específicos. El último aspecto a resaltar indica el usuario destino. En este aspecto, las competencias y resultados de aprendizaje van dirigidos al alumno mientras que los objetivos se enfocan desde el punto de vista del profesor (véase Tabla 2.4).

Tabla 2.4: Características de competencias, objetivos y resultados de aprendizaje.

Característica	Competencia	Objetivo de aprendizaje	Resultado de aprendizaje
Ámbito de aplicación	Educativo. Profesional ...	Educativo.	Educativo.
Nivel de aplicación	General. Específico.	General. Específico.	Específico.
Dirigido a	Estudiante.	Profesor.	Estudiante.
Ejemplo	- Aplicar los conocimientos sobre estilos de natación en la piscina.	- Presentar a los estudiantes las características de los diferentes estilos de natación existentes.	- Aplicar el estilo de espalda para recorrer 50 metros en una piscina en menos de 50 segundos. - Aplicar el estilo de braza para recorrer 50 metros en una piscina en menos de 60 segundos.

Tras esta breve explicación acerca de las diferencias entre estos tres conceptos relativos al aprendizaje, volveremos a focalizar la atención en el término competencia en el que se centra este trabajo. En esta ocasión se ofrecen las clasificaciones más relevantes de las competencias existentes en la actualidad.

2.1.2.2. Clasificación de las competencias

En la actualidad existen diversas clasificaciones de competencias. Una de las más empleadas, es la clasificación de competencias basadas en el proyecto Tuning (véase Figura 2.7). Esta clasificación fue desarrollada para el actual sistema universitario de la Unión Europea y divide las competencias en genéricas y específicas profundizando sobre las primeras. Posteriormente, clasifica las competencias genéricas como instrumentales (relacionadas con lo cognoscitivo, tecnológico, lingüístico, etc.), interpersonales (destrezas sociales y capacidades de expresión) y sistémicas (aplicadas a un sistema como totalidad).

En la Figura 2.7 es posible apreciar un último nivel donde se definieron hasta 30 competencias genéricas clasificadas dentro de su correspondiente nivel (instrumental, interpersonal o sistémica). Estas 30 competencias, además de ser genéricas, son de alto nivel, es decir, podrían dividirse a su vez en otras competencias hasta ser consideradas competencias específicas. Por ejemplo, la competencia genérica “habilidades básicas de manejo del ordenador” puede concretarse paulatinamente hasta especificar cuáles son esas habilidades (manejo de procesadores de texto, búsqueda de información a través de Internet, diseño y desarrollo de una presentación con herramientas basadas en diapositivas, etc.). De este modo, es posible concretar las cualidades

de una persona y centrar su aprendizaje en la adquisición de nuevas habilidades o conocimientos o en la mejora de alguna de las cualidades que ya disponga. Siguiendo con el mismo ejemplo, mediante esta técnica es posible clasificar a las personas por su manejo en un procesador de texto ofreciéndoles actividades que se ajusten a su nivel de conocimientos.



Figura 2.7: Clasificación de competencias del proyecto Tuning (González and Wagenaar, 2005).

Otra clasificación de competencias bastante popular, sobre todo en el ámbito laboral, es la clasificación de competencias basadas en el modelo del Iceberg de Spencer y Spencer (1993). Este modelo afirma que, mientras las destrezas, habilidades y conocimientos (competencias superficiales) se encuentran en una capa superior y visible, es decir, pueden ser observados, los conceptos de uno mismo, las actitudes y valores y, sobre todo, los rasgos de personalidad se encuentran ocultos para el resto de personas en capas inferiores (véase Figura 2.8). Este segundo grupo de competencias (competencias centrales) es más difícil de detectar y desarrollar por lo que son las preferidas por los equipos de recursos humanos.

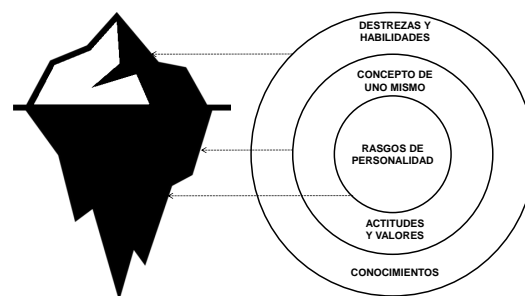


Figura 2.8: Clasificación de competencias según el modelo de iceberg de Spencer (Spencer and Spencer, 1993).

Los autores proponen una implementación de un sistema de gestión por competencias donde inicialmente se definen los niveles para el cumplimiento de la competencia (alto, bueno, estándar, insatisfactorio) y, posteriormente, se analizan los niveles de desempeño de cada competencia para cada persona.

Los mismos autores proponen el denominado modelo Genérico de Gerente (véase Figura 2.9). A través del cual, indican que existe un grupo de características comunes entre los gerentes de todo tipo. En este modelo se identifican doce grandes categorías de competencias a partir de 36 modelos de gerente que pueden subdividirse en otras más específicas. Por ejemplo, la competencia denominada “impacto e influencia” muestra evidencia acerca de la intención de una persona de persuadir, influir, convencer o impresionar al resto con el fin de lograr su apoyo en unos intereses concretos.

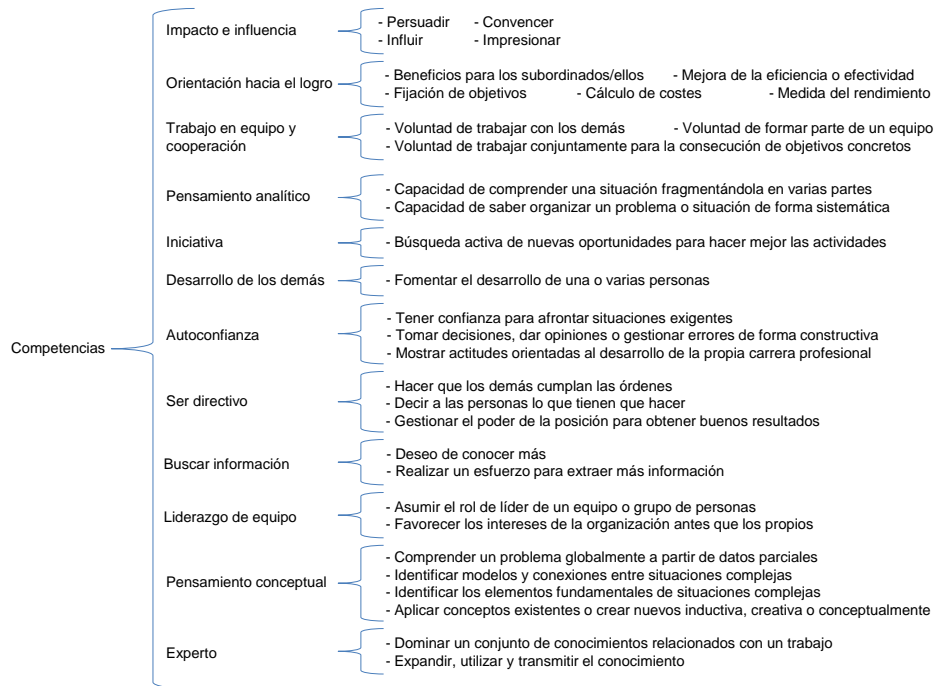


Figura 2.9: Modelo genérico de gerente (Spencer and Spencer, 1993).

Además de la competencia de impacto e influencia, los autores identifican once más. La competencia de “Orientación hacia el logro” trata de fijar unos objetivos ya sea para abaratar costes, mejorar la eficiencia o el rendimiento u obtener unos beneficios para los subordinados o para ellos mismos. La competencia de “Trabajo en equipo y cooperación” implica la voluntad de trabajar con los demás para conseguir unos objetivos concretos. La competencia de “Pensamiento analítico” muestra la capacidad de analizar una situación compleja para determinar las prioridades, causas o efectos de una situación concreta. La competencia de “Iniciativa” consiste en la búsqueda de nuevas oportunidades. El “Desarrollo de los demás” es una competencia para fomentar el desarrollo de otras personas. La “Autoconfianza” permite afrontar situaciones exigentes, gestionar los errores de forma constructiva o mostrar actitudes orientadas al desarrollo de la carrera profesional. La competencia “Ser directivo” busca la gestión del poder de la posición para indicar a los demás las tareas que deben hacer y obtener buenos resultados. La competencia de “Búsqueda de la información” implica el deseo de querer conocer más y un esfuerzo para extraer la información. El “Liderazgo de equipo” es una competencia en la que se debe asumir el rol de líder y favorecer los intereses de la organización antes que los propios. La competencia de “Pensamiento conceptual” implica la capacidad de comprender una situación global a partir de varios fragmentos sueltos. Finalmente, la competencia “Experto” implica el dominio de un conjunto de conocimientos así como el deseo de expandir ese conocimiento.

Estrechamente relacionado con este apartado, el estudio de los modelos de competencias ha sido incluido en el capítulo del estado del arte de este trabajo (véase Sección 3.2).

2.1.2.3. Modelado de las competencias

Con respecto a los estándares y especificaciones que describen el modelado de competencias, se ha llevado a cabo un análisis resumido a continuación. El modelo de datos de IMS RDCEO es una propuesta minimalista y extensible que permite la especificación de competencias u objetivos educativos. Cada competencia en este modelo de datos es representada por un identificador, un título, una descripción y una definición (Cooper and Ostin, 2002). HR-XML¹ incluye, además de etiquetas similares a las de IMS RDCEO, la evidencia (por ejemplo, resultados de test o certificados) y el peso de los elementos para establecer un valor numérico a cada competencia.

IMS RCD es la evolución de la propuesta IMS RDCEO y se enfoca en proporcionar un modelo de datos para la definición y descripción de competencias para entornos e-learning (IEEE-Learning-Technology-Standards-Committee, 2008). El *European Qualification Framework* (EQF)² transforma la calificación de diferentes países en una calificación europea única con la intención de ayudar a la comunicación y comparación entre sistemas de calificación en Europa. Este *framework* distingue ocho niveles de referencia comunes que describen resultados de aprendizaje desde conocimientos básicos o habilidades obtenidas en los niveles educativos pre-vocacionales hasta los conocimientos o habilidades más avanzadas adquiridas en los niveles de educación terciaria o superior. El *European e-Competence Framework*³ (e-CF) es un estándar europeo que proporciona 40 competencias acerca de las tecnologías de información y comunicaciones (TIC). Este *framework* proporciona a los usuarios un lenguaje común para describir las competencias según cinco niveles. Las competencias en e-CF se clasifican en las áreas *plan, build, run, enable* y *manage*.

Sitthisak et al. desarrollan el modelo Comba, que pretende modelar el conocimiento del aprendizaje en una materia de contenido. Este modelo fue construido sobre muchos componentes. Sin embargo, la capacidad, actitud y materia eran las más interesantes para la evaluación de competencias del estudiante. El modelo diferencia dos construcciones: entidades, es decir, cosas que tienen existencia física, y relaciones que enlazan entidades. Además, usa los componentes *competency, task, goal, action* y *resource* para definir las competencias. El modelo *Competency Based Knowledge Space Theory* (CbKST) tiene como objetivo evaluar las habilidades latentes a partir de los problemas que el estudiante era capaz de resolver (Albert et al., 2012). Está basado en relaciones de precedencia (estructuras de competencia que usan relaciones de prerrequisitos), estado de competencia (resultado de conectar competencias únicas) y estructura de competencia (nivel de competencia actual y siguientes competencias a aprender).

Paquette (2007) propone el *framework Modelling with Object Types* (MOT) para la auto-gestión de competencias. Se basa en los componentes de conocimiento, habilidad y desempeño. El conocimiento representa los conceptos de categoría, procedimiento o principios. La habilidad es definida mediante una escala de 10 niveles que va desde prestar atención hasta auto-control. Finalmente, el desempeño usa una escala de cuatro niveles desde consciencia a experto.

En relación con la evaluación, la mayoría de los autores distinguen diferentes tipos de acuerdo con el momento en el que esta es llevada a cabo. La evaluación de diagnóstico tiene el propósito de determinar, de manera previa a la instrucción, los conocimientos, habilidades, fortalezas y debilidades de cada estudiante. La evaluación formativa ocurre durante el proceso de instrucción con el objetivo de identificar las necesidades de aprendizaje y ajustar la enseñanza. El tipo de evaluación responsable para medir el nivel de desempeño del estudiante al final de la instrucción es conocido como sumativo. Además, en algunos trabajos (Reynolds et al., 2009; Idrissi et al.,

¹<http://hropenstandards.org>

²https://ec.europa.eu/ploteus/search/site?f%5b0%5D=im_field_entity_type%3A97

³<http://www.ecompetences.eu>

2017) otras clases de evaluación son mencionadas como las normativas (compara el desempeño de los estudiantes), basadas en criterios (mide el desempeño del estudiante con respecto a un objetivo) o las basadas en competencias (miden el nivel de competencia de un estudiante con respecto a un estándar de desempeño). Por ejemplo, Paquette (2016) usa la evaluación basada en criterios para medir el progreso en la adquisición de competencias a lo largo del proceso de aprendizaje. En esta propuesta, el autor especifica los criterios de *complexity*, *scope*, *context*, *frequency* y *autonomy* para evaluar el nivel de desempeño de una competencia. Con este objetivo en mente, los instructores primero definen de manera precisa los criterios a alcanzar con la competencia y segundo, evalúan el nivel de desempeño del estudiante para cada competencia siguiendo los criterios previamente establecidos.

2.1.2.4. Evaluación de las competencias

A lo largo de este apartado, ya se ha definido el concepto de competencia, se han descrito sus propiedades más interesantes y se han clasificado mediante diferentes modelos. En este subapartado se procede a detallar como puede ser evaluada una competencia. Sin embargo, antes de poder evaluar las competencias deben ser llevados a cabo una serie de pasos (Van der Merwe and Potgieter, 2002) que se describen a continuación:

1. **Fase de planificación.** Una vez se ha decidido que se desea seguir un aprendizaje basado en competencias, es aconsejable dedicar un periodo de tiempo a establecer cuáles son las metas finales de la experiencia de aprendizaje deseada, describir sus características generales (duración, tipo de actividad, recursos necesarios, normas, etc.), identificar las competencias que van a poder ser adquiridas y, en definitiva, detallar todo lo que conlleva la experiencia de aprendizaje.
2. **Fase de establecimiento de competencias.** Tras la fase de planificación, es necesario realizar un análisis más profundo de las competencias identificadas. Primero, estas deben ser específicas, medibles, alcanzables y relevantes en un periodo de tiempo definido. Para que las competencias sean representativas de la experiencia de aprendizaje, estas deben abarcar todos los criterios que deseen ser evaluados en la actividad. En caso contrario, una persona podría adquirir todas las competencias y no superar la actividad. Segundo, se deben facilitar detalles más específicos acerca de las competencias (cuántas veces deben ser adquiridas, nivel de ayuda permitido, etc.). Estos detalles posibilitan la evaluación objetiva y el diseño de los ejercicios propuestos de la siguiente fase.
3. **Fase de desarrollo de los ejercicios de evaluación.** Después de definir las competencias de la experiencia de aprendizaje, se debe analizar cómo van a ser evaluadas. En este punto se analizan las características de las competencias y se diseñan los ejercicios que van a permitir evaluarlas. Es importante que los ejercicios propuestos sean variados y respeten las características definidas de las competencias. Esta fase es mucho más compleja de lo que parece a simple vista puesto que se debe analizar de manera cautelosa cómo van a evaluarse las competencias, cuántas veces deben ser superadas, etc.
4. **Fase de evaluación de las competencias.** Finalmente, se debe proceder a evaluar el nivel de adquisición de las competencias. Para ello, se debe aclarar con anterioridad y entre todos los evaluadores cualquier aspecto conflictivo que pueda provocar una evaluación subjetiva de las competencias. Por ejemplo, ¿cuál es el máximo número de pistas permitidas para considerarse la competencia adquirida?

Es necesario recalcar que, aunque finalmente las competencias se evalúen como alcanzadas o no alcanzadas, existe un proceso intermedio en el que el estudiante puede encontrarse en cualquier punto de la línea de progreso (véase Figura 2.10). De este modo, en las fases intermedias de la actividad se pueden encontrar alumnos que alcanzan las competencias un mayor número de veces, de forma más completa, con menos ayuda, en escenarios más complejos, etc.



Figura 2.10: Progreso de un estudiante en una competencia.

En este punto, debe mencionarse que existen múltiples enfoques para evaluar el nivel de logro de una competencia alcanzada por el estudiante. Por ejemplo, Idrissi et al. (2017) intensifican su investigación en los enfoques de evaluación basados en competencias para sistemas e-learning, como e-Portfolio, basado en simulaciones, basado en proyectos o vídeo grabación. Asimismo, Drisko (2014) identifica medidas que podrían no capturar completamente las competencias como la autoeficacia, las encuestas de autoinforme o las evaluaciones de los cursos. Este autor también propone el uso de test estandarizados compuestos de preguntas de respuesta múltiple, preguntas cortas y preguntas de respuesta abierta para evaluar correctamente el nivel de logro de una competencia. Además, la mayoría de los autores coinciden en la importancia de medir cada competencia múltiples veces y mediante diferentes medios. Frecuentemente, también recomiendan que las actividades se centren en diversos criterios, es decir, un grupo de competencias en lugar de una única competencia, con el fin de aproximarse a situaciones reales (Drisko, 2014). Para evaluar una competencia es necesario determinar quién va a ser el evaluador y cómo va a ser evaluada. En relación con el proceso de evaluación, la persona que evalúa al estudiante puede ser: (1) el mismo estudiante en caso de auto-evaluación, (2) otro estudiante en caso de evaluación por pares o (3) un experto en el resto de los casos. En cualquier caso, los evaluadores deberían haber sido previamente entrenados para realizar una evaluación uniforme y adecuada. Muchas propuestas de aprendizaje basadas en competencias dividen habitualmente cada competencia en múltiples niveles de acuerdo con el grado de logro. Las puntuaciones de corte determinan quién ha dominado la competencia y quién no. Aun así, se debe prestar especial atención a la hora de establecer estas puntuaciones de corte ya que tanto falsos positivos (estudiantes que deberían haber suspendido y aprueban) como falsos negativos (estudiantes que deberían haber aprobado y suspenden) pueden ocurrir fácilmente (Zieky and Perie, 2006).

Independientemente del tipo de evaluación, la UNESCO (2016) sugiere que la evaluación de las competencias específicas plantea un número de preguntas de relevancia (uso de evaluación auténtica o mediante integración de situaciones si es posible), viabilidad (limitación de recursos como el tiempo, dinero o el contexto deben ser tenidos en cuenta), confianza (situaciones de integración son más fiables que las de no integración respecto al conocimiento de los estudiantes pero la corrección de estas situaciones en la que las preguntas abiertas son habituales, es más compleja) y validación (evaluación de recursos en situaciones de la vida real, considerando los recursos principales más interesantes que los secundarios, etc.). Con referencia a la validación, la iniciativa en el modelado y medición de competencias en la educación superior perteneciente al programa de investigación KoKoHs (Leutner et al., 2017) también considera que la validación es de suprema importancia para la evaluación de competencias. En consecuencia, ellos se enfocan en los criterios de validación de contenido de prueba, estructura interna, procesos de respuesta y relaciones con otras variables (Zlatkin-Troitschanskaia et al., 2015). Las barreras producidas por la carencia de criterios de evaluación válidos, es decir, criterios que representan lo que el estudiante es capaz de hacer y que tiene que hacer, como la comunicación estándar de prácticas o dirigir las necesidades de los estudiantes que no cumplan las expectativas son descritas en un estudio *Delphi-survey* (Embo et al., 2017).

2.1.3. Instrumentos de evaluación

Muchos procesos de aprendizaje cuentan con métodos de evaluación que ayudan a valorar si el estudiante ha adquirido los conocimientos y ha alcanzado las competencias asociadas a dicho proceso. Estos métodos deben ser diseñados cuidadosamente puesto que su objetivo principal es determinar lo más objetivamente posible el nivel adquirido por un estudiante en un conjunto de competencias. Habitualmente, los métodos de evaluación se clasifican en directos (evidencias tangibles, observables y medibles que pretenden determinar exactamente lo que el estudiante ha aprendido) o indirectos (percepción de los conocimientos del estudiante basada en información obtenida de elementos como encuestas, entrevistas, etc.).

La ANECA (2009) distingue los siguientes principales métodos de evaluación:

- **Métodos de evaluación directos**

- ◊ **Examen escrito.** Prueba de evaluación donde el estudiante debe responder por escrito a un conjunto de preguntas (1) con corrección subjetiva (*preguntas cortas, desarrollo de un tema*), (2) con corrección objetiva (*ordenación, elección de respuesta, etc.*) con un tiempo y reglas predefinidas (*por ejemplo 30 minutos, sin posibilidad de emplear ningún tipo de recurso.*)
- ◊ **Examen oral.** Prueba de evaluación donde el estudiante debe responder de manera oral a un conjunto de preguntas. Las características de este tipo de prueba son similares a las de un examen escrito.
- ◊ **Examen de tipo test.** Prueba de evaluación donde el estudiante debe elegir, entre los resultados ofrecidos, la respuesta o respuestas correctas a un conjunto de preguntas. Es necesario definir antes de la prueba la duración, penalización, número de intentos, criterios de superación, etc.
- ◊ **Trabajos/ensayos.** Prueba de evaluación donde el estudiante debe entregar uno o varios elementos relacionados con un tema siguiendo una metodología/estructura. Frecuentemente conllevan un proceso de investigación o aprendizaje que permita la profundización de los conocimientos del estudiante en ese ámbito. Estas pruebas suelen definir en el propio enunciado sus características (fecha de entrega, criterios de evaluación, forma de entrega, etc.).
- ◊ **Resolución de problemas.** Prueba de evaluación en la que se propone al estudiante un conjunto de situaciones a resolver y este debe identificar y delimitar el problema a resolver, analizar la información recibida para buscar distintas soluciones, explorar las posibles estrategias a llevar a cabo para la resolución del problema, aplicar la estrategia más adecuada y analizar las consecuencias de aplicar dicha estrategia para el conjunto de problemas.
- ◊ **Portafolio.** Instrumento de evaluación que monitoriza el progreso del alumno a través de una colección de documentos -de cosecha propia- donde debe mostrar sus capacidades, progreso o logros.
- ◊ **Observación directa del desempeño.** A través de esta técnica, el profesor observa el trabajo de los estudiantes mientras estos realizan las distintas actividades.

- ◇ **Elaboración de póster.** Instrumento de evaluación donde se evalúa la capacidad de los estudiantes para sintetizar y estructurar la información en un documento visual que debe ser atractivo.
- ◇ **Estudios de caso.** El empleo de ejemplos reales puede servir para analizar si las decisiones que se han tomado son las correctas, para debatir sobre distintas opciones o para la toma de decisiones.
- ◇ **Informes.** Instrumento de evaluación en el que el estudiante debe realizar un documento escrito formal en el cual se describe un fenómeno observado y su interpretación.
- ◇ **Prácticas de laboratorio.** Instrumento de evaluación empleado donde los alumnos utilizan sus habilidades para el descubrimiento, ampliación o consolidación de los conocimientos teóricos.
- ◇ **Prácticas externas.** Este instrumento consiste en la incorporación del estudiante al mundo laboral donde se le solicitarán tareas reales y este debe resolverlas aplicando las habilidades y competencias previamente adquiridas.
- ◇ **Proyecto.** Instrumento de evaluación donde el estudiante debe resolver una situación compleja desde los primeros pasos (identificación de los problemas) hasta el final (documentación) incluyendo fases de análisis, diseño, desarrollo, validación, etc.
- ◇ **Rúbricas.** Guías objetivas para la evaluación del desempeño de los estudiantes a través de criterios específicos. Mediante el nivel de desempeño de estos criterios es posible identificar los objetivos de aprendizaje adquiridos por el estudiante.
- ◇ **Trabajo final de Grado/Máster/Tesis.** Instrumento de evaluación que trata de evaluar las competencias adquiridas por un estudiante a lo largo de su estancia en un programa formativo.

- **Métodos de evaluación indirectos**

- ◇ **Encuestas a graduados.** Instrumento que recoge información de antiguos alumnos para evaluar indicadores como la calidad del profesorado, la utilidad de las competencias en el ámbito profesional, la calidad de gestión de la institución, etc. Suelen ser preguntas genéricas y puntuables con escalas.
- ◇ **Entrevistas a graduados.** Instrumento de evaluación que recoge información de egresados a través de una conversación donde es posible ofrecer información más específica acerca de las competencias adquiridas y la calidad de la institución en todos los ámbitos.
- ◇ **Entrevistas, encuestas a empleadores.** Los mismos dos métodos anteriores pueden ser empleados con personal de contratación de empresas para evaluar si lo que estas solicitan es similar a lo ofrecido por la institución.
- ◇ **Grupos de discusión.** Instrumento de evaluación en el que un grupo reducido de personas intercambian información en un ambiente distendido sobre un tema previamente definido siguiendo las pautas indicadas por un moderador.

- ◊ **Tasas de inserción laboral.** Instrumento de evaluación que utiliza datos de empleo de los antiguos alumnos en un periodo reciente como baremo para medir la calidad de la institución.
- ◊ **Indicadores de éxito y rendimiento académico.** Instrumento de evaluación que se basa en datos como los resultados académicos, los premios o proyectos obtenidos para evaluar la calidad del aprendizaje.

Una vez los diferentes instrumentos de evaluación han sido brevemente definidos, se van a ofrecer dos tablas comparativas con las características más relevantes de cada uno de estos instrumentos (véase Tablas 2.5 y 2.6). Para ello, se analizarán tres indicadores: (1) ¿Se puede aplicar a cualquier experiencia de aprendizaje o está limitado a un tipo de experiencia?; (2) ¿Es el instrumento de evaluación objetivo o subjetivo según la opinión de un usuario?; (3) es posible aplicarlo con un número muy elevado de estudiantes, o debe aplicarse en grupos reducidos?

Tabla 2.5: Comparación de los instrumentos de evaluación directos.

Instrumento evaluación	Situaciones de aplicación	¿Es objetivo?	Cantidad estudiantes
Examen escrito	Principalmente cognitiva	?	Alta
Examen oral	Cognitivas, afectivas, éticas y sociales	?	Media
Examen tipo test	Cualquiera	✓	Irrelevante
Trabajos/ensayos	Cualquiera	?	Media
Resolución de problemas	Cualquiera	?	Media
Portafolio	Cualquiera	×	Baja
Observación directa	Cualquiera	×	Baja
Poster	Cualquiera	×	Baja
Estudios de caso	Cualquiera	×	Media
Informes	Principalmente cognitiva	×	Media
Práctica de laboratorio	Principalmente cognitiva	?	Baja
Práctica externa	Cualquiera	×	Irrelevante
Proyecto	Cualquiera	×	Baja
Rúbricas	Cualquiera	✓	Irrelevante
Trabajo final	Principalmente cognitiva	×	Media

Tabla 2.6: Comparación de los instrumentos de evaluación indirectos.

Instrumento evaluación	Situaciones de aplicación	¿Es objetivo?	Cantidad estudiantes
Encuestas a graduados	Cualquiera	×	Alta
Entrevistas a graduados	Cualquiera	×	Baja
Encuestas a empleadores	Cualquiera	×	Media
Grupos de discusión	Cualquiera	×	Baja
Tasas de inserción laboral	-	✓	Alta
Indicadores de éxito	-	✓	Alta

Debido a los resultados obtenidos en la comparación de instrumentos de evaluación, se detecta que las rúbricas son, a priori, uno de los instrumentos más adecuados ya que pueden aplicarse en la mayoría de las situaciones, son objetivos e independientes del número de estudiantes. Por este motivo, a continuación se detallará más a fondo este instrumento de evaluación.

2.1.3.1. Rúbricas

Las rúbricas se están convirtiendo en uno de los principales instrumentos de evaluación puesto que son herramientas de puntuación que especifican los criterios de evaluación que se tienen en cuenta en los diferentes trabajos junto con la descripción de diferentes niveles de calidad que pueden obtenerse en dicho criterio (Andrade, 1997).

Inicialmente, las rúbricas fueron empleadas en ámbitos deportivos. Este instrumento permitía primeramente a los entrenadores ofrecer retroalimentación a los deportistas sobre la calidad de sus acciones y, posteriormente, a los jueces evaluar las actuaciones de dichos deportistas. En la actualidad, las rúbricas están estrechamente relacionadas con las competencias ampliando de este modo su horizonte a otros ámbitos además del deportivo (Guglietta, 2016).

Las rúbricas también reducen la subjetividad en la evaluación y son un sistema idóneo para que el estudiante pueda autoevaluarse debido a que, a través de ellas, es posible identificar con claridad cuáles son los contenidos y objetivos más relevantes de la actividad. La meta fundamental de las rúbricas es evaluar el desempeño de los estudiantes en una experiencia de aprendizaje. Para llevar a cabo esta tarea, las rúbricas son diseñadas mediante tablas que relacionan los criterios con los niveles de desempeño.

En la actualidad, existen dos grandes tipos de rúbrica: globales o analíticas. La rúbrica se considera global, comprehensiva u holística si ofrece una valoración integrada del desempeño del estudiante, o lo que es lo mismo, ofrece únicamente una escala acompañada de su descripción sin desglosar los diferentes criterios de la rúbrica. Este sistema requiere menos tiempo de elaboración pero limita mucho la retroalimentación ofrecida a los estudiantes y por tanto es aconsejable solo cuando se requiere únicamente un panorama general de la actividad, experiencia o producto a evaluar. Por su parte, las rúbricas analíticas ofrecen una matriz de criterios y niveles, lo que permite describir, para cada criterio y nivel, los requisitos necesarios para superarlo. Este tipo de rúbricas es el más común y se emplea tanto para evaluar el desempeño de los estudiantes como para analizar las fortalezas y debilidades (Gatica-Lara and Jesús Uribarren-Berrueta, 2013). Además, con ellas se puede alcanzar cualquier nivel de detalle pudiendo subdividirse cada criterio en otros más específicos. Estas últimas serán analizadas en este trabajo.

Las rúbricas están habitualmente compuestas por los siguientes elementos:

- **Criterio de evaluación.** Hace referencia a los aspectos del desempeño que serán observados y valorados. Es habitual que cada criterio contenga un nombre, descripción y ponderación.
- **Niveles de desempeño.** Contiene la descripción cualitativa y habitualmente cuantitativa de los niveles de logro que puede demostrar un estudiante durante la experiencia de aprendizaje. La descripción cualitativa describe los diferentes niveles de calidad de tarea que el estudiante puede alcanzar. El nivel cuantitativo asociará una puntuación a cada valor cualitativo. Los niveles de desempeño se expresan de manera creciente y el nivel inferior suele denominarse “ausencia de desempeño”. Asimismo, es habitual la existencia de un nivel de desempeño estándar que representa la puntuación mínima para superar la actividad y también es frecuente la existencia de niveles de desempeño superiores. Si bien es cierto que no existe un número mínimo o máximo de niveles de desempeño, en la mayoría de las rúbricas, cada criterio suele tener asociado entre tres y cinco niveles.
- **Total.** Detalla la calificación máxima que se puede alcanzar en cada criterio de evaluación.
- **Categoría** (opcional). Las rúbricas pueden tener asociadas distintas categorías y estas se encargan de agrupar los criterios.

La gran ventaja de las rúbricas, además de la objetividad, es la amplia libertad en su diseño. En este sentido, este instrumento puede tener asociada una puntuación, un rango de puntuaciones o no ser puntuable. También, cabe destacar que las rúbricas pueden ser asignadas a competencias cognitivas, afectivas, éticas, sociales, etc. Para ilustrar esta afirmación, se muestra a continuación la Tabla 2.7 que es un fragmento de la rúbrica de evaluación de trabajos de final de grado de la Universidad de Alcalá.

Tabla 2.7: Fragmento de la rúbrica de evaluación de trabajos final de grado de la UAH.

Criterio	Nivel de desempeño		
	Ausencia de desempeño	Estándar	Alto
Respetar el código de buenas prácticas (Ético)	El trabajo no respeta el código de buenas prácticas.	El trabajo respeta en su mayoría el código de buenas prácticas.	El trabajo respeta completamente el código de buenas prácticas.
Sintetizar la visión global y estado del arte. (Cognitivo)	El trabajo no ofrece una visión global o estado del arte o son muy pobres en cuanto a contenido y extensión.	El trabajo ofrece una visión global y estado del arte adecuados por contenido o extensión.	El trabajo ofrece una visión global y estado del arte adecuados por contenido y extensión.
Exposición oral clara, precisa, ordenada (Psicomotor)	El estudiante no ofrece seguridad en la defensa. El orden no es correcto, la comunicación verbal y no verbal es pobre.	El estudiante sigue un orden lógico pero en ocasiones la comunicación verbal o no verbal es inadecuada.	El estudiante sigue un orden lógico en la presentación acompañado en todo momento de comunicación verbal y no verbal adecuada.
Iniciativa y capacidad para tomar decisiones y aprender de forma autónoma. (Afectivo)	El estudiante muestra nula capacidad a lo largo del proyecto para tomar cualquier tipo de decisión relacionada con el proyecto y necesita asistencia total del tutor.	El estudiante muestra capacidad para tomar decisiones simples a lo largo del proyecto pero necesita asistencia continuada del tutor.	El estudiante muestra capacidad para tomar decisiones a lo largo del proyecto y solo necesita ayuda parcial del tutor.

Es importante destacar que diseñar una rúbrica de calidad es una tarea compleja, requiere el seguimiento de una metodología, la revisión y adaptación de la rúbrica durante su utilización para garantizar la rigurosidad de la misma y, por tanto, de la evaluación. A continuación se detallan la serie de diez pasos interdependientes para el diseño y desarrollo de una rúbrica analítica que propone Guglietta (2016). Estos pasos son ilustrados en la Figura 2.11.

- 1. Identificar el objeto de evaluación.** Este primer paso consiste en precisar cuáles serán los objetos de evaluación, es decir, determinar qué queremos evaluar.
- 2. Diseñar la actividad de evaluación.** De acuerdo con los objetos de evaluación identificados, se debe seleccionar el tipo de instrumento de evaluación que permitirá obtenerlos (véase Sección 2.1.3). A continuación, la actividad debe ser descrita lo más detallada posible incluyendo objetivos, condiciones, contexto, normativa, etc. Este paso es fundamental para identificar posteriormente los criterios de evaluación.
- 3. Identificar y describir los criterios de evaluación.** Una vez identificados los objetos de evaluación y descrita la actividad, se debe hacer hincapié en los criterios de evaluación del desempeño. Estos criterios deben ser relevantes y complementarios (mutuamente excluyentes) para asegurarse de que ningún criterio se evalúa de manera duplicada.

4. **Cuantificar la importancia relativa de cada criterio.** Este paso consiste en analizar la importancia que tiene cada criterio con respecto a la actividad (si todos tienen la misma importancia, si algunos son más importantes que otros, si un criterio es obligatorio para superar la actividad, etc.). Esta importancia será expresada mediante una descripción cuantitativa (porcentaje, escala, etc.).
5. **Identificar y describir los niveles de desempeño para cada criterio.** Para cada criterio debe identificarse cuál es el estándar de desempeño, es decir, el mínimo nivel a cumplir para superar el criterio. En este instante también debe describirse al menos un nivel de desempeño inferior (ausencia de desempeño) y un nivel superior. Es frecuente definir más de un nivel inferior o superior si se consideran niveles intermedios de desempeño.
6. **Elegir el rango de la escala cuantitativa.** Es habitual encontrar diferencias en los rangos de la escala cuantitativa de la rúbrica (0-100, 0-10, 0-5, 0-35) en función del valor de la actividad. En este punto lo recomendable es utilizar siempre el mismo estilo en el rango de la escala para evitar malentendidos por parte de los estudiantes.
7. **Distribuir el rango de la escala entre los niveles de desempeño en cada criterio.** Este paso consiste en asociar cada nivel de desempeño con su rango de valores de la escala. Es importante tener en cuenta que el nivel de ausencia de desempeño debe comenzar en 0 y el desempeño estándar debe permitir superar la actividad.
8. **Diseñar la rúbrica en una plantilla comprensible y útil.** En este paso es habitual el desarrollo de dos versiones de la misma rúbrica. Una versión reducida en la que aparezcan los datos resumidos y una versión completa. Además, es habitual disponer de una versión en el ordenador que facilite los cálculos (*Excel*, plataformas *e-learning* como *Blackboard*, *Moodle*, etc.) y una versión en papel como guía de observación y calificación.
9. **Compartir y negociar la rúbrica con los estudiantes.** Cuando el borrador de la rúbrica esté disponible, es aconsejable ponerlo a disposición de los estudiantes para su análisis y comprensión. Si existe un nivel de madurez elevado, los estudiantes pueden proponer sugerencias sobre la rúbrica (añadir o eliminar criterios, modificar escalas, etc.).
10. **Utilizar la rúbrica y hacer ajustes.** Una vez la rúbrica ha sido empleada, conviene hacer un análisis por parte del diseñador para identificar las fortalezas y debilidades de la misma que sirvan de soporte para poder realizar las modificaciones pertinentes para mejorar la calidad de este instrumento de evaluación.

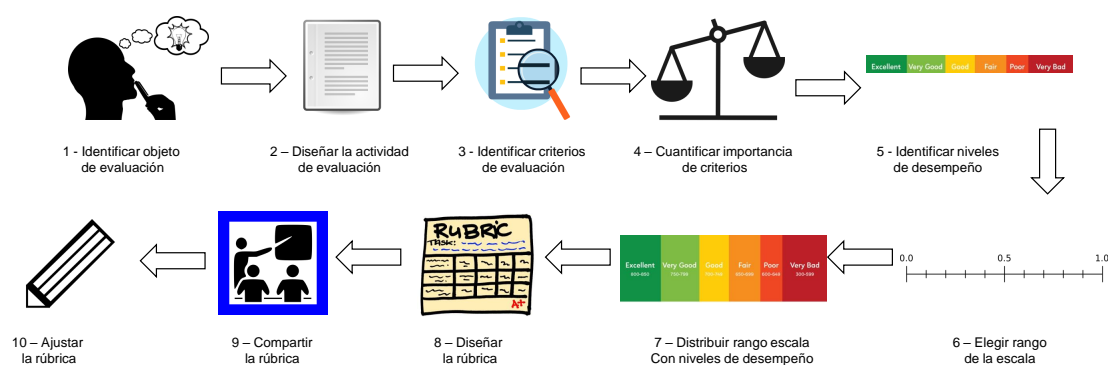


Figura 2.11: Metodología de creación de rúbricas.

Sin embargo, es necesario también reconocer que las rúbricas tienen sus limitaciones como mecanismos para la realimentación de la evaluación. Cockett y Jackson, en su revisión de la literatura para mejorar el *feedback* en Educación Superior, indican que las rúbricas no resuelven todas las inquietudes (cuestiones) que les surgen a los estudiantes sobre la calidad, utilidad y consistencia de la evaluación y, por lo tanto, deben considerarse como uno, entre otros, métodos de evaluación y retroalimentación (Cockett and Jackson, 2018).

Finalmente, para que una rúbrica pueda considerarse rigurosa es importante que los criterios puedan ser medibles y estas mediciones puedan ser confiables (grado en el que la medición se hace sin error) y válidas (grado en el que las propiedades de las medidas obtenidas se corresponden con las características reales). Asimismo, los niveles deben ser unidimensionales para garantizar que los objetos de evaluación asociados se alcanzan con un nivel de desempeño.

2.2. Ingeniería ontológica

En esta sección se detallan los fundamentos teóricos de la ingeniería ontológica. En primer lugar se definen los componentes en una ontología, en segundo lugar, se describen los distintos lenguajes ontológicos existentes, en tercer lugar se detallan las herramientas ontológicas, en cuarto lugar, se exponen los motores de inferencia y en último lugar se especifican las metodologías de desarrollo.

2.2.1. Componentes

A continuación se describen los principales elementos que pueden definirse en una ontología.

- **Concepto.** O clase, es el componente principal de cualquier ontología y entorno al que se definen posteriormente, relaciones, instancias, etc. Puede representar cualquier ente, ya sea abstracto o concreto. Las clases se relacionan entre ellas, pueden tener un conjunto de atributos e instancias (por ejemplo Coche, Persona).
- **Atributos.** Propiedades que caracterizan a las clases. Comúnmente, se denominan *object properties* a las propiedades que relacionan dos conceptos diferentes por ejemplo *esConducidoPor* y *data properties* a las propiedades que relacionan un concepto con un conjunto de valores no recogidos como clases en la ontología (por ejemplo *colorDelCoche*). Estrechamente relacionado con los atributos, las **restricciones** permiten definir el dominio y rango de los atributos evitando poder introducir cualquier valor como entrada del mismo (por ejemplo si los colores que admite un coche son rojo, azul y negro la entrada no puede ser verde).
- **Instancias.** Habitualmente denominadas *individuals*, permiten describir los miembros de los diferentes conceptos a través de sus atributos (por ejemplo *coche_01* es una instancia del concepto Coche con la propiedad *esConducidoPor* con valor *persona_01*, instancia del concepto Persona, y la propiedad *colorDelCoche* establecida a rojo).
- **Relaciones.** Representan el tipo de interacción de dos elementos. Frecuentemente las relaciones se establecen entre conceptos, sin embargo, las ontologías permiten relacionar también instancias entre sí e instancias y conceptos. El tipo de relación binaria más habitual (*IS-A*) establece que un elemento es un subtipo de otro (por ejemplo el concepto Coche es un subtipo de la clase Vehículo). Otro tipo de relación frecuente es *PART-OF* estableciendo que un elemento forma parte de otro (por ejemplo el Concepto Volante es parte del concepto Coche). Las **Funciones** son un caso especial de relación en el que el enésimo elemento de la relación es único para los n-1 elementos anteriores (por ejemplo, el valor de tasación de un vehículo viene determinado por un conjunto de parámetros como la marca, el modelo, el año, número de kilómetros, color, etc.).
- **Axiomas.** Son declaraciones que deben cumplir los elementos de la ontología (restricciones) y que complementan las definiciones de los distintos componentes de la ontología

haciéndola más precisa. Los axiomas permiten, por ejemplo, *definir que un elemento es un coche híbrido si y solo si es una instancia del concepto Coche y tiene al menos un motor eléctrico y un motor de combustión interna*. A día de hoy, los principales axiomas se definen mediante **reglas**, es decir, declaraciones del tipo *if-then* que permiten describir inferencias lógicas.

Eventos. Si bien es cierto que los eventos no son componentes de las ontologías en sí mismo, es importante tenerlos en cuenta. Para ello, hay que considerar que en un instante t , el estado de la ontología puede ser modificado por determinadas circunstancias como la inserción de una nueva instancia, la asignación de un valor a una propiedad, etc.

2.2.2. Lenguajes ontológicos

Los lenguajes ontológicos son lenguajes formales empleados para la creación de ontologías. En este sentido, permiten codificar conocimiento acerca de dominios específicos y de manera habitual incluyen reglas de razonamiento para apoyar el procesamiento de ese conocimiento.

En la actualidad, los lenguajes ontológicos son clasificados como tradicionales (basados en lógica de primer orden, lógica de descripción o lógica de marco), lenguajes de marcado de ontologías (fundamentados en XML o HTML), lenguajes de marcado de reglas (apoyado en XML principalmente), o lenguajes de consulta (para OWL o RDF).

2.2.2.1. Lenguajes de representación de conocimiento tradicionales

En 1989 surgió CycL (Lenat and Guha, 1990), un lenguaje basado en lógica de primer orden. Este lenguaje usado para el proyecto Cyc representa los conceptos mediante constantes (instancias, colecciones, funciones de verificación, funciones constantes). Estas constantes son categorizadas y ordenadas de forma jerárquica. CycL admite reglas generales para inferir conocimiento acerca de los conceptos. En 1992 fue creado *Knowledge Interchange Format* (KIF) (Genesereth et al., 1992) acoplando una extensión para el tratamiento de números. Sin embargo, la gran dificultad para la elaboración de ontologías con este lenguaje dio lugar a la creación de Ontolingua (Farquhar et al., 1997), un lenguaje considerado como estándar y con una sintaxis parecida a la de LISP que sirvió de soporte para la extensión de lenguajes como KIF.

En las décadas de 1980 y 1990 se originaron también los denominados lenguajes ontológicos tradicionales basados en lógica de descripción. Los lenguajes más representativos de este periodo fueron KL-ONE (Brachman and Schmolze, 1985) y LOOM (MacGregor, 1991). KL-ONE proporciona principalmente un lenguaje para la representación explícita de la información conceptual basado en la idea de redes estructuradas de herencia. El elemento principal de este lenguaje es *Concept*, compuesto por *Roles* y *Structural Descriptions*. LOOM es un sistema de representación de conocimiento general capaz de manejar descripciones disyuntivas y revisión en tiempo de ejecución de las definiciones de conceptos.

En el año 1995 fue desarrollado *Frame Logic* (F-Logic), un lenguaje basado en lógica de marco idóneo para representar de manera virtual todos los aspectos del paradigma de orientación a objetos (herencia, métodos, tipos, etc.). La gran extensibilidad de F-Logic facilita que sea combinado con otras lógicas para la representación de conocimiento propuestas (Kifer et al., 1995).

2.2.2.2. Lenguajes de marcado de ontologías

Unos años más tarde, con el nacimiento de la Web Semántica (Berners-Lee et al., 2001), se crearon los lenguajes de la Web Semántica, más conocidos como lenguajes de marcado de ontologías. La sintaxis de estos lenguajes se basa en los dos grandes lenguajes de marcado existentes en la actualidad, HTML y XML, cuya finalidad no es el desarrollo de ontologías sino la presentación e intercambio de datos. Existen muchos lenguajes de marcado de ontologías como XOL (Karp et al., 1999), SHOE (Luke and Heflin, 2000), OIL (Fensel et al., 2001) o DAML+OIL (Connolly et al., 2001), etc. No obstante, en este trabajo nos enfocaremos en los dos grandes lenguajes de marcado de ontologías, es decir, RDF y OWL.

2.2.2.2.1. RDF

La W3C desarrolló en 2004 el denominado *Resource Description Framework* (RDF) que define un modelo de especificación de ontologías ligero. Este modelo fue explicado a través de seis documentos. En (Manola et al., 2004) se introducen los conceptos básicos de su lenguaje, se describe su sintaxis y el contenido y propósito de otros documentos de especificación de RDF. Por su parte, en (Carroll and Klyne, 2004) se define la sintaxis abstracta de RDF e incluye información acerca de los objetivos de diseño, conceptos clave, manejo de referencias URI, etc. La sintaxis XML denominada RDF/XML fue descrita en (Beckett and McBride, 2004) (véase Código 2.1). En (Brickley and Guha, 2004) se presenta RDF Schema (RDFS), un lenguaje que extiende la sintaxis y semántica de RDF para especificar otros dominios de conocimiento. En este documento se especifica el uso del lenguaje RDF para describir vocabulario. En (Hayes and McBride, 2004) tomó especial relevancia todo lo relacionado con la semántica explicándose también los sistemas de reglas de inferencia tanto para RDF como para RDFS. Finalmente en RDF test cases (Grant and Beckett, 2004) los casos de prueba de este lenguaje son descritos.

```
1 <?xml version="1.0" ?>
2 <!DOCTYPE rdf:RDF [ <!ENTITY xsd "http://www.w3.org/2001/XMLSchema#"> ]>
3 <rdf:RDF
4   xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
5   xmlns:rdfs="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#"
6   xml:base="http://example.org/schemas/vehicles">
7
8 <rdf:Description rdf:ID="MotorVehicle">
9   <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#Class" />
10 </rdf:Description>
11
12 <rdf:Description rdf:ID="Truck">
13   <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#Class" />
14   <rdfs:subClassOf rdf:resource="#MotorVehicle" />
15 </rdf:Description>
16
17 <rdf:Description rdf:ID="Van">
18   <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#Class" />
19   <rdfs:subClassOf rdf:resource="#MotorVehicle" />
20 </rdf:Description>
21
22 <rdf:Description rdf:ID="MiniVan">
23   <rdf:type rdf:resource="http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#Class" />
24   <rdfs:subClassOf rdf:resource="#Van" />
25   <rdfs:subClassOf rdf:resource="#PassengerVehicle" />
26 </rdf:Description>
27 </rdf:RDF>
```

Código 2.1: Fragmento de ejemplo de RDF. Extraído de (Manola et al., 2004).

RDF supuso un gran avance en los lenguajes ontológicos ya que fue el primero en considerar una semántica formal, es decir, este lenguaje puede ser comprendido tanto por humanos como por máquinas. Esta contribución posibilita la inferencia de información por parte de las máquinas, es decir, gracias a este lenguaje los computadores son capaces de asumir una información a partir de un estado inicial y unas reglas. A pesar de ser el primer lenguaje con una semántica formal, su limitada semántica dota de poca aplicabilidad al razonamiento.

2.2.2.2. OWL

En el año 2004, la W3C consideró el *Web Ontology Language*, más conocido como OWL, como una recomendación para la especificación de ontologías. Esta recomendación se produjo a través de seis documentos que cumplen un propósito diferente. El documento *OWL Overview* (McGuinness and van Harmelen, 2004) ofrece una introducción al lenguaje OWL donde se describen los subtipos de lenguaje (OWL Lite, OWL DL y OWL Full) y sus características. El documento *OWL Guide* (Smith et al., 2004) muestra el uso del lenguaje OWL mediante un ejemplo. El documento *OWL Reference* (Bechhofer et al., 2004) da una descripción sistemática y compacta de las primitivas de modelado del lenguaje OWL. El documento *OWL Semantics and Abstract Syntax* (Patel-Schneider et al., 2004) es la definición formalmente establecida del lenguaje. El documento *OWL Web Ontology Language Test Cases* (Carroll and De Roo, 2004) contiene un gran conjunto de casos de prueba del lenguaje. Finalmente, el documento *OWL Use Cases and Requirements* (Heflin, 2004) dispone de los casos de uso y requisitos del lenguaje.

Una de las grandes ventajas del lenguaje OWL es su flexibilidad permitiendo la creación de ontologías tanto ligeras como pesadas. Como se ha mencionado previamente, existen tres versiones de OWL de acuerdo a la finalidad deseada (véase Tabla 2.8).

- **OWL Lite.** Es la versión más reducida de OWL. Esta versión, empleada principalmente para usuarios principiantes, no es compatible con todos los documentos RDF/RDFS. Su semántica es una extensión de un subconjunto de RDFS. Esta variante tiene muchas limitaciones, por ejemplo, las clases solamente pueden ser definidas en términos de las superclases o la cardinalidad solo puede tomar los valores 0 o 1.
- **OWL DL.** Es la versión estándar de OWL. Está destinada a aquellos usuarios que deseen disponer de la máxima expresividad garantizando que esta será alcanzada en un tiempo finito. Para llegar a este objetivo, OWL DL tiene ciertas restricciones por lo que tampoco es compatible con aquellos documentos que empleen la máxima expresividad de RDF/RDFS.
- **OWL Full.** Es la versión más completa de OWL. Esta versión tiene como usuarios finales aquellos que deseen además de máxima expresividad, toda la libertad sintáctica de RDF. Aunque es totalmente compatible con RDF/RDFS, sin embargo, esta libertad implica como aspecto negativo que no existan garantías sobre la completitud en tiempo finito.

En 2006, un grupo de investigadores de la Universidad de Manchester decide mejorar la especificación de OWL. Entre estas mejoras se debe resaltar la adición de nuevas características, extensión de datos, eliminación de la versión más reducida (OWL LITE) o creación de perfiles como subconjuntos del lenguaje OWL DL: OWL EL (las tareas de razonamiento requieren un tiempo polinomial; este subconjunto es útil con muchas clases o propiedades), OWL QL (las consultas requieren un tiempo logarítmico; este subconjunto es útil con muchas instancias) y OWL RL (los razonamientos requieren un tiempo polinomial con técnicas de bases de datos; este subconjunto es útil con muchas reglas). Todos estos cambios condujeron a la creación de OWL 2, recomendación del W3C para lenguajes de descripción de conocimiento.

Tabla 2.8: Diferencias entre los diferentes subtipos de OWL.

Característica	Lite	DL	Full
Compatibilidad con RDF	No compatible con todos los documentos RDF.	No compatible con todos los documentos RDF.	Compatible con todos los documentos RDF.
Descripción de clases	<i>intersectionOf</i> .	<i>intersectionOf</i> , <i>unionOf</i> , <i>complementOf</i> y <i>enumeration</i> .	<i>intersectionOf</i> , <i>unionOf</i> , <i>complementOf</i> y <i>enumeration</i> .
Cardinalidad	Cardinalidad mínima y máxima (0/1).	Cardinalidad mínima y máxima ≥ 0 .	Cardinalidad mínima y máxima ≥ 0 .
Restricciones	Requiere separación de clases, instancias propiedades y valores.	Requiere separación de clases, instancias propiedades y valores.	No requiere separación de clases, instancias propiedades y valores.
OWL:class.	OWL:class es una sub-clase de RDFS:class.	OWL:class es una sub-clase de RDFS:class.	OWL:class es una clase equivalente a RDFS:class.

2.2.2.3. Lenguajes de marcado de reglas

A principios del siglo XXI se desarrolla un nuevo tipo de lenguaje semántico con el fin de representar las reglas. Es conocido como lenguaje de marcado de reglas y sus principales representantes son RuleML, TRIPLE, Jena, SWRL, R2ML y W3C RIF.

2.2.2.3.1. RuleML

En el contexto de la Web Semántica surge en el año 2000 una iniciativa de marcado de reglas denominada *RuleML initiative*. El objetivo de la iniciativa es desarrollar un lenguaje web canónico basado en XML/RDF que permita el intercambio de reglas entre varios sistemas (véase Código 2.2). Este lenguaje recibe la denominación de RuleML (Boley et al., 2001) y es considerado un estándar en el que se fundamenta el lenguaje actual SWRL.

```

1 <imp>
2   <_rlab><ind>beginners</ind></_rlab>
3   <_spriority><ind>0.75</ind></_spriority>
4   <_head>
5     .....
6   </_head>
7   <_body>
8     <and>
9       ...
10      <atom>
11        <_opr><rel>customerUnder25</rel></_opr>
12        <var>customer</var>
13      </atom>
14    </and>
15  </_body>
16 </imp>

```

Código 2.2: Fragmento de ejemplo de RuleML. Extraído de (Boley et al., 2001).

2.2.2.3.2. TRIPLE

En 2002 se origina TRIPLE (Sintek and Decker, 2002), un lenguaje de reglas modular y basado en capas para la Web Semántica. Este lenguaje se basa en la lógica de HORN y toma prestadas muchas características de F-Logic. Su arquitectura en capas permite que

tales características sean definidas fácilmente para diferentes modelos de datos (orientados a objetos, UML, RDF Schema, etc.). TRIPLE permite definir *namespaces*, *resources*, *statements*, *molecules*, *models*, *reified statements*, *path expressions*, *logical formulae*, *clauses* y *blocks* (véase Código 2.3).

```

1 rdf := "http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#".
2 dc := "http://purl.org/dc/elements/1.0/".
3 dfki := "http://www.dfki.de/".
4
5 @dfki:documents {
6
7   dfki:d_01_01[
8     dc:title → "TRIPLE";
9     dc:creator → "Michael Sintek";
10    dc:creator → "Stefan Decker";
11    dc:subject → RDF;
12    dc:subject → triples; ... ].
13
14   ∀ S, D search(S, D) ←
15     D[dc:subject → S].
16 }

```

Código 2.3: Fragmento de ejemplo de TRIPLE. Extraído de (Sintek and Decker, 2002).

2.2.2.3.3. Jena

El proyecto de código abierto Jena se origina en el año 2000 cuando investigadores de HP Labs desarrollan un *framework* para la Web Semántica. Jena incluye un motor de inferencia basado en reglas para ejecutar razonamiento en ontologías desarrolladas en OWL o RDFS. En el año 2003 se introduce en el proyecto las reglas de Jena. Una de las grandes ventajas de las reglas de Jena respecto a otros lenguajes de reglas es su capacidad para permitir encadenamiento hacia delante, encadenamiento hacia atrás y una combinación de ambos. De este modo, es posible retraer conocimiento previamente adquirido y que en la actualidad no es correcto. La sintaxis de Jena está basada en RDF y usa la representación de TRIPLE (véase Código 2.4).

```

1 @prefix : <#>.
2 [ RulehasUncle: ( ?a :hasFather ?b ) ( ?b
3   :hasBrother ?c ) → ( ?a :hasUncle ?c ) ]

```

Código 2.4: Fragmento de ejemplo de Jena. Extraído de (Rattanasawad et al., 2013).

En el año 2010, Jena y Apache comenzaron a trabajar juntos dando lugar a Apache Jena tal y como se conoce hoy en día. Este *framework* permite la interacción con los lenguajes de marcado de ontologías OWL y RDF, la consulta de tuplas con el lenguaje de consulta de ontologías SPARQL o mediante el servidor Fuseki, la creación de reglas a través de Jena Rules, la persistencia mediante TDB o SQL DB, etc. (véase Figura 2.12).

2.2.2.3.4. SWRL

Semantic Web Rule Language o SWRL por sus siglas en inglés, es el lenguaje de la Web Semántica resultante de la combinación de los lenguajes OWL (OWL DL y OWL Lite) y el lenguaje (RuleML). En 2004, esta especificación fue propuesta al W3C por el Consejo Nacional de Investigación de Canadá, la empresa *Network Inference* y la universidad de Standford en asociación con el comité Ad Hoc de Lenguaje de Marcado de Agentes (Horrocks et al., 2004).

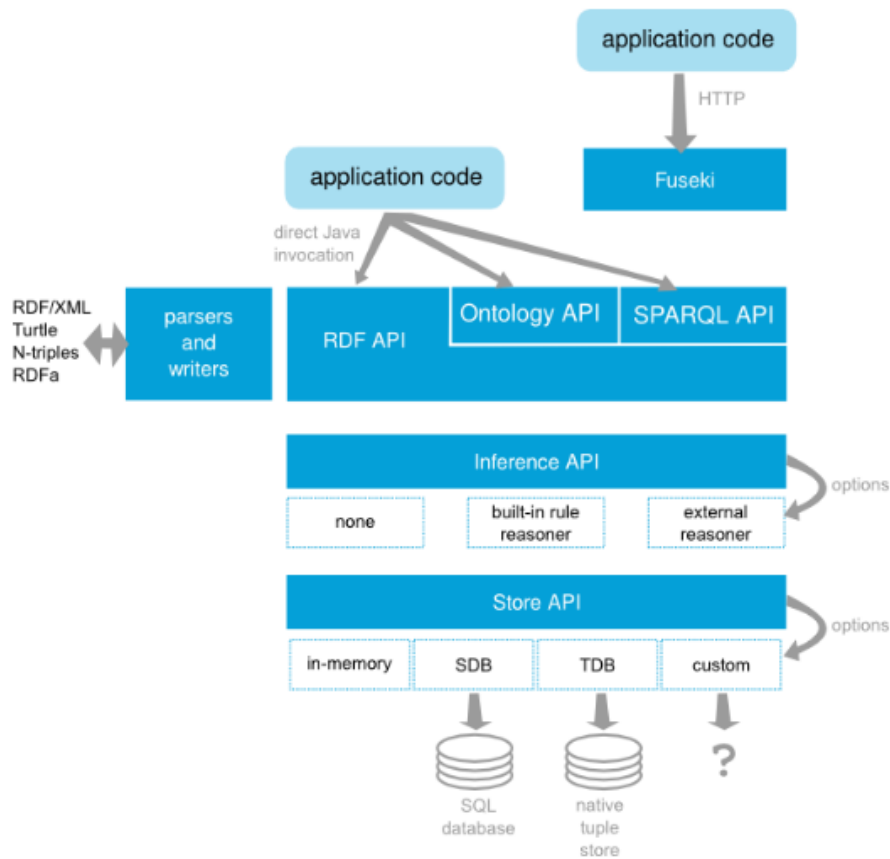


Figura 2.12: Arquitectura del *framework* Jena e interacción con diferentes APIs. Extraído de https://jena.apache.org/getting_started/index.html.

Este lenguaje, cuya sintaxis abstracta es similar a la notación de XML, destaca por su sintaxis aplicada a las reglas fácilmente comprensible por los humanos. Las reglas siguen la estructura:

$$\textit{antecedente} \rightarrow \textit{consecuente} \quad (2.1)$$

En estas reglas, tanto el antecedente como el consecuente son conjunciones de átomos ($a_1 \wedge a_2 \wedge a_n$) y las variables son indicadas mediante el prefijo “?” ($?x$).

$$\textit{parent}(?x, ?y) \wedge \textit{brother}(?y, ?z) \rightarrow \textit{uncle}(?x, ?z) \quad (2.2)$$

A modo de ejemplo, la Regla 2.2⁴ indica que si el usuario ($?y$) es el padre del usuario ($?x$) y el usuario ($?y$) es hermano del usuario ($?z$), es posible inferir que el usuario ($?z$) es el tío del usuario ($?x$).

SWRL dispone de una serie de *built-ins* con el fin de proporcionar flexibilidad para futuras extensiones admitiendo comparaciones, operaciones matemáticas, booleanos, cadenas de caracteres, fechas, URIs y listas. En la Regla 2.3 se muestra un ejemplo que emplea un operador matemático. En este ejemplo, es posible inferir que el usuario ($?p$) es adulto si su edad es mayor que diecisiete años.

$$\textit{Person}(?p) \wedge \textit{hasAge}(?p, ?age) \wedge \textit{swrlb:greaterThan}(?age, 17) \rightarrow \textit{Adult}(?p) \quad (2.3)$$

⁴Todos los ejemplos empleados en este documento han sido obtenidos de los documentos oficiales como <http://protege.stanford.edu/conference/2009/slides/SWRL2009ProtegeConference.pdf> o <https://www.w3.org/Submission/2004/SUBM-SWRL-20040521/>

En cuanto a las características de SWRL cabe resaltar que es monótono, es decir, (1) no admite negaciones, (2) no admite retracciones y (3) no admite conteos. Esto puede suponer graves problemas cuando se desea modificar el valor de una propiedad como en los ejemplos 2.4 o 2.5 donde el usuario puede comprarse un coche o cumplir años.

$$Person(?p) \wedge \cancel{not\ hasCar(?p, ?c)} \rightarrow CarlessPerson(?p) \quad (2.4)$$

$$Person(?p) \wedge hasAge(?p, ?age) \wedge \cancel{swrlb:add(?newage, ?age, 1)} \rightarrow hasAge(?p, ?newage) \quad (2.5)$$

Debido a las características recientemente descritas, se ha decidido usar este lenguaje junto con Jena para la creación de las reglas en esta tesis doctoral.

2.2.2.3.5. W3C RIF

El *Rule Interchange Format* (RIF) (Kifer, 2008) tiene sus inicios en 2005 cuando el W3C contrata a un grupo de trabajo para la creación de un sistema de intercambio de reglas estándar. La idea del sistema de intercambio se produce debido a la evidencia de que un único lenguaje no iba a satisfacer las necesidades de todos los paradigmas. De este lenguaje surgen dos dialectos diferentes: dialecto basado en lógica y dialecto para las reglas con acciones. Este lenguaje finalmente se convierte oficialmente en una recomendación del W3C en el año 2010. Un ejemplo de RIF puede verse en el Código 2.5.

```

1 Document(
2   Prefix(rdfs <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>)
3   Prefix(imdbrel <http://example.com/imdbrelations#>)
4   Prefix(dbpedia <http://dbpedia.org/ontology/>)
5
6   Group(
7     Forall ?Actor ?Film ?Role (
8       If And(imdbrel:playsRole(?Actor ?Role) imdbrel:roleInFilm(?Role ?Film))
9       Then dbpedia:starring(?Film ?Actor)
10    )
11  )
12 )

```

Código 2.5: Fragmento de ejemplo de RIF. Extraído de (Kifer, 2008).

2.2.2.3.6. R2ML

En el año 2006 Wagner, Giurca y Lukichev presentan R2ML (2006), un lenguaje de marcado de reglas basado en XML y creado para facilitar la reutilización, el intercambio y la publicación de reglas entre diferentes sistemas y herramientas. Los autores identifican cinco tipos de reglas (integridad, derivación, reacción, producción y transformación) de los cuales R2ML soporta en la actualidad los cuatro primeros tipos. R2ML permite la definición de construcciones de vocabulario, propiedades de objetos, propiedades de datos, átomos, formulas y reglas. A continuación se muestra un fragmento de una regla en R2ML (véase Código 2.6).

```

1 <AlethicIntegrityRule xmlns:srv="http://www.services.org/EU-Rent/">
2   <constraint>
3     <OClassAtom classRef="srv:Rental">
4       <OVar name="r1"/>
5     </OClassAtom>

```

```

6    <PropAtom propRef="srv:returnBranch">
7      <subject><OVar name="r1"/></subject>
8      <object><OVar name="rb"/></object>
9    </PropAtom>
10   <PropAtom propRef="srv:pickupBranch">
11     <subject><OVar name="r1"/></subject>
12     <object><OVar name="pb"/></object>
13   </PropAtom>
14   <Neg>
15     <OClassAtom classRef="srv:OneWayRental">
16       <OVar name="r1"/>
17     </OClassAtom>
18   </Neg>
19   <Equal>
20     <OVar name="rb"/>
21     <OVar name="pb"/>
22   </Equal>
23 </constraint>
24 </AlethicIntegrityRule>

```

Código 2.6: Fragmento de ejemplo de R2ML. Extraído de (Wagner et al., 2006).

2.2.2.4. Lenguaje de consulta de ontologías

Los diferentes lenguajes explicados con anterioridad permiten desarrollar las ontologías mediante la creación de clases, propiedades, instancias o reglas. Sin embargo, un nuevo tipo de lenguaje es necesario para consultar la información existente en la ontología. Por este motivo, surgen los lenguajes de consulta. En la actualidad, existen principalmente dos lenguajes formales de consulta ampliamente extendidos: SPARQL y SQWRL.

2.2.2.4.1. SPARQL

El lenguaje *SPARQL Protocol and RDF Query Language* (SPARQL) es un estándar de facto para el lenguaje de marcado de ontologías RDF. SPARQL fue constituido como recomendación del W3C en el año 2008 y su sintaxis es similar a la del lenguaje SQL (véase Regla 2.6). Esta regla muestra todas las instancias en cuya propiedad *title* aparezca la secuencia de caracteres “SPARQL”.

$$\begin{aligned}
 & \text{PREFIX } dc : < \text{http://purl.org/dc/elements/1,1/} > \\
 & \text{SELECT } ?title \\
 & \text{WHERE } \{ ?x \text{ dc : title ?title} \\
 & \text{FILTER regex(?title, "SPARQL")} \}
 \end{aligned}
 \tag{2.6}$$

2.2.2.4.2. SQWRL

Semantic Query-Enhanced Web Rule Language (SQWRL) (O'Connor and Das, 2009) fue creado como lenguaje de consultas del anteriormente descrito SWRL. SQWRL permite consultar, ordenar o contar instancias. No obstante, no puede modificar los datos de estas instancias. Este lenguaje nativo para OWL tiene una sintaxis cercana a la lógica de predicados (véase Regla 2.7). En esta regla se obtendrá un listado ordenado de manera descendente de todas las personas cuya propiedad *age* sea mayor que diecisiete.

$$\begin{aligned}
 & \text{Person(?p) } \wedge \text{ hasAge(?p, ?age) } \wedge \text{ swrlb : greatherThan(?age, 17)} \\
 & \rightarrow \text{sqwrl : select(?p, ?age) } \wedge \text{sqwrl : orderBy(?age)}
 \end{aligned}
 \tag{2.7}$$

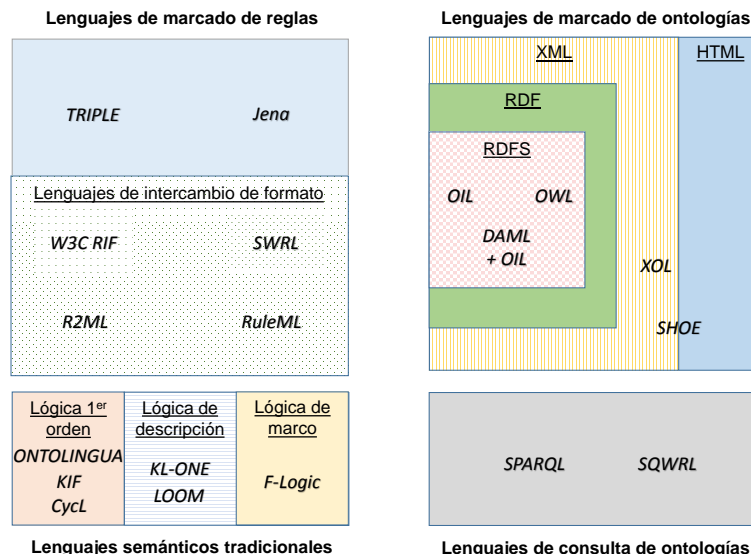


Figura 2.13: Clasificación de lenguajes semánticos.

2.2.3. Herramientas ontológicas

Desde los inicios de la denominada Web 2.0, una gran cantidad de herramientas ontológicas han sido desarrolladas con diferentes funcionalidades para tratar la información. Por ejemplo, existen herramientas de desarrollo como Protégé, herramientas de validación como OOPS o motores de inferencia como Jena. Gómez-Pérez y colegas agruparon las herramientas ontológicas en las siguientes categorías (Pérez, 2002):

- **Herramientas de desarrollo de ontologías.** Son aquellas cuya finalidad es la creación de ontologías (desde cero o mediante reutilización). Estas herramientas incluyen, entre otras funciones: la edición, consulta, documentación, exportación, importación, visualización o gestión de bibliotecas.
- **Herramientas de fusión e integración de ontologías.** La función de estas herramientas es la combinación de varias ontologías existentes. En la actualidad se distinguen cuatro niveles de integración incluyendo alineación (cambios mínimos, útil para la clasificación, no soporta inferencias profundas), compatibilidad parcial (cambios moderados, mayor interoperabilidad), compatibilidad total (reorganización de ontologías, completa interoperabilidad).
- **Herramientas de evaluación de ontologías.** Se encargan de verificar y validar el nivel de calidad de las ontologías. Estas herramientas son altamente recomendables cuando se emplean como método de prevención de problemas en la integración de ontologías.
- **Herramientas de anotación basadas en ontologías.** Estas herramientas permiten la especificación y el mantenimiento de las anotaciones, siendo estas un tipo específico de metadato cuya finalidad consiste en ampliar los métodos de acceso a la información para facilitar la recuperación de información y la interoperabilidad. La gran mayoría de herramientas de desarrollo de ontologías ya incorporan métodos de anotación en el propio entorno (Coronado Altamirano, 2017).
- **Herramientas de consulta de ontologías y motores de inferencia.** Gestionan todo lo relacionado con consultas o inferencias. Estas herramientas emplean lenguajes propios y debido a su importancia, la gran mayoría de herramientas de desarrollo de ontologías incluyen alguna herramienta tanto para las consultas como para las inferencias.
- **Herramientas de aprendizaje de ontologías.** Tratan de derivar ontologías de manera semiautomática a partir de textos escritos en lenguaje natural y bases de datos usando técnicas de análisis de lenguaje natural y aprendizaje automático.

A lo largo de este trabajo se va a prestar atención principalmente a las herramientas de desarrollo de ontologías y a los motores de inferencia por lo que a continuación se describen las herramientas más relevantes de estas dos categorías. Debido a la gran cantidad de herramientas existentes, únicamente se describirán aquellas que no estén en desuso u obsoletas.

2.2.3.1. Herramientas de desarrollo de ontologías

En cuanto a las herramientas de desarrollo de ontologías empleadas en la actualidad y que no se encuentran en desuso u obsoletas caben destacar las siguientes:

Protégé⁵ es sin duda uno de los editores de ontologías más populares hasta la fecha. Está herramienta desarrollada por la universidad de Stanford y basada en Java, tiene tanto versión de escritorio (5.2) como de Web, es *open-source* y lleva activa desde finales de 1999. Protégé permite la creación y actualización de ontologías, consulta, exportación, importación, creación de anotaciones, evaluación, etc., gracias a su sistema de *plug-ins*.

TopBraid Composer⁶ forma parte de la suite desarrollada por TopQuadrant y destaca por su gran soporte visual en la edición de ontologías y su compatibilidad con formatos como UML, XML o bases de datos. Este editor basado en Java y cuya versión en el momento de realización de esta memoria es la 6.0 dispone de las mismas funcionalidades principales que Protégé.

NeOn Toolkit⁷ fue desarrollado dentro del proyecto NeOn y aunque en la actualidad ya se encuentra en desuso (su última versión data de finales de 2011), sigue siendo utilizado en determinados entornos. Esta herramienta ofrece soporte durante todas las actividades del ciclo de vida de las ontologías y se fundamenta en el editor **OntoStudio**⁸. Ambos editores se basan en la plataforma eclipse, son escalables y permiten todas las funcionalidades típicas de cualquier editor de ontologías.

Semaphore Ontology Manager⁹ es un editor relativamente nuevo que destaca por su fácil navegabilidad. A través de su versión Web, es posible gestionar tanto ontologías como taxonomías. Entre sus características más peculiares cabe resaltar que permite importar archivos Excel y CSV y emplear filtros avanzados para buscar instancias concretas.

HOZO Ontology Editor¹⁰ es un editor desarrollado en Japón a principios del siglo XXI y del que recientemente se ha publicado la versión 5.5 (Kozaki et al., 2002). Destaca por su interfaz y permite la exportación e importación de ontologías, la gestión de instancias y la comparación de varias versiones de la ontología.

Tool for Ontology Development and Editing (TODE) es un editor basado en la tecnología .net desarrollado en el año 2010 (Islam et al., 2010). Este editor permite la importación y exportación de un gran número de lenguajes (RDF, OWL-LITE, N-3, N-Triple y RDBMS) pero no dispone de razonadores de inferencias en la primera versión. En el año 2015, surgió la segunda versión de esta herramienta que ya incorpora razonadores semánticos permitiendo inferir conocimiento.

⁵<https://protege.stanford.edu/>

⁶<https://www.topquadrant.com/tools/IDE-topbraid-composer-maestro-edition/>

⁷http://neon-toolkit.org/wiki/Main_Page.html

⁸<http://www.semafora-systems.com/en/products/ontostudio>

⁹<https://www.smartlogic.com/products/ontology-editor>

¹⁰<http://www.hozo.jp/>

Fluent Editor¹¹ es un editor de ontologías desarrollado siguiendo el formato de los programas de Microsoft. Este editor permite el diseño y la colaboración de ontologías además de disponer de un mecanismo para inferir conocimiento a través de SWRL. También ofrece interoperabilidad con Protégé y con el lenguaje estadístico R.

Semantic Turkey¹² es un editor de ontologías desarrollado por la Universidad de Roma a partir del año 2013. Emplea el navegador Firefox para la gestión adquisición e intercambio de conocimiento y permite la utilización de librerías como Jena. A finales de 2016 publicaron su última versión (0.12.2) encontrándose todavía la herramienta en una fase de desarrollo.

Ontology Based Information System (OBIS) fue desarrollado en el año 2014 por Kārlis Čerāns y Aiga Romāne (2015). Este editor responde a la mayoría de funcionalidades típicas (consulta, gestión, anotaciones, etc.) exceptuando las inferencias. La versión actual es la 1.4.1 de noviembre de 2015.

Tras un análisis de todas las herramientas de desarrollo de ontologías, se ha decidido emplear en este trabajo Protégé puesto que cuenta con un gran soporte, ofrece todas las funcionalidades necesarias para el desarrollo de este proyecto y fue el empleado para el desarrollo de la Ontología del Estudiante original, soporte inicial de este trabajo.

2.2.3.2. Motores de inferencia

Una de las funcionalidades más beneficiosas de las ontologías es la posibilidad de inferencia de conocimiento, es decir, a partir de un conjunto de datos introducidos en la ontología se puede deducir de manera automática más información mediante reglas (por ejemplo, si Alicia es hija de Roberto y este es hermano de Carlos entonces Carlos es el tío de Alicia). Este proceso se lleva a cabo a partir de los motores de inferencia o los denominados razonadores semánticos. La universidad de Manchester¹³ ofreció en el año 2016 una lista de los razonadores de lógica descriptiva que se encontraban entonces activos. A continuación se ofrece una breve descripción de los motores de inferencia y razonadores más utilizados en la actualidad, incluyendo también los basados en reglas.

Bossam¹⁴ es un motor de reglas basado en el algoritmo RETE que dispone de un soporte nativo para el razonamiento sobre las ontologías con formato OWL y reglas expresadas en SWRL o RuleML. Aunque en la actualidad se encuentra en desuso y ha sido sustituido por otros razonadores más recientes, Bossam posee características de expresividad como el empleo de símbolos para las referencias URI, sintaxis escrita en lógica de segundo orden, la posibilidad de incluir disyunciones en el antecedente y de conjunciones en el consecuente, método basado en URIs para llamar a objetos java y soporte para las negaciones clásica y por ausencia.

Pellet es un razonador de código abierto basado en java que puede comprobar la consistencia de las ontologías, explicar inferencias, responder a consultas escritas en SPARQL, etc. (Sirin et al., 2007). Pellet es el razonador por defecto de Protégé y puede ser usado tanto con las bibliotecas OWL-API como con Jena. Cabe destacar que este razonador incorpora optimizaciones para las clases enumeradas y razonamiento incremental (también incluido en la herramienta Protégé).

FaCT++ es un razonador basado en tablas para expresividad en lógica descriptiva (Tsarkov

¹¹<http://www.cognitum.eu/semantics/FluentEditor/>

¹²<http://semanticturkey.uniroma2.it/>

¹³<http://owl.cs.manchester.ac.uk/tools/list-of-reasoners/>

¹⁴<https://bossam.wordpress.com/>

and Horrocks, 2006). FaCT++, que puede ser empleado de manera autónoma o a través de una aplicación basada en la API de OWL, es un razonador de código abierto incluido por defecto de Protégé.

ELK es un razonador ontológico basado en java y desarrollado dentro del proyecto ConDOR cuyo objetivo es el total soporte del perfil OWL 2 EL (Kazakov et al., 2014). Este razonador es considerado uno de los más rápidos, forma parte de los razonadores de Protégé (desde la versión 4.1) y está disponible bajo licencia Apache 2.0.

HermiT es un razonador relativamente novedoso que trata de dar soporte correcto y completo a la especificación OWL 2 DL (Glimm et al., 2014). Este razonador es soportado por Protégé, la línea de comandos y el API de OWL y es capaz de analizar la consistencia, satisfacción, etc.

Jcel es un razonador de código abierto basado en java que soporta parte de OWL 2 EL (Mendez, 2012). Este razonador de lógica descriptiva implementa un algoritmo modular basado en reglas. Jcel puede ser incluido en Protégé como *plug-in*.

Racer es un sistema de representación de conocimiento que evoluciona del sistema RacerPro (Haarslev et al., 2012). Este razonador de lógica descriptiva implementa una tabla de cálculos optimizada, dispone de su propio lenguaje de consultas (nRQL) y puede ser lanzado a través de Lisp y Java.

Ontop¹⁵ es una plataforma para la consulta de bases de datos a través de SPARQL. Esta, puede integrarse con Protégé, soporta OWL 2 QL y RDFS y es extremadamente rápida.

Drools¹⁶ es un sistema de gestión de reglas de negocio que permite el encadenamiento hacia adelante y hacia atrás. Este sistema, incluido en Protégé para la inferencia de las reglas SWRL, es software libre.

Jess¹⁷ es un motor de reglas para la plataforma java que usa encadenamiento hacia adelante. En la actualidad su uso junto con SWRL es habitual en muchas ontologías existiendo incluso un *plug-in* específico para ello en Protégé.

Jena¹⁸ es un *framework* para la construcción de aplicaciones semánticas y de *linked data*. Este *framework* dispone de un API para inferencias que soporta encadenamiento hacia adelante y hacia atrás. En la propia distribución de Jena se encuentran predefinidos un razonador transitivo, un razonador de reglas RDFS, un razonador OWL y un razonador de reglas genérico.

OntoBroker¹⁹ es un motor de inferencia de alto rendimiento y *middleware* de la Web Semántica para la evaluación de ontologías complejas. Actualmente, OntoBroker soporta todas las recomendaciones de la Web Semántica indicadas por la W3C (OWL, RDF, RDFS y SPARQL).

Flora-2²⁰ es un sistema de razonamiento y representación de conocimiento orientado a objetos que integra F-logic, HiLog y Transaction Logic en un lenguaje de inferencias y representación de conocimiento.

¹⁵<http://ontop.inf.unibz.it/>

¹⁶<https://www.drools.org/>

¹⁷<http://www.jessrules.com/links/>

¹⁸<https://jena.apache.org/documentation/inference/>

¹⁹<http://www.semafora-systems.com/en/products/ontobroker/>

²⁰<http://flora.sourceforge.net/>

BaseViSor 2.0 es un motor de inferencias basado en Java, con encadenamiento hacia adelante y optimizado para el manejo de hechos a través de triples RDF (Matheus et al., 2006). Es considerablemente rápido tanto en la consulta como en la realización de inferencias.

DBOWL es un razonador OWL persistente y escalable que emplea lógica descriptiva y bases de datos para precalcular las propiedades jerárquicas y obtener toda la información requerida mediante SPARQL (del Mar Roldán-García and Aldana-Montes, 2012).

DeLorean es el primer razonador ontológico que soporta extensiones difusas de OWL y OWL 2 (Bobillo et al., 2012). Este razonador inicialmente se basó en Jena, sin embargo en la actualidad emplea Pellet para permitir toda la expresividad de OWL 1.1.

Konclude es un razonador de lógica descriptiva de alto rendimiento para ontologías grandes y expresivas. Konclude soporta OWL 2 en prácticamente su totalidad (a excepción de algunos tipos de datos). Este razonador puede ser usado a través de OWLlink y de línea de comandos (Steigmiller et al., 2014).

MORe combina razonadores especialmente optimizados para diferentes perfiles de OWL con el fin de clasificar las ontologías mediante técnicas de extracción de módulos. MORe está disponible a través de Protégé, OWL API y la línea de comandos (Armas Romero et al., 2012).

KAON2²¹, el sucesor del proyecto KAON, es una infraestructura para la gestión de ontologías OWL-DL, SWRL y F-Logic. KAON2 proporciona un servidor autónomo, un motor de inferencias, una interfaz para incluirlo en herramientas como Protégé y un módulo para extraer instancias a partir de bases de datos relacionales.

2.2.4. Metodologías de desarrollo de ontologías

En los anteriores apartados se ha explicado qué es una ontología y se han descrito los componentes, lenguajes, las herramientas y los motores de inferencia. A continuación se procede a detallar las diferentes metodologías de desarrollo. Para ello, es preciso comenzar con la definición de metodología.

El IEEE define el término metodología como la serie completa e integrada de técnicas o métodos que crean una teoría del sistema general de cómo una clase de trabajo intensivo en ideas debería llevarse a cabo (Committee et al., 1990).

Tras presentar la definición de este término ofrecida por el IEEE, se detallan cronológicamente las principales metodologías de desarrollo de ontologías.

La primera aproximación data de 1990 cuando Lenat y Guha publicaron algunos pasos generales para la construcción de ontologías sobre la ontología CYC (Lenat and Guha, 1990). En 1995 surgen la metodología de Uschold y King (1995) y la metodología de Grüninger y Fox (1995), consideradas como las primeras guías metodológicas sobre ontologías. **La metodología de Uschold y King** propone una serie de pasos para especificar los conocimientos en un dominio específico. Estos pasos son: (1) identificar el propósito, (2) determinar los conceptos y las relaciones entre conceptos y (3) codificar la ontología a partir de los pasos anteriores. El resultado debe ser documentado y evaluado con el fin de poder reutilizar dicha ontología. Por su parte, **la metodología de Grüninger y Fox** propone: (1) identificar las posibles aplicaciones de la ontología, (2) determinar el ámbito de la ontología a través de las cuestiones de competencia

²¹<http://kaon2.semanticweb.org/>

(conjunto de preguntas en lenguaje natural utilizadas para extraer los conceptos, propiedades, relaciones y axiomas). En 1996 se presentó la **metodología KACTUS** (Bernaras et al., 1996) para la construcción de ontologías en el dominio de redes eléctricas. Esta metodología propone en primer lugar realizar la especificación de la aplicación, en segundo lugar llevar a cabo el diseño preliminar basado en categorías ontológicas de alto nivel más relevantes y, en último lugar refinar y estructurar la ontología.

También en 1996 aparece la **metodología METHONTOLOGY** (Gómez-Pérez et al., 1996) considerada de mayor entidad. Esta metodología propone un ciclo de vida completo basado en el desarrollo de prototipos, que tiene en cuenta además actividades de planificación, calidad o documentación. METHONTOLOGY se apoya en ideas de metodologías previas como la posibilidad de reutilización de ontologías o el uso de cuestiones de competencia para describir los requerimientos que la ontología debería cumplir. Asimismo, se pueden identificar diferentes actividades o estados (véase Figura 2.14).

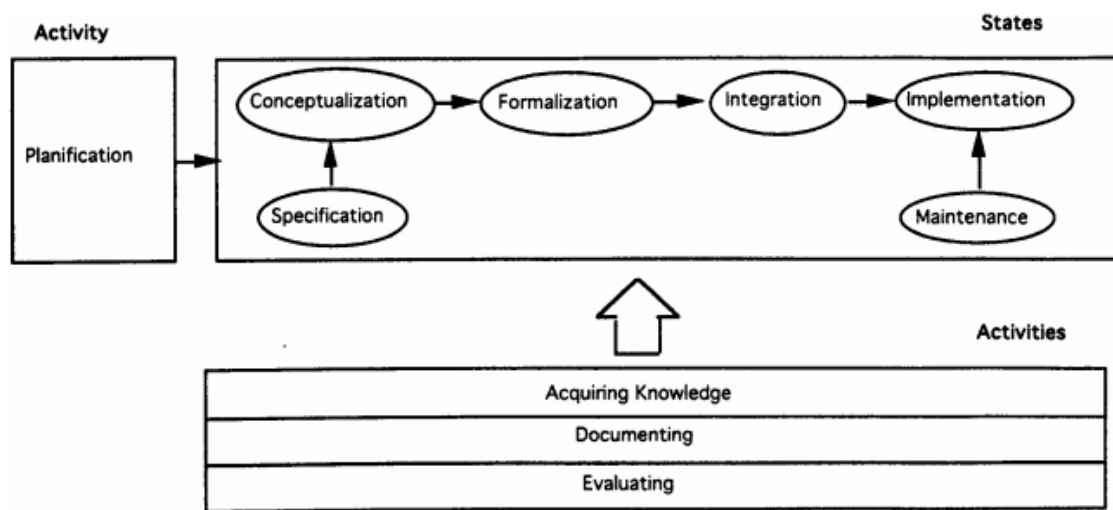


Figure 1. States and activities

Figura 2.14: Estados y actividades de la metodología METHONTOLOGY. Extraído de (Fernández-López et al., 1997).

1. Actividades:

- a) **Planificación.** Organización de las tareas principales, análisis de recursos (temporales, económicos, materiales, personal necesario).
- b) **Adquisición de conocimiento.** Técnicas de ingeniería del conocimiento (entrevistas, cuestionarios, mapas conceptuales, etc.).
- c) **Documentación.** Escribir después de cada fase un documento con el proceso seguido (*documento de especificación de requisitos, documento de adquisición de conocimiento, documento del modelo conceptual, documento de formalización, documento de integración, documento de implementación y documento de evaluación*).
- d) **Evaluación.** Validación y verificación de las ontologías en busca de inconsistencias, redundancias, etc., posteriormente recogidas en el documento de evaluación teniendo en cuenta las técnicas empleadas y errores encontrados.

2. Estados o fases:

- a) **Especificación.** Producir un documento de especificación ontológico basado principalmente en cuestiones de competencia. Debe incluir, al menos, el propósito de la ontología, usos propuestos, escenarios de uso, usuarios finales, el nivel de formalidad y el alcance.

- b) **Conceptualización.** Estructurar el dominio de conocimiento como un modelo conceptual que describe el problema y la solución en términos identificados en la fase de especificación.
- c) **Formalización.** Transformar el modelo conceptual en un modelo formal.
- d) **Integración.** Inspeccionar las meta-ontologías existentes para garantizar la reutilización de definiciones ya existentes. Investigar las bibliotecas de ontologías relacionadas con los términos identificados en la fase de conceptualización.
- e) **Implementación.** Codificación de las ontologías en un lenguaje formal mediante el uso de un entorno que soporte las meta-ontologías.
- f) **Mantenimiento.** Conservación de la ontología manteniéndola disponible, actualizada, etc.

Ya en 1997 se propuso una nueva metodología basada en la ontología de SENSUS (Swartout et al., 1996). Esta metodología identifica los términos relevantes en un dominio particular y a continuación, dichos términos son enlazados de manera manual a una ontología de amplia cobertura. De esta forma, cuando el usuario selecciona los términos relevantes para describir su dominio, se le devuelve un conjunto de términos estructurados jerárquicamente que pueden emplearse como esqueleto para la base de su conocimiento. En 1999, aparece la **metodología TERMINAE** (Biébow et al., 1999), cuya finalidad es la construcción de ontologías a partir de textos y se basa en el análisis lingüístico a través de herramientas para el procesamiento del lenguaje natural. El funcionamiento es el siguiente: se obtiene una lista de palabras, frases y algunas dependencias gramaticales que se usan como entrada, junto con el texto original, para el proceso de modelado.

En el año 2001, surge la **metodología On-To-Knowledge** (Staab et al., 2001) orientada a construir ontologías empleadas en la gestión de conocimientos. Para ello, esta propuesta sugiere la construcción de ontologías basándose en el análisis de escenarios de uso. On-To-Knowledge considera que el ciclo de vida de las ontologías está formado por cinco procesos descritos a continuación.

1. **Estudio de viabilidad.** Proceso inicial que emplea la metodología CommonKads (Schreiber and Akkermans, 2000). Este proceso afecta a todo el ciclo de vida y sirve como base del siguiente proceso. Por tanto, debe realizarse de manera obligatoria como tarea inicial.
2. **Inicio.** Proceso que obtiene como resultado el documento de especificación de requisitos. Este documento debe incluir, al menos, el dominio y la meta de la ontología, guías de diseño, fuentes de conocimiento, usuarios potenciales, casos de uso y aplicaciones soportadas. En este proceso se propone el uso de las cuestiones de competencia y la búsqueda de otros recursos ontológicos similares sin detallar cómo realizar estas tareas.
3. **Refinamiento.** Este proceso tiene el propósito de crear una ontología madura orientada a los escenarios de uso finales conforme al documento de especificación de requisitos del proceso anterior. Está formado por dos actividades: el refinamiento de la ontología con expertos del dominio e implementación de la ontología usando el lenguaje seleccionado.
4. **Evaluación.** En este proceso se prueba la utilidad de la ontología desarrollada a través de dos actividades. La primera actividad comprueba si la ontología satisface el documento de especificación de requisitos y responde a las cuestiones de competencia, mientras que la segunda actividad examina la ontología en el entorno de la aplicación. Es habitual repetir esta fase hasta que se alcance el refinamiento previsto.
5. **Mantenimiento.** Este proceso tiene como meta la conservación de la ontología en las mejores condiciones. En él, se recomienda la implantación de una nueva versión de la ontología tras el testeo de la aplicación.

Igualmente, en el año 2001, se propone **ontology development 101** (Noy et al., 2001), una metodología que propone: (1) determinar el dominio y el ámbito de la ontología con ayuda de las cuestiones de competencia, (2) analizar si es posible reutilizar ontologías, (3) enumerar los términos clave en la ontología, (4) definir la jerarquía de clases, (5) definir las propiedades de las clases, (6) definir la cardinalidad y (7) crear las instancias.

En el año 2004 surge la **metodología DILIGENT** (Pinto et al., 2004), enfocada al desarrollo colaborativo de ontologías. Esta metodología plantea un modelo de ciclo de vida basado en la evolución de prototipos a partir de cinco actividades.

1. **Construcción.** En esta actividad inicial, un equipo de trabajo, a priori pequeño, formado por expertos de dominio, usuarios, ingenieros de conocimiento e ingenieros ontológicos, construirán una ontología inicial consensuada sin importar la completitud de la misma.
2. **Adaptación local.** Cuando la primera versión de la ontología ya se haya construido, los usuarios podrán trabajar con ella independientemente y adaptar una copia local a sus necesidades.
3. **Análisis.** En esta actividad, un comité de control evalúa los cambios que han realizado los usuarios en la actividad anterior para decidir los cambios que serán tenidos en cuenta en la siguiente versión de la ontología sin que su mantenimiento sea insostenible.
4. **Revisión.** A continuación, se revisa la ontología creando y distribuyendo una versión con los cambios confirmados en la actividad anterior.
5. **Actualización local.** Finalmente, los usuarios deben actualizar su copia local para beneficiarse de la nueva versión de la ontología.

Este proceso puede repetirse tantas veces como se considere oportuno con el fin de desarrollar una ontología actualizada, completa y mantenible. Debido a que esta metodología cuenta desde el principio con el soporte de expertos y usuarios finales, la ontología resultante es fácilmente aplicable a entornos reales.

En el año 2007 surge la **metodología NeOn** para la construcción de ontologías (Suárez-Figueroa et al., 2007). NeOn se beneficia de las ventajas recogidas en las metodologías previamente analizadas y trata de sobreponerse a las limitaciones encontradas (falta de información sobre cómo elaborar la ontología) ofreciendo una serie de guías para los nueve escenarios recogidos en esta. Estos escenarios se basan en la estrategia “divide y vencerás” y representan las diferentes alternativas para la construcción de una ontología. A continuación se detallan estos escenarios.

- **Escenario 1.** *Construcción de redes de ontologías desde el principio sin reutilizar recursos de conocimiento.* Este escenario escenifica la situación donde se pretende desarrollar una ontología desde cero. Para ello, se requieren conocimientos acerca del dominio (general o específico) que va a tenerse en consideración en la ontología. En este escenario se recomienda seguir la secuencia de actividades propuesta en METHONTOLOGY (Gómez-Pérez et al., 1996) o en On-To-Knowledge (Staab et al., 2001). Como resultado, se espera obtener, además de una ontología (o red de ontologías²²), una serie de documentos (especificación de requisitos, evaluación, etc.).

²²Colección de ontologías conectadas entre sí mediante relaciones como mapeo, modularización o dependencia.

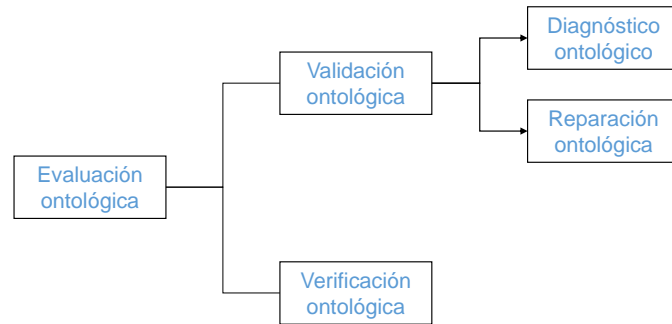


Figura 2.15: Actividad de evaluación de ontologías. Adaptación de (Suárez-Figueroa et al., 2007).

- **Escenario 2.** *Construcción de redes de ontologías mediante la reutilización y reingeniería de recursos no ontológicos.* Este escenario representa la situación en la que se manejan recursos no ontológicos con terminología consensuada del dominio deseado (glosarios, tesauros, taxonomías, etc.) para la construcción de la ontología. En este escenario, además de conocimientos sobre el dominio en cuestión, será necesaria la existencia de recursos no ontológicos en el ámbito analizado. La secuencia de actividades de este escenario consta de dos pasos extra previamente realizados al proceso habitual de desarrollo de una ontología (escenario 1). El primer paso, *non ontological resource reuse*, se encarga de analizar si existe uno o más recursos no ontológicos útiles para el desarrollo de la ontología. El segundo paso, *non ontological resource reengineering*, se encarga de recuperar y transformar el conjunto de recursos encontrados en una ontología (siguiendo las mismas pautas que en el escenario 1). En este escenario también se obtienen como resultados la ontología resultante y la serie de informes donde se documenta la ontología.

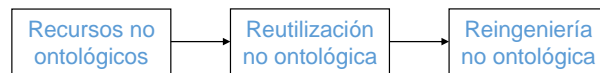


Figura 2.16: Reutilización y reingeniería de recursos no ontológicos. Adaptación de (Suárez-Figueroa et al., 2007).

- **Escenario 3.** *Construcción de redes de ontologías mediante la reutilización de recursos ontológicos.* Este escenario ilustra la situación en la que existen ya recursos ontológicos en el ámbito buscado. Como prerequisites necesarios para desarrollar una ontología siguiendo este tercer escenario, deben existir recursos ontológicos en el ámbito analizado. Los pasos a seguir para este escenario son: (1) buscar ontologías o módulos ontológicos en repositorios o bibliotecas ontológicas, (2) evaluar si estos recursos satisfacen las necesidades a través de la *actividad de evaluación de ontologías*, (3) comparar los recursos encontrados teniendo en cuenta los requisitos y criterios mediante la *actividad de comparación de ontologías*, (4) seleccionar las ontologías más apropiadas de acuerdo con los requisitos a partir de la *actividad de selección de ontologías* y, (5) definir el modo de reutilización de los recursos (reutilización pura, reutilización parcial o fusión de ontologías). Además de la ontología y los documentos genéricos, se deberá detallar el modo de reutilización de los recursos.

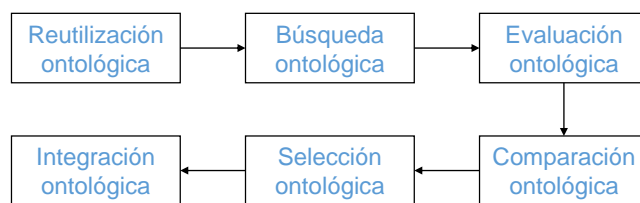


Figura 2.17: Actividad de reutilización de ontologías. Adaptación de (Suárez-Figueroa et al., 2007).

- **Escenario 4.** *Construcción de redes de ontologías mediante la reutilización y reingeniería de recursos ontológicos.* Este escenario define la situación en la que se pretende aplicar reingeniería a recursos ontológicos existentes antes de reutilizarlos en la construcción de una ontología. Los prerequisites de este escenario son idénticos a los del escenario 3, es decir, se requiere la existencia de recursos ontológicos del mismo área de interés. Las acciones a llevar a cabo en este escenario también son las mismas que en el escenario anterior con la excepción del último paso (modo de integración de los recursos). En este paso, los desarrolladores concluyen la necesidad de transformar una ontología o módulo ontológico mediante la *actividad de reingeniería ontológica*. Esta actividad está compuesta por un proceso de ingeniería inversa (*reverse engineering*), otro de reestructuración y un último proceso de ingeniería directa (*forward engineering*). Finalmente, es necesario decidir el nivel de esta actividad (implementación, conceptualización, especificación o alcance). Como resultado se obtienen la ontología u ontologías resultado y una serie de documentos (especificación de requisitos, proceso de reingeniería, documentación de la ontología, etc.).

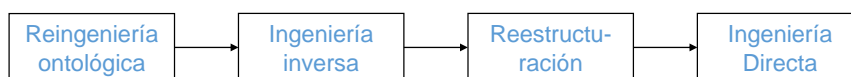


Figura 2.18: Actividad de reingeniería de ontologías. Adaptación de (Suárez-Figueroa et al., 2007).

- **Escenario 5.** *Construcción de redes de ontologías mediante la reutilización y combinación (merging) de recursos ontológicos.* En este escenario se contempla la posibilidad de combinar recursos ontológicos previamente a su integración en la ontología deseada. Para este escenario, sigue siendo estrictamente necesaria la existencia de recursos ontológicos del dominio en cuestión. La secuencia de acciones es similar a la del escenario 3 exceptuando el paso 5 (modo de integración de recursos) donde se lleva a cabo la actividad de *alineación de ontologías*. En esta actividad se determinan las correspondencias existentes entre entidades ontológicas. Por consiguiente, mediante este escenario se obtiene, además de los resultados habituales, un documento de alineación de ontologías.

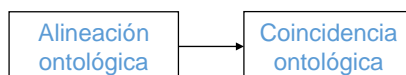


Figura 2.19: Actividad de alineación de ontologías. Adaptación de (Suárez-Figueroa et al., 2007).

- **Escenario 6.** *Construcción de redes de ontologías mediante la reutilización, combinación y reingeniería de recursos ontológicos.* Este escenario atiende a la situación donde un proceso de combinación y reingeniería se lleva a cabo antes de aplicar la reutilización en

la construcción de la ontología deseada. En este escenario también es imprescindible la existencia de ontologías en el mismo dominio. La secuencia de acciones es similar a la del escenario 5 con la inclusión de la actividad de *reingeniería ontológica* después de combinar los distintos recursos ontológicos. Los resultados a obtener son los ya comentados en el escenario 5, además del documento de reingeniería ontológica.

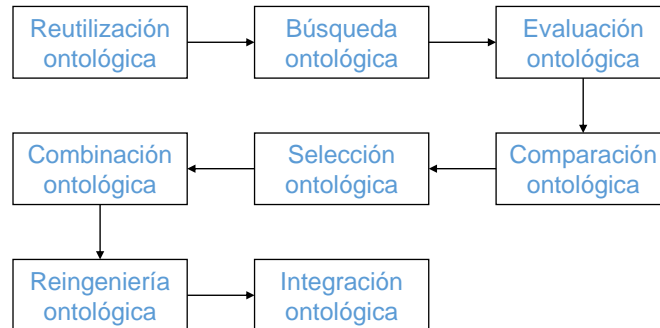


Figura 2.20: Ejemplificación de las acciones realizadas en el escenario 6.

- **Escenario 7.** *Construcción de redes de ontologías mediante la reutilización de patrones de diseño de ontologías.* En este escenario se emplean patrones de diseño ontológicos con la finalidad de reducir las dificultades del modelado, acelerar el proceso de creación, comprobar la adecuación de las decisiones o evaluar las soluciones del modelado. Para este escenario, es necesario tener conocimientos acerca del dominio en cuestión y deben existir repositorios o catálogos de patrones de diseño ontológicos que describan completamente los patrones de diseño. Este escenario puede tener lugar durante las actividades de conceptualización, formalización o implementación y consiste en: (1) búsqueda de patrones de diseño ontológicos, (2) selección de patrones de diseño, (3) adaptación de patrones de diseño e (4) integración de patrones de diseño. Como resultado se obtiene un patrón de diseño integrado en la ontología o red de ontologías (Suárez-Figueroa, 2010).

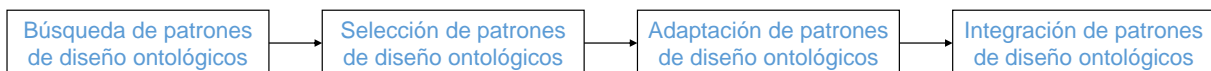


Figura 2.21: Actividad de evaluación de ontologías. Adaptación de (Suárez-Figueroa et al., 2007).

- **Escenario 8.** *Construcción de redes de ontologías mediante la reestructuración de recursos ontológicos.* Este escenario considera la posibilidad de reestructurar ontologías o módulos ontológicos. En este caso, únicamente es necesario el conocimiento del dominio de la ontología como prerrequisito. La actividad abordada en este escenario (reestructuración) se origina tras la actividad de *conceptualización ontológica* y puede incluir diferentes subactividades (véase Figura 2.22). Esta actividad puede ser realizada mediante: (a) modularización ontológica para facilitar la reutilización, (b) podado ontológico de ramas que no sean necesarias, (c) extensión ontológica incluyendo nuevos conceptos y relaciones y, (d) especialización ontológica de las ramas que requieran una mayor granularidad. En este escenario el principal resultado obtenido es el modelo conceptual de la red de ontologías que representa el dominio esperado.

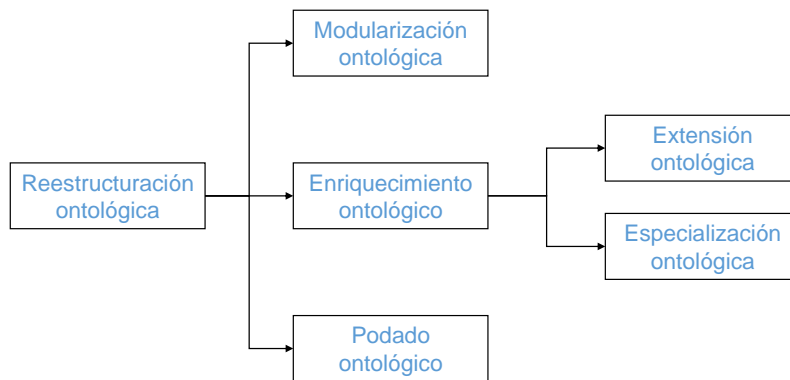


Figura 2.22: Actividad de reestructuración de ontologías. Adaptación de (Suárez-Figueroa et al., 2007).

- **Escenario 9.** *Construcción de redes de ontologías mediante localización de recursos ontológicos.* Este escenario toma en consideración recursos en diferentes idiomas para desarrollar una ontología o módulo ontológico multilingüaje. Para este escenario, es necesario conocer el dominio de la ontología a desarrollar. Asimismo, recursos acerca del dominio en diferentes idiomas tales como diccionarios, tesauros, etc., deben estar disponibles. La secuencia de acciones tiene lugar después de que la ontología haya sido conceptualizada y reestructurada. En este momento, los términos son traducidos a un lenguaje natural (español, francés, alemán, etc.) diferente al empleado en la fase de conceptualización. Estos detalles deben ser recogidos en el documento de localización ontológica. principal resultado obtenido de este escenario.

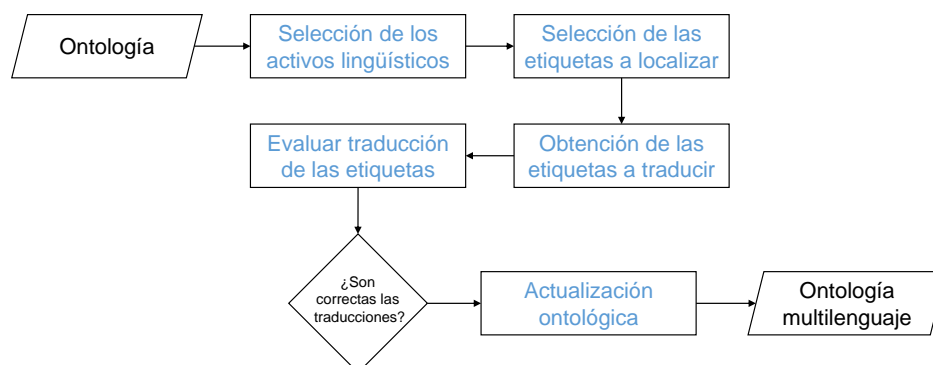


Figura 2.23: Tareas propuestas para la localización de ontologías. Adaptación de (Espinoza et al., 2009).

Dutta, Chatterjee y Madalli presentaron YAMO en 2015 (Dutta et al., 2015). Yamo es una metodología para el desarrollo de ontologías de dominio específico. Sigue un enfoque en dos direcciones, es decir, primero *top-down* (se construyen los conceptos más abstractos primero y progresivamente se especifican conceptos más concretos) y después *bottom-up* (se identifican las características de los conceptos más concretos y se agrupan en entidades superiores hasta llegar a los elementos más abstractos). La metodología se divide en los 10 pasos descritos a continuación (véase Figura 2.24).

1. **Identificación del dominio.** Consiste en reconocer el dominio (campo de estudio) alrededor del cual se construirá la ontología.
2. **Marca de dominio.** Define el propósito para construir la ontología. Incluye la descripción del caso de uso más específico y la aplicación de la ontología para los usuarios finales.

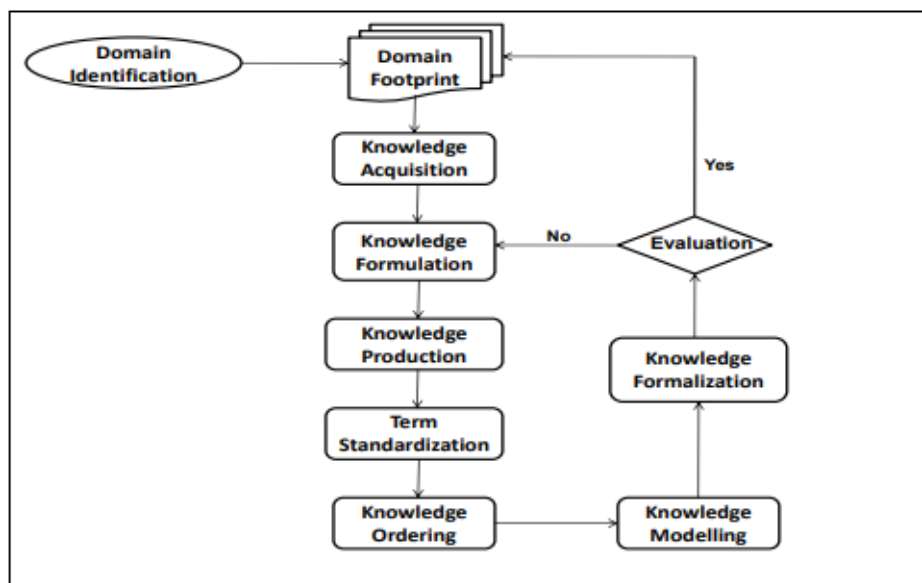


Figura 2.24: Metodología YAMO. Extraído de (Dutta et al., 2015).

3. **Adquisición del conocimiento.** Implica la recopilación de información de diferentes recursos que conducen a ampliar el espectro de conocimiento de dominio. Es una técnica de tormenta de ideas que ayuda a construir la ontología mediante la recopilación de ideas, términos, conceptos y sus características relacionadas con el dominio.
4. **Formulación del conocimiento.** Implica el análisis de ideas compuestas y complejas relacionadas con el dominio y su división en ideas elementales. A continuación, cada una de las ideas se analiza en función de sus características y se agrupan en función de ellas.
5. **Producción del conocimiento.** Implica la síntesis del conocimiento del dominio, lo que lleva a organizarlo mediante el establecimiento de relaciones entre conceptos.
6. **Estandarización de términos.** Conduce a la estandarización de los términos que denotan los conceptos de dominio. Cuando existen diversos términos candidatos, se debe seleccionar un término preferido entre los términos sinónimos.
7. **Ordenación del conocimiento.** Trata de ordenar los términos existentes siguiendo un criterio (orden alfabético, complejidad, orden canónico, etc.).
8. **Modelado del conocimiento.** Se trata de estructurar y modelar las diversas facetas del conocimiento del dominio que se desarrollan en los pasos anteriores. Representa la entidad, las relaciones de la entidad y sus propiedades de manera inequívoca, y permite la preservación del conocimiento, lo que garantiza aún más la agregación, sustitución, mejora, intercambio y aplicación de la ontología.
9. **Formalización del conocimiento.** Consiste en automatizar el proceso de extracción de conocimiento. Implica expresar los conceptos de dominio de forma inequívoca y formal siguiendo lenguajes lógicos formales.
10. **Evaluación.** Este es el paso final de YAMO. Se trata de medir la calidad, el estándar y la especificación de la ontología para verificar hasta qué punto la ontología ha alcanzado el propósito para el que se construye.

La metodología para la construcción estructurada de ontologías (SOC por sus siglas en inglés) desarrollada por Gregor et al., surge un año después (Gregor et al., 2016). Su objetivo es descubrir servicios de sistemas de transporte inteligentes basados en patrones comunes y agruparlos en jerarquías que posibiliten la construcción de una ontología. La metodología SOC se divide en las ocho etapas descritas a continuación (véase Figura 2.25):

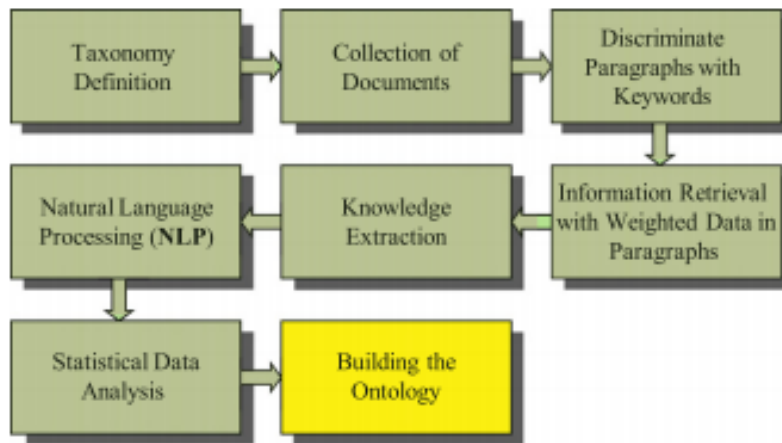


Figura 2.25: Metodología SOC. Extraído de (Gregor et al., 2016).

1. **Definición de la taxonomía.** El primer paso para desarrollar una ontología consiste en obtener un conjunto de conceptos o clases básicos que definen un dominio específico. Por lo general, este paso implica la búsqueda de un conjunto de palabras clave que cubran todos los temas y problemas relacionados con el dominio de destino.
2. **Selección de la colección de documentos.** El siguiente paso es la selección de la información relevante para aplicar técnicas semánticas. La idea principal de esta técnica es que, una vez que el usuario ha considerado que ciertos documentos recuperados son relevantes o irrelevantes, la información proporcionada se utiliza para adaptar la consulta, de modo que los documentos más relevantes se recuperan en una búsqueda posterior. Sin embargo, el proceso de alterar una consulta en la dirección de los documentos relevantes es una técnica eficaz para recuperar información de un documento completo, pero no de partes específicas de él.
3. **Discriminación de párrafos con palabras clave.** El principal objetivo de esta etapa es recuperar solo la información más relevante de las colecciones de documentos en forma de párrafos.
4. **Recuperación de información con datos ponderados en el párrafo.** El siguiente paso de la metodología propuesta consiste en la aplicación de un método que actúa como un sistema de retroalimentación discriminante para obtener las frecuencias relativas ponderadas basadas en una búsqueda específica.
5. **Extracción de conocimiento.** A partir de la información obtenida previamente, esta etapa analiza la co-ocurrencia de un subconjunto de palabras con el fin de obtener un espacio de conocimiento estructurado.
6. **Procesamiento del lenguaje natural.** En esta etapa se emplea la técnica SVD (*Singular Value Decomposition*) para la construcción de la ontología.
7. **Análisis estadístico.** Empleado para predecir o derivar relaciones útiles entre palabras, utilizando técnicas de agrupamiento y obtener una estructura de datos de las mismas.
8. **Construcción de la ontología.** Etapa final que se basa en los resultados anteriormente obtenidos para desarrollar la ontología.

También en 2016, De Nicola y Missiko propusieron UPON Lite, una metodología ligera para la ingeniería de ontología rápida (De Nicola and Missikoff, 2016). El objetivo de UPON lite es facilitar el desarrollo de ontologías para expertos en negocios y reducir la necesidad de ingenieros en ontología. Esta metodología consta de los seis pasos secuenciales descritos a continuación, que enriquecen progresivamente el producto final (véase 2.26).

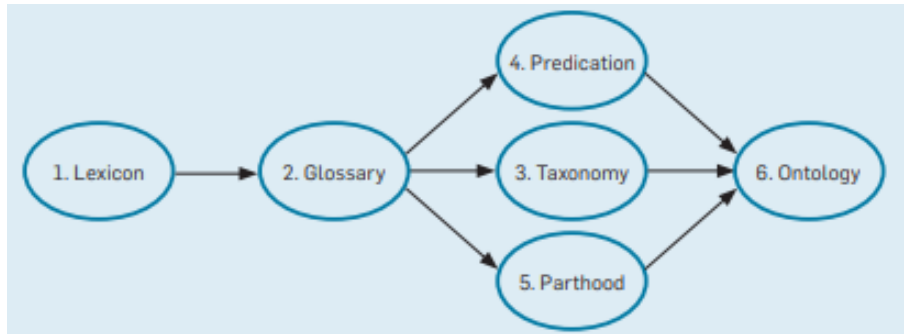


Figura 2.26: Metodología UPON Lite. Extraído de (De Nicola and Missikoff, 2016).

1. **Terminología de dominio.** En esta etapa se obtiene el léxico del dominio.
2. **Glosario de dominio.** Esta etapa es la responsable de obtener los términos del léxico asociado a una descripción textual, indicando también posibles sinónimos.
3. **Taxonomía.** Etapa que obtiene como resultado los términos de dominio organizados en una jerarquía de generalización/especialización.
4. **Predicados.** Obtiene los términos que representan las propiedades del glosario identificadas y conectadas a las entidades que caracterizan.
5. **Meronimia.** Responsable de obtener los nombres de entidades complejas conectadas a sus componentes, con todos los nombres que deben estar presentes en el glosario.
6. **Ontología.** Produce la ontología codificada formalmente utilizando, por ejemplo, el lenguaje OWL, que contiene el conocimiento conceptual recopilado en los cinco pasos anteriores.

El mismo año, Blomqvist et al. introdujeron la metodología de diseño de eXtreme (Blomqvist et al., 2016). Esta metodología está inspirada en metodologías ágiles de ingeniería de software. La metodología de diseño eXtreme se propuso inicialmente como una extensión de NeOn. Sin embargo, finalmente se consideró como una metodología completa que incorpora pasos iniciales, análisis de requisitos, desarrollo, prueba y lanzamiento. A continuación se describen las etapas de esta metodología que se repetirán iterativamente hasta que la ontología esté completa (véase Figura 2.27):

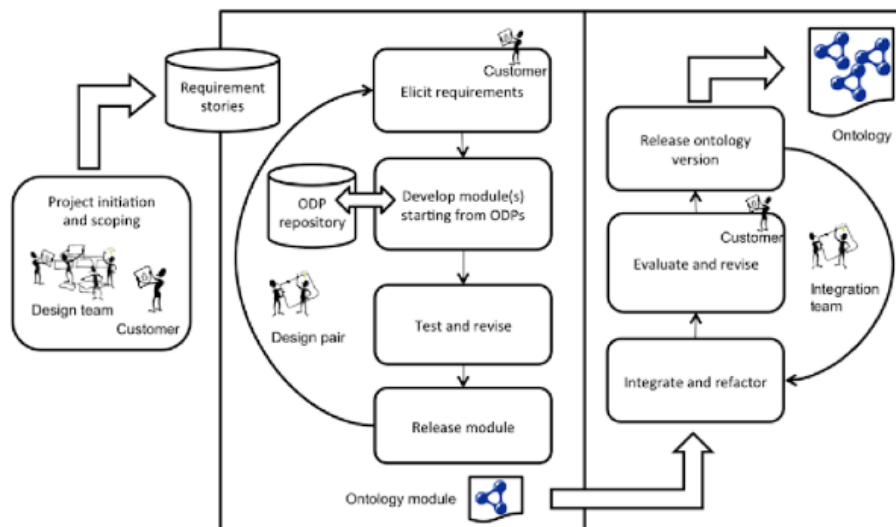


Figura 2.27: Metodología eXtreme Design. Extraído de (Blomqvist et al., 2016).

1. **Inicialización del proyecto y revisión del alcance.** Etapa encargada de definir la especificación del proyecto (roles, entornos, tecnología, requisitos, etc.). Además, se recogen *user stories* para determinar el alcance de la ontología.
2. **Módulo de desarrollo.** En este módulo (que engloba las diferentes etapas ilustradas en el rectángulo izquierdo de la Figura 2.27), (1) se selecciona una *user-story*, (2) se lleva a cabo el proceso de obtención de los requisitos de elicitación (cuestiones de competencia, estamentos contextuales y requerimientos de razonamiento) y se generaliza la historia, (3) se constituye el modelado mediante la creación de una solución que cubra todos los requisitos de la historia, (4) se evalúa el módulo y (5) se libera el módulo.
3. **Ciclo de integración.** Representa las diferentes etapas ilustradas en el rectángulo derecho de la Figura 2.27. La primera es la integración entre el módulo y la ontología. Para ello, es posible emplear sistemas de alineación de ontologías. La segunda consiste en la evaluación del módulo integrado en la ontología. Finalmente, se libera la versión de la ontología.

2.3. Sistemas de recomendación

Ricci et al. definieron los sistemas de recomendación como herramientas software, plataformas o módulos que tienen el objetivo de proporcionar sugerencias que se consideran de utilidad para el usuario (Ricci et al., 2011).

La mayoría de los expertos consideran cuatro arquitecturas de sistemas de recomendación: sistemas basados en contenido, sistemas basados en conocimiento, sistemas de filtrado colaborativo y sistemas híbridos. Las cuatro arquitecturas suelen emplear la denominada matriz de utilidad, que mapea los datos referentes a las preferencias de los usuarios con respecto a ciertos elementos. Cada valor dentro de la matriz representa un par usuario-elemento, sirviendo esta información como soporte para generar recomendaciones (Ullman et al., 2011).

- Los **sistemas basados en contenidos** buscan similitudes entre las propiedades de los elementos. Para ello, un enfoque bastante frecuente consiste en: (1) crear un vector con las características más importantes del elemento, (2) poblar la matriz de utilidad con la información de este vector para cada usuario y (3) buscar los elementos más cercanos al elemento actual para un usuario determinado a través del método *locality-sensitive hashing*²³.
- Los **sistemas basados en conocimiento** tratan de combinar las preferencias del usuario con las características del elemento para recomendar productos de dominios complejos.
- Los **sistemas de filtrado colaborativo** establecen su recomendación en base a las relaciones existentes entre usuarios y elementos. En este enfoque: (1) se rellena la matriz de utilidad para los diferentes usuarios y (2) se determina el grado de similitud entre usuarios a partir del índice de Jaccard²⁴ o el grado del coseno²⁵.
- Los **sistemas híbridos** combinan los enfoques previos para intentar mejorar el rendimiento del modelo de recomendación. Esta arquitectura fue creada con el propósito de compensar las desventajas de una arquitectura con las ventajas de las otras.

Además de los sistemas previos, otros autores consideran de especial relevancia otros sistemas de recomendación como los demográficos o los basados en utilidad. Estos sistemas son realmente subtipos de alguno de los sistemas de recomendación recientemente explicados y se dedicará un pequeño apartado al final de este capítulo para detallar sus características más relevantes.

²³Reduce la dimensionalidad de los datos agrupando los elementos de entrada similares.

²⁴Este parámetro es igual a la cardinalidad de la intersección de ambos conjuntos dividido entre la cardinalidad de su unión.

²⁵Función trigonométrica que calcula el coseno del ángulo comprendido entre dos vectores.

Como paso previo, y antes de profundizar en las características de los diferentes tipos de sistemas de recomendación, se va a proceder a explicar los problemas que sufren habitualmente los sistemas de recomendación.

El problema de arranque en frío, más conocido como *ramp-up problem* o *cold start problem* (Burke, 2002) se refiere en realidad a dos problemas distintos aunque estrechamente relacionados: hacer recomendaciones a un nuevo usuario y hacer recomendaciones sobre un nuevo producto. Este problema es muy habitual de los sistemas basados en contenido (es necesario disponer del perfil del usuario) y de los sistemas de filtrado colaborativo (detección de usuarios similares). Para solucionar la problemática referente al usuario, la mayoría de sistemas recurren a la realización de una encuesta inicial, a la obligatoriedad de rellenar un perfil o a la recomendación de los elementos más populares. La dificultad del nuevo producto, principalmente en entornos donde existe una aparición continua de nuevos elementos, suele resolverse incentivando la valoración por parte del usuario. Ligeramente relacionado con el problema de arranque en frío, se encuentra el problema de recopilación de información demográfica, ya que la necesidad de disponer de información sobre el perfil del usuario es opuesta a la facilidad de obtener este tipo de información en determinados dominios.

Un problema muy frecuente en los sistemas basados en contenidos y demográficos es la sobreespecialización (Su and Khoshgoftaar, 2009), es decir, este tipo de sistemas realiza las recomendaciones a partir de las valoraciones o características previas del usuario. Por tanto, si un usuario solamente ha valorado una categoría, el sistema recomendará elementos de esa categoría y cuantos más elementos valore de esta, más sobreespecializado estará. Respecto a este problema, la cualidad de aconsejar elementos inesperados se denomina serendipia y es frecuente en los sistemas de filtrado colaborativo.

Si bien es cierto que los anteriores problemas son frecuentes, existe otro grupo de problemas bastante comunes, que son los relacionados con la calidad de la recomendación. El primer problema de este tipo a describir es el *sparsity problem* o problema de la dispersión (Solanki and Batra, 2015) y sucede cuando el número de elementos es tan grande que es muy complejo que varios usuarios coincidan en recomendaciones. La existencia de un número elevado de elementos o usuarios puede dar lugar al denominado problema de escalabilidad (Su and Khoshgoftaar, 2009), que sucede cuando el coste computacional para determinar el conjunto de usuarios similares es demasiado alto dando lugar a una espera elevada para hacer la recomendación.

También es habitual el problema denominado efecto portfolio, es decir, la reducción de calidad de la recomendación cuando el sistema no es capaz de diferenciar dos elementos a priori muy parecidos pero que resultan ser diferentes (Burke, 2002) o el problema de la sinonimia que sucede cuando dos elementos potencialmente recomendables no son aconsejados por tener diferentes nombres (Su and Khoshgoftaar, 2009). La calidad también se ve afectada cuando se producen *shilling attacks* (Solanki and Batra, 2015), o lo que es lo mismo, cuando un proveedor emplea prácticas poco éticas para aumentar su valoración (*push attack*) o para reducir la valoración de proveedores rivales (*nuke attacks*).

Finalmente, la calidad se reduce para aquellos usuarios con gustos/preferencias minoritarias. El problema de la oveja gris (Claypool et al., 1999) afecta a aquellos usuarios que no pueden beneficiarse de los sistemas de recomendación porque sus gustos no se corresponden con las de otros grupos. El problema de la oveja negra (De Gemmis et al., 2009) ocurre cuando un grupo de usuarios tiene los gustos opuestos a la mayoría y, en consecuencia, es prácticamente imposible ofrecerle recomendaciones. Este problema se considera aceptable debido a que cualquier sistema tiene grandes dificultades para ofrecer recomendaciones a este tipo de usuarios.

2.3.1. Sistemas de recomendación basados en el contenido

Los sistemas de recomendación que implementan un enfoque de recomendación basado en el contenido analizan un conjunto de documentos y/o descripciones de elementos previamente evaluados por un usuario y a continuación construyen un modelo o perfil del interés del mismo basado en las características de los objetos evaluados por ese usuario (Mladenic, 1999).

Para aclarar el funcionamiento de este tipo de sistemas, se muestra en la Tabla 2.9 un conjunto de series con diferentes propiedades (género, duración y ubicación) y en la Tabla 2.10 un conjunto de usuarios con las series vistas hasta el momento.

- Juan no ha visto ninguna serie, por tanto, el sistema afronta el *cold start problem* o problema del arranque en frío. En estos casos, el sistema podría recomendarle cualquiera de ellas (al azar, la más popular, la última en estrenarse, etc.).
- María es fan de la comedia, por lo que ha visto diversas series de este género como *Friends* o *La que se avecina*, independientemente de la duración o ubicación. En esta situación, el sistema probablemente le recomendaría la visualización de otra comedia como *The Big Bang Theory* o *Modern Family*.
- A Carlos el género de las series no le parece tan relevante. Sin embargo, él disfruta de las series de una duración aproximada a 40 minutos porque es el tiempo libre que dispone cada día. Por tanto, el sistema podría recomendarle *Breaking Bad* o *The Walking Dead*.
- Ana no responde a ningún patrón reconocible con las propiedades analizadas ya que ella acostumbra a visualizar series de distinto género, duración y en diferentes ubicaciones. En este caso, el sistema le podría recomendar cualquier serie dependiendo de cómo esté programado. Algunos sistemas dan prioridad a las últimas n-series, otros consideran valores estadísticos (por ejemplo recomendación de la serie del género más visto por el usuario).

Tabla 2.9: Lista de instancias de series de televisión.

Título	Género	Duración	Ubicación
Friends	Comedia	≈ 20'	Estados Unidos
Juego de Tronos	Aventuras	≈ 40'	Fantasia
Perdidos	Drama	≈ 40'	Haway
Los Simpson	Dibujos	≈ 20'	Fantasia
Breaking Bad	Drama	≈ 40'	Estados unidos
The Walking Dead	Drama	≈ 45'	Estados Unidos
The Big Bang Theory	Comedia	≈ 20'	Estados Unidos
La que se avecina	Comedia	≈ 80'	España
Daredevil	Acción	≈ 40'	Estados Unidos
Modern Family	Comedia	≈ 20'	Estados Unidos

Tabla 2.10: Lista de instancias de usuarios.

Nombre	Series
Juan	
María	<i>Friends, La que se avecina</i>
Carlos	<i>Juego de Tronos, Perdidos y Daredevil</i>
Ana	<i>Los Simpson, The Walking Dead y La que se avecina</i>

En este ejemplo es muy fácil comprobar que no todas las propiedades suelen tener la misma importancia (el género es mucho más importante que la ubicación en la que esté ambientada la serie para la gran mayoría de los usuarios) por lo que en los sistemas de recomendación se suelen aplicar ponderaciones.

Según Ricci et al (2011), la arquitectura de los sistemas basados en contenidos está formada principalmente por tres componentes. El **analizador de contenidos** se encarga de preprocesar las fuentes de información (documentos, descripciones, comentarios, etc.) para transformar los contenidos a elementos que puedan ser comprendidos en las siguientes fases. El **perfil del usuario** recoge los datos representativos de las preferencias del usuario e intenta generalizarlos (habitualmente mediante técnicas de aprendizaje automático). El módulo del **componente de filtrado** aprovecha el perfil del usuario para recomendar elementos de características similares a este. Con el fin de ofrecer siempre la información más realista, el perfil es actualizado mediante la retroalimentación ofrecida por el usuario (*like/dislike*, evaluaciones, comentarios, etc.), ya sea positiva o negativa. La arquitectura de estos sistemas es mostrada en la Figura 2.28.

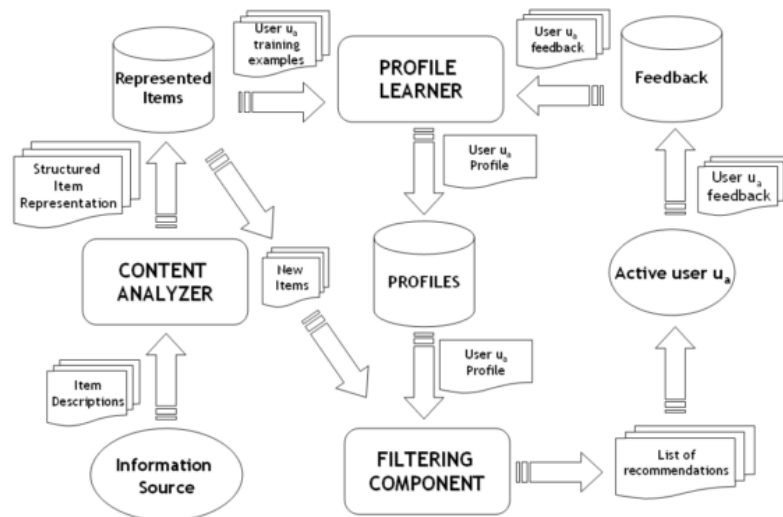


Figura 2.28: Arquitectura de los sistemas de recomendación basados en contenido. Extraído de (Ricci et al., 2011).

Los sistemas de recomendación basados en contenidos ofrecen una serie de ventajas entre las que se pueden destacar la independencia del usuario (construcción de tu propio perfil en lugar de las recomendaciones de usuarios activos), transparencia (las recomendaciones están basadas en fórmulas, reglas u otros indicadores con un nivel de fiabilidad razonable), posibilidad de recomendación de elementos nuevos.

Por el contrario, estos sistemas también afrontan dificultades como el análisis de contenido limitado (si el sistema no es capaz de discriminar los elementos que le gustan o no al usuario, entonces no podrá ofrecer recomendaciones adecuadas), la sobrespecialización (dificultad de recomendar nuevos tipos de productos debido a la incapacidad de ofrecer recomendaciones sobre categorías no valoradas) o la recomendación para nuevos usuarios (estos sistemas necesitan suficientes datos para ofrecer recomendaciones fiables).

2.3.2. Sistemas de recomendación basados en filtrado colaborativo

Los sistemas de recomendación que siguen un enfoque de filtrado colaborativo se basan en la calidad de los elementos evaluados por otros usuarios en lugar de confiar en el contenido. Esta aproximación, a diferencia de los sistemas de recomendación basados en contenidos, posibilita la recomendación de elementos con contenido muy diferente. Los sistemas de recomendación basados en filtrado colaborativo se apoyan en dos métodos generales; método de los *k-vecinos* o método basado en modelo (Ricci et al., 2011).

En el método basado en los *k-vecinos más próximos*, las predicciones de evaluación de los elementos de los *k-vecinos más próximos* son empleadas para predecir la evaluación del usuario por los mismos elementos. Por su parte, el método basado en el modelo aprovecha las evaluaciones para construir un modelo predictivo que considere las interacciones entre los usuarios y los elementos. Este modelo es, a continuación, entrenado con los datos disponibles para finalmente predecir la evaluación de los usuarios para nuevos elementos. En los sistemas de recomendación basados en los *k-vecinos más próximos* existen métodos de predicción basados en los usuarios y basados en los productos. Los primeros tratan de predecir la valoración de un usuario para un elemento usando las evaluaciones de los usuarios que han proporcionado los individuos más parecidos a ese producto. Los segundos intentan predecir la valoración de un usuario para un elemento a partir de sus valoraciones a objetos semejantes (véase Figura 2.29).

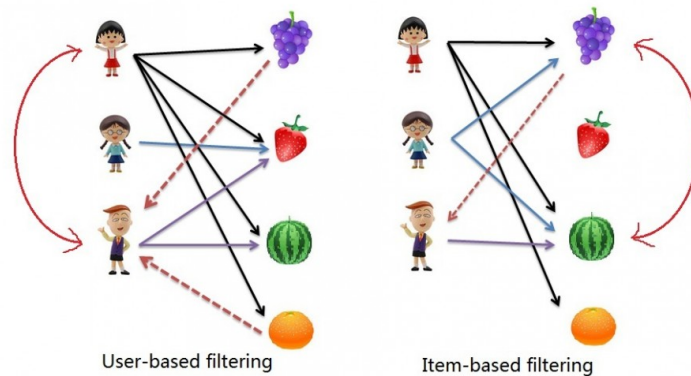


Figura 2.29: Diferencias entre los sistemas de recomendación basados en filtrado colaborativo. Extraído de www.salemmarafi.com/.

Para ejemplificar el funcionamiento de esta aproximación se procede a utilizar de nuevo un ejemplo con las series de televisión. En este caso, la Tabla 2.11 muestra la evaluación que un grupo de usuarios ha proporcionado para un conjunto de series, donde ninguna estrella representa que el usuario no ha valorado una serie, una estrella es la peor puntuación y cinco estrellas es la puntuación máxima. El sistema de recomendación trata de determinar si a Elena le podría interesar ver la serie *Breaking Bad* basándose en la opinión de los *k-vecinos más próximos*. Este método se fundamenta en la búsqueda de los usuarios que han tenido gustos similares al usuario objetivo en el pasado suponiendo que estos puedan tener gustos similares en el futuro. Para ello, es necesario determinar inicialmente: (1) cómo se va a medir la similitud entre usuarios (Correlación de Pearson, similitud del coseno, etc.), (2) cuántos vecinos se van a tener en cuenta y (3) cómo se van a generar las predicciones a partir de las valoraciones de los vecinos (Ruiz Iniesta, 2014).

Tabla 2.11: Lista de instancias de series de televisión.

Usuario	Modern Family	Friends	Perdidos	Juego de Tronos	Breaking Bad	Correlación de Pearson
Juan	*	***	****	*****	****	0.9
María	***	****	*	*****	*****	0.85
Carlos	***	**	****	****		0
Ana	**	****	**	*****	****	0.89
David		**	**	****	*****	0.87
Elena	**	****	**	****	?	

En este caso se ha decidido aplicar la correlación de Pearson, que es un coeficiente comprendido entre -1 y 1 frecuentemente utilizado para medir el grado de similitud de dos

variables cuantitativas. Si el resultado de aplicar este coeficiente es 1, existe correlación directa perfecta, si está entre 0 y 1 indica que existe correlación directa, si es 0 indica que no existe correlación, si está entre 0 y -1 existe correlación inversa, y si es igual a -1 indica que hay correlación inversa perfecta. La Fórmula 2.8 muestra el cálculo de este coeficiente suponiendo que a y b son usuarios, $r_{a,p}$ es la valoración del usuario a para el elemento p y P es el conjunto de elementos que han sido valorados.

$$sim(a, b) = \frac{\sum_{p \in P} (r_{a,p} - \bar{r}_a)(r_{b,p} - \bar{r}_b)}{\sqrt{\sum_{p \in P} (r_{a,p} - \bar{r}_a)^2} \sqrt{\sum_{p \in P} (r_{b,p} - \bar{r}_b)^2}} \quad (2.8)$$

Si para el ejemplo propuesto se decide tener en cuenta a los dos vecinos más próximos según el coeficiente de Pearson (Juan y Ana) y que la valoración esperada va a seguir respetando la correlación, entonces es posible predecir que Elena probablemente valorará la serie con una puntuación cercana a las cuatro estrellas y, por tanto, la recomendación sería razonable.

El gran inconveniente del método basado en los *k-vecinos más próximos* radica en el elevado orden computacional ya que, para cada recomendación, se debe analizar un conjunto de productos de varios usuarios. Por este motivo surgieron los métodos basados en modelos. Estos últimos construyen modelos estadísticos de patrones de valoración para realizar la predicción (Ruiz Iniesta, 2014). Alguno de los modelos más populares son el modelo de los factores latentes, KOREN, el modelo de semántica latente, HOFMANN o basado en redes neuronales, SALAK.

La ventaja más notable de los sistemas de filtrado colaborativo es que estos no requieren de información del usuario o del producto con la salvedad de la valoración que ofrezcan los usuarios sobre estos productos. Además, otra gran ventaja es la posibilidad de ofrecer productos de distintas categorías al depender del comportamiento de otros usuarios y no del contenido.

En general, los sistemas de filtrado colaborativo sufren de problemas de dispersión, siendo difícil encontrar vecinos con un elevado nivel de correlación. En consecuencia, tienen grandes dificultades aquellos usuarios con valoraciones poco habituales puesto que es extremadamente complicado encontrar un vecindario fiable (*gray sheep*). Al igual que los sistemas basados en contenidos, estos también deben afrontar el reto del arranque en frío, tanto para usuarios, como para productos. Finalmente, estos sistemas de recomendación pueden adolecer de fiabilidad puesto que, por ejemplo, un ataque informático en cadena podría transformar las recomendaciones positivas en negativas y viceversa (*shilling attacks*).

Con el fin de exponer la situación actual del estado de la cuestión, en la sección 3.4 se analizan minuciosamente los principales sistemas de recomendación basados en filtrado colaborativo existentes en la actualidad en el ámbito educativo.

2.3.3. Sistemas de recomendación basados en el conocimiento

Los sistemas de recomendación basados en el conocimiento surgen de la necesidad de profundización en las recomendaciones de dominios complejos. Estos sistemas combinan información del elemento con información del usuario respondiendo a preguntas como: ¿Para qué quiere el usuario un elemento? ¿Qué considera el usuario relevante sobre un elemento? En este sentido, los sistemas de recomendación basados en el contenido o de filtrado colaborativo no suelen estar preparados para entornos tan complejos.

Un ejemplo de este tipo de sistemas es la elección de una cámara fotográfica o de un teléfono móvil. Este tipo de dispositivos proporciona una gran variedad de características diferentes de acuerdo a qué tipo de usuario vaya dirigido. Estas características pueden afectar a otras (el tamaño de la pantalla confronta con la duración de la batería o la incorporación de una cámara con más megapíxeles afecta al precio final del producto). Para ilustrar este ejemplo, se muestra a continuación la Tabla 2.12 que contiene información sobre diversos teléfonos móviles existentes en el mercado.

Tabla 2.12: Lista de instancias de teléfonos móviles.

Teléfono	Pantalla	Cámara	Batería	Almac.	SSOO	Precio
Telefono1	5.2"	13MP	3100mAh	16GB	Android	150\$
Telefono2	4.7"	12MP	2900mAh	32GB	iOS	600\$
Telefono3	5.2"	16MP	3100mAh	32GB	Android	280\$
Telefono4	5.1"	20MP	3200mAh	64GB	Android	485\$
Telefono5	5.7"	13MP	3300mAh	32GB	Android	500\$
Telefono6	4"	8MP	1600mAh	16GB	iOS	245\$

- Juan utiliza el móvil todo el día, escucha música, hace fotos y llama. El tamaño y el precio no le importan. El sistema podría recomendar a este usuario el *telefono4*.
- María considera imprescindible que su nuevo dispositivo tenga el sistema operativo iOS, quiere una cámara de al menos doce megapíxeles pero no dispone de mucho dinero. El sistema no encuentra ningún producto pero ofrece distintas alternativas que se acercan a lo solicitado.
- Carlos debe comprarse un móvil nuevo. Utiliza el teléfono únicamente para atender alguna llamada o mandar algún mensaje. No tiene ninguna limitación ni ninguna preferencia. En estos casos el sistema podría optar por cualquier producto, desde el más barato, hasta el que tenga mejor relación calidad/precio.
- Ana es fotógrafa profesional y necesita un nuevo móvil que disponga de una cámara de calidad. Cuenta con una limitación económica importante, no puede sobrepasar la cifra de 300\$. El sistema le recomendaría el *Telefono3*.

La principal ventaja de este tipo de sistemas de recomendación es la escasa cantidad de información necesaria del usuario para realizar las recomendaciones. Además, es frecuentemente empleado como complemento de otras técnicas de recomendación.

Como principales desventajas, estos sistemas requieren un esfuerzo inicial para conseguir recomendaciones de calidad, la búsqueda demasiado específica puede producir un conjunto vacío de elementos resultados lo que implica la necesidad de reformulación de la búsqueda, y también puede producirse sobrespecialización en las recomendaciones.

El prototipo inicialmente planteado en este proyecto será un sistema de recomendación basado en el conocimiento con la posibilidad de extensibilidad a uno híbrido en trabajos futuros.

2.3.4. Sistemas de recomendación híbridos

Los sistemas de recomendación híbridos surgen para combatir los problemas de los sistemas basados en contenido y de los de filtrado colaborativo. Para ello, este tipo de sistemas emplea las ventajas de los sistemas basados en contenido, como la posibilidad de aconsejar nuevos productos para resolver estas situaciones difícilmente resolubles en los sistemas de filtrado colaborativo, así como las ventajas de estos últimos para afrontar las problemáticas de los basados en contenido como la sobrespecialización (Ricci et al., 2011).

Los sistemas híbridos combinan diferentes técnicas para obtener la recomendación final. De acuerdo con la técnica empleada, existen diferentes tipos de sistemas híbridos.

- **Sistema de recomendación híbrido ponderado (*weighted*)**. Se obtienen los resultados de las diferentes técnicas de recomendación empleadas por separado y posteriormente se ponderan para obtener los resultados finales. Por tanto, el resultado de la evaluación para el elemento x será $\alpha * a_x + \beta * b_x$, donde α y β son los coeficientes de ponderación y a_x y b_x son los resultados de cada una de las técnicas de recomendación.
- **Sistema de recomendación híbrido mezclado (*mixed*)**. Se obtienen los resultados de la evaluación de las diferentes técnicas de recomendación y posteriormente se fusionan los resultados obtenidos. De esta forma, si la técnica T_a ha obtenido la evaluación a_x para el elemento x y la técnica T_b ha obtenido la evaluación b_x para el mismo elemento, entonces el resultado de la evaluación para el elemento x será $a_x + b_x$.
- **Sistema de recomendación híbrido alternado (*switching*)**. Algún criterio es empleado para alternar las recomendaciones de cada técnica y se ofrece al final la evaluación de una de las técnicas (por ejemplo, la técnica que ofrezca una mayor fiabilidad hasta el momento).
- **Sistema de recomendación híbrido en cascada (*cascade*)**. El resultado final de la recomendación se obtiene tras dos etapas. En la primera, una técnica ofrece su recomendación y a partir de su recomendación, la segunda técnica refina la recomendación de la primera.
- **Sistema de recomendación híbrido de combinación de características (*feature combination*)**. Este sistema funciona de manera similar al anterior con la salvedad de que en la segunda etapa, la técnica recibe además de la recomendación de la primera etapa, los datos iniciales. De este modo, la segunda técnica es la que finalmente hará la recomendación añadiendo a sus parámetros habituales un nuevo indicador (resultado de la recomendación de la primera técnica).
- **Sistema de recomendación híbrido de aumento de características (*feature augmentation*)**. Este sistema de recomendación sigue el mismo proceso que el anterior salvo que se emplean los resultados obtenidos del primer recomendador para aumentar las características de entrada del segundo recomendador.
- **Sistema de recomendación híbrido meta-nivel (*meta-level*)**. El primer recomendador genera un modelo que es usado como entrada del segundo recomendador que es el que finalmente realiza la recomendación.

Cabe resaltar que no todas las combinaciones de sistemas de recomendación son posibles. En este sentido, Burke (2002) detalla mediante una tabla las combinaciones posibles, las redundantes y las imposibles.

Con el fin de exponer la situación actual del estado de la cuestión, en la Sección 3.4 se analizan minuciosamente los principales sistemas de recomendación híbridos existentes en la actualidad en el ámbito educativo.

2.3.5. Otros tipos de sistemas de recomendación

Además de los anteriores, existen otros sistemas de recomendación menos habituales como los demográficos o basados en utilidad.

2.3.5.1. Sistemas de recomendación demográficos

Estos sistemas se apoyan en la suposición de que las personas con unas características demográficas concretas (lugar de residencia, edad, nivel de educación, sexo, etc.) pueden tener gustos similares a otras personas con características similares. Es una variante de los sistemas de recomendación basados en contenido modificando las valoraciones de los elementos por la información demográfica (véase Figura 2.30).

La gran ventaja de este tipo de sistemas respecto a los basados en contenido es la reducción de la sobrespecialización con la posibilidad de cambiar de categoría. Debe enfatizarse que en este tipo de sistemas de recomendación la variación de los datos demográficos puede afectar considerablemente a las recomendaciones (si cambian el lugar de residencia, estado civil o los ingresos, las recomendaciones pueden ser diferentes). El mayor inconveniente de este tipo de sistemas está relacionado con los datos, ya que si se emplean datos demasiado genéricos, el nivel de personalización será bastante pobre (por ejemplo, según el Instituto Nacional de Estadística -INE-, en el año 2016 existen más de 375.000 personas en Madrid entre 25 y 29 años). Por el contrario, ciertos datos demográficos se consideran de carácter privado o sensible y su obtención es compleja (datos económicos, religión, salud, etc.).

2.3.5.2. Sistemas de recomendación basados en utilidad

Este tipo de sistemas es una variante de los sistemas basados en conocimiento y se basan en la idea que los usuarios deben ser los encargados de definir cuáles son las características que ellos están buscando. Para ejemplificar este tipo de sistemas de recomendación se va a suponer la compra de un coche por parte de dos usuarios; el primer usuario está interesado en un vehículo de cinco puertas por motivos familiares mientras que el segundo, aunque considera irrelevante ese atributo, sin embargo, busca un coche cuyo consumo de combustible sea inferior a un umbral. Estos sistemas mantienen una elevada interacción con el usuario (véase Figura 2.30).

Esta técnica disfruta de dos ventajas principalmente. La primera es la posibilidad de analizar atributos externos al propio producto (tiempo de entrega, fiabilidad del proveedor, etc.). La segunda es la posibilidad de encontrar una solución de compromiso (elevando el precio, reduciendo la fiabilidad del proveedor o el nivel de ciertas características, etc.). Por contra, estos sistemas presentan dificultades para encontrar una función que exprese las necesidades y gustos del usuario (atributos no contemplados, búsquedas demasiado específicas, etc.).

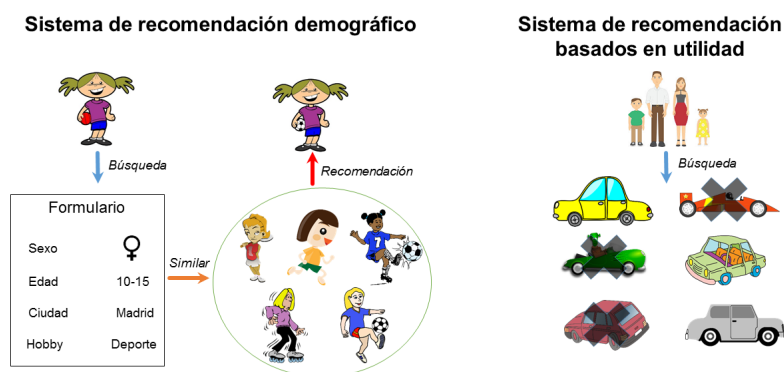


Figura 2.30: Sistemas de recomendación demográficos y basados en utilidad.

3

En este capítulo, se va a proceder a detallar la evolución de los pilares esenciales de este trabajo en los últimos años. Posteriormente se analizará de manera crítica cuál es la situación actual del área relacionada. Así pues se tratará de dilucidar en qué estado de investigación se encuentra el área determinada, cuáles han sido los principales cambios que ha experimentado hasta llegar a este punto y en qué direcciones es posible avanzar teniendo en cuenta las fortalezas y debilidades de los trabajos actuales.

En concreto, a lo largo de este capítulo se tratan dos aspectos significativos relacionados con el aprendizaje: los modelos del estudiante y de competencias existentes y el tratamiento de datos en el aprendizaje basado en competencias, focalizado principalmente en la recomendación de la información. Para obtener las diferentes propuestas analizadas, se ha realizado una revisión sistemática mediante una búsqueda avanzada en grandes bibliotecas digitales (ACM, IEEE, SPRINGER y ELSEVIER) y motores de búsqueda (Google académico). A continuación, se ha procedido a filtrar los artículos y libros con el fin de desechar los de menor interés para este trabajo. Finalmente, se ha llevado a cabo la lectura de estos recursos para detectar otras propuestas no recogidas hasta el momento.

La Sección 3.1 detalla los principales modelados del estudiante. La Sección 3.2 abarca los modelos de competencias más importantes desarrollados y modificados desde la creación de la taxonomía cognitiva de Bloom (1956) hasta el modelo de competencias de Paquette (2007). En esta sección se tendrán principalmente en cuenta tres rasgos: (1) cuáles son las habilidades/objetivos/competencias definidos en cada modelo, (2) cuál es el orden de estos elementos en las diferentes taxonomías (si es que el orden es relevante) y (3) cuáles son los meta-dominios que abarca cada modelo.

La Sección 3.3 se focaliza en las diferentes propuestas de rúbricas para la evaluación de competencias diseñadas en los últimos años. Esta sección va a centrarse principalmente en las rúbricas específicas de trabajo en grupo, comunicación oral y comunicación escrita con el fin de analizar los criterios generales que podrían ser planteados en cualquier rúbrica.

La Sección 3.4 comprende los diferentes sistemas de recomendación más significativos relacionados con el aprendizaje desarrollados hasta el momento. A lo largo de esta sección se analizan las características más importantes de estos sistemas de recomendación incluyendo, entre otras, la cobertura, el riesgo, la robustez, la adaptabilidad, la escalabilidad, tipo de implementación, dominio, si incluyen *feedback* al sistema de recomendación, el tipo de acceso, el objetivo a recomendar, la satisfacción y a qué usuarios va dirigido. La Sección 3.5 se especializa en los sistemas de recomendación basados en competencias.

En la Sección 3.6 se analizan tanto los modelos de competencias como los sistemas de recomendación descritos a lo largo de este capítulo. Para ello, en primer lugar, se comparan

mediante tablas las características más relevantes de los modelos y sistemas analizados, en segundo lugar, se ofrece un análisis personal de las diferentes propuestas de estos sistemas.

3.1. Modelado del estudiante

En cualquier entorno de aprendizaje existente, el estudiante representa una de las entidades más importantes puesto que es el usuario destino del aprendizaje. Sin embargo, el modelado del estudiante es una tarea relativamente compleja debido a la dificultad de especificar la mayor cantidad de información acerca del estudiante, de una manera estructurada y que sea aplicable a diferentes dominios y entornos incluyendo Sistemas Inteligentes de Tutoría (SITs). La mayoría de los autores consideran que, el modelo del estudiante es el núcleo de cualquier SIT ya que permite al tutor la aplicación de técnicas de *learning analytics* o monitorización para llevar un seguimiento del desempeño del estudiante (Woolf, 2010).

De acuerdo con Greer y McCalla (Greer and McCalla, 2013), un modelo exhaustivo del estudiante debería incluir todo el aprendizaje relevante anterior del alumno, su progreso de aprendizaje, su estilo de aprendizaje preferido, así como otra información relevante sobre el estudiante. Si bien es cierto que este trabajo describe y emplea más adelante ontologías como «StudentState» y «StudentTrace», en esta sección se presta especial atención a los estándares para modelar la información del perfil del estudiante porque mucha información al respecto pertenece a este ámbito. Los modelos que especifican el perfil del estudiante deberían maximizar la reusabilidad y portabilidad para ser adaptables a múltiples entornos.

A continuación se pasan a describir los modelos relacionados con el perfil del estudiante más interesantes entre los que se encuentran el modelo propuesto por Dolog (Dolog, 2004), FOAF (Brickley and Miller, 2014) IMS LIP (Global Learning Consortium, 2002) o IEEE PAPI (IEEE, 2002).

3.1.1. IMS LIP

IMS Learning Information Package o IMS LIP es la colección estándar de información del estudiante del IMS Global Learning Consortium. Esta especificación XML aborda la interoperabilidad de los sistemas de información de aprendizaje basados en Internet con otros sistemas que admiten el entorno de aprendizaje. De acuerdo con la documentación oficial, el objetivo de la especificación es definir un conjunto de paquetes que se puedan emplear tanto en la importación como en la exportación de datos de un servidor.

En su versión 1.0.1, IMS LIP se divide en 11 categorías, además del elemento raíz *LearnerInformation*, que sirven como soporte para el proceso de organización de la información del estudiante (véase Figura 3.1). A continuación se describen estas categorías:

- **Identification.** Contiene todos los datos personales de un usuario u organización específica incluyendo nombre, dirección, información de contacto, agente, discapacidad o información demográfica.
- **Goal.** Consiste en la descripción de los objetivos personales y aspiraciones. Estos objetivos (1) pueden definirse en términos de subobjetivos, (2) pueden tener una estructura diferente y (3) pueden contener información para monitorizar el proceso de adquisición.
- **QCL.** Registra toda la información referente a cualificaciones, certificados y licencias obtenidas por el estudiante, es decir, los productos formalmente reconocidos a lo largo de su historia académica y laboral.

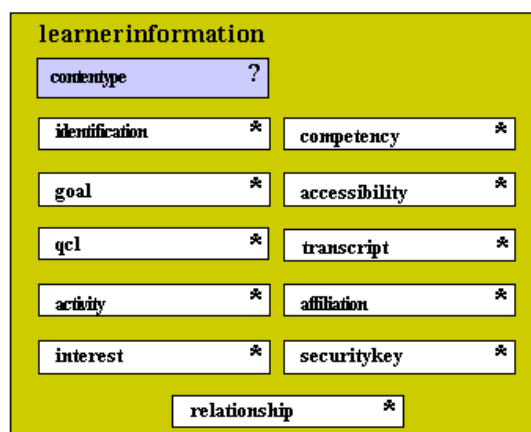


Figura 3.1: Estructura de datos del estudiante de IMS LIP. Extraído de ([Global Learning Consortium, 2002](#)).

- **Activity.** Consiste en los registros de educación, entrenamiento, trabajo y servicios (militares, comunitarios, voluntarios, etc.) y sus productos asociados (sin incluir las recompensas). Esta información podría incluir las descripciones de los cursos llevados a cabo y su correspondiente evaluación.
- **Competency.** Describe las habilidades que el estudiante ha adquirido. Pueden estar asociadas con algún entrenamiento (formal o informal), trabajo o recompensas formales. Es importante definir el nivel de la competencia correspondiente.
- **Transcript.** Registra el desempeño académico de un estudiante en una determinada institución. Esta información puede contener diferentes niveles de detalle por lo que la estructura proporcionada es flexible.
- **Accessibility.** Contiene la información referente a las preferencias físicas, técnicas y cognitivas del estudiante así como sus discapacidades, elegibilidad y habilidades del lenguaje.
- **Interest.** Almacena los datos sobre los hobbies y actividades recreacionales de los estudiantes. Estos intereses pueden desembocar en la obtención de recompensas formales (descritas en la entidad QCL).
- **Affiliation.** Incluye las descripciones de las organizaciones a las que un estudiante pertenece. Por ejemplo, de manera profesional o académica.
- **SecurityKey.** Registra toda la información acerca de las contraseñas, códigos de seguridad, etc., que son usados en las comunicaciones con el estudiante.
- **Relationship.** Contiene la descripción de las relaciones existentes entre cualquier elemento de esta clasificación.

Una de las grandes ventajas de IMS LIP es su fácil comunicación con otros estándares recogidos por el IMS Global Learning Consortium, como por ejemplo, IMS Learning Design, IMS Portfolio, IMS RDCEO. Otro punto positivo de este estándar es la posibilidad de extender cualquiera de las entidades de manera sencilla puesto que todas las clases incluyen una entidad de extensión, lo que facilita la inclusión de características relevantes no recogidas originalmente en el estándar. Como aspecto negativo cabe destacar la ardua tarea de emplear IMS LIP para un experimento real ya que cualquier cambio puede implicar la inserción o modificación de un gran número de instancias. Por ejemplo, la finalización de una actividad extracurricular por parte de un alumno puede implicar cambios en las categorías de objetivos, qcl, actividades, competencias, transcripciones, accesibilidad, intereses, afiliaciones, claves de seguridad y relaciones.

Este estándar, en constante evolución, ha sido empleado en un amplio número de propuestas. Por ejemplo, Brembartner y colegas (2011) propusieron la integración de una ontología basada en competencias en un sistema multi-agente que incluía el modelo del estudiante propuesto por IMS LIP. Panagiotopoulos et al. (2012) usaron, entre otros, este estándar para desarrollar un modelo ontológico para aprendizaje a distancia. Sawadogo et al. (2014) se basaron en la extensión de IMS-LIP para modelar usuarios para un sistema de gestión de recursos digitales.

3.1.2. IEEE PAPI

IEEE Public And Private Information (IEEE PAPI) Learner es una especificación estándar que describe un subconjunto de información referente al estudiante con la intención de facilitar la comunicación entre sistemas cooperativos (IEEE, 2002). Mediante esta propuesta, es posible crear y construir un repositorio personal de información del estudiante para: (i) promover la portabilidad de datos acerca del estudiante, (ii) tener en cuenta información referente a la seguridad y privacidad y (iii) proporcionar actividades más personalizadas y efectivas.

Esta especificación identifica actualmente seis tipos de información propios aunque se encuentra preparado para soportar nuevos tipos tanto internos a la especificación como procedentes de otras especificaciones (véase Figura 3.2). Los tipos especificados son:

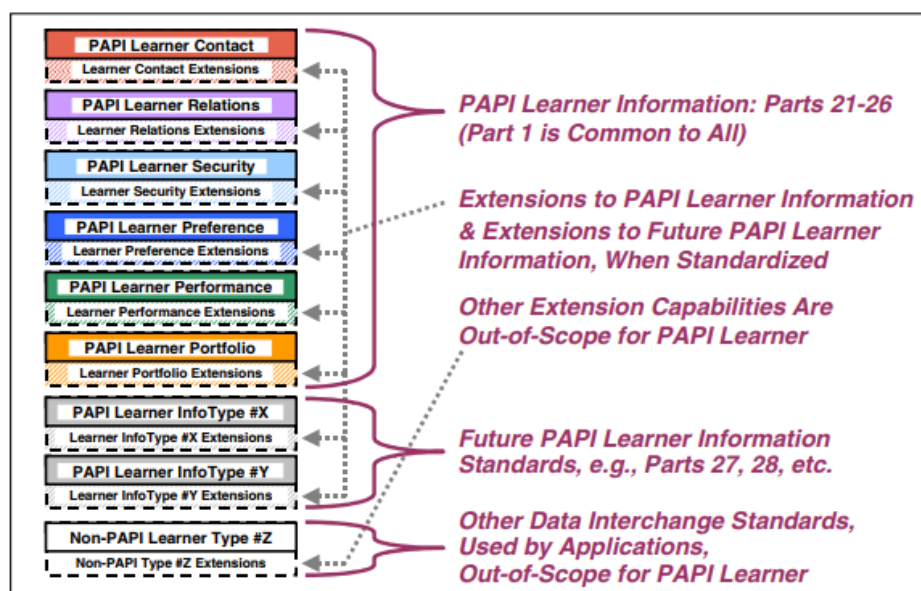


Figura 3.2: Estructura de datos del estudiante de IEEE PAPI. Extraído de (IEEE, 2002).

- **Learner Contact.** Contiene aspectos relacionados con la información para la administración (nombres, direcciones, información de contacto, etc.).
- **Learner Relations.** Incluye las relaciones de un estudiante específico con otros usuarios (*classmate, teacherof, instructoris, belongsto*, etc.).
- **Learner Security.** Almacena los credenciales de seguridad del alumno (*passwords, claves privadas, biométricas*, etc.).
- **Learner Preference.** Contiene información acerca del idioma, elegibilidad y preferencias del usuario.
- **Learner Performance.** Registra información sobre los resultados pasados y presentes del estudiante así como de los objetivos futuros.
- **Learner Portfolio.** Recoge los trabajos del estudiante con el fin de justificar sus habilidades y logros.

A pesar de que en IEEE PAPI puede representarse prácticamente lo mismo que en IMS LIP, su modelo más general implica que ciertas entidades como los objetivos o los intereses se vean relegadas a un segundo plano.

Este estándar es ampliamente empleado en la comunidad. Por ejemplo, Brut y colegas (2009) presentaron un modelo de usuario ontológico para competencias e intereses como extensión de IEEE PAPI.

3.1.3. Dolog LP

En el año 2004, Dolog y Nejdl presentan un nuevo modelo de usuario basado en web semántica para el proyecto ELENA (Dolog, 2004). Este modelo se apoya en los dos estándares (IMS LIP e IEEE PAPI) y en las categorías ya existentes en los sistemas (*Human Resource Planning, Calendar e Identification*). Cuenta con 16 clases agrupadas en cinco categorías: *Study Performance, Other User Features*, además de las ya mencionadas *Identification, Calendar* y *Human Resource Planning* (véase Figura 3.3).

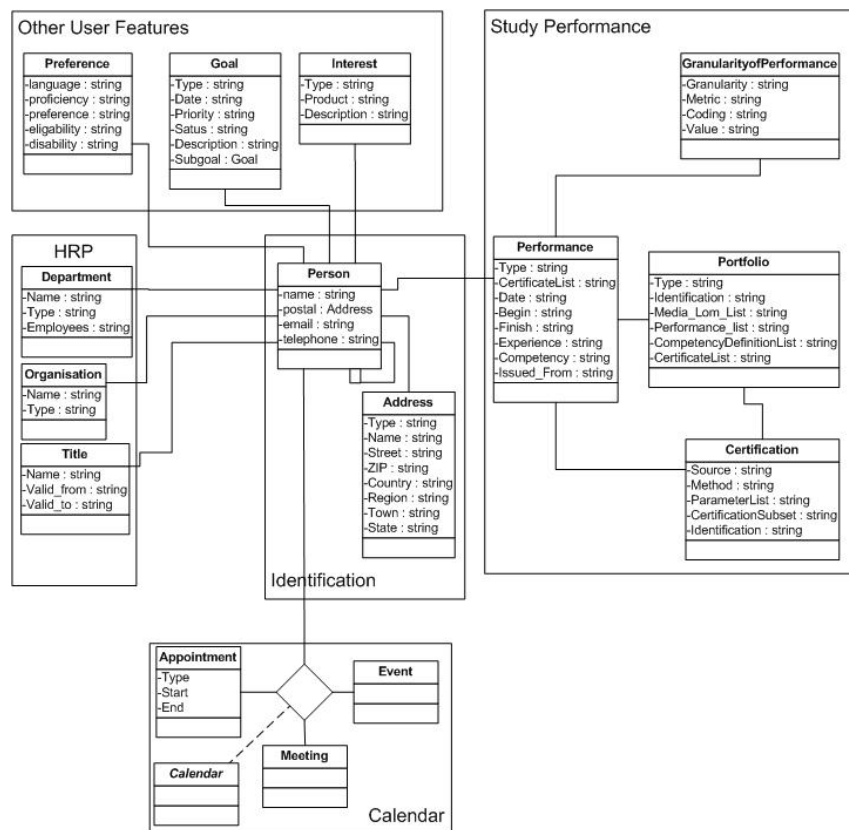


Figura 3.3: Modelo conceptual del perfil de usuario. Extraído de (Dolog and Nejdl, 2003).

La gran ventaja de este modelo es que permite la representación de prácticamente las mismas entidades que los modelos anteriores. En contra, este modelo no es considerado estándar por las principales organizaciones.

3.1.4. FOAF

FOAF es el acrónimo de *friend of a friend*, una ontología que sirve para especificar personas, actividades y relaciones con otras personas u objetos. Este proyecto, que tuvo sus inicios en el año 2000, publicó la versión 0.99 en enero del 2014 siendo esta la versión actual¹. Cabe resaltar,

¹<http://xmlns.com/foaf/spec/>

que a diferencia de IMS LIP e IEEE PAPI, FOAF no es un estándar reconocido ni por la estandarización ISO ni por el W3C.

FOAF identifica las siguientes 13 clases: *Agent*, *Document*, *Group*, *Image*, *LabelProperty*, *OnlineAccount*, *OnlineChatAccount*, *OnlineEcommerceAccount*, *OnlineGamingAccount*, *Organization*, *Person*, *PersonalProfileInformation* y *Project*. El diagrama donde se muestran las relaciones existentes en FOAF se muestra en la Figura 3.4.

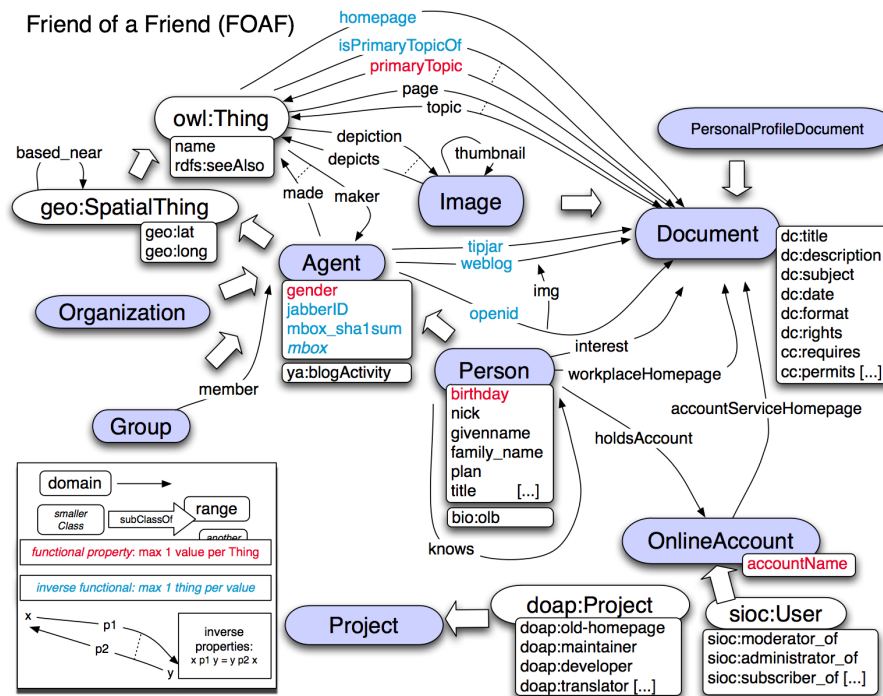


Figura 3.4: Diagrama de FOAF. Extraído de <https://www.flickr.com/photos/danbri/1856478164/>.

3.1.5. EduPerson

La especificación de EduPerson² es una de las más recientes en cuanto al modelado del estudiante se refiere; la última versión se ha publicado en el año 2016. Esta especificación, dirigida principalmente a instituciones de educación superior, distingue únicamente los siguientes 14 atributos en su versión estándar:

- affiliation
- entitlement
- nickname
- orgDistinguishedName
- orgUnitDistinguishedName
- primaryAffiliation
- primaryOrgUnitDistinguishedName
- principalName
- principalNamePrior
- scopedAffiliation
- targetedID
- assurance
- uniqueID
- orcidID

Además, otros atributos especialmente frecuentes en cualquier modelado del estudiante, como por ejemplo, las claves en las plataformas empleadas, la información de contacto, fotografía, etc., han sido incorporadas a este modelo en su versión extendida.

²<http://software.internet2.edu/eduperson/internet2-mace-dir-eduperson-201602.html>

Este modelo actualmente no agrupa las propiedades por categorías. También es importante señalar que no todas las categorías descritas en los anteriores modelos se encuentran representadas en EduPerson. Como último aspecto negativo cabe destacar que tampoco es un estándar reconocido.

3.1.6. Ontología del Estudiante

La Ontología del Estudiante fue desarrollada por Clemente a lo largo de su tesis doctoral (2011). Esta red modular de ontologías fue desarrollada siguiendo la metodología NeOn, tiene asociadas alrededor de 250 cuestiones de competencia y está formada por siete ontologías relacionadas directa o indirectamente con el estudiante que serán descritas a continuación (véase Figura 3.5).

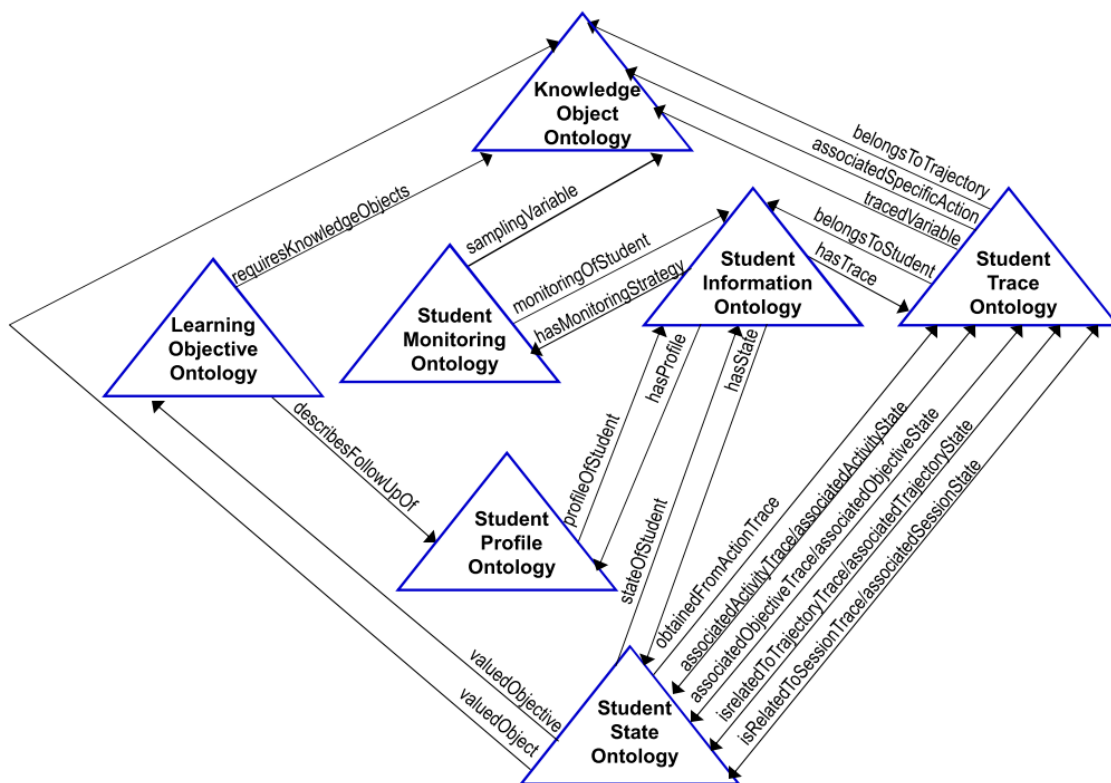


Figura 3.5: Principales relaciones entre las ontologías. Figura extraída de (Clemente, 2011).

La ontología «KnowledgeObject» representa los elementos de conocimiento implicados en una experiencia de aprendizaje. Estos elementos pueden ser (a) estructurales si describen un objeto de conocimiento estructural o (b) procedimentales si forman parte de la especificación de las fases de cierta operación. Con respecto a los objetos de conocimiento estructural recogidos se encuentran los conceptos, procesos, propiedades, proposiciones, relaciones y variables. En cuanto a los objetos procedimentales cabe resaltar los planes y sus elementos, las acciones puntuales, las condiciones asociadas al estado de ejecución y sus elementos, las reglas, procedimientos, trayectorias, tramos o caminos. «KnowledgeObject» es una ontología independiente de los estudiantes y debe poblarse de manera previa a la ejecución, por parte de los estudiantes, de una experiencia de aprendizaje.

«LearningObjective» es la ontología diseñada para la representación de los objetivos de aprendizaje asociados con la experiencia de aprendizaje. La versión original de esta ontología agrupaba los objetivos en (a) didácticos si se definían en las unidades de mayor nivel de un

curso o (b) específicos si por el contrario quedaban definidos en las unidades de menor nivel. Asimismo, los objetivos específicos fueron clasificados siguiendo la taxonomía de Bloom (véase Sección 3.2.1), es decir, en nivel cognitivo, afectivo y psicomotor. Al igual que la ontología «KnowledgeObject», esta ontología conviene poblarla con antelación a la ejecución de las actividades por parte de los alumnos estableciendo los objetivos a alcanzar y sus propiedades como quienes deben alcanzar este objetivo, que actividades van a requerirlo como precondition, cuáles son los objetos de conocimiento requeridos, etc.

La ontología «StudentProfile» es la responsable de la representación de la información relacionada con el estudiante tales como (a) datos personales y características como información demográfica, estado civil o correo electrónico; (b) características físicas del estudiante incluyendo las dimensiones corporales o discapacidades; (c) estilo de aprendizaje preferido; (d) experiencia en determinadas áreas (indicando el área y su nivel correspondiente); (e) nivel de experiencia previa con ordenadores en el área en el que se desarrolla el proceso de aprendizaje; (f) preferencias de interacción con respecto a los dispositivos de entrada y salida que utiliza y (g) características psicológicas como los rasgos de personalidad o las actitudes del estudiante frente a los conocimientos de aprendizaje.

«StudentMonitoring» es una de las ontologías más simples desarrolladas en la Ontología del Estudiante. Llevada a cabo con el objetivo de describir las características que definen el seguimiento del estudiante durante su aprendizaje. Dispone de una subclase denominada «VariableMonitoringStrategy» que describe las características de aspecto variables del estudiante durante su aprendizaje como la mirada. Cabe resaltar que si bien la Ontología del Estudiante ha sido aplicada para la monitorización del aprendizaje del estudiante (Yago Corral and Clemente Parraga, 2014), la ontología «StudentMonitoring» no se ha empleado hasta la fecha.

También relacionada con el estudiante se encuentra la ontología «StudentState». Esta ontología proporciona información acerca del desempeño del estudiante durante las sesiones de aprendizaje o tras su finalización. En esta ontología se incluye información relativa a (i) el estado de la ejecución del estudiante durante la realización de una experiencia de aprendizaje (estado de pre y postcondiciones, estado de ejecución de acciones o actividades o estado de sesiones), (ii) estado de aprendizaje del estudiante referente a la realización de un plan de estudios (el estado pedagógico actual de un estudiante en una actividad, curso, unidad de aprendizaje o fase perteneciente a un plan de estudios), (iii) estado de las capacidades del estudiante tras la realización de una experiencia de aprendizaje (incluye su capacidad de memoria, razonamiento o velocidad de aprendizaje), (iv) estado emocional del estudiante (tipo de emoción e intensidad de la misma), (v) grado de experiencia adquirido por el estudiante tras la finalización de una actividad, (vi) estado de los objetivos que el estudiante ha alcanzado o no durante la ejecución de la actividad y (vii) el estado de las recomendaciones.

La ontología «StudentTrace» es la responsable de almacenar los registros temporales de la ejecución de una actividad por parte del estudiante. En esta ontología se registran datos acerca de la traza de (1) acciones, (2) procedimientos, (3) actividades, (4) sesiones, (5) variables, (6) emociones, (7) estado de objetivos, (8) historial de estado de objetivos y (9) recomendaciones. Es importante resaltar que las ontologías «StudentTrace» y «StudentState» disponen de una ingente cantidad de información acerca del aprendizaje del estudiante por lo que se encuentran fuertemente relacionadas con las otras ontologías de la red modular y han sido ampliamente utilizadas en la mayoría de proyectos en los que se ha usado la Ontología del Estudiante.

«StudentInformation» es la última ontología perteneciente a la red modular que va a ser descrita. Esta ontología engloba toda la información registrada del estudiante. Para ello,

la ontología cuenta con propiedades como «hasStudentTrace» para identificar que una traza pertenece a un estudiante concreto.

Si se desea profundizar más acerca de la Ontología del Estudiante original, la tesis de Clemente dispone de un anexo con todas las clases y propiedades que la componen (Clemente, 2011).

3.2. Modelos de competencias

Durante los siglos XX y XXI, varios modelos de competencias han surgido o han sido mejorados. A lo largo de esta sección se describirán los principales modelos analizados y se realizará un análisis comparativo entre dichos modelos.

3.2.1. Taxonomía de objetivos de Bloom

En el ámbito educativo, la taxonomía de Bloom es la representación de objetivos/competencias más popular en la actualidad (Bloom, 1956). Aunque originalmente Bloom se centró en el dominio cognitivo, esta taxonomía fue extendida a los dominios afectivo y psicomotor mediante los trabajos de Krathwohl (1964) y Harrow (1972), respectivamente (véase Figura 3.6).



Figura 3.6: Taxonomía de Bloom, Krathwohl y Harrow.

La taxonomía de Bloom a nivel cognitivo cuenta con seis niveles: conocimiento, comprensión, aplicación, análisis, síntesis y evaluación, ordenados de nivel más básico a más complejo. En esta taxonomía es necesario dominar los niveles inferiores para poder alcanzar los superiores. A continuación se describen estos niveles:

- **Conocimiento.** En este primer nivel se consideran los objetivos relacionados con la adquisición de conocimientos. En él, los alumnos deben ser capaces de recordar conocimientos previamente empleados y expresar dichos conocimientos siguiendo las pautas indicadas (*definir, listar, expresar, etc.*).
- **Comprensión.** En este segundo nivel se pretende que los alumnos sean capaces de asimilar la información recibida. Esto incluye, entre otras acciones, la *interpretación, traducción, explicación, resumen, etc.*
- **Aplicación.** En este tercer nivel se fomentan los objetivos relacionados con el uso de los conocimientos adquiridos en situaciones concretas, es decir, los alumnos deben ser capaces de *usar, demostrar o aplicar* sus conocimientos para resolver un problema concreto.

- **Análisis.** En este cuarto nivel se aspira a que los alumnos sean capaces de *descomponer*, *interpretar* o *relacionar* la información de forma que los conocimientos queden claramente identificados, diferenciados y jerarquizados.
- **Síntesis.** En este quinto nivel se persiguen los objetivos relacionados con la combinación de elementos. Por este motivo, los alumnos deben ser capaces de trabajar con fragmentos para después combinarlos a través de estructuras o patrones previamente desconocidos. Se incluyen acciones como *reorganizar*, *componer* o *categorizar*.
- **Evaluación.** En este último nivel se tratan los objetivos ligados a la valoración. Se pretende que el alumno sea capaz de emitir juicios de valor en base a evidencias. En este nivel se incluyen acciones como *criticar*, *justificar*, *concluir*, etc.

El meta-dominio afectivo está compuesto por cinco niveles denominados desde el más básico hasta el más complejo: toma de conciencia, respuesta, valoración, organización y caracterización. A continuación se detallan estos niveles:

- **Toma de conciencia.** Es el primer nivel afectivo en el que se intenta sensibilizar al estudiante mediante la recepción de fenómenos y su posterior participación (charlas, cursos, etc.). Existen tres subniveles en función del grado de interés del estudiante (percatarse, deseo de recepción y atención selectiva) y está relacionado con acciones como *localizar* o *preguntar*.
- **Respuesta.** Este segundo nivel afectivo tiene como objetivo que el alumno de un paso más y se involucre en la participación, es decir, muestre interés por el fenómeno. Este nivel está ligado con acciones como *asistir*, *informar* o *discutir*.
- **Valoración.** El tercer nivel afectivo pretende que el estudiante esté comprometido con el fenómeno y tome control activo de su comportamiento considerando que el fenómeno merece la pena. Existen tres subniveles (aceptación, preferencia o compromiso) según el grado de convicción y las acciones relacionadas son *demostrar*, *compartir* o *proponer*.
- **Organización.** Este cuarto nivel afectivo afronta el reto de que el estudiante ordene, clasifique y relacione los distintos valores en un sistema de modo que sea capaz de construir un sistema de valores. Para esto, el estudiante debe: (1) conceptualizar los valores y (2) organizar dichos valores. Las acciones relacionadas con este nivel son: *comparar*, *organizar*, *identificar*, etc.
- **Caracterización.** Este último nivel afectivo busca la interiorización de valores. Para ello, el estudiante debe haber estructurado dichos valores y estar presentes en su comportamiento un tiempo suficiente como para crear un estilo de vida. En este nivel, las acciones están relacionadas con *actuar*, *modificar*, *revisar*, etc.

El dominio psicomotor se compone de seis niveles: movimientos reflejos, movimientos básicos fundamentales, capacidades perceptuales, habilidades físicas, movimientos especializados y comunicación no verbal. Estos niveles son descritos a continuación:

- **Movimientos reflejos.** Este primer nivel responde al desarrollo de reacciones involuntarias o instintivas. Algunas de las acciones relacionadas con este nivel son *reaccionar*, *responder*, etc.

- **Movimientos básicos fundamentales.** El segundo nivel busca la realización de movimientos simples, ya sean locomotores (*caminar, saltar*), no locomotores (*estirar, girar*) o manipulativos (*empujar, levantar*).
- **Capacidades perceptuales.** El tercer nivel tiene como objetivo que el alumno sea capaz de recibir, reconocer, relacionar y clasificar las distintas entradas sensoriales. En este nivel se incluyen acciones como *reconocer, explorar, atrapar*, etc.
- **Habilidades físicas.** El cuarto nivel pretende que el estudiante alcance determinado grado en habilidades como la resistencia, agilidad, velocidad o fuerza para realizar una acción. Esto incluye habilidades como *soportar, resistir*, etc.
- **Movimientos especializados.** El quinto nivel incluye habilidades complejas que requieren cierta planificación o secuencia de acciones. En este nivel es posible emplear habilidades como *conducir, nadar*, etc.
- **Comunicación no verbal.** Este último nivel se corresponde con objetivos como ser capaz de comunicarse con otra persona sin el empleo de lenguajes formales. Entre las habilidades que se incluyen en este nivel cabe destacar *componer* o *interpretar*.

La taxonomía de Bloom ha sido revisada y adaptada durante décadas. En concreto, Anderson y Krathwohl revisaron la taxonomía de Bloom (2001). Entre los cambios más destacados, la nueva taxonomía revisada está expresada mediante verbos en lugar de sustantivos y se intercambia el orden de los dos niveles superiores (véase Figura 3.7).

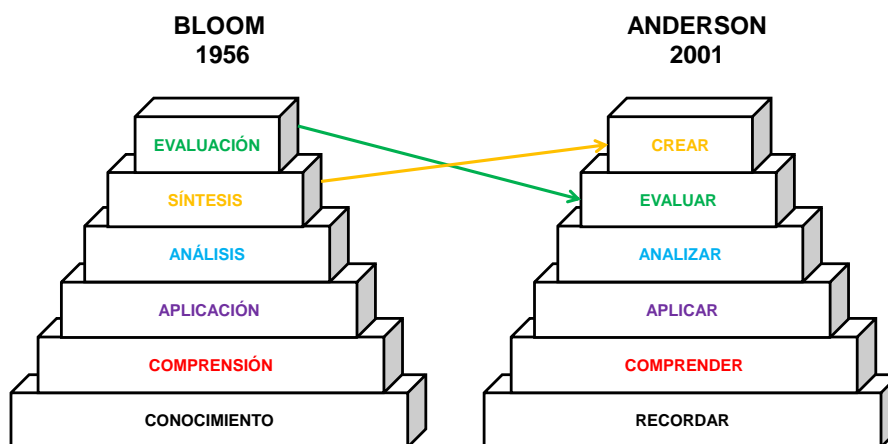


Figura 3.7: Comparativa entre la taxonomía original de Bloom y la de Anderson.

Más adelante, la taxonomía revisada fue adaptada a las nuevas realidades de la era digital desarrollando la taxonomía digital de Bloom (Churches, 2008). Esta nueva taxonomía incluye nuevas acciones en cada uno de los seis niveles cognitivos (véase Figura 3.8).

- **Recordar.** En este nivel se tienen en cuenta nuevas acciones como *buscar en un motor de búsqueda, compartir marcadores, colaborar en redes sociales* o *subrayar*.
- **Comprender.** En este nivel se agregan nuevas acciones como la *creación y refinamiento de búsquedas avanzadas, comprender el funcionamiento de blogs o redes sociales, clasificar o etiquetar contenido digital, hacer anotaciones, suscribir a un contenido*, etc.

- **Aplicar.** Este tercer nivel comprende nuevas acciones como *jugar, editar, compartir, subir un recurso, ejecutar una aplicación, etc.*
- **Analizar.** El cuarto nivel incorpora nuevas acciones como *validar, aplicar ingeniería inversa, enlazar, mezclar, etc.*
- **Evaluar.** El quinto nivel adhiere, entre otras acciones, *moderar, testear, postear, juzgar, monitorizar, etc.*
- **Crear.** El último nivel integra acciones como *dirigir, publicar, programar, animar, etc.*



















Crear	 Publicar	 Programar	 Producir
Evaluar	 Puntuar	 Moderar	 Testear
Analizar	 Enlazar	 Validar	 Combinar
Aplicar	 Jugar	 Subir	 Editar
Comprender	 Etiquetar	 Twitrear	 Anotar comentarios
Recordar	 Subrayar	 Buscar	 Agregar a marcadores

Figura 3.8: Taxonomía digital de Bloom.

En el año 2013, la taxonomía revisada fue asociada al modelo SAMR (Schrock, 2013). Este modelo ofrece soporte al instructor en el diseño, desarrollo e integración de las experiencias de aprendizaje con el fin de mejorar la calidad del aprendizaje. El modelo identifica dos grandes procesos para la adaptación de una experiencia de aprendizaje y estos, a su vez, se dividen en diferentes subprocesos: transformación (compuesto por redefinición y modificación) y mejora (compuesto por aumento y sustitución). Cada nivel de la taxonomía de Bloom está asociado con uno o varios procesos del modelo SAMR (véase Figura 3.9).

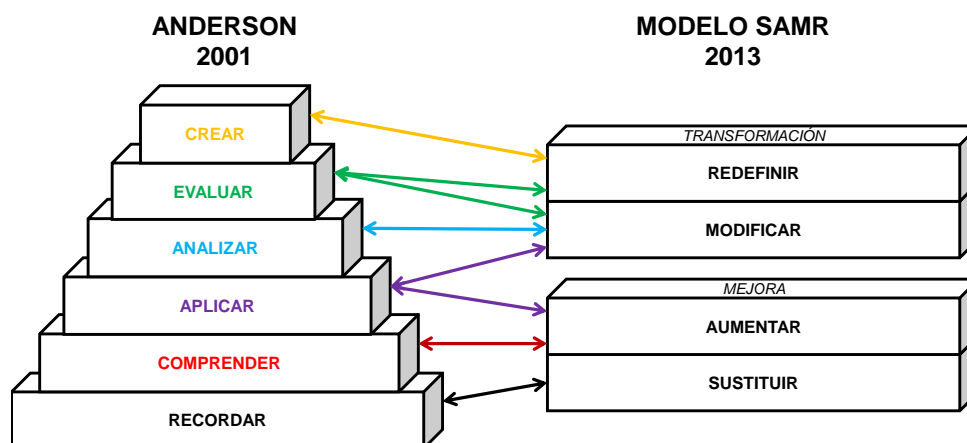


Figura 3.9: Asociación del Modelo SAMR y la taxonomía revisada de Bloom.

3.2.2. Ciclo de habilidades de Romiszowski

En la década de 1980, el doctor Alexander Romiszowski propone una nueva definición de habilidades (Romiszowski, 1983). En ella, considera que: (1) las habilidades pueden estar compuestas de cuatro actividades (percepción, recuerdo, planificación y ejecución) y (2) las actividades pueden pertenecer a cualquier dominio (cognitivo, afectivo, psicomotor y social). Asimismo, el mismo autor crea doce subcategorías (tres por cada actividad) acotando así más cada una de las habilidades (véase Figura 3.10).

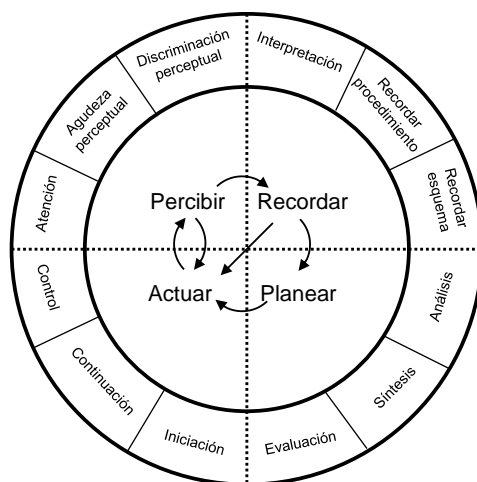


Figura 3.10: Representación del ciclo de habilidades de Romiszowski de 1984.

En la Figura 3.10 se ilustra el ciclo de habilidades de Romiszowski en el que cada una de las actividades se encuentra situada en un cuadrante. A continuación se describen brevemente estas actividades:

- **Percibir.** Esta actividad, situada en el cuadrante superior izquierdo, proporciona una idea general sobre algunos comportamientos específicos de los estudiantes relacionados con la primera fase del procesamiento de información (muestran atención, procesan adecuadamente la información sensorial).
- **Recordar.** La segunda actividad, localizada en el cuadrante superior derecho, es la encargada de procesar la información recibida para transferirla a la zona de almacenamiento a corto plazo. Esta región de memoria tiene una capacidad limitada por lo que la nueva información sustituye continuamente a la información almacenada previamente. Si esta información no es posteriormente procesada como memoria a largo plazo, se olvidará. Si, por el contrario, pasa a la región de memoria a largo plazo entonces, esta información podrá ser recuperada posteriormente por la memoria a corto plazo para trabajar con ella.
- **Planear.** La tercera actividad que se encuentra englobada en el cuadrante inferior derecho tiene como objetivo el análisis de la información y la aplicación de las reglas de operación a cualquier situación de aprendizaje basada en problemas.
- **Actuar.** La última actividad, emplazada en el cuadrante inferior izquierdo, consiste en la aplicación de estrategias para crear respuestas de salida a los problemas existentes.

Al igual que en la taxonomía de Bloom, este modelo fue adaptándose a través de los años. Las principales responsables de estas modificaciones fueron Chaparro y Ranka desarrollando un análisis del modelo por etapas (Chaparro and Ranka, 2010).

En la primera etapa (1987-1990), fue llevado a cabo un estudio donde un grupo de adultos sanos fue grabado mientras realizaba tareas cotidianas para tratar de encontrar errores en el desempeño de las distintas acciones sin obtener errores significativos. Durante este periodo también se realizó un estudio a otro grupo de adultos con lesiones cerebrales donde se identificaron errores de omisión, repetición, precisión y temporales.

En la segunda etapa (1991-1993), se desarrolló un nuevo estudio similar al anterior en el que se catalogaron más de 4000 errores relacionados con el proceso cognitivo. En esta fase, los errores se clasificaron como errores de percepción, recuerdo, planificación y actuación, lo que permitió la actualización del modelo (véase Figura 3.11).

En la tercera etapa (1994-1995), se llevó a cabo un nuevo estudio para validar y refinar el modelo (véase Figura 3.11). En este estudio se analizaron las descripciones de los errores con el fin de localizar las palabras clave empleadas para detallar los errores en cada subcategoría. Finalmente, se obtuvieron un conjunto de cinco criterios (palabras relacionadas con hacer, palabras que describen un evento cognitivo, palabras observables, palabras comunes y palabras que reflejan el tipo de error).

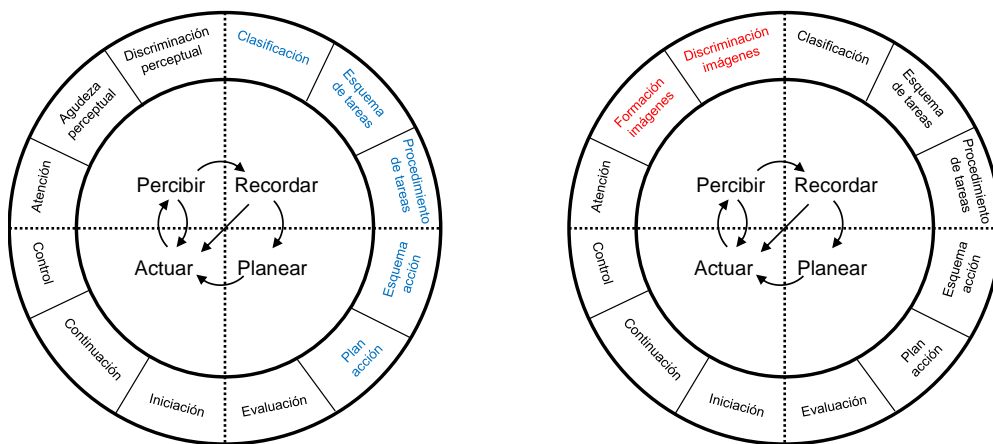


Figura 3.11: Adaptación del ciclo de habilidades al modelo PRPP en 1993 y 1995.

En la cuarta etapa (1995-2004), se buscó comprobar la efectividad del modelo en otros dominios diferentes. Esta etapa, que reajusta algún dominio, se convirtió en una versión estable hasta el año 2005 cuando surge el modelo actual (véase Figura 3.12).

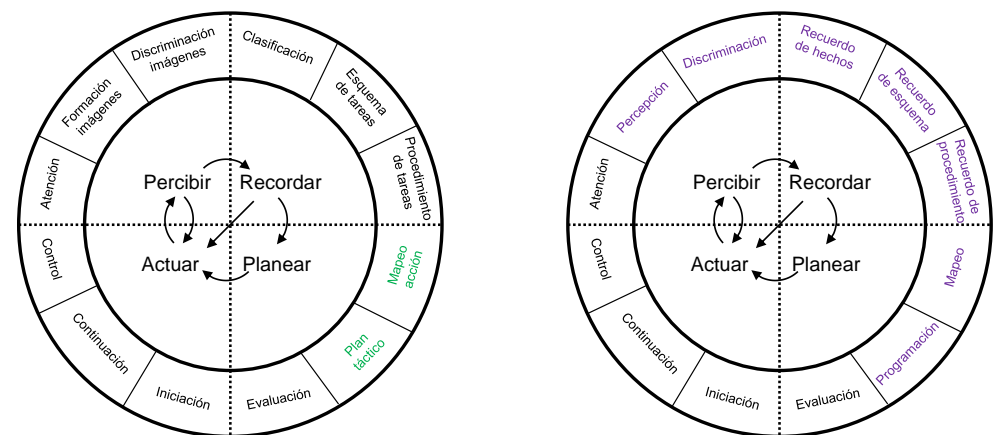


Figura 3.12: Adaptación del ciclo de habilidades al modelo PRPP en 1997 y 2005.

3.2.3. Taxonomía de Marzano

En el año 2001, el doctor Robert Marzano publicó una nueva taxonomía de objetivos educacionales basada en la taxonomía de Bloom (Marzano, 2001). Este trabajo, al igual que todos los enumerados en el apartado 3.2.1, tratan de actualizar una de las monografías más influyentes en educación del siglo XX. Sin embargo, se ha decidido considerarlo en una sección independiente debido a su amplio impacto.

El desarrollo de una nueva taxonomía de objetivos tiene su origen en las diferentes críticas que recibe la taxonomía de Bloom a lo largo de los años. Una de las críticas más importantes juzga la inadecuación del uso de niveles de dificultad como la base de las diferencias entre niveles de la taxonomía, es decir, los críticos consideran que la dificultad de un proceso no solamente viene determinada por la complejidad de los diferentes pasos sino que también influye el nivel de familiaridad del usuario con dicho proceso (Anderson, 2000). Una vez identificada la motivación de Marzano para realizar la taxonomía se procede a describirla.

La nueva taxonomía de objetivos es un modelo bidimensional dividido en seis categorías (o niveles) de procesos mentales (Recuperación, Comprensión, Análisis, Aplicación, Metacognición y Autorregulación) y tres dominios de conocimiento (información, procedimientos mentales y procedimientos psicomotores). Los cuatro primeros niveles de la taxonomía quedan englobados en el sistema cognitivo, el quinto nivel pertenece al sistema meta-cognitivo y el último nivel al sistema interno (véase Figura 3.13).

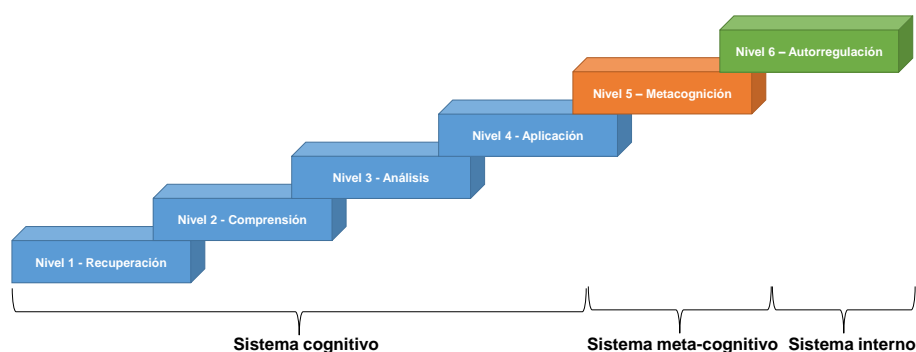


Figura 3.13: Niveles de la taxonomía de conocimiento de Marzano.

A continuación se describen los diferentes niveles que conforman dicha taxonomía:

- **Nivel 1 - Recuperación.** Proceso innato del sistema cognitivo encargado de transferir el conocimiento de la memoria permanente a la memoria de trabajo. Este proceso está asociado en la nueva taxonomía con tres operaciones (*reconocer*, *recordar* y *ejecutar*) y es similar al primer nivel de la taxonomía de Bloom (recordar).
- **Nivel 2 - Comprensión.** Proceso responsable de traducir el conocimiento situado en la memoria de trabajo para su almacenamiento en la memoria permanente. Las operaciones asociadas con este proceso son: *integrar* y *simbolizar*. Este nivel también es similar al segundo nivel de la taxonomía de Bloom (comprender).
- **Nivel 3 - Análisis.** Proceso cuyo objetivo consiste en extender el conocimiento mediante la generación de información a partir de inferencias. Las operaciones asociadas con este proceso son: *unir*, *clasificar*, *analizar errores*, *generalizar* y *especificar*. Este nivel abarca elementos de tres niveles diferentes de la taxonomía de Bloom (análisis, síntesis y evaluación).

- **Nivel 4 - Aplicación.** Proceso empleado para cumplir una tarea específica. Este proceso abarca las operaciones: *tomar decisiones, resolver problemas, experimentar e investigar*. Este nivel se asocia principalmente con el tercer y quinto nivel de la taxonomía de Bloom (aplicación y síntesis).
- **Nivel 5 - Metacognición.** Proceso cuya tarea principal abarca la monitorización, evaluación y regulación del funcionamiento de los otros tipos de pensamiento. Las operaciones asociadas con este proceso incluyen la especificación de objetivos, la monitorización de procesos, la claridad de monitorización y la precisión de monitorización. Este nivel no tiene relación con la taxonomía de Bloom.
- **Nivel 6 - Autorregulación.** Proceso que determina la motivación y el interés del usuario en la tarea a través del conjunto de actitudes, creencias y emociones. Entre las operaciones de este proceso cabe resaltar: (1) *examinar importancia*, (2) *examinar eficacia*, (3) *examinar respuesta emocional* y (4) *examinar motivación*. Este nivel tampoco está estrechamente relacionado con ninguno de los niveles de la taxonomía de Bloom.

En la Figura 3.14, se ilustra la clasificación completa de todas las operaciones existentes en cada uno de los niveles de la taxonomía de Marzano publicada en el año 2006 (Marzano and Kendall, 2006). Los elementos situados en la parte izquierda de la imagen (con color de relleno) se corresponden con cada uno de los seis niveles explicados previamente mientras que, los elementos de la parte derecha (sin color de relleno) representan cada una de las operaciones posibles en su nivel correspondiente. En aras de facilitar la comprensión de la imagen, se han representado el nivel y sus operaciones asociadas en la misma fila y con el borde del mismo color y, además, los niveles se han ordenado ascendentemente siguiendo una representación similar a la de Bloom.

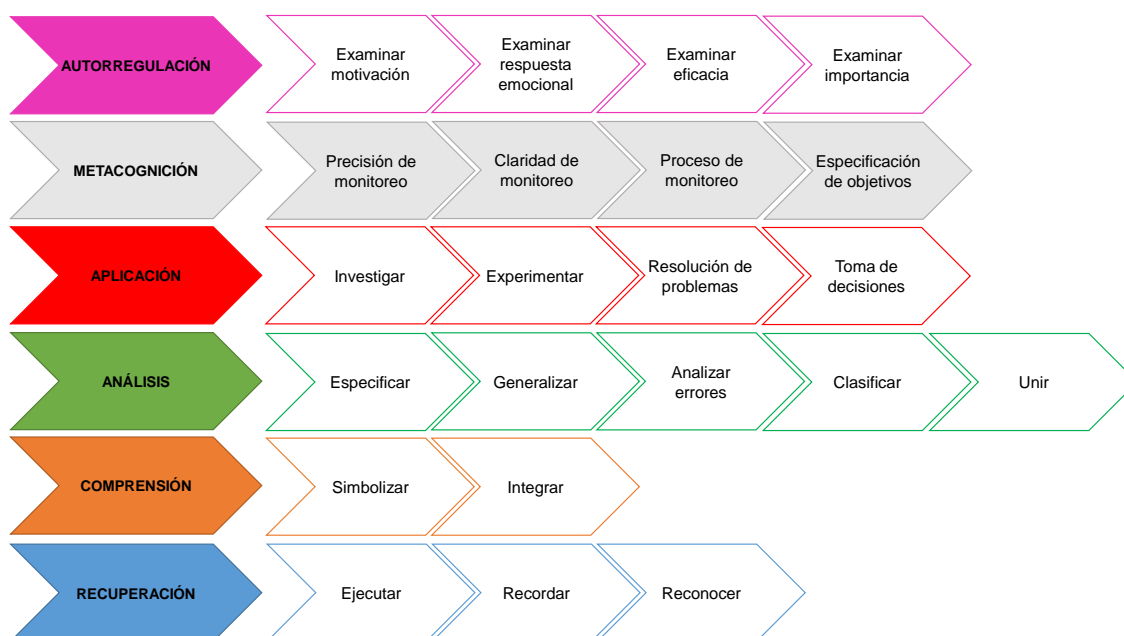


Figura 3.14: Clasificación de operaciones por niveles de la taxonomía de Marzano.

Por otra parte, las similitudes y diferencias entre la taxonomía de Marzano y de Bloom, explicadas previamente, han sido ilustradas en la Figura 3.15. Para ello, se han empleado flechas que unen las entidades que tienen alguna relación.

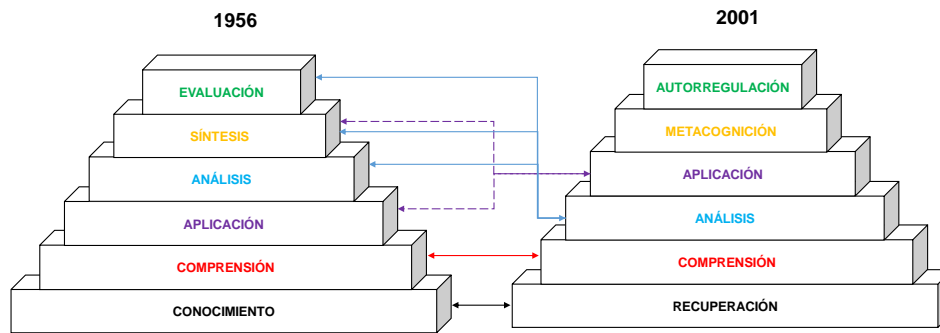


Figura 3.15: Comparación entre las taxonomías de Bloom y Marzano.

Desde otra perspectiva, Marzano considera que el conocimiento puede ser organizado en los tres dominios de conocimiento previamente enunciados: información, procedimientos mentales y procedimientos psicomotores. Esto implica que cualquier experiencia de aprendizaje puede ser definida mediante combinación de objetivos de estos dominios. A continuación se detallan los dominios y se esquematizan las diferentes subclases de estos dominios (véase Figura 3.16):

- **Información.** Este dominio hace referencia a aquellos conceptos relacionados con la adquisición de información, ya sea mediante la obtención de detalles sobre un término como a través de la organización de ideas. En este dominio se tiene en cuenta la adquisición de conocimiento referente a vocabulario, realidades, secuencias temporales, generalizaciones o principios.
- **Procedimientos mentales.** Este dominio, que está relacionado con el conocimiento procedimental, organiza los procedimientos en dos categorías. La primera categoría se refiere a aquellos procedimientos que pueden ser ejecutados de manera automática o casi inconsciente (tácticas, algoritmos o reglas simples) mientras que la segunda refleja aquellos procedimientos que requieren un mayor control en la ejecución (macroprocedimientos).
- **Procedimientos psicomotores.** Este dominio engloba los procesos (combinación de procedimientos complejos) o habilidades (procedimientos fundamentales o combinación de procedimientos simples) relacionados con los objetivos de movimiento.

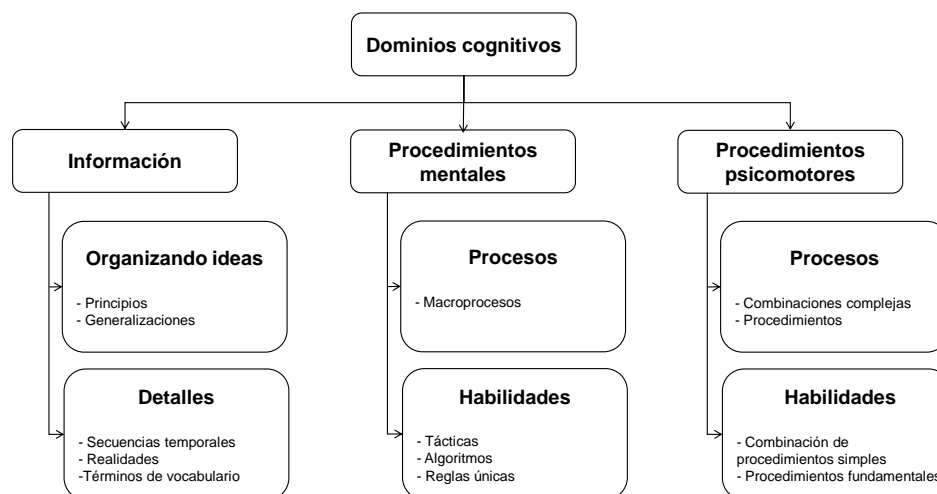


Figura 3.16: Componentes de los tres dominios de la taxonomía de Marzano. Adaptación de (Marzano and Kendall, 2006).

3.2.4. Modelo de competencias de Paquette

En el año 2007, Paquette y colegas (2007) diseñan un modelo de competencias basado en ontologías donde cada competencia es definida como una tripleta formada por un elemento de conocimiento de una ontología de dominio, una habilidad genérica de una taxonomía de habilidades y una combinación de valores de criterios de rendimiento.

Profundizando en cada uno de estos elementos (véase Figura 3.18), conviene resaltar que la ontología de dominio sigue el estándar W3C OWL-DL (Paquette et al., 2015). Por su parte, la taxonomía de habilidades se corresponde con una escala de diez niveles numerados del 0 al 9 (0 - saber, 1 - memorizar, 2 - explicar, 3 - transponer, 4 - aplicar, 5 - analizar, 6 - reparar, 7 - sintetizar, 8 - evaluar, 9 - dominar) y representados por un verbo que sirve para establecer con exactitud qué habilidad debe adquirir el estudiante para superar una competencia (véase Figura 3.17). Finalmente, la combinación de valores de criterios de rendimiento (frecuencia, autonomía, contexto, alcance y complejidad) permite diferenciar cuatro niveles de rendimiento (consciencia, familiaridad, maestría y pericia).

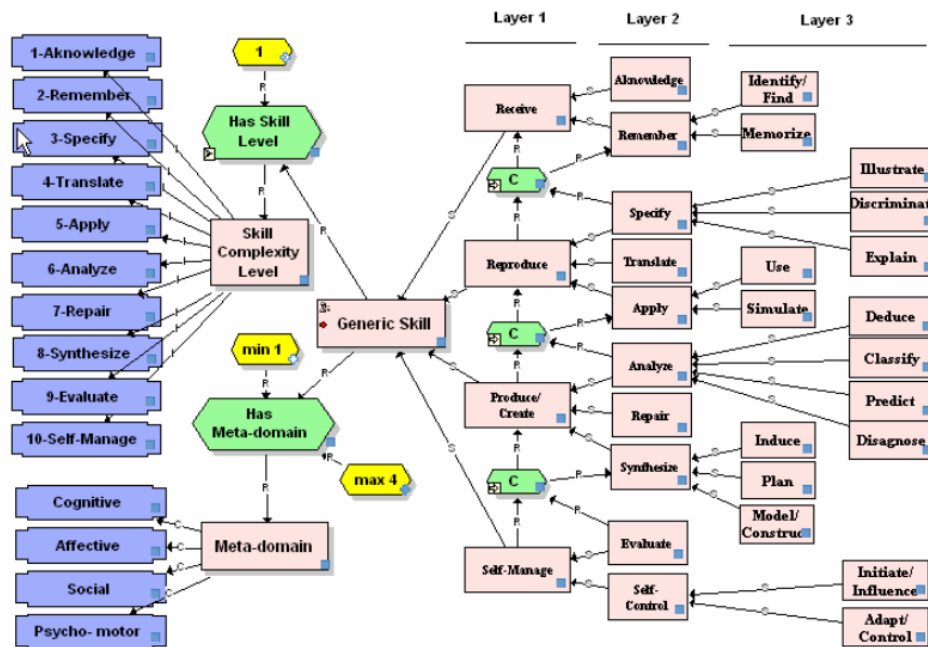


Figura 3.17: Extensión de la ontología de competencias para habilidades genéricas. Extraído de (Paquette, 2007).

En este modelo se consideran competencias de los meta-dominios cognitivo, afectivo, psicomotor y social (véase Figura 3.17). A diferencia de la taxonomía de Bloom, los autores consideran que las diferentes habilidades son independientes del dominio, es decir, pueden existir habilidades de aplicación en el dominio cognitivo (*aplicar el teorema de Pitágoras para obtener la medida de la hipotenusa*) pero también en el afectivo (*aplicar una técnica de relajación para controlar la ansiedad*). Si se desea una mayor profundidad al respecto, el propio Paquette detalla la relación existente entre cada una de las habilidades definidas y los respectivos meta-dominios (Paquette, 2010).

Como puede observarse en la Figura 3.18, una de las mayores restricciones que ofrece este modelo a día de hoy se corresponde con la amplia limitación de rango de valores que puede ofrecerse sobre los criterios de una competencia. Por ejemplo, es posible especificar el valor *con asistencia* o *sin ayuda* en la propiedad autonomía, sin embargo no puede especificarse una cantidad máxima de pistas o preguntas.

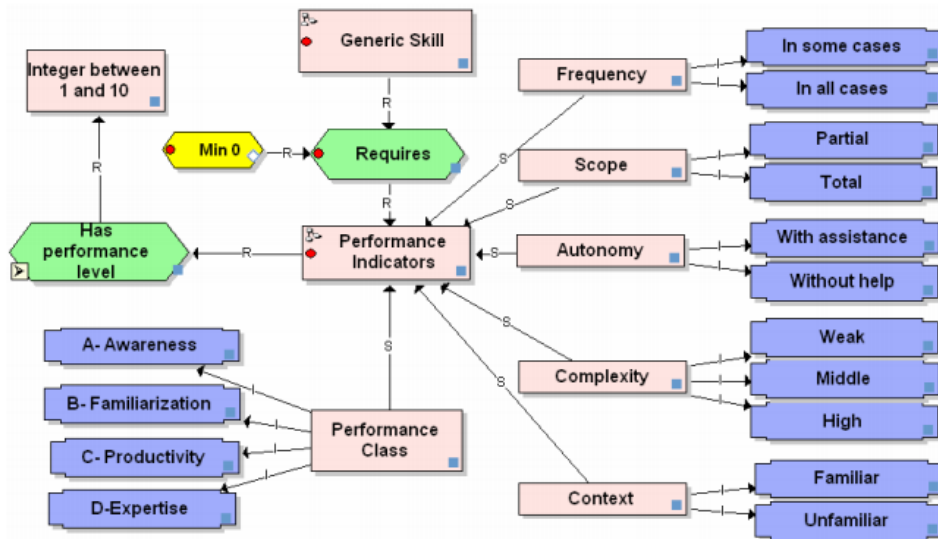


Figura 3.18: Extensión de la ontología de competencias para indicadores de rendimiento. Extraído de (Paquette, 2007).

Este modelo de competencias ha sido utilizado principalmente para comparar varias competencias entre sí. Para alcanzar esta meta, cada competencia tiene asociado un valor numérico comprendido entre 0 y 10 que se calcula mediante el nivel de habilidad y desempeño asociado a dicha competencia. De esta forma, siguiendo la clasificación propuesta en la Figura 3.19, es posible estimar que una competencia de aplicación (valorada con 4 puntos) es más importante que una de explicación (valorada con 2 puntos) o que, dadas dos competencias de síntesis, aquella que tiene un nivel de desempeño definido de maestría (valorada con 0.6 puntos) es más importante que la que requiere un nivel de familiaridad (valorada con 0.4 puntos).

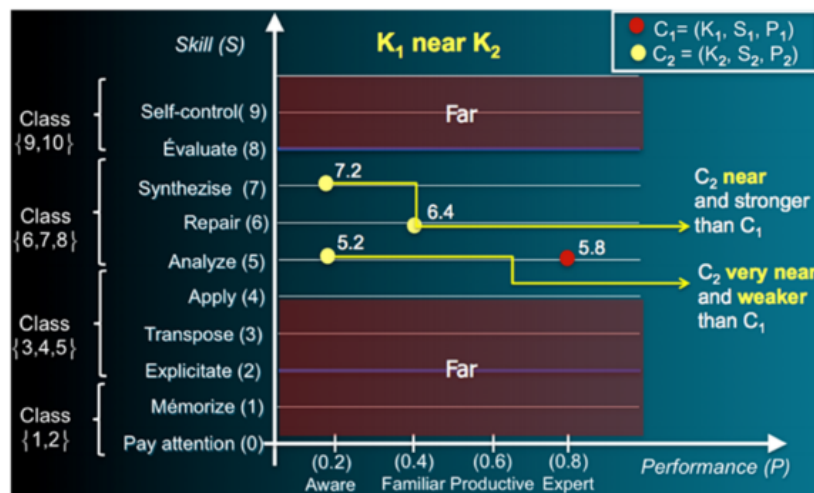


Figura 3.19: Comparación de dos competencias a través del modelo de Paquette. Extraído de (Paquette, 2007).

Este modelo de competencias fue implementado en un editor de competencias de la plataforma TELOS³. Esta plataforma está compuesta por un conjunto de herramientas como un editor de ontologías, un gestor de recursos o un editor de escenarios que pueden interactuar entre sí proporcionando un sistema capaz de crear unidades de aprendizaje.

³<http://telos3s.lice.f.ca/>

3.3. Rúbricas para la evaluación de competencias

A lo largo de esta sección se describen los trabajos más relevantes enfocados al desarrollo de rúbricas para la evaluación de competencias. El proceso de recolección de trabajos se ha llevado a cabo aplicando en los buscadores avanzados de las principales bibliotecas digitales (ACM, IEEE, SPRINGER y ELSEVIER) los siguientes filtros: publicado entre los años 2002 y 2017 y el título contenga la palabra *rubric*. El proceso de recolección se ha completado a través del motor de búsqueda de Google académico para la obtención de los documentos publicados en otras bibliotecas digitales.

En esta primera búsqueda, y tras descartar aquellos artículos cuyo título y resumen evidenciaban que el trabajo no se enfocaba al propósito de esta tesis, se obtuvieron 53 trabajos. Posteriormente, se leyeron estas publicaciones con la finalidad de identificar aquellas de especial relevancia para este proyecto. En este periodo de lectura se observó que los trabajos estaban dirigidos a diferentes categorías (trabajo en grupo, comunicación verbal, etc.) por lo que, a continuación, se describen los más destacados, agrupados por categorías, y que, de un modo u otro, han aportado ideas para este trabajo.

3.3.1. Rúbricas para evaluar el trabajo en grupo

La categoría de trabajo en grupo es cada vez más explorada tanto a nivel académico como laboral. Esto se debe a que, en la actualidad, los proyectos complejos se dividen en diferentes etapas y tareas. Frecuentemente, son trabajos multidisciplinarios y cada persona o grupo se encarga de llevar a cabo alguna de las tareas para después integrarlas en el entregable final. Si este proceso se ejecuta correctamente, la productividad se verá incrementada. Es importante señalar que, para alcanzar esta meta, es necesaria la comunicación y colaboración entre los diferentes grupos que formen el equipo.

En este sentido, Goodwin y Bonadies listaron un conjunto de actitudes dirigidas al trabajo en equipo y otro conjunto de actitudes enfocadas al trabajo en grupo (Goodwin and Bobadies, 2005). Los autores explican que las actitudes relacionadas con el trabajo en grupo siguen un pensamiento más individualista mientras que las actitudes de trabajo en equipo se dirigen más a un proceso de pensamiento unificado. La Tabla 3.1 ilustra las actitudes definidas en este trabajo.

Tabla 3.1: Actitudes de trabajo en grupo/equipo. Adaptación de (Goodwin and Bobadies, 2005).

Trabajo en equipo	Trabajo en grupo
<ul style="list-style-type: none">- El rendimiento del equipo varía conforme a la tarea (escribir, presentar, organizar).- Los miembros deben poseer conocimiento de la materia y habilidades de equipo.- Los miembros deben querer pertenecer al equipo.	<ul style="list-style-type: none">- Los individuos deben tener claras las tareas a completar.- El conjunto de habilidades añadidas ayuda a superar la debilidad individual.- Lleva tiempo completar proyectos de grupo.
<ul style="list-style-type: none">- Los equipos poseen más vínculos con las relaciones personales entre los miembros.- Pertenecer a un equipo es más divertido que pertenecer a un grupo.- Los equipos pueden ser más lentos que los individuos.	<ul style="list-style-type: none">- La división de tareas aumenta la productividad.- Las tareas de coordinación pueden ser complejas.- Los individuos actúan mejor bajo el mandato de un líder.
<ul style="list-style-type: none">- Los miembros necesitan motivación para completar tareas.- Debe haber una comunicación adecuada.	<ul style="list-style-type: none">- El trabajo en grupo requiere habilidades de gestión, técnicas y de escritura.

Otro aspecto tenido en cuenta en este trabajo es la eficiencia. Los autores identificaron los nueve criterios que consideraron más importantes para la evaluación de la eficiencia en el

trabajo en equipo. Estos criterios son: (1) tener consideración con los demás, (2) parafrasear, (3) capacidad para confrontar las diferencias de ideas, (4) interés mutuo, (5) apertura al aprendizaje, (6) escuchar atentamente, (7) compromiso con la tarea, (8) convicción para defenderse de opiniones y (9) voluntad para expresar sentimientos.

En el año 2007, Ekwaro-Osire y Orono propusieron un estudio para evaluar si el diario de trabajo es un buen indicador sobre el nivel de participación en actividades de equipo (Ekwaro-Osire and Orono, 2007).

Con el fin de evaluar la hipótesis, los autores identificaron en primer lugar cinco categorías de elementos incluidas en los diarios (fecha, contenido, continuidad, duración y firmas). La fecha es el elemento inicial de cada entrada y sirve para llevar un seguimiento del proceso de trabajo. El contenido detalla las actividades llevadas a cabo ese día con información técnica y los miembros que han participado en cada tarea. La continuidad representa la relación entre dos entradas sucesivas; a través de esta categoría se busca una planificación a corto plazo. La categoría duración permite la especificación del tiempo necesitado para la ejecución de una actividad. La categoría firmas muestra que los estudiantes han leído las entradas del resto de miembros del equipo y han verificado que la información es correcta. En segundo lugar, los alumnos son entrenados en la creación de diarios de trabajo adecuados y en la evaluación a través de rúbricas. En tercer lugar, los estudiantes valoran a sus compañeros de equipo mediante el cuestionario que aparece en la Figura 3.20. En último lugar, los instructores evalúan los diarios a través de una rúbrica que contiene ocho criterios.

Your information:						
Course No.: _____			Title: _____			
Instructor: _____			Expected Grade: _____			
Semester / Year: _____			Classification: _____			
Gender: _____			Age: _____			
Team member's information:						
Name of Team member (not your name): _____						
The purpose of this questionnaire is to assess the team members in your design project.						
Almost Always	Often	Some-times	Seldom	Almost Never	Statement	Statement Number
5	4	3	2	1	Showed initiative by doing research and analysis, took on tasks	1.
5	4	3	2	1	Prepared for and attended scheduled meetings	2.
5	4	3	2	1	Reliably fulfilled assignments and the work was of high quality	3.
5	4	3	2	1	Contributed to writing the final document of the semester (e.g., proposal, and final report)	4.
5	4	3	2	1	Contributed to preparing/making project presentation	5.
5	4	3	2	1	Kept team focused on priorities	6.
5	4	3	2	1	Listened carefully to contributions of others	7.
5	4	3	2	1	Demonstrated effective leadership on the team	8.
Additional comments						

Figura 3.20: Cuestionario de evaluación de equipo. Extraído de (Ekwaro-Osire and Orono, 2007).

Tras la puesta en práctica de este estudio, los autores identifican la existencia de una elevada correlación entre los diarios de trabajo y el nivel de participación en actividades de equipo. En el análisis llevado a cabo, se predijeron casi el 90% de los mejores resultados y el 75% de los peores resultados.

En el año 2010, Delgado y Fonseca-Mora publicaron una rúbrica para el desarrollo de competencias (Delgado and Fonseca-Mora, 2010). La rúbrica fue diseñada para evaluar las presentaciones orales e informes escritos de los trabajos en equipo. En ambos casos, los autores establecieron cinco niveles de desempeño (de 0 a 4), donde 0 es prácticamente similar a ausencia de desempeño y 3 es equivalente a desempeño estándar.

En lo relativo a las presentaciones orales (véase Figura 3.21), los autores identificaron cinco categorías. La primera es el estilo de presentación. En ella se evalúan si el tipo de recursos empleado para explicar la materia (vídeos y esquemas), el comportamiento no verbal (gestos y contacto visual) y el comportamiento verbal (tono de voz) son adecuados para captar la atención de la audiencia. El segundo criterio es el contenido, en el que cabe resaltar la cantidad y calidad del material presentado y su relación con la materia. El tercer criterio se denomina comprensión del tema y engloba la capacidad de los miembros del equipo para comprender en qué consistía su trabajo así como la realización de una presentación clara y convincente. El cuarto criterio representa la participación en debates. En él, se evalúa si, en el debate, el grupo proporciona buenas ideas para el desarrollo de la unidad, si la comunicación de estas ideas es clara y sirve de inspiración para el trabajo de otras personas. El quinto criterio es el trabajo en equipo. Este criterio mide el nivel de planificación de la presentación, la relación entre las ideas de los diferentes integrantes del grupo y, en definitiva, si han trabajado como equipo o de manera individual.

Category/score	4	3	2	1	0
Presentation style	The group used appropriate outlines and videos to explain unitary operations. Gestures, eye contact and tone of voice got the audience's attention	In general, gestures, eye contact and tone of voice got the audience's attention	Sometimes, the group used gestures, eye contact and tone of voice to maintain the audience's attention	One group member did not use a proper presentation style to catch audience's attention	More than one group member did not use a proper presentation style to catch audience's attention
Content	An abundance of material clearly related to unitary operations; points are clear	Sufficient information that relates to unitary operations; many good points made	There is a great deal of information that is not clearly connected	Some incorrect information included	In general, information is not of good quality
Topic understanding	The team clearly understood the unitary operations assigned and presented their content in an energetic and convincing way	The team clearly understood the unitary operations assigned and presented their content in a satisfactory way	The team seemed to understand the main points of their content	Some team members seemed not to understand the assigned operations	The team in general seemed not to understand the assigned operations
Participation in discussions	Provided many good ideas for the unit development; inspired others; clearly communicated ideas and questions	Participated in discussions; paid attention to others and asked good questions	Listened mainly, on some occasions, made suggestions	Rarely spoke up or made questions	No participation in discussions
Teamwork	Presentation shows that previous group discussion and planning has taken place	Individual tasks are interrelated	There seems to have been some collaboration in the global structure of their presentation	Mostly individual work joined together	No teamwork observable
Written report					

Figura 3.21: Rúbrica de presentación oral. Extraída de (Delgado and Fonseca-Mora, 2010).

En cuanto a los informes escritos (véase Figura 3.22), la rúbrica distingue seis criterios: organización, calidad de contenido, diagramas e ilustraciones, preguntas, uso de la plataforma Moodle y bibliografía. El criterio de organización sirve para evaluar si el contenido está bien organizado en apartados y párrafos. El criterio de calidad se encarga de verificar si el contenido explica todos los aspectos necesarios, fomenta el aprendizaje y añade ejemplos ilustrativos. El siguiente criterio, diagramas e ilustraciones, evalúa la calidad, cantidad, organización, nivel de apoyo y precisión de las figuras incluidas. El criterio de preguntas analiza si todas las preguntas

resumen los principales puntos de la investigación. El uso de la plataforma *Moodle* evalúa la participación de los integrantes del grupo en el foro de discusión. Finalmente, el criterio de bibliografía comprueba que todo el contenido y las imágenes se encuentran correctamente referenciadas.

Written report					
Category/score	4	3	2	1	0
Organization	Content presented in well-organized paragraphs. They include subheadings	Organized content developed into paragraphs	Organized content but without well-developed paragraphs	Content poorly organized	Content does not seem organized
Quality of content	Content explains all points that are need to be included, fosters reader's learning and adds interesting examples	Sufficient information that relates to unitary operations; many good points made	There is a great deal of information that is not clearly connected	Some incorrect information included	In general, information is not of good quality
Diagrams and illustrations	Diagrams and illustrations are organized, precise and provide strong support	Diagrams and illustrations are precise and help to understand the text	Not all diagrams and illustration are of value to facilitate understanding of the report	Diagrams and illustrations are not of sufficient value	No diagrams or illustrations
Questions	All questions summarize the main points of the report	The majority of questions summarize the main points	Only some questions are related to main points	No questions of real interest	No questions at all
Use of the Moodle platform	All group members have participated in the discussion forum to solve problems	The majority of group members have participated in the discussion forum to solve problems	Some group members have participated in the discussion forum to solve problems	Only one of them has participated in the discussion forum to solve problems	None of them have participated in the discussion forum to solve problems
References used	All content and graphics are well-referenced	Nearly all content and graphics are well-referenced	Some content and graphics are well-referenced	Few content and graphics are well-referenced	No content and graphics are well-referenced

Figura 3.22: Rúbrica de presentación escrita. Extraída de (Delgado and Fonseca-Mora, 2010).

También en el año 2010, Piedra y colegas desarrollaron un conjunto de rúbricas para evaluar habilidades creativas y colaborativas (Piedra et al., 2010). Las rúbricas diseñadas se basan en la taxonomía de Bloom (Bloom, 1956) con la intención de evaluar la edición de *wikis*, los *blogs* y los marcadores sociales. Todas las rúbricas han sido diseñadas siguiendo el mismo formato; existen cuatro niveles de desempeño: pobre, regular, bueno y muy bueno.

Con respecto a la edición de *wikis*, cabe resaltar que estas permiten la creación, modificación y borrado del contenido de un modo colaborativo. Los criterios de desempeño identificados son (a) compromiso intelectual con conceptos clave, (b) estructura, ortografía y errores gramaticales (c) contenido y comprensión y (d) construcción creativa (véase Figura 3.23).

Dimension (rubric criteria)	Levels of performance			
	Poor	Regular	Good	Very good
Intellectual Engagement with Key Concepts.	The wiki pages make no reference to issues and key concepts raised through readings and/or module activities.	The wiki pages make some reference to issues and key concepts raised through readings and/or module activities.	The wiki pages demonstrate awareness of most of the key concepts raised through readings and/or module activities.	The wiki pages demonstrate engagement with the important concepts raised through readings and/or module activities.
Structure, spelling and grammatical errors	The wiki pages have poor spelling and grammatical errors.	The wiki pages have some spelling and grammatical errors. Text entered with limited enhancements	The wiki pages have few spelling and grammatical errors. Text is enhanced.	Spelling and grammatical errors are rare. The wiki pages have structure and are formatted and enhanced to increase readability.
Content and Understanding	The wiki pages are superficial, lacks of insight and depth.	The wiki pages show some insight and depth, and are some connected with topics and activities. The wiki pages attempts to address the learning objectives pages	The wiki pages show insight and depth are connected with topics and activities. The wiki pages address the learning objectives pages.	The wiki pages are relevant and show a high level of understanding and knowledge. The wiki pages clearly address the learning objectives pages.
Creative construction	Show no ability to incorporate creativity techniques throughout the wiki project. The content of wiki pages don't meet the basic requirements of the wiki project. No creativity shown. Content has no imagination or surprises, is lacking information or is not creative.	Participants show some ability to incorporate creativity techniques during the wiki project with occasionally demonstrating awareness. Participant has created exactly what was required of him or her and nothing more.	Participants show a good ability to incorporate creativity techniques throughout most of the project.	Participants show a high ability of incorporate creativity throughout the wiki project. Content is filled with surprises and creativity. The content of wiki pages show that participant was thinking outside of the box - going beyond what participant would normally create. (Thinking differently or from a new perspective).

Figura 3.23: Rúbrica para marcadores sociales. Extraída de (Piedra et al., 2010).

En cuanto a la evaluación de *blogs* se debe tener en cuenta la posibilidad de llevarse a cabo de manera individual o colectiva, en cualquier caso, los *blogs* permiten la creación, evaluación, análisis, aplicación y comprensión de conocimiento. Asimismo, los criterios recogidos en esta rúbrica son la vinculación y cohesión entre los puestos y la utilización de recursos, la puntualidad y calidad de las respuestas a los comentarios, además de los cuatro criterios especificados para la edición de *wikis*.

Finalmente, los marcadores sociales permiten el etiquetado, registro, gestión y compartición de páginas web desde un origen centralizado. Los criterios recogidos son el almacenamiento y organización de marcadores, el etiquetado, los comentarios así como la colaboración y relevancia de los marcadores.

En el año 2011, Chica Merino propone una rúbrica (véase la Figura 3.24) para la evaluación de competencias relacionadas con el trabajo en grupo en estudiantes universitarios (Merino, 2011). Este trabajo se basa en la clasificación de competencias del proyecto Tuning (González and Wagenaar, 2005) enfocándose principalmente en la competencia genérica interpersonal de trabajo en equipo.

Rúbrica para evaluar el proceso del TRABAJO EN GRUPO				
Criterios	1	2	3	4
Contribución Participación	Nunca ofrece ideas para realizar el trabajo, ni propone sugerencias para su mejora. En ocasiones dificulta las propuestas de otros para alcanzar los objetivos del grupo.	Algunas veces ofrece ideas para realizar el trabajo. Pero nunca propone sugerencias para su mejora. Acepta las propuestas de otros para alcanzar los objetivos del grupo.	Ofrece ideas para realizar el trabajo, aunque pocas veces propone sugerencias para su mejora. Se esfuerza para alcanzar los objetivos del grupo.	Siempre ofrece ideas para realizar el trabajo y propone sugerencias para su mejora. Se esfuerza para alcanzar los objetivos del grupo.
Actitud	Muy pocas veces escucha y comparte las ideas de sus compañeros. No ayuda a mantener la unión en el grupo.	A veces escucha las ideas de sus compañeros, y acepta integrarlas. No le preocupa la unión en el grupo.	Suele escuchar y compartir las ideas de sus compañeros, pero no ofrece como integrarlas. Colabora en mantener la unión del grupo.	Siempre escucha y comparte las ideas de sus compañeros e intenta integrarlas. Busca cómo mantener la unión en el grupo.
Responsabilidad	Nunca entrega su trabajo a tiempo y el grupo debe modificar sus fechas o plazos.	Muchas veces se retrasa en la entrega de su trabajo, y el grupo tiene que modificar a veces sus fechas o plazos.	En ocasiones se retrasa en la entrega de su trabajo, aunque el grupo no tiene que modificar sus fechas o plazos.	Siempre entrega su trabajo a tiempo y el grupo no tiene que modificar sus fechas o plazos.
Asistencia y Puntualidad	Asistió como máximo al 60% de las reuniones y siempre llegó tarde.	Asistió de un 61% a 74% de las reuniones y no siempre fue puntual.	Asistió de un 75% a 90% de las reuniones y siempre fue puntual.	Asistió siempre a las reuniones del grupo y fue puntual.
Resolución conflictos	En situaciones de desacuerdo o conflicto, no escucha otras opiniones o acepta sugerencias. No propone alternativas y le cuesta aceptar el consenso o la solución.	En situaciones de desacuerdo o conflicto, pocas veces escucha otras opiniones o acepta sugerencias. No propone alternativas para el consenso pero las acepta.	En situaciones de desacuerdo o conflicto, casi siempre escucha otras opiniones y acepta sugerencias. A veces propone alternativas para el consenso o solución.	En situaciones de desacuerdo o conflicto, siempre escucha otras opiniones y acepta sugerencias. Siempre propone alternativas para el consenso o la solución.

Figura 3.24: Rúbrica para evaluar el proceso de trabajo en grupo. Adaptación de (Merino, 2011).

La rúbrica desarrollada distingue cuatro niveles de desempeño (del 1 al 4) y cinco criterios para la evaluación de un trabajo en grupo genérico. Es importante resaltar que la especificación

de los niveles de desempeño como número del 1 al 4 no es adecuada ya que, mediante este sistema no es posible discernir cuál es el nivel estándar a partir del que se considera superada la actividad. Respecto a los criterios, el primero representa la contribución del estudiante al grupo (ideas para realizar el trabajo, sugerencias de mejora, contribuye a alcanzar los objetivos del grupo). El segundo criterio está relacionado con la actitud (el estudiante escucha y comparte las ideas de los compañeros, trata de integrar las ideas en el trabajo y busca mantener unido al grupo). El tercer criterio afecta a la responsabilidad (se ajusta a la planificación para entregar el trabajo a tiempo). El cuarto criterio se refiere a la asistencia y puntualidad (evalúa si el estudiante asiste o no a las reuniones y si llega de manera puntual). El último criterio hace referencia a la resolución de conflictos (escucha las opiniones del resto en situaciones de desacuerdo, acepta sugerencias y propone alternativas).

Chow, Ko, Li y Zhou publicaron en el año 2012 un plan de evaluación de resultados de aprendizaje en la universidad (Chow et al., 2012). Este plan incluye un estudio de los demandantes de empleo, otros dos de los estudiantes al comenzar y finalizar sus estudios, uno de la facultad y la evaluación de la *capstone experience*⁴. Tanto el estudio de los demandantes de empleo como el de la *capstone experience* han sido evaluados a través de rúbricas.

La rúbrica de la *capstone experience* cuenta con una escala compuesta por los niveles de desempeño: necesita trabajar (1-2), media (3) y ejemplar (4-5). Por su parte, en la rúbrica se han identificado cinco criterios: confianza, resolución de conflictos, compromiso, responsabilidad y resultados. La rúbrica también consta de un área de texto para indicar lo que se ha realizado bien y otro para aquello que puede ser mejorado (véase Figura 3.25).

Team	Assessor	Date		
Category/ Criteria	Exemplary (5)	Competent (3)	Needs Work (1)	Score
Trust	Team members are genuinely open with one another. They always share their weaknesses and mistakes.	Team members are reasonably open with one another. They occasionally share their weaknesses and mistakes.	Team members are not open with one another. They rarely share their weaknesses and mistakes.	
Conflict	Team members actively embrace different ideas and commit to resolving conflicts as they arise. Team meetings are always lively and interesting.	Team members are willing to discuss different ideas and deal with conflicts occasionally. Team meetings are often lively and interesting.	Team members shy away from conflicts and are not willing to discuss different ideas. Team meetings lack energy.	
Commitment	Team members are very clear about the team's direction and priorities and totally committed to realizing the team's goals.	Team members can agree on the team's direction and priorities and commit to realizing the team's goals.	Team members have different ideas of what the team goals are and lack the commitment to move forward as a team.	
Accountability	Team members always put the team's interests ahead of individual interests and keep one another accountable.	Team members attempt to let one another know when individuals do not act in the best interest of the team.	Team members avoid keeping one another accountable for actions and behaviors that would hurt the team's progress.	
Results	Team members always stay focused on team goals, maintain a high level of motivation, and celebrate success along the way.	Team members stay reasonably focused on team goals and can make steady progress towards them.	Team members are easily distracted and lose sight of team goals, resulting in a loss of motivation or lack of progress.	
Things that the team did well:		Things that the team could have done better:		

Figura 3.25: Rúbrica del *capstone experience*. Extraída de (Chow et al., 2012).

La rúbrica del estudio de empleabilidad (véase Figura 3.26) está formada por los mismos niveles de desempeño, es decir, necesita trabajar, media y ejemplar. El objetivo es facilitar la comprensión global del proyecto. Esta rúbrica consta a su vez de tres criterios: curiosidad, iniciativa y transferencia.

⁴Proyecto de gran envergadura donde los estudiantes deben integrar, extender, analizar y aplicar los conocimientos adquiridos durante su aprendizaje.

An ability to recognize the need for, and to engage in lifelong learning						
h-1 Explore a topic and find relevant information						
Expectation	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n/a
Performance	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n/a
	Explore a topic and identify exiting information at a superficial level		Explore a topic and search for relevant information with some depth	Explore a topic and search for relevant information with depth; Show rich interest in the topic		
h-2 Pursue additional knowledge beyond job duties						
Expectation	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n/a
Performance	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n/a
	Show little interest in pursuing additional knowledge beyond job duties		Seek opportunities to expand knowledge, skills and abilities beyond job duties under guidance	Actively seek opportunities to expand knowledge, skills and abilities beyond job duties		
h-3 Review prior learning experience, revealing clarified meaning or indicating broader perspective about education or life						
Expectation	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n/a
Performance	<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	<input type="checkbox"/> n/a
	Recall prior learning experience and repeat the same pattern of learning		Review prior learning experience to identify lessons learned; Make necessary changes to improve future performance	Review prior learning experience critically to obtain lessons learned; Make necessary changes to improve learning processes		

Figura 3.26: Rúbrica del demandante de empleo. Extraída de (Chow et al., 2012).

Un año más tarde, Tachikawa, Maruyama y Takashima describen un método para evaluar las competencias de gestión de proyectos en los escenarios basados en objetivos (Tachikawa et al., 2013). Para ello, se basan en PROMASTER, un sistema de aplicaciones web que proporciona facilidades de cooperación entre compañeros de equipo. Este sistema registra las acciones de los estudiantes y los mensajes intercambiados con el objetivo de medir los niveles de habilidad alcanzados por los estudiantes. Para ello, utiliza como instrumento de ayuda una rúbrica.

La rúbrica diseñada para tal fin (véase Figura 3.27) consta de cuatro niveles de desempeño que indican el número de puntos obtenidos por los estudiantes (de 1 a 4 puntos). No existe un nivel de desempeño estándar, lo que puede dificultar la tarea a los estudiantes ya que no conocen el nivel de desempeño que deben alcanzar para superar los criterios.

Analysis aspect		Criteria for scoring				
		4 points	3 points	2 points	1 point	
Common item through all exercises	Act from the assigned stakeholder's perspective	Whether the students introduce themselves	They introduce both their stakeholder roles and their company name.	They introduce their stakeholder roles.	They only greet each other.	They do not introduce themselves at all.
		Whether the students keep to the perspective of their stakeholder roles	They understand their roles and interests, and act with the courtesy befitting a business person.	They call others by their role titles, and make comments with the courtesy befitting a business person.	They keep on citing information on the information cards, retain their personal perspective, and make comments that lack the courtesy befitting a business person.	They do not call others by their role titles, and make abusive comments that lack the courtesy befitting a business person.
	Share information	Whether the students exchanged opinions and information and made a decision that was agreeable to all three team members	They exchange opinions and information from the perspectives of their roles, and make a decision that is agreeable to all three team members.	Some keep the perspectives of their roles but some do not. Ultimately, they make a decision agreeable to all three team members.	Although they exchange information, they do not exchange opinions that are based on the perspectives of their roles.	They make a decision without careful consideration.
	Leadership	Required behavior of Matsuoka	Matsuoka takes account of the opinions of team members according to their respective roles, and summarizes the discussion.	Matsuoka proceeds to lead the discussion (Other people sometimes disagree.)	Matsuoka doesn't advance the discussion, but does summarize opinions appropriately.	Matsuoka doesn't progress advance the discussion, and does not mention or seek the opinions of others.
3rd		Add personnel	Each learner gives an opinion, and discusses the problem. After this they have a discussion and agree on a solution.	Each learner gives an opinion. After this they have a discussion and agree on a solution.	They make a decision based on the opinion of one person.	They just make decision without considering all opinions.
		Investigate the cause of the delay, and calculate the excess cost and the SPI	Clarify the cause of delay, and correctly calculate the SPI of the current process and the excess cost.	Clarify the cause of delay, but don't calculate the SPI of the current process and the excess cost.	Even though they do not understand the cause of the delay, they correctly calculate the SPI of the current process and the excess cost.	They are either not able to understand the cause or not able to make the calculations correctly.
		Change the policy	The three learners discuss the cause of delay, the SPI and the cost, and then consider the development policy. After that they are able to have a discussion leading to an agreed solution.	Three learners don't refer to the cause of delay, SPI and cost, but they consider the development policy. After that they are able to have a discussion leading to an agreed solution.	They make a decision based on the opinion of one person.	They just make a decision without careful thought.

Figura 3.27: Rúbrica de gestión de proyectos. Extraída de (Tachikawa et al., 2013).

Cada escenario diseñado consta de siete criterios; cuatro comunes y tres propios. Los comunes se agrupan en tres categorías: liderazgo (requiere la actuación del administrador del proyecto), compartir información (nivel de acuerdo alcanzado entre los compañeros de equipo) y actuación desde la perspectiva de las partes interesadas (presentación y mantenimiento de las perspectivas). El primer escenario evalúa si todos los estudiantes participan dando su opinión así como en la toma de decisiones. También evalúa si los grupos clarifican los motivos del retraso en ese escenario y calculan el coste de esos retrasos. Por último, la rúbrica evalúa si los integrantes del grupo establecen un cambio de política para evitar futuros retrasos. En el segundo escenario, la rúbrica trata de dilucidar el nivel de participación de los integrantes del grupo en el cálculo de dos variables económicas durante dos periodos, así como su nivel de participación y acuerdo en lo que la evolución de estos valores puede significar. Los criterios específicos de la rúbrica en el tercer escenario son la capacidad de revisión de costes por parte de todos los integrantes del grupo, así como el cálculo de costes excesivos y la discusión y acuerdo sobre una solución para afrontar estos costes. La rúbrica para el último escenario se encarga de evaluar si todos los integrantes del grupo opinan y discuten acerca del *software* propuesto, de las medidas para la reducción de costes y del contrato de desarrollo.

También en el año 2013, Vila Merino y Badia Miró desarrollan varias rúbricas de trabajo en equipo desde tres dominios diferentes (Vila Merino and Badia Miró, 2013). Cada uno de los dominios permite el análisis y la evaluación desde diferentes perspectivas que los estudiantes manejan en los diferentes cursos universitarios. El primer nivel es el más básico y se corresponde con la participación y colaboración activa en las tareas de equipo, así como el fomento de la confianza, cordialidad y la orientación del trabajo conjunto (véase Figura 3.28).

Nivel 1	Indicador	Descriptorios			
		1	2	3	4
Participar y colaborar activamente en las tareas del equipo, y fomentar la confianza, la cordialidad y la orientación en el trabajo conjunto.	Entrega del trabajo en el plazo fijado	No lo entrega.	Lo entrega después de insistir.		Lo entrega en el plazo establecido.
	Intervención en la definición de los objetivos del trabajo	No interviene.	Interviene poco. Solo interviene cuando se le interpela directamente.	Interviene activamente.	Interviene activamente y dinamiza positivamente al grupo.
	Colaboración en la definición y en la distribución de las tareas del trabajo en grupo	Frena el trabajo de los demás.	Solo realiza la parte que el resto del grupo ha decidido llevar a cabo.	Participa en la planificación.	Fomenta la organización y la distribución de tareas, recogiendo las intervenciones del resto del grupo, e incorpora propuestas.
	Compartir con el equipo el conocimiento y la información	Persigue sus objetivos particulares.	Prevalecen sus objetivos personales respecto a los del grupo.	Asume los objetivos del grupo.	Promueve y moviliza los objetivos del grupo.
	Implicación en los objetivos del grupo y retroalimentación constructiva	No se implica y pone trabas.	No se implica.	Acepta las opiniones de los demás y ofrece su punto de vista de modo constructivo.	Fomenta el diálogo constructivo. Integra e inspira la participación de los demás.

Figura 3.28: Primer dominio de la rúbrica de trabajo en equipo. Extraída de (Vila Merino and Badia Miró, 2013).

En la Figura 3.28, puede observarse que, la rúbrica de primer dominio consta de cinco criterios y cuatro niveles de desempeño. Los niveles de desempeño, al igual que en otros trabajos previamente analizados, son cuatro valores numéricos (del 1 al 4), siendo el nivel 3 el correspondiente con el estándar. Los criterios evalúan si entrega el trabajo y en qué condiciones, intervención en el establecimiento de los objetivos, colaboración en la planificación, compartición de los conocimientos con el resto de integrantes y fomento de la comunicación positiva.

El segundo dominio evalúa, mediante cuatro criterios, la contribución del estudiante al desarrollo del equipo y a favorecer la comunicación y planificación. El primer criterio indica el grado con el que el estudiante acata las normas del grupo. El segundo criterio describe el nivel con el que el estudiante contribuye en el establecimiento y la aplicación de los procesos de trabajo en equipo. El tercero mide cómo el estudiante afronta los conflictos de equipo. El último criterio valora la importancia de la colaboración del trabajo en equipo. En esta rúbrica, al igual que en la anterior, también se ha optado por emplear los mismos cuatro niveles de desempeño siendo el nivel 1 el más bajo, 3 el nivel estándar y 4 un nivel de desempeño alto (véase Figura 3.29).

Nivel 2	Indicador	Descriptorios			
		1	2	3	4
Contribuir a la consolidación y al desarrollo del equipo, favoreciendo la comunicación, la distribución equilibrada de tareas, el clima interno y la cohesión.	Aceptación y cumplimiento de las normas del grupo	No acepta ni cumple las normas del grupo.	Intenta modificar las normas del grupo en beneficio propio.	Acepta y cumple las normas del grupo.	Participa en el establecimiento de las normas y fomenta nuevas normas para mejorar el funcionamiento del grupo.
	Contribución al establecimiento y a la aplicación de los procesos del trabajo en equipo	No conoce ni se interesa en conocer los procesos del equipo.	Conoce, pero no aplica los procesos del equipo.	Aplica los procesos del equipo.	Aplica y mejora los procesos del equipo.
	Actuación para afrontar los conflictos del equipo y su cohesión	Provoca conflictos.	Evita afrontar el conflicto y se muestra pasivo.	Actúa positivamente en la resolución de conflictos.	Capta los conflictos y actúa rápidamente para evitarlos. Soluciona los conflictos.
	Valoración de la colaboración del trabajo en equipo	Niega la importancia del trabajo en equipo.	Relativiza la importancia del trabajo en equipo. Prevalen sus objetivos personales respecto a los del grupo.	Da soporte al trabajo en equipo.	Da importancia al trabajo en equipo.

Figura 3.29: Segundo dominio de la rúbrica de trabajo en equipo. Extraída de (Vila Merino and Badia Miró, 2013).

Por su parte, el tercer dominio se enfoca en la dirección de grupos de trabajo asegurando la interacción y orientación para conseguir un rendimiento elevado. Esta rúbrica también está formada por cuatro criterios y los mismos cuatro niveles de desempeño de las rúbricas anteriores (1-4). El primer criterio se corresponde con la planificación de las tareas (definición y distribución). El segundo criterio mide el nivel de claridad, adecuación y perspectiva de los objetivos definidos. El tercer criterio establece el grado con el que se dirigen los conflictos del equipo. El último criterio evalúa la implicación en la gestión y el funcionamiento del equipo (véase Figura 3.30).

Nivel 3	Indicador	Descriptorios			
		1	2	3	4
Dirigir grupos de trabajo, asegurando la interacción de los miembros y su orientación hacia un elevado rendimiento.	Colaboración en la definición y en la distribución de las tareas del trabajo en equipo	Actúa sin planificación previa.	Improvisa la planificación, haciéndola poco realista.	Planifica en plazos realistas.	Distribuye tareas según las habilidades de los miembros del equipo de modo realista.
	Propuesta al grupo de objetivos ambiciosos	Desconoce los objetivos del grupo.	Propone objetivos confusos que desorientan al grupo.	Propone al grupo objetivos claros y adecuados.	Impulsa objetivos con visión de futuro.
	Actuación para afrontar los conflictos del equipo y su cohesión	Provoca conflictos.	Evita afrontar el conflicto y se muestra pasivo.	Actúa positivamente en la resolución de conflictos.	Capta los conflictos y actúa rápidamente para evitarlos. Soluciona los conflictos.
	Promoción de la implicación en la gestión y funcionamiento del equipo	No se compromete, por lo que desanima al grupo cuando este quiere implicarse.	Le cuesta gestionar positivamente el funcionamiento del equipo.	Gestiona correctamente el funcionamiento del equipo.	Consigue el compromiso personal y del equipo en todos los aspectos de su gestión.

Figura 3.30: Tercer dominio de la rúbrica de trabajo en equipo. Extraída de (Vila Merino and Badia Miró, 2013).

En el año 2014, Vance y colegas propusieron un *framework* y una rúbrica para la evaluación de habilidades de trabajo en equipo (Vance et al., 2014) enfocada a las denominadas disciplinas STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics*). En este trabajo, los autores clasificaron las habilidades y conocimiento relacionados con el trabajo en equipo en cinco áreas: fijación de objetivos del equipo, formación del equipo y responsabilidad, comunicación de equipo, resolución de conflictos, y la toma de decisiones y resolución de problemas grupales.

La categoría de fijación de objetivos de equipo implica el establecimiento de objetivos específicos mediante la participación, aceptación, comprensión y apoyo. Asimismo, esta incluye la evaluación de desempeño y *feedback*. Tanto el equipo como los componentes del mismo deben ser capaces de aceptar críticas y *feedback* de manera positiva. La categoría de formación del equipo y responsabilidad hace referencia a la formación y coordinación del equipo. Esta implica la definición de tareas, expectativas y roles. También es recomendable la identificación de recursos y capacidades especiales de cada miembro. A través de esta categoría es importante establecer una carga de trabajo justa y lógica, así como coordinar que las tareas se están realizando en sincronía. El área de comunicación de equipo engloba habilidades como la capacidad para realizar preguntas adecuadas, escuchar de manera efectiva, atender al comportamiento no verbal, emplear tecnologías de manera habilidosa o usar el estilo de comunicación adecuado. La categoría de resolución de conflictos incluye el reconocimiento de problemas y la aplicación de estrategias de resolución para la gestión de conflictos de equipo. Cada miembro del equipo debe ser capaz de identificar cuándo un conflicto es constructivo, civil o indeseable. En esta categoría deben tenerse en cuenta habilidades y la velocidad para alcanzar consenso entre los miembros del equipo para reducir la degradación del desempeño del equipo. Finalmente, la categoría de toma de decisiones y resolución de problemas grupales engloba habilidades de identificación de problemas, consciencia de los peligros conocidos y la correcta aplicación de técnicas de resolución de problemas. En esta categoría, los individuos deben trabajar en equipo para buscar y combinar información y llegar a acuerdos para seleccionar la mejor solución.

Los autores de este trabajo, además de esta clasificación, propusieron una rúbrica para la toma de decisiones por equipo. Esta rúbrica (véase Tabla 3.2) se compone de tres categorías (identificación de problemas, consciencia de los peligros conocidos e implementación de las técnicas de resolución de problemas) y cada criterio puede ser adquirido con un nivel de desempeño *acclimation*, *competency* o *proficiency*. Los autores proponen nueve criterios diferentes en la rúbrica que pueden ser de conocimiento, por ejemplo, “sabe identificar las diferencias entre datos relevantes e irrelevantes” o bien, de procesado estratégico como “los miembros del equipo están involucrados en generar soluciones alternativas”.

Tabla 3.2: Fragmento de la rúbrica de toma de decisiones. Extraído de (Vance et al., 2014).

	Acclimation	Competency	Proficiency
Allows input from each team member without bias	Team members make little to no effort to include each team member’s input without bias. Bias may even not be considered by team.	Team members make a decent effort to involve each team member’s input without bias. Removing bias from each team member’s input is taken into consideration in some cases.	Team members make a significant, deep, and personal effort to include each team member’s input without any bias.
Structures team meetings with problem solving techniques	Only isolated, unlinked memorization, information, and techniques are used to solve problems effectively during team meetings.	Team uses a mix of surface level and deep processing strategies and techniques to solve problems effectively during team meetings.	Only linked, not isolated memorization, information, and techniques are used to solve problems effectively during team meetings.

En el año 2016, Parratt y colegas presentan *TeamUP assessment rubric*, una rúbrica para la enseñanza y evaluación de habilidades de equipo (Parratt et al., 2016). La motivación de este trabajo viene dada por la gran relevancia de este tipo de habilidades transversales en el ámbito laboral y la escasa importancia que se da en su aprendizaje y evaluación. *TeamUp assessment rubric* fue diseñada a lo largo de tres versiones donde fueron adaptando la terminología hasta alcanzar un nivel de consenso razonable.

La versión final de este instrumento de evaluación consta de cinco dominios: planificar proyectos, fomentar el clima de trabajo, facilitar la contribución de otros, gestionar conflictos y contribución al proyecto de equipo. Los elementos que forman estos dominios se describen a continuación:

- **Planificar proyectos.** Conjunto de habilidades para la planificación de proyectos de alta calidad. Entre las habilidades de este dominio cabe mencionar (i) la elección y apoyo a un líder de proyecto, (ii) definir y acordar los objetivos y metas del equipo, (iii) definir y acordar los estándares de calidad para cada parte del plan, (iv) contribuir al desarrollo del plan, (v) establecer y acordar la temporalidad de cada parte del plan, (vi) participar en la asignación de roles conforme a las habilidades individuales y necesidades de aprendizaje, (vii) comprometerse con el rol de equipo para reunir los estándares de calidad acordados en el tiempo previsto y (viii) participar en las modificaciones del plan si surgen contingencias.
- **Fomentar el clima de trabajo.** Habilidades dirigidas a promover la inclusión de cada miembro del equipo. En este dominio es posible incluir habilidades como la exhibición de modales abiertos, amigables y educados, demostrar autoconciencia y regulación de las emociones, demostrar empatía, contribuir activamente en los debates del equipo, escuchar atentamente y sin interrumpir, cooperar con otros para lograr las metas del proyecto, apoyar a los otros compañeros cuando hay preocupación por sus contribuciones, mostrar respeto por las contribuciones de los compañeros y expresar gratitud de manera habitual.

- **Facilitar la contribución de otros.** Conjunto de acciones llevadas a cabo para asegurar el progreso efectivo del plan. Las acciones recogidas son: (i) intercambio preciso de información relevante y comprensible por cualquier miembro del equipo, (ii) tomar turnos para la coordinación de reuniones de equipo, (iii) distribuir el tiempo de las reuniones por turnos, (iv) participar en el proceso de construcción del equipo, (v) establecer y cumplir las reglas del equipo de trabajo, (vi) tomar las decisiones de una manera oportuna, (vii) escuchar atentamente a la persona que está hablando, (viii) usar señales previamente acordadas para indicar que se desea participar en la conversación y esperar el turno, (ix) participar en una toma de decisiones consensuada, (x) invitar a otros miembros a contribuir y (xi) asistir a otros compañeros si están luchando para cumplir los requisitos.
- **Gestionar conflictos.** Acciones enfocadas a la prevención, reconocimiento o dirección de conflictos para fortalecer la cohesión y efectividad del equipo. Los autores identifican las acciones de: minimizar conflictos innecesarios mediante la planificación y gestión; mostrar asertividad y no ser una persona dominante, sumisa, pasiva o agresiva; mantener un balance entre armonía social y dirección de conflictos; enfocar conflictos para resolverlos y mantener las relaciones; participar en actividades enfocadas a la transformación de conflictos en aprendizaje; mantener en mente los objetivos generales del equipo; desafiar los procesos del equipo que no conducen a alcanzar los objetivos generales del equipo; ofrecer retroalimentación constructiva y oportuna referente al comportamiento de los otros y ser abierto en la recepción de retroalimentación acerca de nuestro propio comportamiento.
- **Contribuir al proyecto de equipo.** Representa las acciones que demuestran que el miembro del equipo ha hecho una contribución de alta calidad al proyecto. Estas acciones son: (i) envío del trabajo siguiendo el estándar de calidad definido, (ii) envío del trabajo en el plazo fijado, (iii) criticar de manera constructiva el trabajo de los otros, (iv) integrar la producción de los miembros del equipo en el proyecto, (v) demostrar habilidades tecnológicas, (vi) demostrar conocimientos relevantes del contenido, (vii) adherir los requisitos académicos y (viii) evaluar la calidad del proyecto haciendo los cambios oportunos.

3.3.2. Rúbricas para evaluar el trabajo de comunicación oral

En este segundo apartado se analizan las rúbricas relacionadas con habilidades de comunicación oral. Estas habilidades son muy frecuentes en prácticamente la totalidad de las actividades tanto laborales como educativas. Las habilidades de comunicación oral se emplean en múltiples situaciones (convencer, informar, relacionarse, etc.). Por consiguiente, múltiples trabajos han sido desarrollados sobre la evaluación de competencias y habilidades comunicativas.

El primer trabajo analizado en este documento referente a la comunicación oral fue desarrollado por Dunbar y colegas en el año 2006 (Dunbar et al., 2006). Los autores evalúan el desempeño de los estudiantes en cursos orales de educación pública general mediante la rúbrica *Competent Speaker*⁵ desarrollada en 1993.

La rúbrica establece una valoración para ocho competencias representadas como indicadores y que pueden alcanzarse o no en un nivel insatisfactorio, satisfactorio o excelente. La primera competencia indica el grado en el que una persona es capaz de elegir y estrechar un tema apropiado de acuerdo al público y contexto. La segunda competencia especifica la capacidad de comunicar el propósito específico de la comunicación de un modo apropiado para la audiencia y ocasión. La tercera competencia consiste en proporcionar material de soporte (electrónico o no) al público para poder seguir la presentación de manera sencilla. La siguiente competencia consiste

⁵https://ams.natcom.org/uploadedFiles/Teaching_and_Learning/Assessment_Resources/PDF-Competent_Speaker_Speech_Evaluation_Form_2ndEd.pdf

en adecuar la presentación mediante patrones organizativos de acuerdo al tema, audiencia, ocasión y propósito. La quinta competencia analiza la capacidad de usar un lenguaje apropiado de acuerdo a la audiencia y ocasión. La antepenúltima competencia engloba todo lo relacionado con el empleo de la variedad vocal (tono, intensidad, velocidad) para mantener el interés de la audiencia. La séptima competencia indica la capacidad del usuario para emplear una pronunciación, articulación y gramática adecuada de acuerdo a la audiencia y ocasión. La última competencia se corresponde con la habilidad de emplear comportamientos físicos como soporte al lenguaje verbal.

Los resultados de este estudio confirman que existe una carencia en el aprendizaje de habilidades relacionadas con la comunicación oral. En el estudio llevado a cabo, los estudiantes no alcanzaron un nivel satisfactorio en 5 de las 8 competencias básicas analizadas. Este estudio también indica la necesidad de extender la rúbrica *Competent Speaker* ya que es extremadamente genérica. Asimismo, se refleja que la evaluación de la comunicación oral mediante la rúbrica requiere un trabajo extra. Por este motivo, se aconseja que la evaluación de las habilidades comunicativas coincida con otras formas de evaluación para no crear una mayor carga de trabajo.

En el año 2010, Kemppainen y colegas ([Kemppainen et al., 2010](#)) proponen una rúbrica general para evaluar las capacidades comunicativas (orales y escritas) de los estudiantes de primer curso de la Universidad Tecnológica de Michigan (MTU). En una primera versión, esta rúbrica constaba de siete criterios evaluados en una escala del 1 al 6 (desde emergente hasta maestro). Los criterios en esta primera versión son: (1) identificar y resumir el problema en cuestión, (2) identificar y considerar la influencia del contexto y suposiciones, (3) desarrollar, presentar y comunicar la perspectiva, hipótesis y posición del estudiante o equipo, (4) presentar, evaluar y analizar las evidencias, (5) integrar las cuestiones empleando otras perspectivas y posiciones, (6) identificar y evaluar las conclusiones, implicaciones y consecuencias y (7) comunicarlo de manera efectiva.

Esta rúbrica sufre ligeras modificaciones después de ser testada en materias reales a causa de la complejidad de valoración de algunos criterios. En su segunda versión, todavía no definitiva, mantiene el grueso de los criterios anteriores pero realiza ligeras modificaciones. Entre estos cambios, cabe resaltar la eliminación de los criterios 3 (perspectiva, hipótesis y posición) y 5 (integración de las cuestiones), y la creación de un nuevo criterio de dirección de requisitos técnicos específicos de una tarea (en sustitución del criterio 3). También se modifican los niveles de desempeño mediante la inserción del nivel 0 (carencia de evidencia) y la eliminación de un nivel intermedio. Por tanto, esta segunda versión se compone de seis criterios y seis niveles de desempeño.

En el año 2012, Schreiber y colegas publicaron *The public speaking competence rubric* (PSCR), una de las rúbricas más completas de evaluación de competencias ([Schreiber et al., 2012](#)). A lo largo de este trabajo, se desarrolla, prueba y analiza esta rúbrica compuesta por once criterios y cinco niveles de desempeño.

En primer lugar, los autores realizan un análisis profundo de los trabajos previos relacionados con la evaluación de competencias en la comunicación oral. Este aspecto adquiere gran importancia puesto que la rúbrica resultante será una combinación de los trabajos previos. También se analizan los dos tipos de evaluación del desempeño en comunicación oral (escalas de evaluación y rúbricas descriptivas). Tras este análisis, los autores deciden emplear una rúbrica como instrumento de evaluación, ya que consideran que estas son más completas que las escalas de evaluación.

En segundo lugar, los autores describen los cinco niveles de desempeño que sirven para evaluar cada uno de los criterios de la rúbrica. El nivel más básico es el deficiente. En este nivel, se engloban las competencias en las que haya muchos errores gramaticales y de sintaxis, se emplean en exceso jergas, argots, términos sexistas/racistas o fallos de pronunciación. El nivel mínimo se encuentra en el escalón superior al deficiente. En este, se localizan aquellas competencias en las que la gramática y sintaxis deben ser mejoradas al igual que el nivel de sofisticación del lenguaje. A continuación, aparece el nivel básico. En este nivel, la selección del lenguaje es adecuada aunque existen algunos errores gramaticales y, a veces, el lenguaje empleado es incorrecto. En el nivel competente, el lenguaje es adecuado a los objetivos de la presentación y no hay errores gramaticales. El nivel más elevado es el avanzado. En este, el lenguaje es excepcionalmente claro, imaginativo, intenso y libre de lenguaje inapropiado y errores gramaticales.

En tercer lugar, Schreiber y colegas identifican las once competencias que forman el núcleo de PSCR. Las primeras nueve son obligatorias mientras que las últimas son opcionales. Estas competencias son: (1) seleccionar un tema apropiado a la audiencia y ocasión, (2) formular una introducción que oriente al público sobre el tema a tratar, (3) usar patrones de organización efectivos, (4) localizar, sintetizar y emplear materiales de apoyo de calidad, (5) desarrollar una conclusión que refuerce la hipótesis y proporcione un cierre de la presentación adecuado, (6) demostrar una elección de palabras cuidadosa, (7) usar expresiones vocales y paralenguaje adecuado para enganchar a la audiencia, (8) demostrar comportamiento no verbal que refuerce el mensaje, (9) adaptar exitosamente la presentación a la audiencia, (10) hacer uso habilidoso de ayudas visuales y (11) construir un mensaje persuasivo con evidencia creíble. Un fragmento de la rúbrica puede observarse en la Figura 3.31.

Performance standard The student ...	Assessment Criteria				
	Advanced 4	Proficient 3	Basic 2	Minimal 1	Deficient 0
1. Selects a topic appropriate to the audience and occasion	Topic engages audience; topic is worthwhile, timely, and presents new information to the audience	Topic is appropriate to the audience and situation and provides some useful information to the audience	Topic is untimely or lacks originality; provides scant new information to audience	Topic is too trivial, too complex, or inappropriate for audience; topic not suitable for the situation	A single topic cannot be deduced
2. Formulates an introduction that orients audience to topic and speaker	Excellent attention getter; firmly establishes credibility; sound orientation to topic; clear thesis; preview of main points cogent and memorable	Good attention getter; generally establishes credibility; provides some orientation to topic; discernible thesis; previews main points	Attention getter is mundane; somewhat develops credibility; awkwardly composed thesis; provides little direction for audience	Irrelevant opening; little attempt to build credibility; abrupt jump into body of speech; thesis and main points can be deduced but are not explicitly stated	No opening technique; no credibility statement; no background on topic; no thesis; no preview of points
3. Uses an effective organizational pattern	Very well organized; main points clear, mutually exclusive and directly related to thesis; effective transitions and signposts	Organizational pattern is evident, main points are apparent; transitions present between main points; some use of signposts	Organizational pattern somewhat evident; main points are present but not mutually exclusive; transitions are present but are minimally effective	Speech did not flow well; speech was not logically organized; transitions present but not well formed	No organizational pattern; no transitions; sounded as if information was randomly presented

Figura 3.31: Fragmento de la rúbrica PSCR. Extraída de (Schreiber et al., 2012).

Finalmente, los autores proponen dos experimentos para comprobar la funcionalidad y validación de la rúbrica. En el primer estudio, se emplearon 45 artefactos discursivos (16 informativos y 29 persuasivos) y en el segundo 50 discursos (25 informativos y 25 persuasivos). En ambos estudios se analizan únicamente los discursos de los usuarios que aceptaron formar parte del experimento. Como conclusión de este análisis, tras los dos experimentos se indica que la rúbrica desarrollada muestra una fiabilidad y validez predictiva adecuada.

Juárez vives desarrolla en el año 2013 un conjunto de rúbricas para evaluar la capacidad comunicativa (Juárez Vives, 2013) de acuerdo al nivel de dominio correspondiente. El autor identifica tres niveles de dominio aplicables tanto a la comunicación oral como a la comunicación escrita. El primer nivel (véase Figura 3.32) consiste en el dominio de la búsqueda y agrupación de

la información relevante (organización, material de soporte y mensaje central). El segundo nivel (véase Figura 3.33) representa el análisis de la información localizada para seleccionar las ideas a comunicar (mismos elementos que en el nivel anterior, además del lenguaje). El tercer nivel es el dominio de los aspectos no verbales que contribuyen a transmitir la información (idénticos elementos que en el segundo nivel además de la expresión). Estas rúbricas siguen la misma estructura que la de Merino citada anteriormente (Vila Merino and Badia Miró, 2013), es decir, existen cuatro niveles de desempeño representados mediante números del 1 al 4 siendo el más bajo equivalente a ausencia de desempeño y el más alto equivalente a desempeño alto.

Dimensión oral					
Nivel 1	Indicadores	Descriptorios			
		1	2	3	4
Comprensión: Dominar estrategias de selección de la información relevante, de organizar esta información orientada a la finalidad que se desee conseguir e integrarla en los conocimientos ya adquiridos.	Organización: <i>Agrupación y secuencia de ideas y de material de apoyo en la presentación oral</i>	No se observa ningún patrón de organización (introducción, conclusiones, secuencia).	Se observa intermitentemente el patrón de organización (introducción, conclusiones y secuencia).	Se observa claramente el patrón de organización (introducción, conclusiones y secuencia).	El patrón de organización es clara y consistentemente observable (introducción, conclusiones y secuencia) y el contenido es coherente.
	Material de soporte: <i>Explicaciones, ejemplos, ilustraciones, estadísticas, analogías, citas de autoridades competentes y otros tipos de información que sustentan las ideas principales de la presentación oral</i>	Los materiales de apoyo (explicaciones, ejemplos, ilustraciones, estadísticas, analogías, citas...) que soportan la información y el análisis son insuficientes y no apoyan el dominio sobre el tema en cuestión.	Los materiales de apoyo (explicaciones, ejemplos, ilustraciones, estadísticas, analogías, citas...) que soportan la información y el análisis son parcialmente compatibles con la presentación y apoyan parcialmente el dominio sobre el tema en cuestión.	Los materiales de apoyo (explicaciones, ejemplos, ilustraciones, estadísticas, analogías, citas...) que soportan la información y el análisis son generalmente compatibles con la presentación y establecen el dominio y la autoridad sobre el tema en cuestión.	Utiliza una gran variedad de materiales de apoyo (explicaciones, ejemplos, ilustraciones, estadísticas, analogías, citas...) que soportan significativamente la información y el análisis de la presentación y establecen el dominio y la autoridad sobre el tema en cuestión.
	Mensaje central: <i>Punto principal, tesis o argumentación de la presentación oral</i>	El mensaje central se deduce, pero no se menciona explícitamente.	El mensaje central es básicamente comprensible, pero no se repite a menudo y no es recordable.	El mensaje central es claro y coherente con el material de soporte.	El mensaje central es convincente (preciso, apropiado, repetido, recordable y sobradamente soportado).

Figura 3.32: Rúbrica de comunicación oral de 1^{er} nivel. Extraída de (Juárez Vives, 2013).

Dimensión oral					
Nivel 2	Indicadores	Descriptorios			
		1	2	3	4
Comunicación Analizar la información para seleccionar las ideas que hay que comunicar, preparar un discurso coherente y decidir el mejor contexto comunicativo para comunicar tales ideas a la audiencia.	Organización: <i>Agrupación y secuencia de ideas y de material de apoyo en la presentación oral</i>	No se observa ningún patrón de organización (introducción, conclusiones y secuencia).	Se observa intermitentemente el patrón de organización (introducción, conclusiones y secuencia).	Se observa claramente el patrón de organización (introducción, conclusiones y secuencia).	El patrón de organización es clara y consistentemente observable (introducción, conclusión y secuencia) y el contenido es coherente.
	Material de soporte: <i>Explicaciones, ejemplos, ilustraciones, estadísticas, analogías, citas de autoridades competentes y otros tipos de información que sustentan las ideas principales de la presentación oral</i>	Los materiales de apoyo (explicaciones, ejemplos, ilustraciones, estadísticas, analogías, citas...) que soportan la información y el análisis son insuficientes y no apoyan el dominio sobre el tema en cuestión.	Los materiales de apoyo (explicaciones, ejemplos, ilustraciones, estadísticas, analogías, citas...) que soportan la información y el análisis son parcialmente compatibles con la presentación y apoyan parcialmente el dominio sobre el tema en cuestión.	Los materiales de apoyo (explicaciones, ejemplos, ilustraciones, estadísticas, analogías, citas...) que soportan la información y el análisis son generalmente compatibles con la presentación y establecen el dominio y la autoridad sobre el tema en cuestión.	Utiliza una gran variedad de materiales de apoyo (explicaciones, ejemplos, ilustraciones, estadísticas, analogías, citas...) que soportan significativamente la información y el análisis de la presentación y establecen el dominio y la autoridad sobre el tema en cuestión.
	Mensaje central: <i>Punto principal, tesis o argumentación de la presentación oral</i>	El mensaje central se deduce, pero no se menciona explícitamente.	El mensaje central es básicamente comprensible, pero no se repite a menudo y no es recordable.	El mensaje central es claro y coherente con el material de soporte.	El mensaje central es convincente (preciso, apropiado, repetido, recordable y sobradamente soportado).
	Lenguaje: <i>Vocabulario, terminología y estructura de las oraciones</i>	El lenguaje es poco claro y apoya mínimamente la efectividad de la comunicación. El lenguaje no es adecuado al público.	El lenguaje es plano y apoya parcialmente la efectividad de la comunicación. El lenguaje es adecuado al público.	El lenguaje es sólido, plano y apoya en general la efectividad de la comunicación. El lenguaje es el adecuado al público.	El lenguaje es convincente e imaginativo y soporta plenamente la efectividad de la comunicación. El lenguaje es adecuado al público.

Figura 3.33: Rúbrica de comunicación oral de 2^o nivel. Extraída de (Juárez Vives, 2013).

En el año 2015, Sessa y colegas presentan un sistema basado en unidades de medición inercial para evaluar diferentes factores en la comunicación no verbal de forma no intrusiva (Sessa et al., 2015). Este experimento fue llevado a cabo a través de un sensor que recolectaba los datos y un

Bluetooth que realizaba las tareas de comunicación. Los estudiantes fueron evaluados a través de la *Oral Presentation Rubric*⁶ (véase Figura 3.34).

	4—Excellent	3—Good	2—Fair	1—Needs Improvement
Delivery	<ul style="list-style-type: none"> • Holds attention of entire audience with the use of direct eye contact, seldom looking at notes • Speaks with fluctuation in volume and inflection to maintain audience interest and emphasize key points 	<ul style="list-style-type: none"> • Consistent use of direct eye contact with audience, but still returns to notes • Speaks with satisfactory variation of volume and inflection 	<ul style="list-style-type: none"> • Displays minimal eye contact with audience, while reading mostly from the notes • Speaks in uneven volume with little or no inflection 	<ul style="list-style-type: none"> • Holds no eye contact with audience, as entire report is read from notes • Speaks in low volume and/or monotonous tone, which causes audience to disengage
Content/ Organization	<ul style="list-style-type: none"> • Demonstrates full knowledge by answering all class questions with explanations and elaboration • Provides clear purpose and subject; pertinent examples, facts, and/or statistics; supports conclusions/ideas with evidence 	<ul style="list-style-type: none"> • Is at ease with expected answers to all questions, without elaboration • Has somewhat clear purpose and subject; some examples, facts, and/or statistics that support the subject; includes some data or evidence that supports conclusions 	<ul style="list-style-type: none"> • Is uncomfortable with information and is able to answer only rudimentary questions • Attempts to define purpose and subject; provides weak examples, facts, and/or statistics, which do not adequately support the subject; includes very thin data or evidence 	<ul style="list-style-type: none"> • Does not have grasp of information and cannot answer questions about subject • Does not clearly define subject and purpose; provides weak or no support of subject; gives insufficient support for ideas or conclusions
Enthusiasm/ Audience Awareness	<ul style="list-style-type: none"> • Demonstrates strong enthusiasm about topic during entire presentation • Significantly increases audience understanding and knowledge of topic; convinces an audience to recognize the validity and importance of the subject 	<ul style="list-style-type: none"> • Shows some enthusiastic feelings about topic • Raises audience understanding and awareness of most points 	<ul style="list-style-type: none"> • Shows little or mixed feelings about the topic being presented • Raises audience understanding and knowledge of some points 	<ul style="list-style-type: none"> • Shows no interest in topic presented • Fails to increase audience understanding of knowledge of topic
Comments				

Figura 3.34: Rúbrica de presentación oral. Extraída de www.readwritethink.org.

La evaluación fue llevada a cabo por todos los miembros de la audiencia que evaluaron de forma subjetiva la comunicación verbal (entusiasmo y elocuencia), comunicación no verbal (contacto visual, lenguaje corporal y posición del cuerpo) y contenidos de la presentación (conocimiento de la materia, organización y mecánicas). En este estudio se concluyó que la posición del cuerpo está correlacionada con el resultado obtenido. A esta conclusión se llegó mediante la observación de la posición de aquellas personas que mostraron una mayor confianza (mejores resultados) o un mayor nerviosismo (peores resultados).

En el mismo año, Evans y colegas publican dos rúbricas, una para la comunicación oral y otra para la comunicación escrita (Evans et al., 2015). Esta propuesta está claramente influenciada por anteriores rúbricas como la de Juárez (Juárez Vives, 2013), previamente descrita. Consta de cinco criterios y tres niveles de desempeño. Los criterios identificados son: organización, lenguaje, entrega, material de soporte y mensaje central. Los niveles de desempeño son: en desarrollo, emergente y competente (véase Figura 3.35).

Como añadido al trabajo, los autores desarrollan en este documento unas medallas digitales para incentivar a los estudiantes en la adquisición de las competencias de la asignatura. Para adquirir cada una de las 33 medallas, el estudiante debe superar cinco desafíos relacionados con las competencias o resultados de aprendizaje (véase Figura 3.36).

⁶http://www.readwritethink.org/files/resources/printouts/30700_rubric.pdf

	Proficient 3	Emerging 2	Developing 1
Organization	Organizational pattern (specific introduction and conclusion, sequenced material within the body, and transitions) is clearly and consistently observable and is skillful and makes the content of the presentation cohesive.	Organizational pattern (specific introduction and conclusion, sequenced material within the body, and transitions) is clearly and consistently observable within the presentation.	Organizational pattern (specific introduction and conclusion, sequenced material within the body, and transitions) is intermittently observable within the presentation.
Language	Language choices are imaginative, memorable, and compelling, and enhance the effectiveness of the presentation. Language in presentation is appropriate to audience.	Language choices are thoughtful and generally support the effectiveness of the presentation. Language in presentation is appropriate to audience.	Language choices are mundane and commonplace and partially support the effectiveness of the presentation. Language in presentation is appropriate to audience.
Delivery	Delivery techniques (posture, gesture, eye contact, and vocal expressiveness) make the presentation compelling, and speaker appears polished and confident.	Delivery techniques (posture, gesture, eye contact, and vocal expressiveness) make the presentation interesting, and speaker appears comfortable.	Delivery techniques (posture, gesture, eye contact, and vocal expressiveness) make the presentation understandable, and speaker appears tentative.
Supporting Material	A variety of types of supporting materials (explanations, examples, illustrations, statistics, analogies, quotations from relevant authorities) make appropriate reference to information or analysis that significantly supports the presentation or establishes the presenter's credibility/authority on the topic.	Supporting materials (explanations, examples, illustrations, statistics, analogies, quotations from relevant authorities) make appropriate reference to information or analysis that generally supports the presentation or establishes the presenter's credibility/authority on the topic.	Supporting materials (explanations, examples, illustrations, statistics, analogies, quotations from relevant authorities) make appropriate reference to information or analysis that partially supports the presentation or establishes the presenter's credibility/authority on the topic.
Central Message	Central message is compelling (precisely stated, appropriately repeated, memorable, and strongly supported.)	Central message is clear and consistent with the supporting material.	Central message is basically understandable but is not often repeated and is not memorable.

Figura 3.35: Rúbrica de presentación oral. Extraída de (Evans et al., 2015).

Developing Information Literacy

☆ Get started

This badge certifies students' competency in using information appropriately to complete tasks. It corresponds to the university core curriculum foundational outcome in information literacy.

🚩 Challenges

- Exploring a Topic ▾

For this challenge, you will turn in your explorations of a topic as you develop a research question.

You will be submitting the following to meet this challenge: Mind Map, Preliminary Environmental Scan, and a Refined Research Question.

📎 Attached Resources

- Mind Map Efficient Automobiles.pdf (169.9KB)
- Template for Topic Challenge.doc (32KB)

Learning Outcomes

In the course of this challenge, you will be learning how to refine a research question, doing an initial brainstorming activity, followed by some preliminary information gathering, which yields a more focused, well-defined research question.

- Searching for Information ▾
- Evaluating Information ▾
- Using and Acknowledging Information ▾
- Know Your Intellectual Property ▾

Issuer: Passport by Purdue
Organization: Purdue University
Created by: Michael J Fosmire, Aug 07 2014

Learning Outcomes

This badge certifies the information literacy core competency outcomes in the context of the PPI framework. Students will meet competencies in the following areas:

Seek: Identify a learning need and effectively locate material to address that need

Evaluate: Determine quality and relevance of sources selected

Apply: Use Information gathered in an appropriate manner, neither claiming too much or too little from the source used, to help solve a problem

Document: Acknowledge the work of others appropriately and completely; ethically access and use information

Figura 3.36: Medallas relacionadas con las competencias. Extraída de (Evans et al., 2015).

3.3.3. Rúbricas para evaluar el trabajo de comunicación escrita

Las competencias y habilidades de comunicación escrita se abordan más frecuentemente que las anteriores ya que son más sencillas de comprobar, requieren pocos medios (basta con que el usuario entregue un informe) y son habitualmente empleadas tanto a nivel académico como a nivel laboral. En relación con la comunicación escrita, existen múltiples rúbricas. Sin embargo, la mayoría emplean ideas similares por lo que solamente tendremos en cuenta dos -además del trabajo de Delgado y Fonseca-Mora (2010) previamente analizado-: la rúbrica para la comunicación efectiva (Thomas, 2005) y los efectos de las opciones de presentación en la calidad de la escritura (Sundeen, 2014).

En el año 2005, Thomas presenta una rúbrica para la evaluación de la escritura técnica de los estudiantes. Esta rúbrica tiene como objetivo ayudar principalmente a los usuarios que no son expertos en inglés a mejorar la escritura de los documentos técnicos. Los autores proponen una rúbrica basada en una escala de cinco niveles. Los niveles 1 y 2 representan problemas importantes en el documento. Por ejemplo, la inadecuación del texto a la audiencia o contenido pobre con omisiones o fuera de contexto. El nivel 3 se corresponde con un valor estándar donde existen algunos problemas de contexto. El nivel 4 representa los documentos bien producidos pero con errores leves en contenido, formato o estilo. El nivel 5 se corresponde con documentos bien producidos y sin errores.

Los autores proponen categorías específicas para audiencia, contenido, diseño de documento, gráficas y estilo de escritura. Un fragmento de esta rúbrica puede observarse en la Figura 3.37.

5	<ul style="list-style-type: none"> ▪ General: Meets and exceeds all standards [18]; completely accomplishes the goals of the assignment [17] -- Excellent work overall [16] ▪ Audience: Conveys superior understanding of audience [18] ▪ Content: Detailed content; well-supported conclusions; the report is easy to read and highly organized; it exhibits a clear sense of unity and purpose (adapted from [16]) ▪ Document Design: Accessible and appealing visual design [18] ▪ Graphics: Highly informative graphics, appropriately placed, clearly and uniformly designed, easy to interpret [18] ▪ Writing Style: Grammatical errors are rare and the writing style is clear, concise, and confident (adapted from [18])
4	<ul style="list-style-type: none"> ▪ General: Presents content clearly and displays a firm grasp of the technical material, but without the sharp focus and perspective of a "5" paper [16] ▪ Audience: The document is well-written and produced, and it exhibits a solid understanding of audience, purpose, and situation [18] ▪ Content: Technical material is presented logically with perhaps a few minor lapses in clarity and transition, but the document is still well organized, thoughtfully conceived, and avoids generalizations on the topic [16] ▪ Document Design: Minor flaws in format (easily correctable) [18] ▪ Graphics: Graphics are informative, uniform, intelligible, and support the content of the report [16] ▪ Writing Style: No major grammatical errors; some minor grammatical errors, but none that disrupt the style and easy reading of the report [16]

Figura 3.37: Fragmento de rúbrica de evaluación. Extraída de (Thomas, 2005).

Tal y como se indica en el apartado 3.3.2, Juárez Vives diseña unas rúbricas para la comunicación escrita además de las ya mencionadas acerca de comunicación oral (Juárez Vives, 2013). El autor diseña tres rúbricas de acuerdo con la dimensión deseada. La primera dimensión está relacionada con la comprensión y se identifican tres criterios: (a) *Contexto y propósito*, (b) *Desarrollo de contenidos y fuentes* y (c) *Pruebas*. La segunda dimensión se ha denominado comunicación e incluye, además de los anteriores, un criterio de géneros, reglas y convenciones. Finalmente, el tercer dominio es el de la expresión que incorpora un criterio sobre el dominio de reglas sintácticas y gramaticales (véase Figura 3.38). Las rúbricas desarrolladas siguen los mismos cuatro niveles de desempeño vistos anteriormente (niveles de 1 a 4, donde 1 es ausencia de desempeño y 4 es desempeño alto).

El criterio de contexto y propósito evalúa todo lo que rodea al texto y el efecto del mismo en la audiencia. El criterio de desarrollo de contenidos mide la adecuación de contenido y recursos empleados al tema propuesto, propósito y audiencia. El criterio de fuentes y pruebas hace referencia a la bibliografía empleada evaluando si las fuentes son fiables, de calidad y relevantes. El criterio de géneros, reglas y convenciones analiza la adecuación de la organización, presentación, contenido, formato y estilo al tipo de texto. Finalmente, el criterio de dominio de reglas sintácticas y gramaticales evalúa la elegancia, claridad, fluidez del lenguaje, así como la existencia de errores gramaticales.

Dimensión escrita					
Nivel 3	Indicadores	Descriptorios			
		1	2	3	4
Expresión Dominar los aspectos no verbales que contribuyen a la construcción del sentido y a la buena transmisión de la información, así como ser capaz de construir textos escritos de cualquier género y tipología con estilo propio y con profusión y riqueza de recursos lingüísticos.	Contexto y propósito: Contexto, entendido como la situación que rodea al texto, y propósito, como el efecto deseado por el escritor en su audiencia	Muestra una mínima atención al contexto, audiencia, propósito y tareas asignadas (por ejemplo, expectativas del profesor, del público lector, etc.).	Demuestra conocimiento del contexto, audiencia, propósito y tareas asignadas (por ejemplo, comienza a ser consciente de las premisas y percepciones del público lector).	Demuestra una consideración adecuada del contexto, de la audiencia y del propósito y un claro enfoque a las tareas asignadas (por ejemplo, las asignadas según la audiencia, el propósito y el contexto).	Demuestra un profundo conocimiento del contexto, la audiencia y el propósito. Responde eficientemente a las tareas asignadas y centra solidamente todos los elementos de la obra.
	Desarrollo de contenidos: Maneras como el texto explora y representa el tema con relación a su audiencia y propósito	Utiliza adecuadamente los recursos para desarrollar ideas simples en algunas partes de la obra.	Utiliza contenidos y recursos relevantes y apropiados para desarrollar y explorar ideas en la mayor parte del trabajo.	Utiliza contenidos y recursos adecuados, relevantes y atractivos para explorar ideas en el contexto de la disciplina en toda la obra.	Utiliza contenidos y recursos adecuados, relevantes y atractivos que demuestran el dominio del tema y que abarcan la totalidad de la obra.
	Fuentes y pruebas: Fuentes, entendidas como textos que se emplean para trabajar en una gran variedad de propósitos, para ampliar información, para discutir y desarrollar ideas, etc.; pruebas entendidas como material de base utilizado para manifestar útilmente ideas de otros en un texto	Demuestra un intento por utilizar ideas que apoyen la obra escrita.	Demuestra un intento por utilizar fuentes creíbles o relevantes para apoyar ideas propias de la disciplina y género de la obra.	Demuestra un constante uso de fuentes creíbles y relevantes para apoyar ideas propias de la disciplina y género de la obra.	Demuestra un uso hábil de alta calidad de ideas y fuentes creíbles o relevantes, totalmente apropiadas a la disciplina y género de la obra.
	Géneros, reglas y convenciones: Reglas formales e informales para determinados tipos de textos o medios de comunicación que guíen el formato, la organización y las opciones de estilo (informes de laboratorio, artículos académicos, ensayos, documentos web, etc.)	Muestra intentos de utilizar un sistema coherente en la presentación y organización básica de la obra.	Sigue las expectativas apropiadas al género del trabajo, organización básica, contenidos y presentación de la obra.	Demuestra un uso sistemático del género apropiado al trabajo, disciplina específica o tarea, incluyendo la organización, contenidos, presentación y opciones estilísticas de la escritura.	Demuestra una atención detallada y una ejecución exitosa de un amplio abanico de convenciones particulares para una disciplina específica o tarea de escritura, incluyendo la organización, el contenido, la presentación, el formato y las opciones estilísticas.
	Domínio de reglas sintácticas y gramaticales: Reglas formales que garanticen una correcta expresión escrita de los conceptos e ideas	Utiliza un lenguaje que deja de ser entendedor a veces, debido a errores en su uso.	Utiliza un lenguaje que generalmente transmite significado a los lectores con claridad, aunque puedan aparecer algunos errores.	Utiliza un lenguaje sencillo que generalmente transmite significado a los lectores. El lenguaje tiene muy pocos errores.	Utiliza un lenguaje culto y elegante con gran habilidad para comunicar con claridad y fluidez el significado de la obra a los lectores, y está prácticamente libre de errores.

Figura 3.38: Rúbrica de tercer nivel de comunicación escrita.

En el año 2014, Sundeen realiza un experimento para evaluar si el acceso a las rúbricas por el estudiante tiene un efecto positivo o es irrelevante. Para llevar a cabo su hipótesis (la observación de la rúbrica es beneficiosa para el estudiante), diseñó tres casos en un instituto a través de una rúbrica de expresión escrita. Estos casos se probaron en tres grupos y tres actividades diferentes (véase Tabla 3.3). En el primer caso, denominado *acceso total*, el estudiante puede visualizar la rúbrica siempre que lo desee y el profesor debe explicar cada elemento de la rúbrica, incluidos los criterios. En el segundo caso, designado como *acceso parcial*, el profesor reparte la rúbrica a los estudiantes, pero no ofrece explicación alguna. En el tercer caso, aquí denominado *sin acceso*, se emplea la rúbrica para evaluar al estudiante pero este no sabe el contenido. Cada actividad fue espaciada temporalmente de las otras en dos semanas.

Tabla 3.3: Secuencia de tratamiento recibido.

	Actividad 1	Actividad 2	Actividad 3
Grupo 1	Acceso total	Acceso parcial	Sin acceso
Grupo 2	Acceso parcial	Sin acceso	Acceso total
Grupo 3	Sin acceso	Acceso total	Acceso parcial

La rúbrica empleada en este estudio es una adaptación de la *5-Point Writer's Rubric*⁷. Originalmente, la *5-Point Writer's Rubric* constaba de siete criterios (ideas, organización, voz, elección de palabras, fluidez de las frases, convenciones y presentación) evaluados mediante tres niveles diferentes (5, 3 y 1 punto, respectivamente). La rúbrica propuesta reconoce los seis primeros criterios (omitiendo la presentación) que pueden evaluarse mediante seis niveles posibles (principiante, emergente, en desarrollo, capaz, experimentado y excepcional). Los tres primeros niveles se han clasificado como no competentes y los tres últimos como competentes. Además, cabe resaltar que cada criterio responde a una pregunta clave, permitiendo al estudiante

⁷La rúbrica *5-Point Writer's Rubric* fue desarrollada en el año 2010 por <http://educationnorthwest.org>.

comprender más fácilmente el objetivo final de ese criterio. Un fragmento de la rúbrica puede observarse en la Figura 3.39.

Not proficient			Proficient			My score
1	2	3	4	5	6	
Beginning	Emerging	Developing	Capable	Experienced	Exceptional	
Ideas						
<i>Key question: Does the writing stay focused and share original and fresh information or perspective on the topic?</i>						
No main idea, purpose, or central theme exists; reader must infer this based on sketchy or missing details	Main idea is still missing, though possible topic/theme is emerging	Main idea is present; may be broad or simplistic	Topic or theme is identified as main idea; development remains basic or general	Main idea is well-marked by detail but could benefit from additional information	Main idea is clear, supported, and enriched by relevant anecdotes and details	
Organization						
<i>Key question: Does the organizational structure enhance the ideas and make the piece easier to understand?</i>						
Organization cannot be identified; writing lacks sense of direction; content is strung together loose, random fashion	Organization is mostly ineffective; only moments here and there direct reader	Organization is still problematic though structure begins to emerge; ability to follow text is slowed	Organization moves reader through text without too much confusion	Organization is smooth; only a few small bumps here and there exist	Organization enhances and showcases central idea; order of information is compelling, moving reader through text	

Figura 3.39: Fragmento de la rúbrica de escritura. Extraído de (Sundeen, 2014).

Como resultado de este experimento se obtuvieron diferentes conclusiones. La primera y principal de esta investigación es que la visualización de la rúbrica por parte de los estudiantes mejora, a priori, los resultados obtenidos en las diferentes pruebas (véase Tabla 3.4). La segunda conclusión es que no se observa una correlación entre los diferentes casos y la cantidad de frases, palabras o párrafos. La tercera conclusión indica que la calidad de la escritura parece mejorar considerablemente tan solo con entregar la rúbrica a los estudiantes. Los autores consideran que esto se debe a que los alumnos pueden realizar una autoevaluación y son más conscientes de los criterios a mejorar antes de entregar la actividad.

Tabla 3.4: Estadísticas descriptivas por casos.

Caso	N	Media	Desviación estándar	Rangos de puntuación	
				Mínimo	Máximo
Acceso total	73	28.15	5.43	14	36
Acceso parcial	71	27.38	5.23	17	36
Sin acceso	71	25.93	6.15	11	35

También en el año 2014, Larkin propone una rúbrica detallada con el objetivo de evaluar artículos de conferencias (Larkin, 2014). En esta rúbrica se evalúan ocho aspectos habituales en cualquier artículo científico como son el *abstract*, organización, introducción, conceptos clave, conexión entre los conceptos clave y el tema del artículo, resumen, nivel de corrección y referencias. La rúbrica define cinco niveles de desempeño para cada criterio: ausencia de desempeño, insatisfactorio, satisfactorio, bueno y destacado (véase Figura 3.40).

Cabe resaltar, que si bien es cierto esta rúbrica es específica para la evaluación de artículos científicos, muchos de los criterios son comunes a cualquier documento escrito. En este sentido, un fragmento de la rúbrica podría ser reutilizado para uso genérico. También debe mencionarse que la rúbrica no especifica un valor para cada criterio. Esto es fundamental ya que en este tipo

de documentos es habitual que los criterios tengan diferente peso en la evaluación del artículo. Sin embargo, la inclusión de dichos valores en esta rúbrica no supondría ningún problema.

	4 (Outstanding)	3 (Good)	2 (Satisfactory)	1 (Unsatisfactory)	0 (Mainly non-existent)
Abstract	The abstract demonstrates ambition, thoughtfulness, and appropriate specificity. The abstract provokes readers to reflect on the topic's subtleties and complexities.	The abstract has an ambitious objective statement but does not fully deliver on its promise. Supporting arguments progress with very few lapses in clarity, soundness, or relevance.	The abstract has an objective statement, although it doesn't demonstrate ambition or take on a discernible degree of difficulty. The abstract may be too broad to lead to a focused paper.	The abstract's unsatisfactory objective statement suffers from logical incoherency or facile aims. Numerous lapses in clarity, soundness, or relevance.	The abstract has virtually no discernible objective or direction. Arguments often bear no relation to other sections of the paper; logical fallacies may abound.
Organization	At the global level the paper's organization develops organically from an outstanding abstract. On a local level, the paper flows with appropriate transitions between sections and without unintended interruptions.	At the global level, the paper's organization reveals a logical and effective progression of the objective as given in the abstract. On a local level, transitions between paragraphs and sentences create continuity and coherence.	At the global level, the paper's organizational strategies demonstrate basic cohesion and continuity. On a local level, transitions between paragraphs and sentences usually create continuity and coherence, with some exceptions.	At the global level, the paper's unsatisfactory organization results in a paper that confounds the reader. Locally, paragraphs stumble from one to the next and often lack focus and coherence. Transitions between sections and sub-sections are largely missing.	At the most basic level, the paper's paragraphs lack most defining features of a traditional paragraph: controlling ideas, transitions, unity, and coherence. The same is true of the paper as a whole.
Introduction/ Historical Overview	Provides a thorough and very clear historical context to the paper.	Provides a reasonably thorough and clear historical context to the paper.	Provides a modest and mostly clear historical context to the paper.	Provides a minimal and mostly unclear historical context to the paper.	Provides little or no historical context to the paper.

Figura 3.40: Fragmento de la rúbrica de evaluación de artículos científicos. Extraído de (Larkin, 2014).

En el año 2015, Evans y colegas publican una rúbrica de comunicación escrita (Evans et al., 2015) siguiendo las mismas pautas que su rúbrica de comunicación oral analizada en el apartado 3.3.2. La rúbrica posee cinco criterios de desempeño que son: contexto y propósito del trabajo, desarrollo del contenido, convenciones de género, evidencias y recursos y control de sintaxis. Estos criterios son muy similares a los incluidos en la rúbrica desarrollada por Juárez Vives (Juárez Vives, 2013). La mayor diferencia entre ambas rúbricas radica en los niveles de desempeño, ya que la rúbrica de Evans y colegas establece tres niveles, uno menos que la de Juárez Vives, en desarrollo, emergente y competente (véase Figura 3.41).

	Proficient 3	Emerging 2	Developing 1
Context of and Purpose for Writing <i>Includes considerations of audience, purpose, and the circumstances surrounding the writing task(s).</i>	Demonstrates a thorough understanding of context, audience, and purpose that is responsive to the assigned task(s) and focuses all elements of the work.	Demonstrates adequate consideration of context, audience, and purpose and a clear focus on the assigned task(s) (e.g., the task aligns with audience, purpose, and context).	Demonstrates awareness of context, audience, purpose, and to the assigned tasks(s) (e.g., begins to show awareness of audience's perceptions and assumptions).
Content Development	Uses appropriate, relevant, and compelling content to illustrate mastery of the subject, conveying the writer's understanding, and shaping the whole work.	Uses appropriate, relevant, and compelling content to explore ideas within the context of the discipline and shape the whole work.	Uses appropriate and relevant content to develop and explore ideas through most of the work.
Genre and Disciplinary Conventions <i>Formal and informal rules inherent in the expectations for writing in particular forms and/or academic fields (please see glossary).</i>	Demonstrates detailed attention to and successful execution of a wide range of conventions particular to a specific discipline and/or writing task (s) including organization, content, presentation, formatting, and stylistic choices	Demonstrates consistent use of important conventions particular to a specific discipline and/or writing task(s), including organization, content, presentation, and stylistic choices	Follows expectations appropriate to a specific discipline and/or writing task(s) for basic organization, content, and presentation
Sources and Evidence	Demonstrates skillful use of high-quality, credible, relevant sources to develop ideas that are appropriate for the discipline and genre of the writing	Demonstrates consistent use of credible, relevant sources to support ideas that are situated within the discipline and genre of the writing	Demonstrates an attempt to use credible and/or relevant sources to support ideas that are appropriate for the discipline and genre of the writing
Control of Syntax and Mechanics	Uses graceful language that skillfully communicates meaning to readers with clarity and fluency, and is virtually error-free.	Uses straightforward language that generally conveys meaning to readers. The language in the portfolio has few errors.	Uses language that generally conveys meaning to readers with clarity, although writing may include some errors.

Figura 3.41: Rúbrica de comunicación escrita. Extraído de (Evans et al., 2015).

3.4. Sistemas de recomendación relacionados con el aprendizaje

En esta sección se analizarán los principales sistemas de recomendación que han sido desarrollados en los últimos años relacionados con el aprendizaje, excluyendo los basados en competencias que serán objeto de estudio en la siguiente sección debido a su gran relevancia para alcanzar la meta final de este trabajo. Este análisis más general ha sido llevado a cabo con el fin de identificar los criterios, objetivos, características, implementación, debilidades y fortalezas más habituales en esta categoría de sistemas de recomendación a la que pertenecen los sistemas basados en competencias, en los que se enfoca esta tesis, de tal forma que permita vislumbrar más exhaustivamente las limitaciones y ventajas de este tipo de sistemas en el campo del aprendizaje con el fin de asentar mejor la motivación de este trabajo. Para llevar a cabo esta sección, se han recolectado los artículos, conferencias y libros de las principales bibliotecas digitales (ACM, IEEE, SPRINGER y ELSEVIER) referentes a los últimos quince años. Además, se ha realizado igualmente una búsqueda mediante el motor de búsqueda de Google académico para localizar otros documentos relevantes no recogidos en las principales bibliotecas digitales.

Durante la revisión, se han encontrado diversos artículos relativos al estado del arte de los sistemas de recomendación en los últimos años que se consideran el punto de partida de esta investigación (Bobadilla et al., 2013; Dascalu et al., 2016). Tras el proceso de revisión y filtrado, se describen a continuación, por orden cronológico, los sistemas de recomendación de mayor relevancia y que estén estrechamente relacionados con el aprendizaje.

3.4.1. Altered Vista

Recker y Walker desarrollaron entre el año 2000 y 2003 el sistema de recomendación colaborativo Altered Vista (Recker and Walker, 2003) con el objetivo de recolectar las valoraciones que han hecho los usuarios (estudiantes e instructores) acerca de un recurso web educativo para posteriormente propagarlo “boca a boca” (véase Figura 3.42). Este sistema permite a los usuarios evaluar las opiniones de otros usuarios ofreciendo un *feedback* al sistema de recomendación sobre los gustos del usuario.

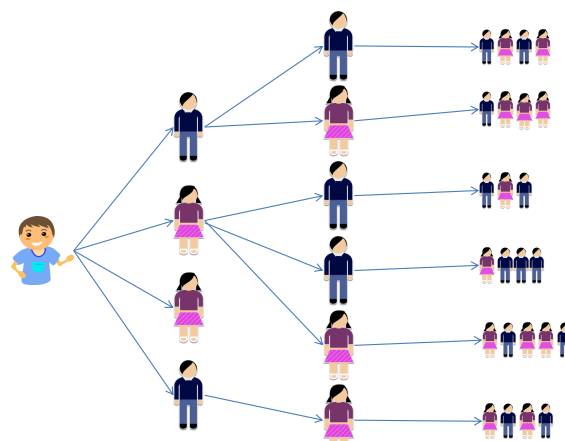


Figura 3.42: Funcionamiento del método boca a boca.

Este sistema tiene en consideración diferentes cuestiones de diseño incluyendo qué información será recogida del usuario (preferencias), cómo se recogerá dicha información (escalas, cuadros de texto, listas), cómo se agregará la información al sistema (bases de datos, ontologías), cómo se buscará la información (palabras clave, búsqueda por autor) y cómo se llevará a cabo la recomendación (método de los k -vecinos más próximos estableciendo un valor mínimo de correlación de 0,5 y ofreciendo las recomendaciones con valoraciones de dichos vecinos superiores a 4 sobre 5).

Altered Vista fue testado en dos universidades diferentes obteniendo unas valoraciones notables por parte de los usuarios. El sistema es robusto y el riesgo de recibir malas recomendaciones es bastante bajo. A pesar de esto, no evita el problema de arranque en frío, puede sufrir grandes retrasos cuando el número de usuarios sea elevado y el proceso de adaptabilidad ante nuevos intereses será probablemente lento.

3.4.2. RACOFI

Rule Applying Collaborative Filtering Composer System (RACOFI) fue desarrollado entre los años 2002 y 2005 por Lemire y colegas (Lemire et al., 2005). Este sistema es en realidad un prototipo para la recomendación de recursos de aprendizaje testado con recursos de audio. Dicho sistema, pretende combinar las valoraciones de los usuarios con reglas semánticas (escritas en RuleML) para ofrecer los recursos más adecuados a los usuarios. RACOFI se compone de dos agentes: la librería de filtrado colaborativo COFI que genera predicciones y el motor de reglas denominado OO jDrew que genera las recomendaciones (véase Figura 3.43).

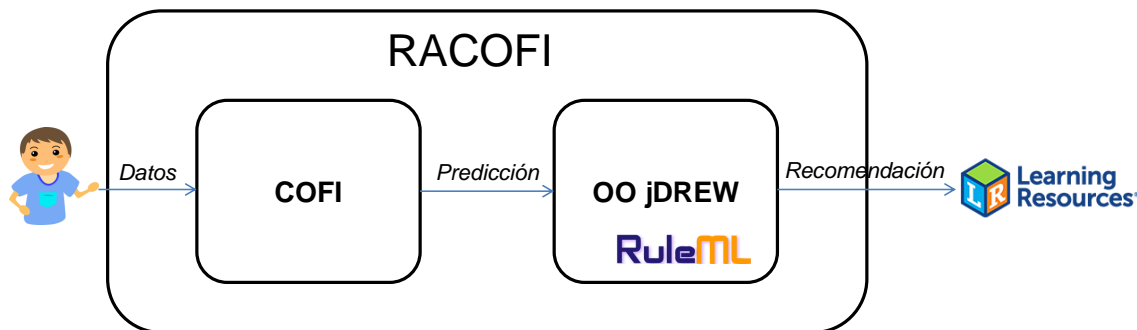


Figura 3.43: Componentes de RACOFI.

Entre las particularidades de este sistema, es importante resaltar la posibilidad de ajuste por parte del usuario del peso de cada uno de los atributos a tener en cuenta en la recomendación. De este modo, el usuario puede dar mayor o menor importancia a dichos atributos lo que reduce ligeramente el riesgo y facilita la adaptabilidad. Este sistema ofrece una solución al problema de la escalabilidad prediciendo previamente el resultado mediante el algoritmo *weighted slope one*. El funcionamiento de este algoritmo es el siguiente: dados tres usuarios, por ejemplo, Alicia, Borja y Carlos, que han valorado el objeto 1 con las puntuaciones 2, 3 y 4, respectivamente, y el objeto 2 con las puntuaciones *no valorado*, 7 y 6, el sistema calcula las diferencias entre las valoraciones de Borja (7-3) y de Carlos (6-4) para calcular la media (3) y predecir la puntuación de Alicia para el objeto 2 (2+3). Como aspectos negativos, el sistema no ofrece solución al problema de arranque en frío, necesita una gran cantidad de datos para ser fiable y no ofrece retroalimentación al sistema de recomendación.

3.4.3. QSIA

Rafaeli et al. desarrollaron en el año 2004 *Questions Sharing and Interactive Assignments* (QSIA), una plataforma que permite compartir preguntas y la evaluación interactiva (Rafaeli et al., 2004). El objetivo de este sistema de recomendación es proporcionar recursos relevantes a los usuarios. El sistema de recomendación de esta plataforma implementa una arquitectura basada en filtrado colaborativo donde el usuario puede decidir si recibe las recomendaciones de usuarios elegidos por él (amigos) o elegidas por el sistema. Debido a esta distinción con respecto a otros sistemas colaborativos, el riesgo de recibir recomendaciones incoherentes se reduce ligeramente al poder decidir los usuarios de quién recibir recomendaciones. Asimismo, la escalabilidad de este sistema supondrá menores problemas que en otros sistemas colaborativos

debido a que el número de amigos será un subconjunto (probablemente muchísimo menor) de todos los usuarios del sistema (véase Figura 3.44). Sin embargo, el problema del arranque en frío seguirá existiendo hasta que el usuario disponga de información en el sistema (perfil o amigos). Igualmente, la robustez y la adaptabilidad también se verán negativamente afectadas en este sistema ya que, cualquier cambio tendrá mayor relevancia al existir menos usuarios y el cambio de preferencias probablemente implicará un cambio en la lista de amigos.

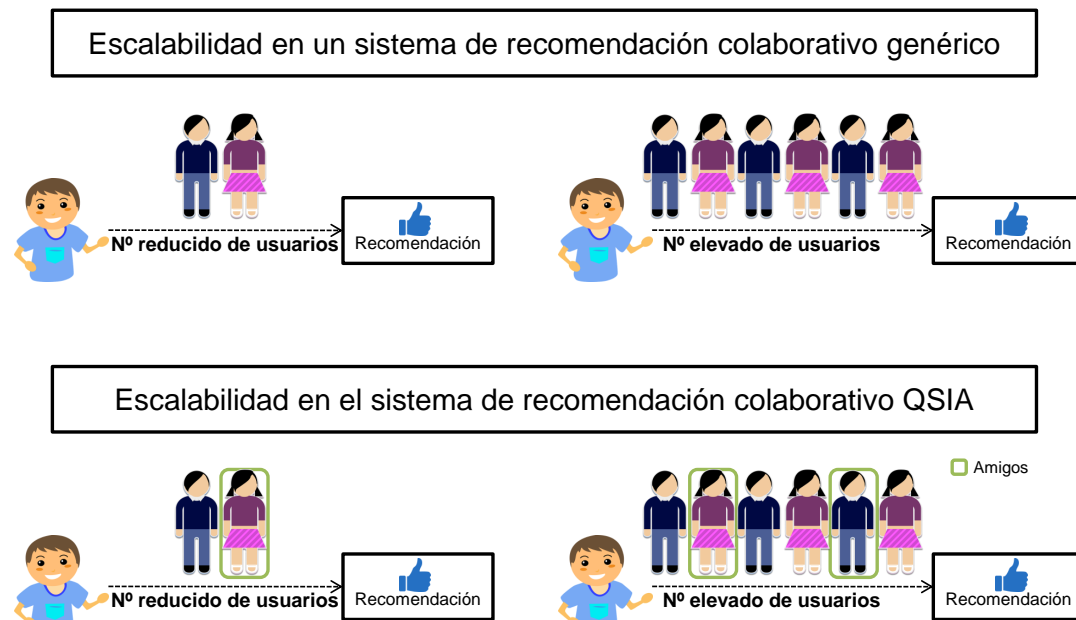


Figura 3.44: Comparación en la escalabilidad de los sistemas colaborativos genéricos y QSIA.

Entre las características más destacadas de este sistema cabe resaltar que es una aplicación web aplicable a cualquier dominio, embebida en una plataforma (recomendación, evaluación, informe y gestor de contenidos) y que va dirigida tanto a profesores como estudiantes. Sin embargo, no ofrece un sistema a los usuarios destinatarios para evaluar la recomendación.

3.4.4. Cyclades

Avancini y Straccia presentaron en 2005 CYCLADES, un sistema de recomendación híbrido destinado a los estudiantes. Este sistema dispone de un amplio rango de funcionalidades para la búsqueda en archivos digitales (librerías, bases de datos, sistemas basados en web) así como para el intercambio de información entre usuarios (Avancini and Straccia, 2005).

Entre las funcionalidades de este sistema cabe mencionar: (1) la recuperación eficiente y eficaz de la información relevante de muchos archivos digitales distribuidos, de gran tamaño y multidisciplinarios; (2) retroalimentación sobre el grado de relevancia acerca de la información recuperada; (3) información regular sobre las nuevas publicaciones relevantes para los intereses de los usuarios; (4) recuperación automática de las necesidades de información a largo plazo de los usuarios; (5) rápida difusión de los resultados de búsqueda en todo el mundo. Además, este sistema también ofrece un conjunto especial de características destinadas a las comunidades académicas como: (6) difusión de información relevante para los miembros de la comunidad en forma de recomendaciones basadas en perfiles colectivos y comportamiento; (7) anotaciones en línea sobre los resultados de investigación publicados por los miembros de la comunidad; (8) realización de servicios comunitarios tales como la revisión por pares; (9) permitir que los miembros de la comunidad aprendan, contribuyan y construyan colectivamente el conocimiento de la comunidad.

Este sistema de recomendación de dominio general está basado en web, siendo necesario el registro a través de un correo electrónico para su utilización. Como se ilustra en la Figura 3.45, CYCLADES proporciona un entorno basado en directorios para la gestión de los elementos (consulta, evaluación, anotaciones, etc.). Asimismo, este sistema facilita dos características extra a través de los iconos de eventos e informes. Cada icono de evento está asociado con un documento del que muestra las acciones más recientes que han sido realizadas (lectura, modificación o creación). Por su parte, los informes de actividad, que contienen la información de los cambios producidos desde el último informe, se envían diariamente a través de correo electrónico. Los usuarios también disponen de un filtro de búsqueda desde el cual pueden consultar información sobre cualquiera de los registros de los que tienen acceso. El sistema soporta tres tipos búsqueda:

- La búsqueda ad-hoc permite al usuario especificar una consulta y el sistema se encarga de buscar los registros relevantes a esa consulta dentro de las colecciones especificadas.
- La búsqueda por filtrado es similar a la búsqueda ad-hoc con la excepción de que el usuario especifica, además de la consulta, el directorio destino. De este modo, es posible encontrar los documentos más relevantes en un tiempo inferior.
- La búsqueda de nuevos elementos permite al usuario especificar una carpeta y el sistema trata de encontrar aquellos registros relevantes para ese directorio que están disponibles para el usuario desde su última búsqueda.

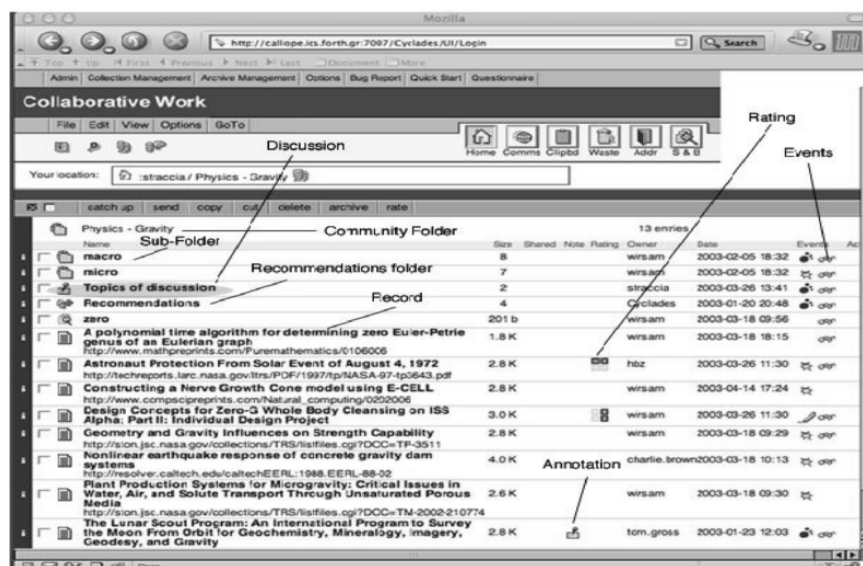


Figura 3.45: Interfaz de usuario de CYCLADES. Extraído de (Avancini and Straccia, 2005).

CYCLADES ofrece un servicio de entrega de recomendaciones automático al usuario. Este servicio se basa en los directorios del usuario para ofrecer elementos similares. Por lo tanto, las recomendaciones de este servicio son de interés específico sobre un directorio del usuario y no de interés general. Las recomendaciones pueden ser de colecciones, registros basados en metadatos, comunidades o usuarios (véase Figura 3.46).

La recomendación de colecciones relacionadas con una carpeta consiste en determinar automáticamente los archivos en los que buscar registros relevantes a la carpeta. Este proceso se lleva a cabo mediante la técnica de selección de fuente automatizada (Fuhr and Norbert, 1999) consistente en calcular una aproximación del contenido de cada archivo compatible con la iniciativa *Open Archive Initiative* (OAI) para, posteriormente, seleccionar los archivos considerados más relevantes de una carpeta basándose en el contenido de los archivos y en el perfil de la carpeta.

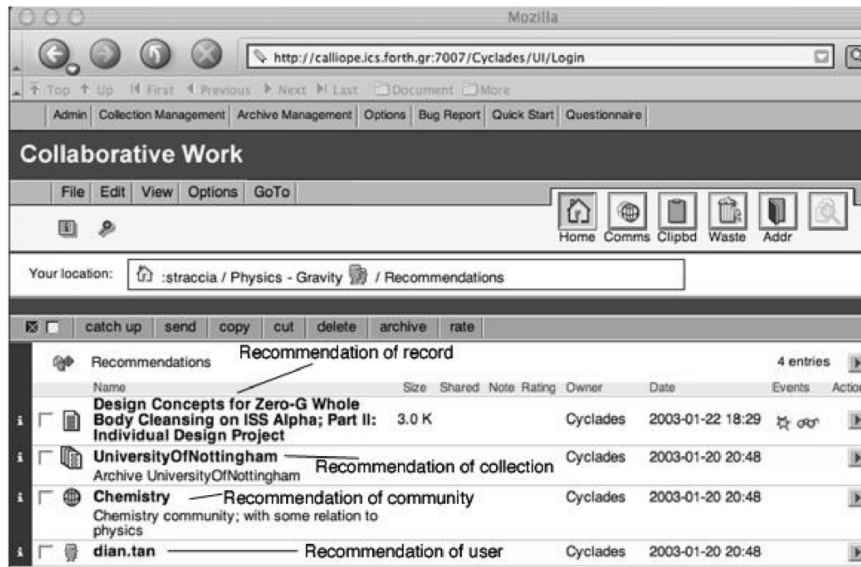


Figura 3.46: Interfaz de usuario de CYCLADES. Extraído de (Avancini and Straccia, 2005).

La recomendación de registros viene determinada también por los registros más relevantes de la carpeta. Para ello, se realizan los siguientes pasos generales: (1) selección de los directorios más parecidas al del usuario, (2) selección de los posibles registros a recomendar dentro de esos directorios, (3) puntuación de cada uno de los registros y (4) selección de los registros con puntuación más elevada y que no hayan sido recomendados al usuario.

La recomendación de las comunidades se produce a partir de los temas relevantes del directorio del usuario. Su procedimiento es similar al de la recomendación de registros. Para empezar se seleccionan las comunidades más parecidas al de un directorio del usuario. A continuación, se seleccionan las posibles comunidades a recomendar. Después, se puntúa cada comunidad y finalmente, se seleccionan las comunidades con puntuación más elevada.

La recomendación de usuarios ha sido analizada profundamente por los autores de CYCLADES. Estos, han considerado cuatro algoritmos diferentes para recomendar a un usuario otro con el que tenga intereses comunes. Los algoritmos analizados son los siguientes:

- El primer algoritmo es el implementado en el sistema de recomendación. En primer lugar, se seleccionan los directorios más parecidos. En segundo lugar, se determina una piscina con los posibles candidatos (aquellos usuarios de los directorios más parecidos). En tercer lugar, se calcula la puntuación recomendada mediante una propiedad que combina factores como el número de carpetas. En último lugar, se recomiendan los usuarios con la puntuación más elevada.
- El segundo algoritmo es similar al primero exceptuando que, en el tercer paso, se calcula la puntuación en base a las similitudes entre usuarios y directorios.
- El tercer algoritmo no considera necesarios los dos primeros pasos de los algoritmos anteriores. Únicamente compara el perfil del directorio del usuario con el resto de perfiles conocidos en el sistema. La eficiencia de este algoritmo viene determinada por el número de usuarios y directorios en el sistema.
- El último algoritmo emplea clasificadores bayesianos para construir perfiles de carpetas. Para ello, se aprovecha la estructura jerárquica de los directorios considerando únicamente los directorios del mismo nivel. A continuación, se extrae información de los perfiles de usuario a partir de los datos previamente extraídos.

Por todo lo anterior, CYCLADES es considerado no solo un sistema de recomendación que ofrece a los usuarios documentos similares a los registrados por él en el sistema, sino que es un entorno web que posibilita la búsqueda y gestión de recursos web, su organización y la colaboración con otros usuarios o comunidades. Además, el sistema ofrece recomendaciones personalizadas de los documentos, usuarios, comunidades y directorios por lo que los usuarios pueden encontrar fácilmente otros miembros con intereses similares facilitando así su colaboración.

3.4.5. LORM

En el año 2006, Tsai y colegas presentaron una propuesta denominada *Learning Object Recommendation Model* (LORM) (Tsai et al., 2006). Dicha propuesta de sistema de recomendación híbrido se quedó en la fase de diseño. No obstante, ofrece algunas características interesantes a detallar.

Esta propuesta tiene como objetivo facilitar la elección de recursos compatibles con SCORM existentes en los distintos repositorios disponibles en la Web. Para ello, emplea un mecanismo capaz de hacer aproximaciones basadas en las preferencias del usuario como en los k-vecinos más próximos. La aproximación basada en preferencias emplea un algoritmo para calcular el valor de un recurso a través de la comparación de las características del usuario y del recurso (véase Código 3.1).

```

1 float preferenceCalculate( l, lo, p_threshold){
2   float pscore = 0;
3   for (i=1; i< |F(lo)|; i++){
4     for (j=1; j<=p_threshold; j++){
5       if (f_i(lo) == f_i'(l)){
6         pscore += Weight(f_i'(l));
7         break; }}}
8   pscore → pscore/|F(lo)|;
9   return pscore; }

```

Código 3.1: Código del cálculo de preferencias de LORM. Extraído de (Tsai et al., 2006).

Por su parte, el algoritmo basado en los k-vecinos primero busca los vecinos más parecidos al usuario (véase Código 3.2) y posteriormente calcula la puntuación de los objetos de aprendizaje de este usuario (véase Código 3.3). Este sistema tampoco soluciona el problema del arranque en frío (ya que tanto para el algoritmo basado en preferencias como para el algoritmo basado en los k-vecinos se necesitan muchas características del usuario) y no dispone de buena escalabilidad (muchas propiedades para cada recurso y usuario). Por otra parte, tanto el riesgo (bajo) como la robustez y la adaptabilidad (altas), representan un valor razonablemente positivo en este sistema.

```

1 ArrayList find_neighbors(l, lo, s_threshold){
2   look up all learners which have assigned feedback scores to lo;
3   assign these learners, sls which are hit to set, SL;
4   for (all learner in SL)
5     sim(l,sl), sl is the learner in SL;
6     if(sim(l,sl) >=s_threshold)
7       assign(sl, sim(l,sl)) to sim_l_lo;
8   }
9   return sim_l_lo;
10 }

```

Código 3.2: Código para la búsqueda de vecinos de LORM. Extraído de (Tsai et al., 2006).

```

1 float interestCalculate(l, sim_l_lo){
2   iScore = average(r_l) + rErrorScore(l, sim_l_lo);
3   iScore = iScore / MaxScore;
4   return iScore;
5 }

```

Código 3.3: Código para el cálculo del interés basado en los k-vecinos de LORM. Extraído de (Tsai et al., 2006).

3.4.6. Moodle

Janssen y colegas propusieron un prototipo de sistema de recomendación de filtrado colaborativo que utiliza el popular *Learning Management System (LMS) Moodle* (Janssen et al., 2007). Este sistema se basa en los resultados previos de otros estudiantes para hacer recomendaciones sobre la siguiente actividad que debe realizar un estudiante (véase Figura 3.47). Una de las características más destacadas de este sistema es que no emplea datos del estudiante como perfil o preferencias lo que, por una parte, facilita la escalabilidad y reduce el riesgo (al no necesitar tantas propiedades) y por otra, es frágil contra ataques.

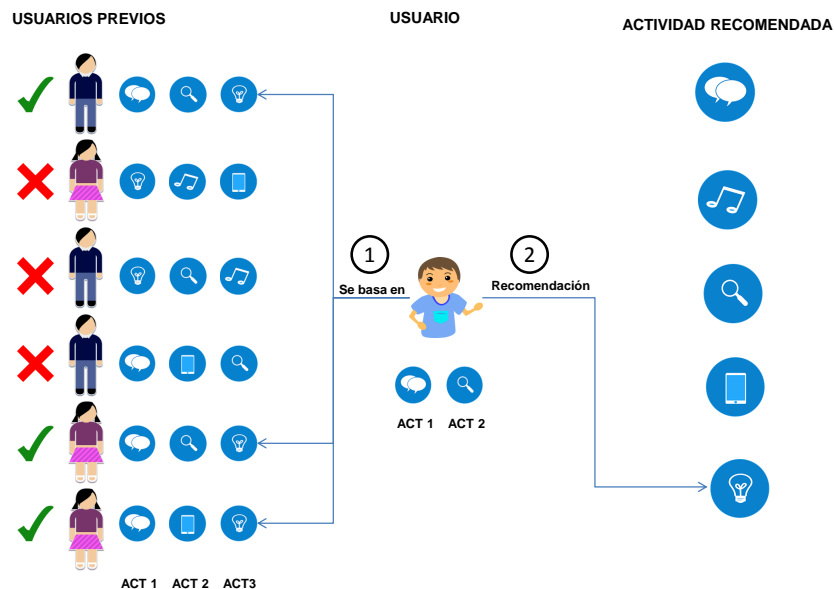


Figura 3.47: Funcionamiento del sistema de recomendación basado en *Moodle*.

Uno de los grandes problemas a los que se enfrenta este sistema de recomendación es el *cold start problem* para los primeros usuarios de la aplicación. En este caso, las recomendaciones se basan únicamente en datos previos de otros estudiantes por lo que es estrictamente necesario disponer previamente de un conjunto de datos o el sistema no podrá ofrecer ninguna recomendación. A pesar de esto, el problema de arranque en frío se soluciona con la incorporación de muy pocos datos en comparación con otros sistemas de recomendación y no requiere de ningún tipo de dato del usuario, lo que implica que el problema desaparezca para esa actividad para cualquier usuario presente y futuro del sistema de recomendación.

Este sistema va principalmente dirigido a los estudiantes, obtiene información de *feedback* automática (no permite a los usuarios valorar las retroalimentaciones recibidas) y puede aplicarse a cualquier dominio. El sistema de recomendación de *Moodle* fue puesto en práctica en un curso con tres meses de duración, un grupo de control y el grupo experimental obteniéndose unos resultados prometedores.

3.4.7. CourseRank

Durante los años 2007 y 2009 surge el sistema CourseRank, una propuesta de recomendación híbrida empleada por los estudiantes de la universidad de Stanford en la planificación del curso (Koutrika et al., 2008). Este sistema no está compuesto únicamente por un recomendador, si no que es una plataforma capaz de planificar, monitorizar y ofrecer retroalimentación a los diferentes usuarios.

En relación con la recomendación híbrida, el sistema distingue la aproximación basada en contenido y la aproximación colaborativa. La primera compara los distintos temas de cada curso existente en el sistema con los temas de los cursos realizados por cada estudiante en la plataforma (véase Figura 3.48). De esta forma, el sistema puede predecir los cursos en los que el alumno puede tener cierto interés, por ejemplo, si Alicia ha realizado cinco cursos de lenguajes de programación orientados a objetos entonces, el sistema tendrá en alta consideración aquellos cursos que no haya realizado con una temática similar. Por su parte, la recomendación colaborativa buscará a aquellos usuarios con valoraciones similares (a Alicia) en los mismos cursos y después, propondrá la realización de los cursos con valoración más alta de los usuarios similares.

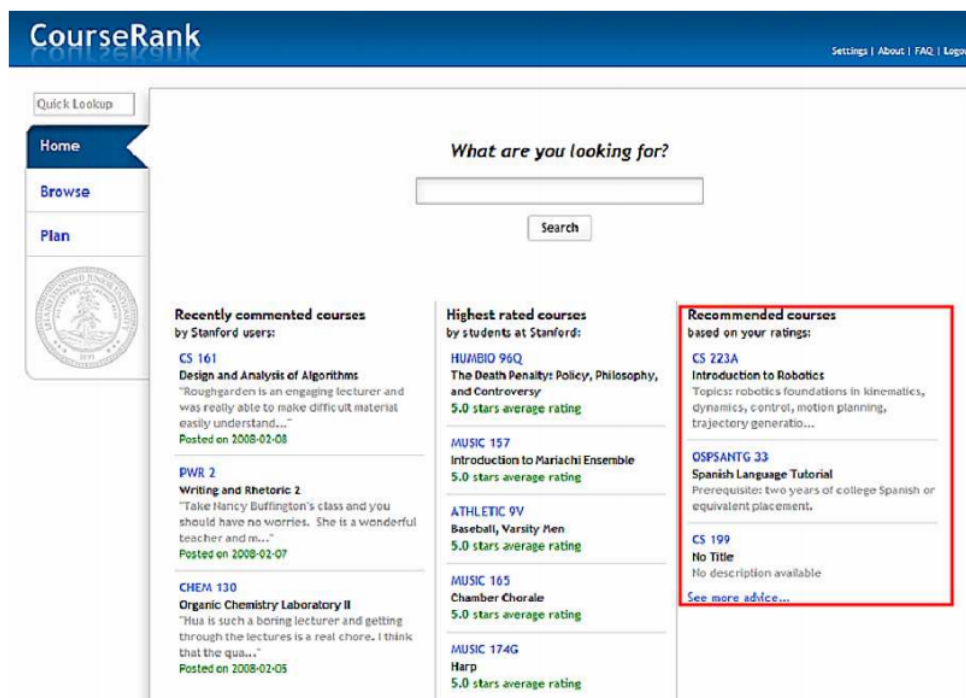


Figura 3.48: Recomendaciones en CourseRank. Extraído de (Koutrika et al., 2008).

Una de las mayores limitaciones de este sistema es la complejidad de adaptación a nuevos intereses por parte del usuario, es decir, si Alicia ahora cambia de intereses, al sistema (tanto al basado en contenidos como al colaborativo) le costará darse cuenta de este cambio. El sistema también puede sufrir carencias en cuanto al riesgo de las recomendaciones puesto que, aunque estas no serán demasiado diferentes de las actividades realizadas hasta el momento, al no emplear datos personales, las recomendaciones estarán más limitadas.

Una de las grandes ventajas que ofrece este sistema de recomendación está relacionada con la cantidad de datos necesaria para ofrecer las recomendaciones debido a que no emplea prácticamente datos personales por lo que las comparaciones se realizan bastante rápido y son fáciles de obtener. Esta ventaja ayuda a que, si la aplicación escala muy rápido, el sistema no

tenga excesivos problemas para tratar esa información. De este modo, la aplicación disponía en el año 2009 de cerca de 7000 usuarios validando esta premisa.

Por su parte, el sistema afronta el problema del arranque en frío ofreciendo recomendaciones genéricas además de las personalizadas. Entre las recomendaciones genéricas que ofrece destacan los cursos recientemente comentados y los cursos mejor valorados. Además, el sistema permite buscar cualquier curso independientemente de si es o no recomendado. Por lo tanto, el usuario no está obligado a seguir las recomendaciones ofrecidas por la herramienta.

3.4.8. LSRS

En el año 2009, Huang y colegas (Huang et al., 2009) propusieron un prototipo de sistema de recomendación colaborativo denominado *Learning Sequence Recommendation System* (LSRS) que se fundamenta en el modelo de cadena de Markov (véase Figura 3.49). Este sistema trata de predecir la mejor secuencia de cursos o actividades que un estudiante debe seguir para mejorar su conocimiento en una materia. Para aplicar la recomendación se requiere una cantidad mínima de estudiantes previos por lo que, de manera inicial, no se resuelve el problema del arranque en frío. El sistema emplea el modelo de Markov puesto que considera que la siguiente actividad o curso a realizar debe depender de la situación actual. En este sentido, los autores afirman que el prototipo de sistema de recomendación creado es robusto, escalable y razonablemente adaptable. Asimismo, consideran que la retroalimentación del usuario tiene un papel fundamental para el ajuste del prototipo.

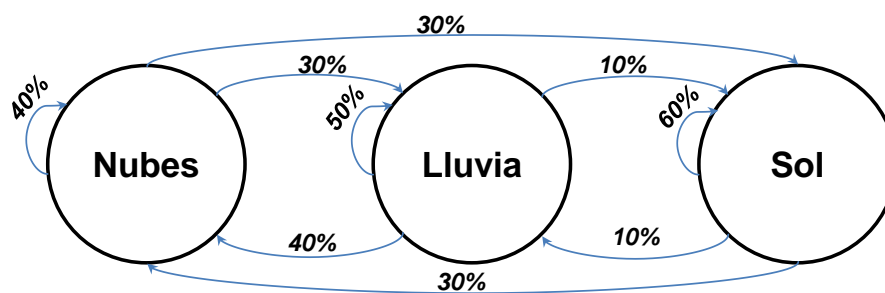


Figura 3.49: Funcionamiento del modelo de Markov.

Por contra, el ofrecer las recomendaciones basadas principalmente en el último curso o actividad implican un mayor riesgo ya que cualquier situación anormal haría que el sistema fuese poco fiable. También es aconsejable resaltar que este modelo está diseñado únicamente para estudiantes y no para profesores y que, a pesar de tratarse de un prototipo, la satisfacción de los usuarios es aceptable.

3.4.9. Protus

Vesin et al. presentaron en 2009 un sistema de tutoría de programación basado en Java. Este sistema se compone de: (1) un módulo pedagógico que proporciona un modelo del proceso educativo capaz de controlar cuándo es necesario realizar una revisión, cuándo es necesario proponer un tema y qué tema presentar, (2) un módulo del estudiante que almacena información específica de cada alumno referente al dominio en el material empleado así como un registro de los malos entendidos que ha sufrido el estudiante, (3) un componente de conocimiento de dominio que contiene la colección de módulos de aprendizaje que debe ser superada por los estudiantes, (4) un módulo de comunicación que interactúa con el alumno ofreciéndole información sobre sus progresos y (5) un módulo experto capaz de evaluar las respuestas de los estudiantes con el fin

de, primero descubrir errores sintácticos y después, analizar los resultados de ejecución. Estos componentes interactúan entre ellos tal y como se aprecia en la Figura 3.50.

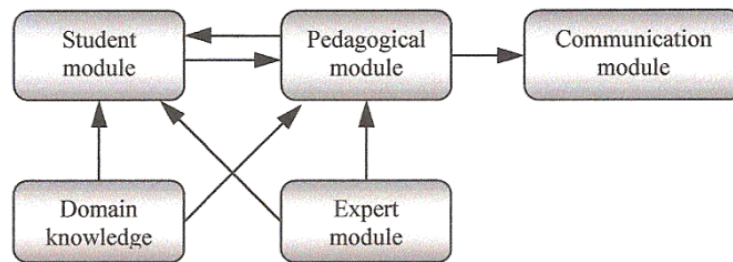


Figura 3.50: Interacción de los componentes en los sistemas de tutoría. Extraído de (Vesin et al., 2009).

Este sistema se divide en un subsistema para mentores y en otro para alumnos. El primero da la oportunidad de obtener información sobre el trabajo del estudiante a través de numerosos informes para así adaptar el curso a sus necesidades mediante la creación de nuevos ejemplos, actividades o lecciones. El segundo facilita a los estudiantes el aprendizaje mediante dos modos: (1) el estudiante es guiado mediante el orden predefinido de las clases siendo necesario superar las pruebas de la lección actual antes de poder continuar con la siguiente lección, (2) el estudiante puede pasar de una lección a otra sin un orden determinado y sin necesidad de superar ninguna prueba. En ambos casos, la lección viene definida a través de *learning objects* de 2 a 15 minutos de duración. Cada lección está compuesta de tres partes básicas: tutoriales, ejemplos y pruebas que pueden ser continuamente modificadas por los mentores para mejorar el aprendizaje. Los tutoriales contienen la explicación de los conceptos y las reglas de sintaxis apropiadas para el material presentado en la lección. Los ejemplos permiten al estudiante ejercitarse acerca de los conocimientos presentados. Finalmente, las pruebas permiten validar los conocimientos adquiridos mediante tres tipos de preguntas (respuesta múltiple de sintaxis, respuesta múltiple de ejecución y completar código).

En 2012, los mismos autores presentaron Protus 2.0, una evolución basada en ontologías del sistema de tutoría. Esta nueva versión aprovecha las facilidades que ofrecen las ontologías como la reutilización o la inferencia de conocimiento para crear un sistema de recomendación basado en personalización a través de dos categorías: adaptación de contenido y adaptación de la interfaz del estudiante.

- **Adaptación de contenido.** Es capaz de presentar el contenido de diferentes modos de acuerdo al modelo de dominio y la información acerca de los estilos de aprendizaje del estudiante. Agrupa a los estudiantes y a los contenidos siguiendo el principio del *clustering* para maximizar las similitudes dentro del mismo grupo y minimizar los grupos similares. De esta forma, es capaz de ofrecer al estudiante los materiales y planes más adecuados según su estilo de aprendizaje.
- **Adaptación de la interfaz del estudiante.** Modifica la apariencia y/o disponibilidad de todos los recursos educativos que aparecen en la página web del curso para mostrar únicamente el material recomendado al estudiante.

El proceso de funcionamiento de Protus 2.0 es el siguiente (véase Figura 3.51). Un nuevo usuario se registra en el sistema creando su propio perfil. Este, almacena información personal estática (nombre, preferencias, conocimiento previo, etc.) e información personal dinámica (intereses, comportamiento, etc.), que varía a lo largo del tiempo. La primera vez que el usuario inicia el sistema debe rellenar un cuestionario acerca del estilo de aprendizaje basado en el modelo propuesto por Felder y Soloman (Felder and Soloman, 1996) para predecir sus

estilos de aprendizaje. Estas respuestas son almacenadas en la ontología y sirven para calcular el estilo de aprendizaje inicial más adecuado para cada estudiante. Durante las sesiones, los estudiantes acceden a diferentes recursos y completan un conjunto de tareas. Protus 2.0 evalúa el conocimiento adquirido por el estudiante y le proporciona retroalimentación acerca de las actividades realizadas. Finalmente, el sistema trata de descubrir similitudes entre patrones de navegación de usuarios para ofrecerles las recomendaciones de secuencias de recursos adecuadas basándose en la aproximación de filtración colaborativa.

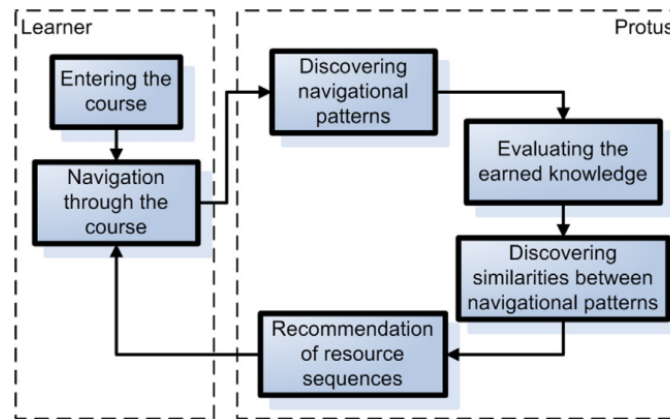


Figura 3.51: Proceso de aprendizaje y recomendación. Extraído de (Vesin et al., 2012).

Protus 2.0 fue desarrollado en el editor de ontologías de código abierto Protégé, el cual permite, además de la creación de ontologías en el formato estándar OWL, establecer un conjunto de reglas a través del editor de SWRL integrado en el propio programa. La nueva versión de Protus se compone de un conjunto de ontologías educativas para diferentes propósitos. Estas ontologías son:

- *domain ontology*. El modelo de dominio presenta el almacenamiento de todo el material de aprendizaje esencial, tutoriales y pruebas. Describe cómo el contenido propuesto para el aprendizaje debe ser estructurado siendo habitual su organización como una taxonomía de conceptos que relaciona conceptos y propiedades. Puesto que los autores decidieron crear un curso de programación para el lenguaje Java, la Figura 3.52 muestra un fragmento de la ontología aplicada a este curso.

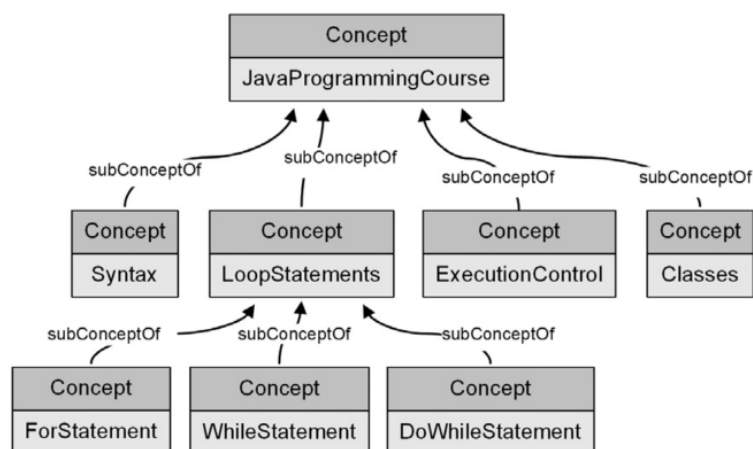


Figura 3.52: Fragmento de la ontología *domain ontology*. Extraído de (Vesin et al., 2012).

- *learner model ontology*. Esta ontología se encarga de almacenar las preferencias personales e información acerca del nivel de rendimiento de los estudiantes en los diferentes conceptos

de un dominio específico. Esta ontología es frecuentemente actualizada de acuerdo a las interacciones de los estudiantes para permitir a la ontología *teaching strategy ontology* sacar conclusiones y tomar decisiones. La clase *Learner* se construye a partir de las clases *LearningStyle*, *PersonalInfo* y *Performance*. *LearningStyle* sigue el modelo propuesto por Felder-Silverman (Felder and Soloman, 1996) categorizando a las estrategias en base a cuatro dimensiones (*Sensing/Intuitive*, *Visual/Verbal*, *Active/Reflective* y *Sequential/Global*). La clase *PersonalInformation* registra información del estudiante como claves, evolución histórica del conocimiento, etc. La clase *Performance* es mantenida de acuerdo a la clase *Interaction* perteneciente a la ontología *LearnerObservation* que forma parte de la ontología *Learner model ontology* (véase Figura 3.53).

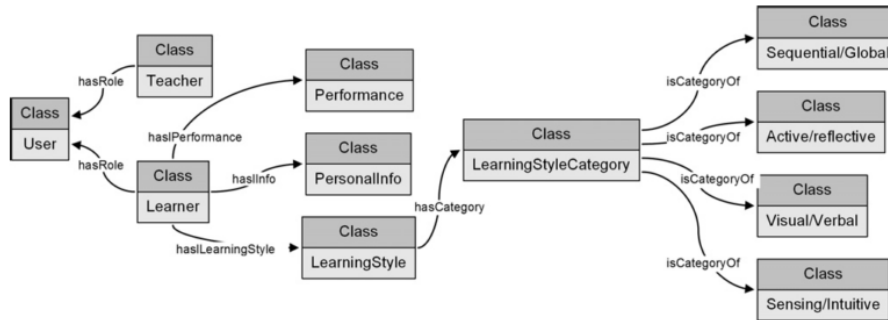


Figura 3.53: Fragmento de la ontología *learner model*. Extraído de (Vesin et al., 2012).

- *task ontology*. Esta ontología es un sistema de vocabulario para describir la estructura de resolución de problemas de todos los tipos de actividades independientemente del dominio. Complementa a la ontología *domain ontology* mediante la representación semántica de las características de resolución de problemas. La ontología especifica el conocimiento del dominio dando roles a cada objeto y las relaciones entre ellos, tal y como puede observarse en la Figura 3.54.

Esta ontología representa el material de aprendizaje agrupado por recursos. La clase *Concept* es empleada para anotar una unidad de conocimiento que está representada por algún elemento de la clase *Resource*. Cada recurso tiene asociado un rol (*ResourceRole*) y un tipo (*ResourceType*) determinado. Las propias características de los recursos se mantienen en instancias propias de la clase *Resource*. Finalmente, cada recurso soporta un estilo de aprendizaje (*LearningStyle*).

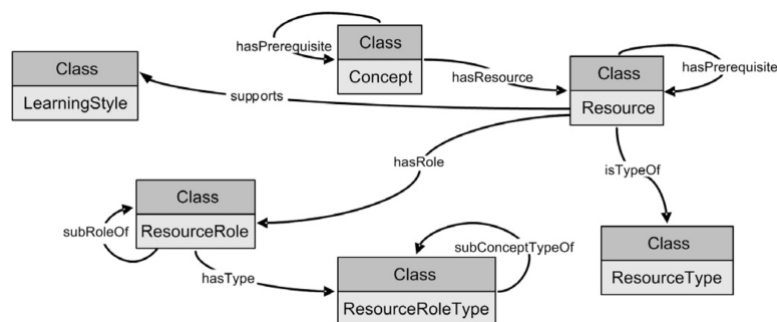


Figura 3.54: Fragmento de la ontología *task ontology*. Extraído de (Vesin et al., 2012).

- *teaching strategy ontology*. La personalización es, en realidad, la creación de modelos de aprendizaje y la aplicación de diferentes estrategias de adaptación y técnicas para asegurar la adaptación eficiente del contenido de aprendizaje a los estudiantes de manera individualizada. Esta personalización está basada en las condiciones generadas por el rendimiento y el estilo del aprendizaje (véase Figura 3.55).

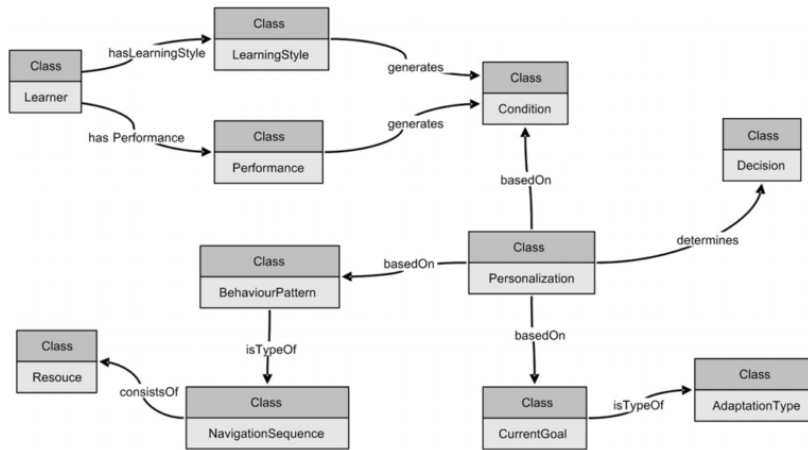


Figura 3.55: Fragmento de la ontología *teaching strategy ontology*. Extraído de (Vesin et al., 2012).

- *interface ontology*. Es el resultado de la etapa final de comunicación entre los diferentes componentes de la arquitectura. El sistema lee la decisión de la ontología *Teaching strategy ontology*. Basado en esta decisión, crea una secuencia de navegación de recursos recomendados para un estudiante particular y genera para él la vista de interfaz correspondiente (véase Figura 3.56).

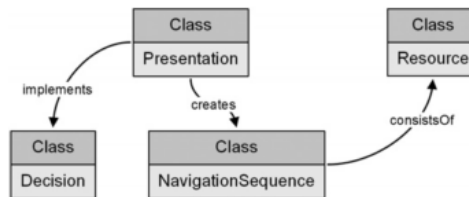


Figura 3.56: Fragmento de la ontología *interface ontology*. Extraído de (Vesin et al., 2012).

Además de las ontologías, este sistema de tutoría dispone de un conjunto de reglas especificadas en el lenguaje SWRL. Estas reglas posibilitan inferir conocimiento acerca de nuevas características de un estudiante a partir de otras ya conocidas y son necesarias para identificar el estilo de aprendizaje basándose en las preferencias del estudiante (*learning modeling rules*). Además, definen estrategias de adaptación que tienen en cuenta las características del dominio, los objetivos del sistema, características del usuario, contexto y métodos de presentación usados (*adaptation rules*). A continuación, se muestra un ejemplo de *learning modeling rule* (véase Regla 3.1) así como otro ejemplo de *adaptation rules* (véase Regla 3.2).

$$\begin{aligned} & \text{Learner}(?x) \wedge \text{hasLearningStyle}(?x, ?verbal) \wedge \text{Interaction}(?i) \wedge \text{hasInteraction}(?x, ?i) \wedge \\ & \text{Concept}(?c) \wedge \text{conceptUsed}(?i, ?c) \wedge \text{ConceptRole}(?r) \wedge \text{hasRole}(?c, ?r) \wedge \text{supports}(?r, ?verbal) \wedge \\ & \text{Performance}(?p) \wedge \text{hasResult}(?i, ?p) \wedge \text{hasGrade}(?p, \text{grade}) \wedge \text{swrlb:lessThan}(\text{grade}, \text{required}) \rightarrow \\ & \text{hasLearningStyle}(?x, \text{visual}) \end{aligned} \quad (3.1)$$

$$\begin{aligned} & \text{Learner}(?x) \wedge \text{hasLearningStyle}(?x, ?y) \wedge \text{hasCategory}(?y, ?z) \wedge \text{isCategoryOf}(?z, \text{active}) \rightarrow \\ & \text{hasLearningStyle}(?x, \text{active}) \end{aligned} \quad (3.2)$$

En el año 2016, los mismos autores implementaron una técnica de etiquetado colaborativo para la recomendación de contenido que puede ser aplicada en sistemas de tutoría inteligente para proporcionar recomendaciones de conceptos y recursos. Esta técnica consiste en la creación de etiquetas por parte de los usuarios que describan o evalúen el contenido, formato, utilidad o características afectivas de un recurso para facilitar su búsqueda, descubrimiento, compartición o navegación. Esta técnica ayuda a recordar mejor las palabras clave y permite clarificar y establecer relaciones entre ideas. La incorporación de esta técnica al sistema de tutoría dio lugar a una nueva versión de Protus; la versión 2.1.

3.4.10. Isis y ReMashed

En el año 2009, Drachsler y colegas presentaron ISIS, un prototipo de sistema de recomendación híbrido testado con 260 usuarios en un curso de psicología. Dicho sistema es una aplicación independiente que emplea una aproximación basada en ontologías para paliar el problema del arranque en frío (Drachsler et al., 2009).

Este sistema está únicamente enfocado a los estudiantes. El objetivo de ISIS es recomendar los recursos más adecuados a través de una técnica de recomendación basada en ontologías (concretamente, el sistema compara la información personal del estudiante con las características de las diferentes actividades) y otra técnica de filtrado (compara los perfiles de los distintos usuarios para agruparlos). El funcionamiento de este sistema puede verse en la Figura 3.57.

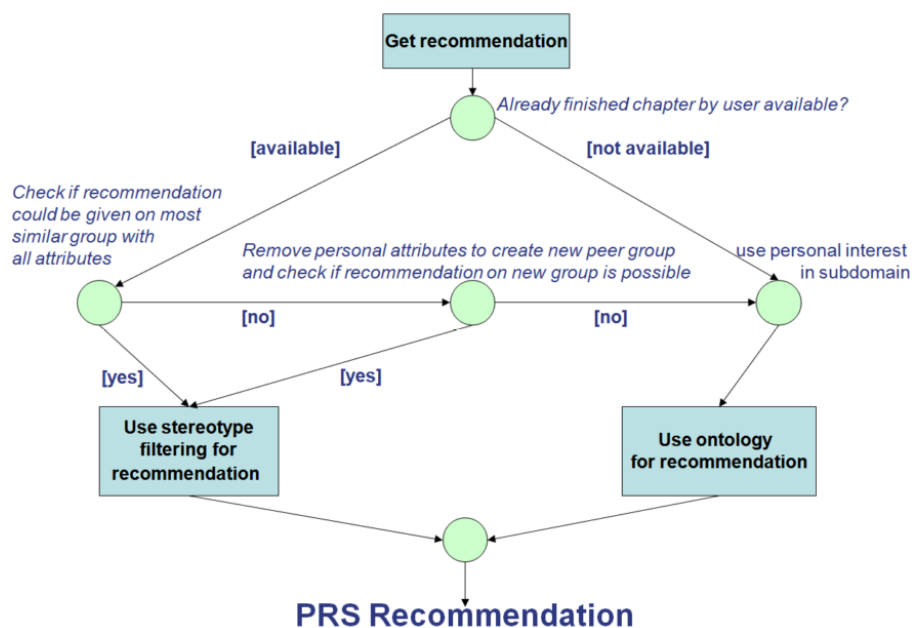


Figura 3.57: Árbol de decisiones del sistema de recomendación Isis. Extraído de (Drachsler et al., 2009).

Entre las principales características de este sistema de recomendación cabe destacar que el riesgo y la adaptabilidad alcanzan un nivel intermedio, la robustez y escalabilidad son ligeramente superiores a la media, los estudiantes no pueden ofrecer a priori ningún tipo de *feedback* y los resultados obtenidos son prometedores.

El mismo grupo de investigación desarrolló a finales de la década pasada ReMashed, otro sistema de recomendación que pretende combinar la información de los usuarios de distintos servicios Web 2.0 para ofrecer recomendaciones personalizadas en redes de aprendizaje informal (Drachsler et al., 2010).

Una de las grandes diferencias con respecto al anterior sistema de recomendación es que este es principalmente colaborativo, es decir, se basa en el filtrado colaborativo para generar recomendaciones en base a usuarios con similares gustos en los diferentes sitios Web 2.0 (Twitter, YouTube, Slideshare, etc.). Otra diferencia importante es la resolución del problema de arranque en frío. En este caso, los autores decidieron resolverlo a través de una recomendación basada en etiquetas. La información que se recoge de cada usuario es únicamente la valoración (en estrellas) de los diferentes usuarios por lo que: el sistema será, a priori, fácilmente escalable, la adaptabilidad puede ser lenta, el riesgo dependerá principalmente de la cantidad de información recogida y, en general, el sistema será robusto, pero una valoración injusta de un grupo de usuarios para aumentar o reducir la popularidad de un recurso puede afectar en gran medida si el número de valoraciones de ese recurso es pequeño.

En este sistema de recomendación, el usuario puede enviar *feedback* al sistema de recomendación mediante la valoración posterior de los recursos que le ha recomendado. Por otra parte, este sistema dirigido también a estudiantes, realizó una encuesta de satisfacción del sistema de recomendación obteniendo unos resultados ligeramente positivos (60-70%), con un número bastante reducido de valoraciones (inferiores a 50). La Tabla 3.5 muestra los resultados obtenidos en la encuesta de satisfacción.

Tabla 3.5: Satisfacción de los usuarios con ReMashed.

Criterio	Satisfecho	Insatisfecho
Satisfacción general	63	37
Satisfacción algoritmo basado en etiquetas al principio	60	40
Satisfacción algoritmo basado en etiquetas al final	69	31
Satisfacción algoritmo basado en valoraciones al principio	61	39
Satisfacción algoritmo basado en valoraciones al final	62	38

3.4.11. RPL

Khribi y colegas propusieron en el año 2009 un prototipo de sistema de recomendación híbrido denominado RPL (Khribi et al., 2009). Este prototipo facilita la utilización (individual o combinada) de los métodos colaborativos y basados en contenidos para la recomendación de objetos.

Con respecto a las características generales de este sistema, es aconsejable destacar que va dirigido exclusivamente a los estudiantes, está formado por dos módulos (preprocesamiento *off-line* y recomendación *on-line*) que obtienen la información a través de las acciones que realizan los usuarios en la plataforma. Para el correcto funcionamiento, este sistema recoge principalmente la información relacionada con el conocimiento del alumno. Sin embargo, para la aplicación del filtrado colaborativo, el sistema también emplea información sobre las preferencias y necesidades de los usuarios.

Los autores de este trabajo no detallaron algunos de los aspectos más relevantes en estos sistemas como el método para superar el problema del arranque en frío, la escalabilidad o la robustez al tratarse de un simple prototipo. A pesar de ello, es posible deducir que la cobertura del sistema será aceptable ya que no necesita excesivos datos y admite la utilización de los métodos de filtrado colaborativo y basados en contenidos, tanto de manera individual como colectiva. A partir de lo anterior, se puede extraer que el riesgo dependerá de los métodos a usar ya que se puede emplear un sistema de recomendación híbrido en cascada, un sistema de recomendación híbrido ponderado, un sistema de filtrado colaborativo o un sistema basado en el contenido (véase Figura 3.58). Precisamente, las diferentes combinaciones de métodos hacen

posible que el sistema sea ligeramente más adaptable que la media dado que es posible dar más o menos valor a determinadas características. Finalmente, ni la robustez ni la escalabilidad, a priori, destacan ni positiva, ni negativamente.

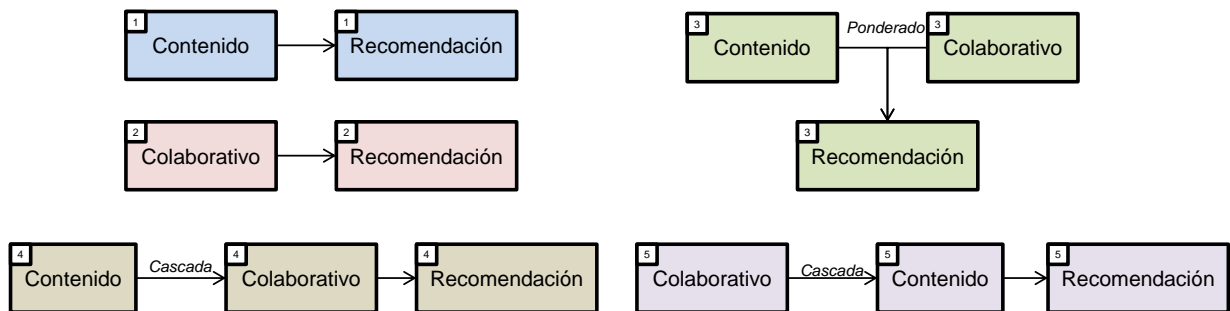


Figura 3.58: Métodos disponibles en el sistema de recomendación RPL.

3.4.12. EmployLeaP RS

En el año 2016, Dascalu y colegas propusieron un sistema de recomendación híbrido basado en ontologías (Dascalu et al., 2016). Este sistema busca recomendar a los estudiantes los grupos o comunidades (actualmente en LinkedIn) más adecuados conforme a su perfil. La ontología cuenta con entidades que representan a personas (contratante y buscador de empleo), comunidades, intereses, posición o habilidades (véase Figura 3.59).

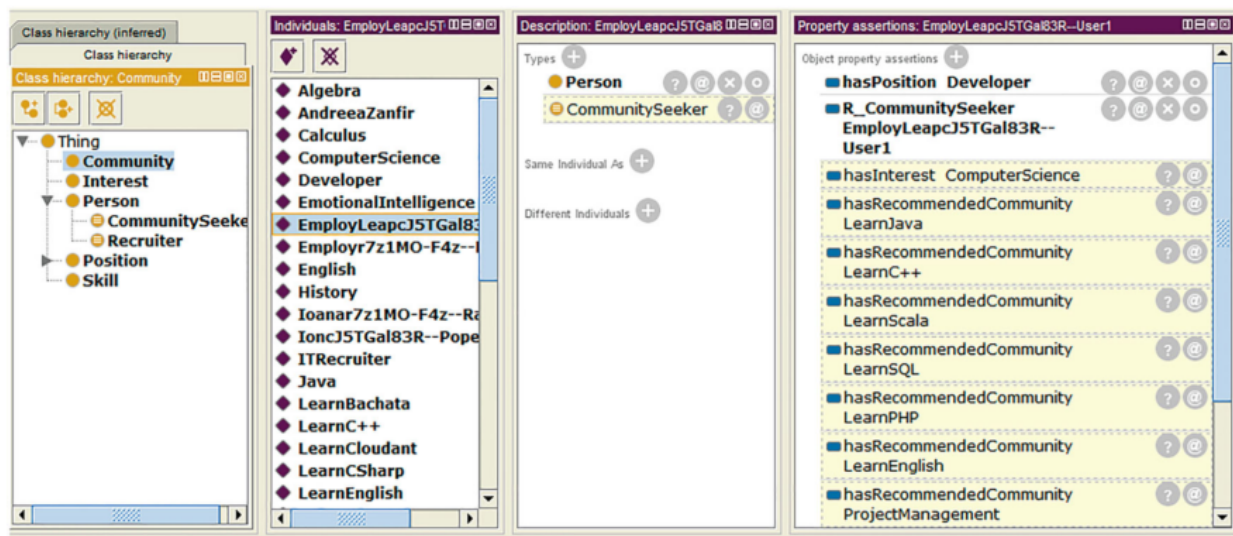


Figura 3.59: Implementación de la ontología. Extraído de (Dascalu et al., 2016).

El sistema de recomendación tiene en cuenta los datos existentes del estudiante en la plataforma LinkedIn para recomendar elementos de su interés (véase Figura 3.60). Por ejemplo, supongamos que Belén, una usuaria de esta red, ha creado recientemente su perfil, está conectada con pocos usuarios y tiene como habilidades *Desarrollo Web* y *Java*. En este caso, el sistema podría recomendarla, gracias a la ontología incluida, la unión al grupo *Java Web Development*. Esto reduce el problema del arranque en frío que suelen sufrir los sistemas colaborativos. Cuando Belén tenga un perfil más completo (más usuarios, intereses, habilidades, etc.), el sistema podrá emplear varias combinaciones (método de recomendación en cascada, ponderado, etc.) para obtener nuevas recomendaciones más complejas.

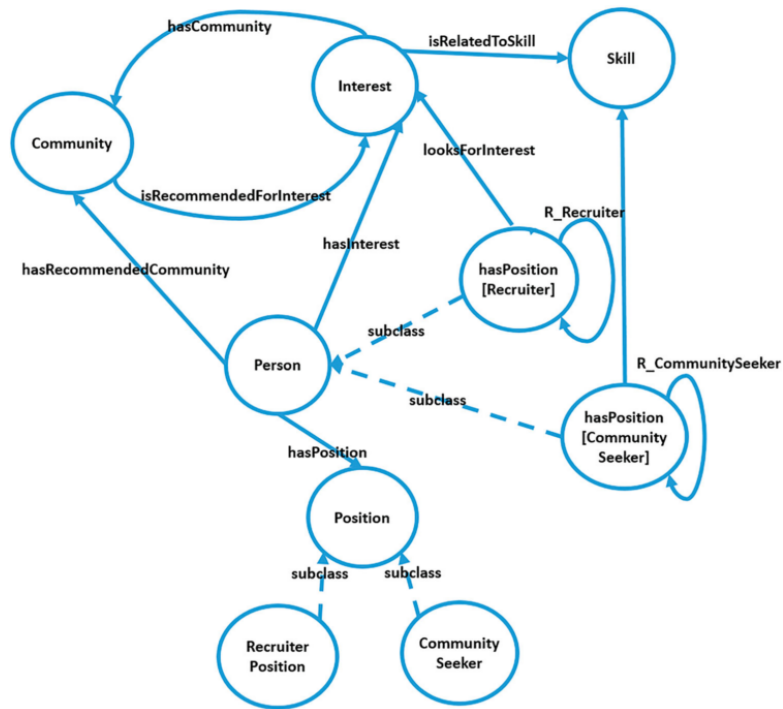


Figura 3.60: Diseño de la ontología. Extraído de (Dascalu et al., 2016).

Este mecanismo ha sido implementado dentro de la plataforma Web EmployLeaP (véase Figura 3.61). El sistema no ofrece *feedback* sobre las recomendaciones realizadas y, según los autores, es robusto, adaptativo y dispone de un índice de satisfacción alto, aunque no ofrecen ningún dato para verificarlo.

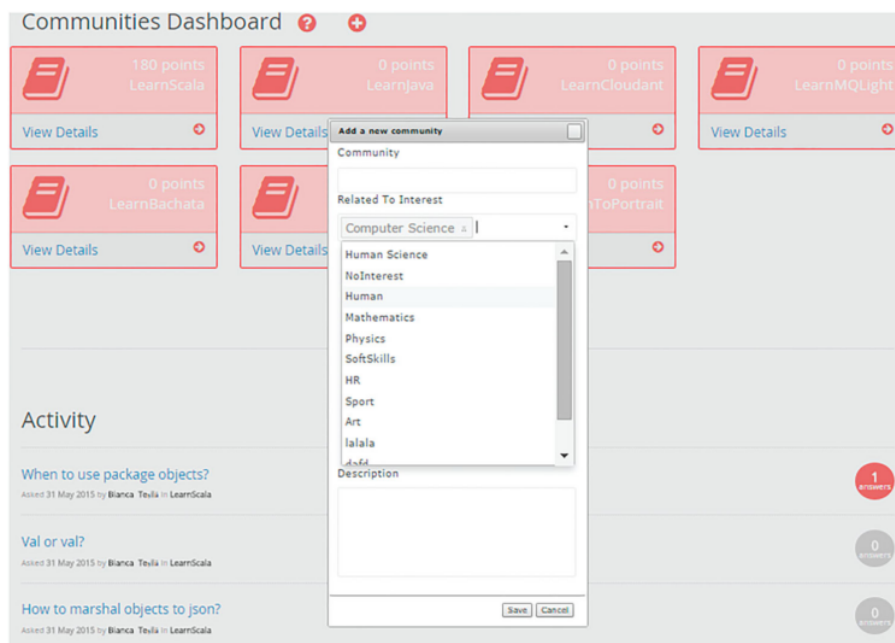


Figura 3.61: Plataforma EmployLeaP. Extraído de (Dascalu et al., 2016).

3.5. Sistemas de recomendación basados en competencias

Una vez analizados los principales sistemas de recomendación relacionados con el aprendizaje, este trabajo se centra en los sistemas de recomendación basados en competencias. Para ello, es necesario prestar atención en la metodología de investigación del proceso de revisión sistemática. La Tabla 3.6 lista las cuestiones de investigación y la motivación relacionada para alcanzar tanto los objetivos como la meta final definidos en la introducción. Recapitulando, la meta de este trabajo consiste en desarrollar un sistema de recomendación basado en competencias para ofrecer tanto a estudiante como profesores recomendaciones de grano fino (mediante el estado de las competencias) y de grano grueso (mediante las rúbricas).

Tabla 3.6: Cuestiones de investigación.

ID	Cuestión de investigación	Motivación
RQ1	¿Qué criterios permiten el análisis de los sistemas de recomendación y cómo se pueden evaluar estos criterios?	Identificar los criterios (cobertura, escalabilidad, etc.) que nos permiten evaluar la calidad del sistema de recomendación.
RQ2	¿Cuál es la naturaleza de las competencias en los actuales sistemas de recomendación basados en competencias?	El objetivo es identificar el nivel de implicación de las competencias en las propuestas
RQ3	¿Cuáles son los desafíos emergentes relacionados con los sistemas de recomendación basados en competencias?	Investigar las dificultades que hoy enfrentan los sistemas de recomendación basados en competencias.

Después de definir las cuestiones de investigación, se establecen a continuación las fuentes de datos para este estudio. En este trabajo, se han tenido en cuenta las siguientes bibliotecas digitales y motores de búsqueda:

1. IEEE XPLORE (<http://ieeexplore.ieee.org/>)
2. ACM Digital Library (<http://www.acm.org/>)
3. SpringerLink (<http://www.springerlink.com/>)
4. Elsevier Science Direct (<http://www.sciencedirect.com/>)
5. Google Scholar (<http://scholar.google.com/>)

Además de las fuentes de datos, es importante resaltar los criterios de selección o inclusión tenidos en cuenta en esta revisión sistemática. Una propuesta será incluida en esta revisión si reúne las siguientes condiciones: (i) debe proponer un sistema de recomendación, (ii) competencias, objetivos o resultados de aprendizaje deben estar involucrados en el proceso de recomendación y (iii) deben estar escritos en inglés o español y haber sido publicados entre 2007 y 2017.

El siguiente paso en esta metodología consiste en determinar las palabras clave más adecuadas de acuerdo a los objetivos propuestos en esta revisión. Mediante este paso, el proceso de búsqueda será refinado. En consecuencia, muchas propuestas irrelevantes serán rápidamente descartadas. En el contexto de este trabajo, los autores pueden emplear varios términos de manera indistinta. Por ejemplo, estudiante, alumno o aprendiz son términos frecuentemente usados para especificar a la persona que aprende. Por tanto, debe prestarse especial atención en la definición de la consulta que será empleada en la búsqueda. La Tabla 3.7 clasifica estas palabras clave por grupos. La consulta resultante deberá contener, al menos, un concepto de cada grupo.

En el próximo paso de la metodología, la búsqueda inicial es llevada a cabo. Mediante este proceso, se buscan las revisiones bibliográficas existentes relacionadas con los sistemas de

recomendación relacionados con el aprendizaje. Para este propósito, se han incorporado las palabras clave *survey* and *systematic literature review* a la consulta. Puesto que se quieren analizar los trabajos recientes, esta búsqueda solo tendrá en cuenta los documentos publicados en los últimos cinco años (2012-2017). Después de llevar a cabo esta búsqueda en las principales bibliotecas digitales y motores de búsqueda, se han localizado muchas revisiones bibliográficas.

Tabla 3.7: Términos incluidos en la consulta.

Grupo	Descripción	Elemento
G1	Elementos de recomendación	<i>Recommender system</i>
G2	Contexto de la recomendación	<i>Learning</i>
G3	Aprendizaje basado en competencias	<i>Competency Competence</i>

Verbert, Manouselis, Drachsler y otros colegas revisaron los sistemas de recomendación en el ámbito del aprendizaje potenciado por la tecnología o *technology enhanced learning* y sus desafíos futuros (Verbert et al., 2012; Manouselis et al., 2013; Drachsler et al., 2015). Estos autores identificaron más de 80 propuestas diferentes entre los años 2000 y 2014, agruparon estos trabajos en siete categorías (recomendación de recursos, mejorando algoritmos de filtrado colaborativo, restricciones en el proceso de recomendación, recomendaciones no basadas en filtrado colaborativo, contexto en el proceso de recomendación, evaluación del impacto de las recomendaciones y recomendación de cursos) y llevaron a cabo un análisis exhaustivo para clasificar los elementos de acuerdo con la tarea, el modelo del usuario, el modelo del dominio o las características de personalización.

Champiri et al. (2015) llevaron a cabo una revisión sistemática enfocándose en los sistemas de recomendación sensibles al contexto. Este estudio tuvo en cuenta propuestas desde el año 2000 al año 2013. Como resultado, los autores seleccionaron 80 propuestas que fueron clasificadas de acuerdo a la información contextual (usuario, documento o entorno).

Además, Klačnja-Milićević et al. (2015; 2017) efectuaron una revisión de los sistemas de recomendación de *e-learning* desarrollados entre los años 2000 y 2014. Estos autores clasificaron las principales propuestas de acuerdo con la técnica empleada.

A continuación Dascalu et al. (2016) consideraron 14 criterios para analizar 25 sistemas de recomendación educativos entre los años 2000 y 2015. Esta propuesta facilita la comparación y análisis de diferentes sistemas de recomendación. Igualmente, incluye una nueva propuesta de sistema de recomendación. Los criterios considerados por estos autores son:

1. *Cobertura*. Cantidad de información necesaria para obtener recomendaciones aceptables. Esta fuertemente relacionado con el problema de arranque en frío.
2. *Riesgo*. Cantidad de flexibilidad para recomendar elementos diferentes de los más lógicos en el proceso de toma de decisiones. En los sistemas de riesgo bajo, los nuevos elementos son raramente recomendados pero las recomendaciones son, a menudo, más adecuadas.
3. *Robustez*. Fiabilidad del sistema bajo situaciones problemáticas como la introducción de información falsa o grandes peticiones.
4. *Adaptabilidad*. Capacidad del sistema para modificar las recomendaciones de acuerdo con los cambios producidos.
5. *Escalabilidad*. Habilidad para proporcionar recomendaciones a los usuarios en un periodo de tiempo razonable cuando la cantidad de información incrementa sustancialmente.
6. *Tipo de implementación*. Grado de aplicación del sistema (teoría, prototipo o completamente implementado).

7. *Autónoma o embebida*. Indica si la aplicación se encuentra o no integrada en un sistema mayor.
8. *De dominio general o específico*. Habilidad del sistema para trabajar en diferentes dominios.
9. *Retroalimentación del usuario*. Capacidad del sistema para aprender de la opinión del usuario acerca de las antiguas recomendaciones.
10. *Tipo*. Basado en contenido, filtrado colaborativo, basado en conocimiento, basado en utilidad o híbrido.
11. *Tipo de acceso*. Indica si el sistema de recomendación se encuentra en una aplicación de escritorio o en una aplicación web.
12. *Meta*. El objetivo del sistema de recomendación. Incluye la cantidad de información proporcionada (un elemento, una secuencia de elementos) y la categoría de recomendación (material, actividades, usuarios, etc.).
13. *Satisfacción*. Opinión del usuario respecto al sistema de recomendación.
14. *Enfocado al profesor o al estudiante*. Indica el usuario destino, es decir, la persona o personas que reciben la recomendación.

Tarus et al. (2017) llevaron a cabo una revisión de los sistemas de recomendación para *e-learning* basados en ontologías. Los autores seleccionaron 36 artículos publicados entre 2005 y 2014 y los categorizaron de acuerdo con la técnica de recomendación, el tipo de ontología, el lenguaje de representación de ontologías y los recursos de aprendizaje recomendados.

Finalmente, Khan et al. (2017) analizaron 94 estudios de sistemas de recomendación de dominios cruzados hasta el año 2016. Los autores clasificaron las propuestas de acuerdo al algoritmo empleado (*clustering*, semántica, método basado en grafos, distribución de probabilidad, factorización y asociación basada en etiquetas), métricas de evaluación (clasificación, predicción y *ranking*), contribución (precisión, diversidad, modelado, confianza, arranque en frío, utilidad, escalabilidad, privacidad, novedad, serendipia, robustez, riesgo, adaptabilidad), etc.

A partir de las revisiones sistemáticas descritas previamente, se han identificado 344 propuestas relacionadas con los sistemas de recomendación para el aprendizaje. Como en este apartado únicamente se pretende analizar los sistemas de recomendación basados en competencias, un segundo proceso de filtrado ha sido llevado a cabo para excluir aquellos trabajos que no estén conectados con este tema. Después de finalizar este proceso, seis trabajos fueron seleccionados (véase Tabla 3.8).

Tabla 3.8: Proceso de filtrado de los artículos de revisión bibliográfica.

Revisión bibliográfica	Trabajos identificados	Lectura general	Lectura detallada	Proceso de mezclado
(Drachsler et al., 2015)	82	8	3	
(Champiri et al., 2015)	80	4	2	
(Klasanja-Milicevic et al., 2017)	27	3	1	6
(Dascalu et al., 2016)	25	5	2	
(Tarus et al., 2017)	36	6	2	
(Khan et al., 2017)	94	5	2	

La siguiente fase en la metodología de investigación consiste en identificar las propuestas no recogidas en previos análisis bibliográficos. Esta segunda búsqueda fue implementada considerando las principales bibliotecas digitales, editoriales y motores de búsqueda académicos. En esta fase, las palabras clave identificadas en la Tabla 3.7 han sido aplicadas para llevar a cabo este estudio. Cabe resaltar que solamente se incluirán propuestas de la última década. En

esta fase, se identificaron inicialmente 154 propuestas, pero después de una lectura general, el número de trabajos se redujo a 64 (véase Tabla 3.9).

Tabla 3.9: Proceso de filtrado de las bibliotecas digitales y motores de búsqueda académicos.

Motor de búsqueda	Trabajos identificados	Lectura general	Lectura detallada	Proceso de mezclado
IEEE	31	12	4	
ACM	7	3	1	
SPRINGER	20	9	6	24
SCIENCE DIRECT	26	6	4	
SCHOLAR GOOGLE	98	34	16	

El último paso en la metodología de investigación ha consistido en combinar las propuestas identificadas en los dos procesos de búsqueda para evitar repeticiones y leer de manera detallada los artículos para excluir las propuestas que no se encuentran relacionadas con este estudio. Al final de esta fase, 25 trabajos diferentes han sido seleccionados. Debido a que el número de trabajos es elevado, se ha decidido analizar estos trabajos en base a las cuestiones de investigación en lugar de analizar detalladamente cada uno de los sistemas de recomendación.

3.5.1. Información contextual

Una vez las propuestas a analizar han sido seleccionadas, es aconsejable ponerlas en un contexto más amplio donde sea posible identificar información relevante. Por ejemplo, la información de contexto puede describir si un tema está ganando interés (véase Figura 3.62). En este sentido, el 52% de las propuestas fue publicada entre los años 2015 y 2017 y únicamente el 20% de los trabajos fue publicado entre 2007 y 2011. En cuanto al tipo de publicación se refiere, el 48% fueron publicaciones en conferencias, el 40% publicaciones en revistas científicas, el 8% secciones de libros y el 4% tesis doctorales.

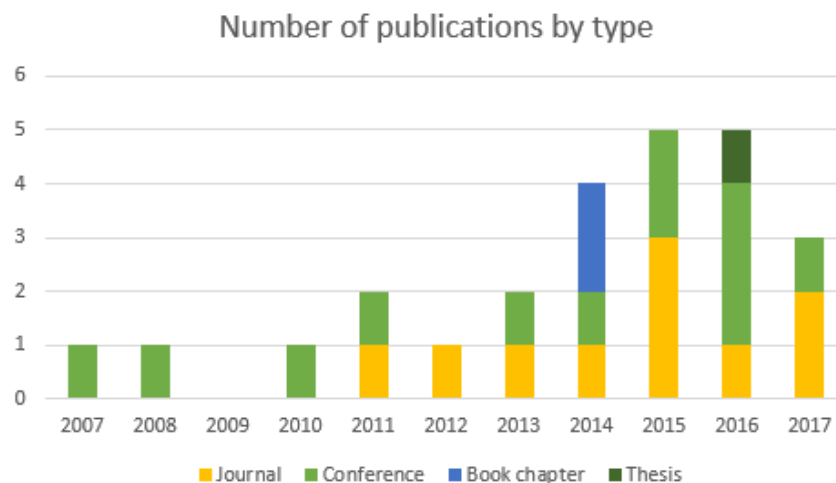


Figura 3.62: Número de publicaciones agrupadas por tipo.

Con respecto a la información demográfica, las publicaciones seleccionadas pertenecen a instituciones de 15 países diferentes (véase Figura 3.63). La mayoría de las propuestas fueron llevadas a cabo en Europa. De manera específica, el principal autor de 15 propuestas se encontraba afiliado en una institución europea (60%). Siete trabajos (28%) fueron desarrollados

por un autor que pertenecía a una institución americana, incluyendo América del Norte, América del Sur y América Central. Las tres propuestas restantes (12%) fueron efectuadas por una persona afiliada en una institución asiática.

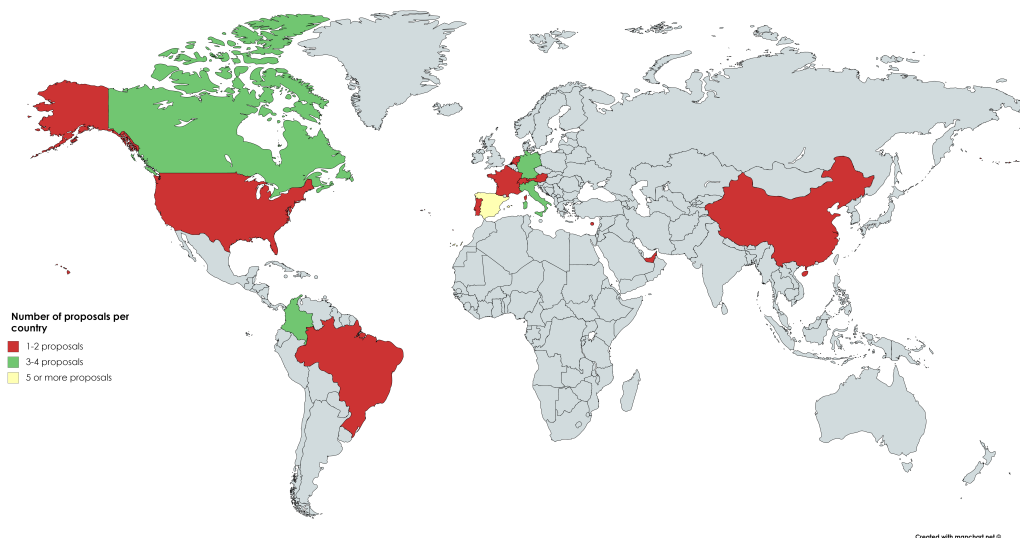


Figura 3.63: Número de propuestas por país.

Después de contextualizar las propuestas identificadas, se va a prestar atención a las dos primeras cuestiones de investigación. En consecuencia, las siguientes subsecciones describen los elementos involucrados y presentan los resultados de manera textual y gráfica.

3.5.2. RQ1: ¿Qué criterios permiten el análisis de los sistemas de recomendación y como se pueden evaluar estos criterios?

A lo largo de la revisión bibliográfica, se han encontrado muchas propuestas diferentes de sistemas de recomendación. Sin embargo, solamente unos pocos trabajos intentan analizar las características comunes de estos trabajos. A través de estas características, un sistema de recomendación puede ser más fácilmente evaluado o comparado con otros. Entre los trabajos más relevantes que analizan los criterios cabe resaltar la propuesta de Dascalu y colegas (2016). Esta propuesta analiza 14 criterios (descritos en la Sección 3.5). Además de los criterios propuestos en dicho trabajo, es importante enfatizar que el modelo de dominio es también una característica relevante ya que es la base de la mayoría de sistemas de recomendación. Este modelo establece la capacidad del sistema para ofrecer recomendaciones más o menos exhaustivas con un impacto significativo en la escalabilidad del sistema y en la velocidad de respuesta. En consecuencia, se ha llevado a cabo un análisis de los trabajos encontrados en esta revisión bibliográfica.

Generalmente, es una buena práctica comenzar con las características más generales y finalizar con las más específicas. Por consiguiente, se iniciará este análisis con la propiedad *tipo*. Tal y como se describe en la Sección 2.3, los sistemas de recomendación pueden ser clasificados como basados en contenido (CB), basados en demografía (DB), de filtrado colaborativo (CF), basados en conocimiento (KB), basados en utilidad (UB) o híbridos (H). Los sistemas de recomendación basados en contenido son muy comunes ya que son fáciles de desarrollar. En esta revisión bibliográfica, se han identificado cinco propuestas puras de sistemas basados en contenido (Serrano et al., 2013; Koch and Landes, 2014; Valentin et al., 2015; Torre and Torsani, 2016; Guan et al., 2017). Los sistemas de recomendación de filtrado colaborativo

son frecuentemente empleados en el área de aprendizaje ya que los estudiantes adquieren competencias análogas, encuentran recursos similares y cometen fallos similares. Un total de 4 de 25 sistemas de recomendación son de filtrado colaborativo puro (Aimeur et al., 2007; Santos and Boticario, 2008; Capuano et al., 2014; Bakhshinategh et al., 2017). Los sistemas de recomendación basados en conocimiento son también adecuados para el aprendizaje debido a la adaptación de estos sistemas a una situación particular. En esta revisión sistemática, cinco propuestas emplearon esta técnica de recomendación (Florian and Fabregat, 2011; Mao et al., 2015; Paquette, 2016; Emmenegger et al., 2016; Baneres and Conesa, 2017). En cambio, los sistemas de recomendación basados en utilidad son poco frecuentes en cualquier área. En concreto, en este estudio solamente la propuesta de Sielis et al. (2011) se basaba en este tipo de sistema. Finalmente, la mayor parte de los sistemas de recomendación identificados son híbridos ya que se benefician de dos o más técnicas de recomendación. Concretamente, seis propuestas combinan las técnicas de recomendación basada en contenidos y recomendación basada en filtrado colaborativo (Isaias et al., 2010; Cazella et al., 2014; Montuschi et al., 2015; Damiani et al., 2015; Wang, 2016; Duran et al., 2016), dos usan la combinación de técnicas basadas en contenido y técnicas basadas en conocimiento (Colomo-Palacios et al., 2012; Khobreh et al., 2013), una está basada en técnicas de filtrado colaborativo y basadas en conocimiento (Chavarriaga et al., 2014) y otra combina las tres técnicas (Rodriguez et al., 2015).

Otra característica general es el modelo de dominio. Depende de la cantidad y el tipo de información requerida (fuente y/o inferida) para las recomendaciones. A este respecto, las propuestas que desarrollaron sistemas de recomendaciones simples emplearon diferentes *datasets* (Damiani et al., 2015; Guan et al., 2017; Bakhshinategh et al., 2017). Otras propuestas emplearon bases de datos como modelo al requerir una mayor cantidad de datos (Aimeur et al., 2007; Santos and Boticario, 2008; Isaias et al., 2010; Manouselis et al., 2013; Serrano et al., 2013; Chavarriaga et al., 2014; Koch and Landes, 2014; Cazella et al., 2014; Mao et al., 2015). Una propuesta reciente incluye un almacén de datos como repositorio para la gestión de información (Baneres and Conesa, 2017). El resto de los sistemas de recomendación analizados usan ontologías. La Figura 3.64 ilustra la relación entre el tipo de sistema de recomendación y el modelo de dominio. La combinación más popular es la de sistema de recomendación híbrido con un dominio ontológico. Esta mezcla facilita la recomendación de múltiples elementos ya que se basa en el tipo y el modelo de dominio más completos y flexibles.

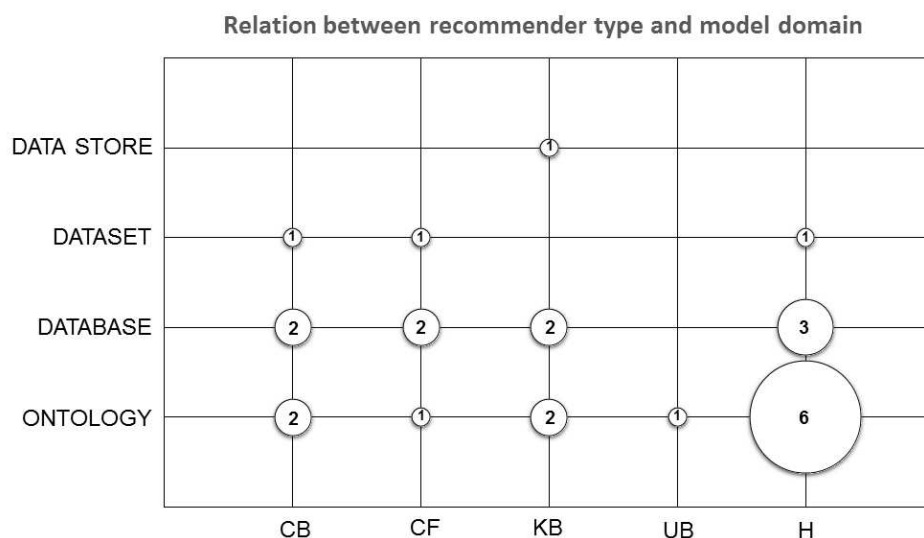


Figura 3.64: Relación entre el tipo de recomendación y el modelo de dominio.

Además de los dos criterios de evaluación anteriores, el dominio de aplicación también representa un criterio general. Mediante esta propiedad, se pretende identificar si el sistema de recomendación puede ser aplicado a cualquier dominio (general) o a un dominio específico. Además, si el sistema de recomendación admite solamente un dominio concreto, es interesante conocer cuál es ese dominio. En esta revisión, los dominios específicos han sido clasificados como: (1) salud, (2) lenguaje y música, (3) medios sociales y televisión y (4) empleo y trabajo en equipo. Los sistemas de recomendación en el ámbito de la salud son bastante populares (Graser et al., 2016; Ali et al., 2017). Sin embargo, en esta revisión bibliográfica solamente se ha encontrado un trabajo en el ámbito basado en competencias en el que se centra la investigación (Khobreh et al., 2013). En relación al área del lenguaje y la música, los sistemas de recomendación facilitan la elección de recursos. En este sentido, Mao et al. (2015) proponen un sistema de recomendación de canciones basado en competencias. Guan et al. (2017) proponen un sistema de recomendación de Karaoke y Torre y Torsani (2016) proporcionan a los usuarios un sistema de recomendación paso a paso para el aprendizaje de idiomas asistido por ordenador. En cuanto a los medios sociales y la televisión se refiere, Di Valentin et al. (2015) presentan un prototipo para recomendar contenidos en medios sociales y Duran et al. (2016) proponen un sistema para la recomendación de programas televisivos. Con respecto al empleo y al trabajo en equipo, cuatro propuestas han sido localizadas. Isaias y Casaca (2010) desarrollan un sistema de recomendación para asignar tareas de acuerdo con los recursos humanos disponibles. Más tarde, Damiani et al. (2015) estudiaron el impacto de los sistemas de recomendación en procesos de equipos. También Wang (2016) implementa un sistema de recomendación explotando diversas trazas colaborativas en un entorno colaborativo. Finalmente, Bañeres y Conesa (2017) proponen un sistema para promover la empleabilidad a través de la recomendación de mejoras de habilidades y conocimiento. El resto de las propuestas (60%) implementan un sistema de recomendación de dominio general. En consecuencia, su implementación no está limitada a un área específica. Un diagrama de tarta para ilustrar la frecuencia de cada tipo de dominio se muestra en la Figura 3.65.

RECOMMENDER SYSTEM DOMAIN

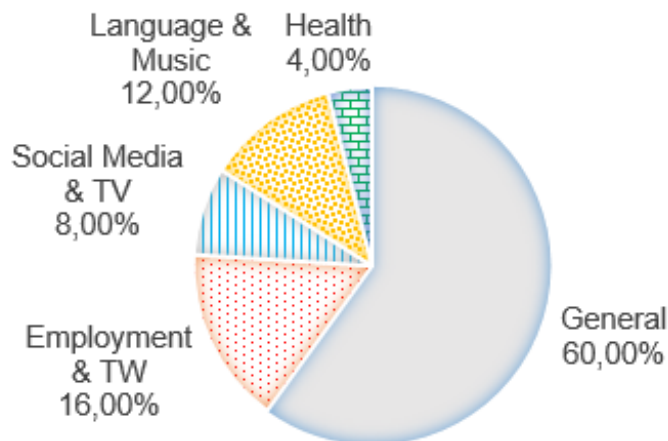


Figura 3.65: Dominio de los sistemas de recomendación.

Una de las características de cualquier sistema de recomendación es el usuario destino. En entornos de aprendizaje, la mayoría de las propuestas van dirigidas a (i) la persona que recibe el aprendizaje (por ejemplo estudiante, alumno, aprendiz) o (ii) a la persona que trasmite el aprendizaje (por ejemplo instructor, profesor, tutor). La mayor ventaja de una propuesta dirigida al estudiante es la interacción directa entre el sistema y la persona que se beneficia del proceso de aprendizaje. Sin embargo, su principal desventaja es la pérdida de control de las recomendaciones propuestas. El enfoque dirigido al profesor facilita que todos los estudiantes

puedan beneficiarse de las recomendaciones. No obstante, los instructores de cursos masivos podrían no gestionar adecuadamente tantas recomendaciones. Hay una tercera alternativa que consiste en proporcionar las recomendaciones a estudiantes e instructores. Este es el caso de dos de los trabajos analizados (Santos and Boticario, 2008; Valentin et al., 2015). Los autores de cuatro propuestas analizadas en esta revisión decidieron proporcionar recomendaciones únicamente al tutor (Isaias et al., 2010; Colomo-Palacios et al., 2012; Koch and Landes, 2014; Torre and Torsani, 2016). El resto de las propuestas van dirigidas al estudiante.

Con respecto a la implementación, se han pormenorizado tres características. La primera representa el grado de implementación del sistema: totalmente implementado, prototipo o teoría. En esta revisión, el 60% de los trabajos son prototipos y el 40% propuestas totalmente implementadas. En cuanto al nivel de integración, el 64% son sistemas independientes, el 32% se encuentran embebidos en otros sistemas y el 4% admiten ambos niveles de integración. Este último caso es la propuesta de Duran et al. (2016) cuyas recomendaciones pueden ser embebidas en la televisión o accesibles a través de una aplicación web. Acerca del tipo de acceso, se distinguen tres posibilidades: aplicaciones basadas en Web, aplicaciones de escritorio o ambas. Como se esperaba, todas las propuestas analizadas incluyen una aplicación web ya que facilita la comunicación entre el sistema de recomendación y los usuarios. Además del acceso *online*, dos propuestas incluyen un programa de escritorio (Mao et al., 2015; Duran et al., 2016). El diagrama de barras de la Figura 3.66 resume toda la información acerca de la implementación.

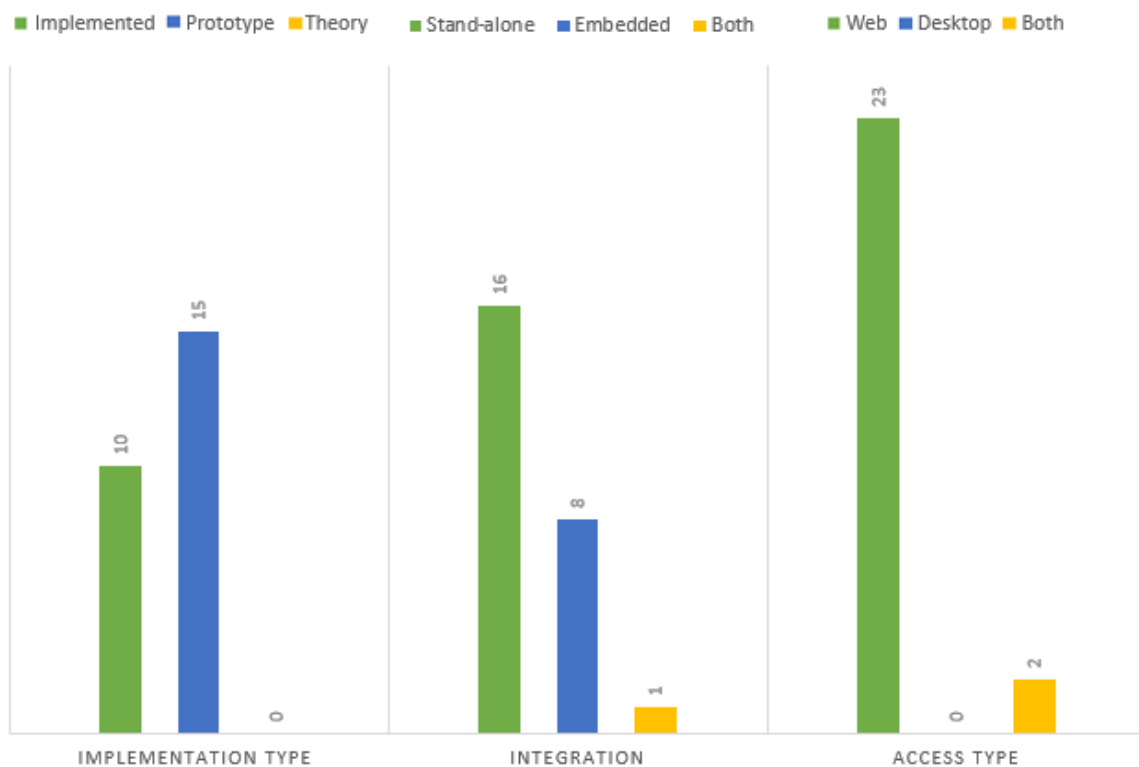


Figura 3.66: Implementación de los sistemas de recomendación.

Adicionalmente a los criterios previos, una de las características más atractivas de cualquier sistema de recomendación es su objetivo. Este criterio describe el sistema de recomendación y como se muestra (por ejemplo de manera individual, a través de una lista). En esta revisión sistemática, se agrupa la información en seis categorías de acuerdo al elemento de recomendación. La primera categoría reúne las propuestas que recomiendan, entre otros, a un usuario experto (Aimeur et al., 2007; Sielis et al., 2011; Emmenegger et al., 2016). La segunda categoría contiene los trabajos que recomiendan cualquier tipo de recurso. En este grupo existen propuestas de

recomendación de objetos de aprendizaje (Rodríguez et al., 2015), materiales de aprendizaje (Khobreh et al., 2013), recursos generales (Sielis et al., 2011; Valentin et al., 2015; Paquette, 2016) u otros (Torre and Torsani, 2016; Guan et al., 2017). La tercera categoría incluye las recomendaciones de cursos a partir de la información del estudiante, principalmente del perfil y las competencias (Koch and Landes, 2014; Montuschi et al., 2015; Baneres and Conesa, 2017; Bakhshinategh et al., 2017). La siguiente categoría está relacionada con la recomendación de distribución de tareas teniendo en cuenta las trazas previas (eventos, experiencia), el perfil y las competencias (Isaias et al., 2010; Colomo-Palacios et al., 2012; Damiani et al., 2015; Wang, 2016). La quinta categoría incorpora los trabajos que recomiendan competencias, objetivos o resultados de aprendizaje. Esta recomendación está basada en el perfil del estudiante (Aimeur et al., 2007) o en el estado de las competencias (Cazella et al., 2014). La última categoría abarca la recomendación de actividades o acciones. Los sistemas de recomendación de este grupo usan principalmente competencias e información del perfil para realizar la recomendación (Santos and Boticario, 2008; Isaias et al., 2010; Torre and Torsani, 2016). Toda la información previa se representa en la Figura 3.67, mostrando la relación entre las recomendaciones finales y los factores (perfil de usuario, competencias, trazas previas y otros) obtenidos en los trabajos analizados a lo largo de esta revisión.

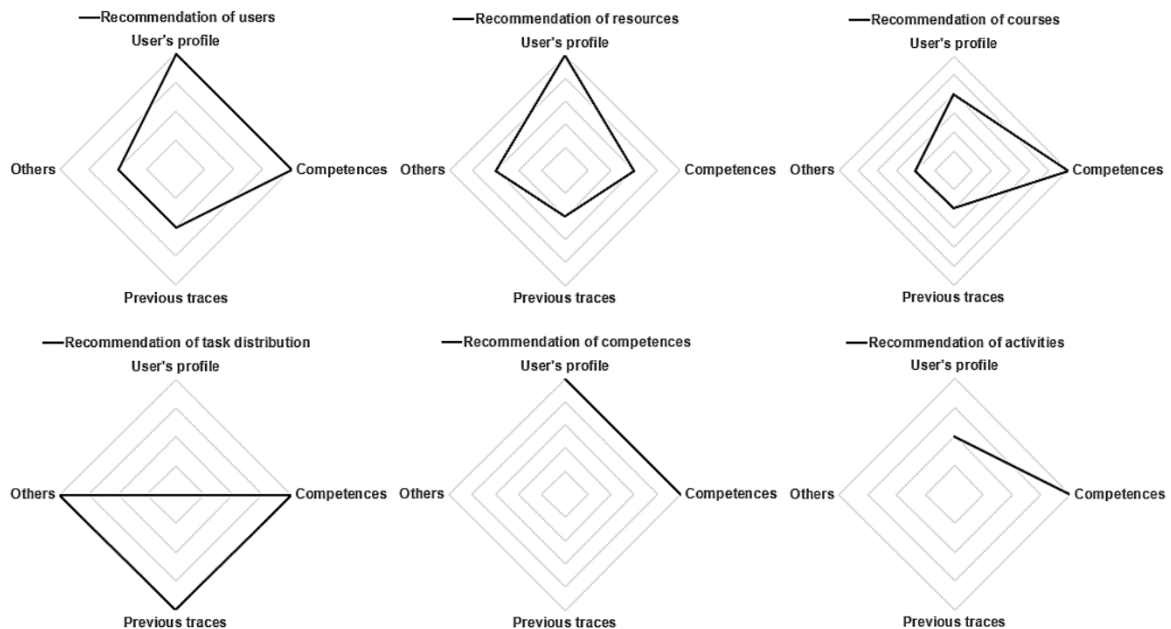


Figura 3.67: Recomendaciones a partir de las características.

Dos criterios estrechamente relacionados con el usuario son la *retroalimentación* y la *satisfacción*. El primero estudia si el usuario final proporciona al sistema información acerca de sus recomendaciones. En esta línea, solamente 5 de 25 propuestas incluyen esta funcionalidad para mejorar las futuras recomendaciones (Aimeur et al., 2007; Santos and Boticario, 2008; Cazella et al., 2014; Wang, 2016; Duran et al., 2016). La segunda evalúa la satisfacción del usuario con el sistema de recomendación. La mayoría de las propuestas analizadas no proporcionan información acerca de la opinión del usuario. Sin embargo, cinco trabajos consideraron este criterio. Sielis et al. (2011) pidió a los participantes que rellenaran dos cuestionarios que incluían seis preguntas a valorar en una escala de siete niveles obteniendo resultados prometedores. Bañeres y Conesa (2017) llevaron a cabo una encuesta incluyendo 5 preguntas a valorar en una escala de cinco niveles. Los resultados de este estudio se encuentran por encima de la media. Capuano et al. (2014) aplicaron un cuestionario de 13 preguntas basadas en una escala de cinco niveles para evaluar su sistema de recomendación obteniendo una media de 60.78 sobre 100.

Los autores consideran que este es un buen resultado ya que el sistema de recomendación es únicamente un prototipo. Florian y Fabregat (2011) realizaron una encuesta compuesta de cinco preguntas en una escala de 4 niveles. El nivel de satisfacción con las recomendaciones en esta encuesta fue de un 55 %. Santos y Boticario (2008) analizaron la experiencia del usuario teniendo en cuenta diferentes características. Un total de un 90 % de sus usuarios consideraron el sistema de recomendación muy útil. Además, ellos preferían (1) no recibir recomendaciones, (2) recibir recomendaciones acerca de estilos de aprendizaje o (3) recibir recomendaciones acerca de la accesibilidad.

Finalmente, el último conjunto de criterios relacionados con la primera cuestión de investigación evalúa la *cobertura*, el *riesgo*, la *robustez*, la *adaptabilidad* y la *escalabilidad*. Estos parámetros son evaluados en nivel bajo (-), nivel alto (+), o si un parámetro no está claro en el estudio, es identificado mediante un símbolo de interrogación (?). El valor de estos parámetros en todas las propuestas son mostrados en la Tabla 3.10.

Tabla 3.10: Características comunes en los sistemas de recomendación analizados.

RS	Cobertura	Riesgo	Robustez	Adaptabilidad	Escalabilidad
Sielis et al. (2011)	+	-	?	+	+
Bakhshinategh et al. (2017)	+	?	-	+	-
Baneres and Conesa (2017)	-	-	-	+	+
Chavarriaga et al. (2014)	+	+	+	-	+
Montuschi et al. (2015)	+	-	-	-	-
Duran et al. (2016)	-	+	?	+	-
Rodriguez et al. (2015)	+	-	+	+	+
Torre and Torsani (2016)	?	-	?	+	+
Koch and Landes (2014)	-	-	+	-	+
Valentin et al. (2015)	+	-	?	+	+
Khobreh et al. (2013)	?	-	?	+	+
Damiani et al. (2015)	+	?	?	-	+
Mao et al. (2015)	-	-	-	?	+
Paquette (2016)	+	-	?	+	+
Cazella et al. (2014)	?	+	+	+	?
Guan et al. (2017)	-	-	+	?	+
Capuano et al. (2014)	-	+	-	+	+
Aimeur et al. (2007)	+	-	?	+	?
Serrano et al. (2013)	+	-	+	-	-
Isaias et al. (2010)	+	+	?	+	+
Colomo-Palacios et al. (2012)	?	-	+	+	-
Wang (2016)	?	+	+	+	-
Florian and Fabregat (2011)	?	-	+	+	?
Santos and Boticario (2008)	?	-	+	+	+
Emmenegger et al. (2016)	?	-	+	+	?

3.5.3. RQ2: ¿Cuál es la naturaleza de las competencias en los actuales sistemas de recomendación basados en competencias?

A pesar de la realidad de que todas las propuestas examinadas en esta revisión son sistemas de recomendación basados en competencias, cada propuesta incluye competencias caracterizadas de un modo diferente. En consecuencia, la naturaleza de las competencias es evaluada a través de las siguientes preguntas:

1. *¿Tiene en cuenta el sistema de recomendación las taxonomías de competencias más generalizadas en la literatura en los meta-dominios cognitivo, afectivo, psicomotor, social o productivo?*

A día de hoy, existen múltiples clasificaciones de competencias. Una de las más populares considera meta-dominios. De acuerdo a esta clasificación, algunas de las propuestas analizadas abarcan solamente un fragmento del meta-dominio sin considerar ninguna taxonomía (Koch and Landes, 2014; Mao et al., 2015; Guan et al., 2017). Otras soportan diversos dominios (Colomo-Palacios et al., 2012; Cazella et al., 2014; Torre and Torsani, 2016) mediante los estándares IPMA⁸ o CEFR⁹. La mayoría de las propuestas permiten la definición de competencias en la mayoría de los meta-dominios. Por ejemplo, el EQF admite la definición de cualquier competencia y es empleado en los trabajos de Montuschi et al. (2015), Florian y Fabregat (2011), Chavarriaga et al. (2014), y Emmenegger et al. (2016). Las propuestas de Paquette (2016) y Wang (2016) usan la taxonomía de habilidades de Paquette que permite definir las competencias en los meta-dominios cognitivo, afectivo, psicomotor y social. El estándar RDCEO es el elegido por Duran et al. (2016) para modelar las competencias de todos los dominios. Otras propuestas no están basadas en taxonomías de competencias extendidas pero admiten competencias de diferentes meta-dominios, como por ejemplo las propuestas de Khobreh et al. (2013), Serrano et al. (2013), Valentin et al. (2015) y Bañeres y Conesa (Baneres and Conesa, 2017). El resto de las propuestas no proporciona suficiente información para conocer los meta-dominios incluidos en ellas.

2. *¿Cuándo son los estados de las competencias indicadores válidos del nivel de desempeño alcanzado por el estudiante?*

La evolución del estado de las competencias permite detectar anomalías o trastornos que puedan surgir durante el proceso de aprendizaje. Sin embargo, en muchas propuestas no es posible comprobarlo ya que esta información solo está disponible al final del proceso, es decir, no se mantiene un seguimiento del estado del progreso de las competencias (Colomo-Palacios et al., 2012; Serrano et al., 2013; Koch and Landes, 2014; Cazella et al., 2014; Montuschi et al., 2015; Damiani et al., 2015; Bakhshinategh et al., 2017). A pesar de las dificultades para gestionar información durante el proceso de aprendizaje, algunas propuestas facilitan las recomendaciones intermedias (Santos and Boticario, 2008; Sielis et al., 2011; Khobreh et al., 2013; Capuano et al., 2014; Chavarriaga et al., 2014; Rodriguez et al., 2015; Paquette, 2016; Torre and Torsani, 2016; Wang, 2016; Emmenegger et al., 2016; Duran et al., 2016). Finalmente, el resto de las propuestas no ofrece información respecto al estado de las competencias.

3. *¿Tiene en cuenta el sistema de recomendación información acerca del estado de las competencias para guiar al estudiante acerca de qué competencias requieren mayor atención para ser alcanzadas?*

Como se ilustra a lo largo de esta revisión, muchos sistemas de recomendación están basados en competencias. Sin embargo, solamente unos pocos consideran que no todas las competencias son igualmente importantes. Por ejemplo, Paquette (2016) implementa una metodología para primero valorar el nivel de competencia y segundo comparar el nivel esperado y el nivel actual del estudiante en dicha competencia. Esta idea ha sido implementada también por Wang (2016). Además de estos trabajos, las propuestas de Serrano et al. (2013) y Colomo-Palacios et al. (2012) también están listas para contemplar los niveles de competencias y en consecuencia, detectar las competencias más importantes para un estudiante en una actividad de aprendizaje específica.

4. *¿Evalúan los instructores las competencias en profundidad (nivel deseado, contexto, complejidad, alcance, etc.)?*

⁸<http://www.ipma-usa.org/>

⁹<https://www.coe.int/en/web/common-european-framework-reference-languages/>

Cada competencia puede ser alcanzada o no de diferentes modos. Por ejemplo, conducir un vehículo puede ser considerado una habilidad general, pero no es lo mismo cuando se conduce de noche, sobre una carretera nevada o en la ciudad. Por este motivo, es una buena práctica que los instructores describan con precisión los criterios necesarios para alcanzar una competencia incluyendo el número de intentos, el nivel de asistencia permitido, la necesidad de superar la competencia de manera parcial o total, etc. Solamente unas pocas propuestas proporcionan información respecto a estas características. El trabajo más destacado en referencia a esta idea es la propuesta de Paquette que identifica alcance, frecuencia, complejidad, autonomía y contexto como indicadores de desempeño para cada habilidad (Paquette, 2016). Montuschi et al. (2015) consideran que los resultados de aprendizaje pueden ser alcanzados con diferentes niveles de desempeño. Mao et al. (2015) miden las propiedades de los indicadores para evaluarlos. Por ejemplo, el valor del tono es obtenido a partir de la combinación de la escala de semitonos y la intensidad. Colomo-Palacios et al. (2012) clasifican las competencias de acuerdo al nivel de necesidad (esencial, deseable, no deseable).

5. *¿Cómo se establece de manera inicial el estado de las competencias?*

El problema más habitual relacionado con los sistemas de recomendación es su estado inicial. En cuanto a competencias se refiere, el estado inicial de estas puede obtenerse a través de un cuestionario (Colomo-Palacios et al., 2012; Cazella et al., 2014; Damiani et al., 2015; Mao et al., 2015; Guan et al., 2017). Otros sistemas de recomendación requieren que los estudiantes rellenen los datos antes de proporcionar cualquier recomendación (Aimeur et al., 2007; Paquette, 2016; Montuschi et al., 2015; Wang, 2016; Baneres and Conesa, 2017). Finalmente, el resto de los trabajos usa la información previa para proporcionar las recomendaciones. Si no existe información previa, estas propuestas se iniciarán con un sistema vacío hasta que cualquier información sea añadida.

6. *¿Tiene el sistema de recomendación en cuenta la participación activa de los estudiantes respecto a las competencias en el proceso de recomendación?*

Los estudiantes normalmente son los usuarios finales del sistema de recomendación, e incluso cuando las recomendaciones no van dirigidas directamente a ellos, son los usuarios que finalmente reciben las mejoras del aprendizaje. En consecuencia, muchos sistemas consideran la participación activa de los estudiantes en el proceso de recomendación. En estos casos, es posible la entrada de datos relacionados por el usuario. Por ejemplo, las competencias son introducidas manualmente por el usuario en la propuesta de Sielis et al. (2011). Bañeres y Conesa (2017) implementan un sistema que permite la introducción de habilidades. Las brechas de competencia son detectadas en el trabajo de Montuschi et al. (2015) analizando los resúmenes introducidos por los estudiantes. El sistema de recomendación de Paquette solicita a los estudiantes la introducción de su nivel de desempeño actual en el conjunto de competencias relacionadas con la actividad de aprendizaje. Fuertemente relacionado con esta última propuesta, Capuano et al. (2014) desarrollan un sistema en el cual los estudiantes pueden expresar sus necesidades formativas para mantener el control acerca de su aprendizaje. Otros trabajos contemplan la posibilidad de que los estudiantes evalúen la información. Por ejemplo, en la propuesta de Bakhshinategh et al. (2017), los estudiantes deben evaluar su mejora en los atributos (calidades, habilidades, etc.). Los criterios relacionados con las competencias cognitivas, sociales, afectivas y productivas de expertos son evaluados por los usuarios en el sistema HELP (Aimeur et al., 2007). Las recomendaciones de la propuesta de Wang son producidas de acuerdo con la evaluación de los recursos llevada a cabo por los usuarios (Wang, 2016). Finalmente, los estudiantes pueden evaluar su nivel de desempeño en diferentes experiencias de aprendizaje para obtener su nivel en distintos resultados de aprendizaje (Florian and Fabregat, 2011).

7. ¿El sistema de recomendación proporciona diferentes niveles de granularidad?

El nivel de detalle proporcionado por las recomendaciones es, en muchos casos, tan importante como las propias recomendaciones. Mientras los estudiantes frecuentemente necesitan consejos generales, a veces requieren recomendaciones más específicas. Para resolver este problema, algunos autores incluyen recomendaciones de diferentes niveles de granularidad. Chavarriaga et al. (2014) recomiendan la ejecución de actividades a diferentes niveles respecto a las competencias de los estudiantes. En esta propuesta, las recomendaciones pueden ser más generales como “lee el capítulo 3”, o más específicas como “lee las páginas 15-18”. Montuschi et al. (2015) analizan los resultados de aprendizaje requeridos y la disponibilidad del demandante de empleo para ofrecer más cursos generales como “introducción a la cocina” o más específicos como “barman”. A pesar de que ReSySTER recomienda finalmente formaciones de equipos, las competencias pueden ser definidas en diferentes niveles de granularidad (Colomo-Palacios et al., 2012). Por consiguiente, el nivel de detalle influye en la recomendación final. Santos y Boticario (2008) implementan uno de los sistemas más granulares. En este sistema, los usuarios pueden recibir recomendaciones para, por ejemplo, leer un recurso, un comentario, un archivo, un mensaje, una página de *FAQ*, consejos generales como “trabaja el objetivo” o recomendaciones específicas como “ver un modelo de usuario”.

3.6. Análisis crítico de la situación

Cuando se realiza un trabajo de investigación de este tipo, es necesario describir el estado actual de la cuestión así como realizar un análisis que permita la evaluación de trabajos previos en el ámbito específico de estudio, es decir, conocer sus ventajas e inconvenientes, evolución histórica y otros aspectos que permitan dilucidar las fortalezas y debilidades de cada propuesta para, basado en ella, poder enriquecer la propuesta presentada.

En el caso concreto de esta línea de investigación, conviene realizar diversos análisis críticos. El primero relacionado con el modelado del estudiante (véase Sección 3.1). El segundo centrado en los modelos de competencias (véase la Sección 3.2). El tercero orientado a rúbricas para evaluación de competencias (véase Sección 3.3). El cuarto enfocado a la comparativa de sistemas de recomendación en el aprendizaje (véase Sección 3.4). Y, el último, centrado específicamente en los sistemas de recomendación basados en competencias (véase Sección 3.6.5).

3.6.1. Análisis crítico del modelado del estudiante

Un análisis crítico de los diferentes modelados del estudiante descritos en la Sección 3.1 que ayude a extraer las cualidades positivas y negativas de dichos modelados, debe tenerse en cuenta. Este apartado se centra principalmente en lo relacionado con el perfil del estudiante aunque, tal y como se ha comentado anteriormente, aspectos como el estado del estudiante, entre otros, también forman parte del modelado.

La primera característica hace referencia a si el modelo es considerado un estándar. Un modelo estandarizado facilita la comprensión y estructuración por parte de los usuarios. Además, la extensión de estos modelos suele ser más simple ya que se encuentran habitualmente preparados para incorporar nuevas propiedades. Estos modelos estándar suelen ser llevados a cabo por expertos. Por consiguiente, no existirán propiedades duplicadas. Finalmente, estos modelos son empleados de manera más habitual por las instituciones por lo que será más frecuente encontrar los datos en un formato estándar que en otros.

La segunda de ellas engloba las categorías a las que hacen referencia las propiedades de cada uno de los modelados. Así, se han identificado 11 categorías: (1) identificación, (2) competencias,

(3) objetivos, (4) accesibilidad, (5) certificados, (6) transcripción, (7) actividad, (8) afiliación, (9) interés, (10) seguridad, (11) relaciones. Cabe resaltar que, además de incluir o no la categoría, es igualmente relevante la completitud de cada categoría permitiendo extender el modelado finalmente elegido con propiedades contempladas en otros modelados.

La Tabla 3.11 muestra un resumen de estas características para los modelados descritos en la Sección 3.1 y la Ontología del Estudiante a partir de la que se realiza este trabajo.

Tabla 3.11: Recopilación de las características de los modelados.

MODELADO	Estándar	Identificación	Competencias	Objetivos	Accesibilidad	Certificados	Transcripción	Actividad	Afiliación	Interés	Seguridad	Relaciones
IMS LIP (Global Learning Consortium, 2002)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
IEEE PAPI (IEEE, 2002)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	×	×	×	✓	✓
Dolog LP (Dolog, 2004)	×	✓	×	✓	✓	✓	✓	×	✓	✓	×	×
FOAF (Brickley and Miller, 2014)	×	✓	×	×	×	×	×	×	✓	×	×	✓
EduPerson	×	✓	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
StudentProfile (Clemente, 2011)	×	✓	×	✓	✓	×	✓	✓	×	✓	×	×

Una vez analizados los principales modelados del perfil del estudiante y de acuerdo con la información detallada en la Tabla 3.11, se ha decidido emplear IMS LIP para este proyecto puesto que: (1) es considerado estándar y (2) es, a priori, el modelado más completo. Sin embargo, en relación con el registro de la evolución del estudiante se ha decidido mantener tanto las ontologías «StudentState» como «StudentTrace» propias de la Ontología del Estudiante, ya que estas ontologías contienen información detallada de este proceso. Por lo tanto, será necesario llevar a cabo una adaptación de la ontología original para incorporar los elementos no contemplados del modelado del estudiante IMS LIP. Esta adaptación, que se considera muy interesante para disponer de más información que ayude en el diagnóstico o la recomendación, será descrita en el apartado 5.3.1.

3.6.2. Análisis crítico de los modelos de competencias

El primer paso para analizar los modelos de competencias descritos consiste en detectar las características clave de estos modelos. La primera característica a analizar está relacionada con los meta-dominios puesto que existen grandes discrepancias en los diferentes modelos. En este aspecto, dos son las preguntas clave: ¿Son los meta-dominios independientes o dependientes de las habilidades u objetivos? y ¿Qué meta-dominios se consideran en cada propuesta?

Estas preguntas adquieren especial relevancia sobre todo para posibles extensiones futuras de los modelos ya que la respuesta a ellas hará al modelo más o menos flexible, riguroso y completo.

Si el meta-dominio es independiente de las habilidades u objetivos, es decir, existen las mismas habilidades en diferentes meta-dominios, entonces el modelo será más flexible pudiendo representarse las mismas habilidades en diferentes dominios. Sin embargo, por un lado, la no existencia de alguna habilidad en todos los meta-dominios puede generar problemas de robustez (creación de objetos no válidos de ese tipo de habilidad en el sistema). Por otro lado, la obligatoriedad de que una habilidad esté representada en todos los meta-dominios puede suponer eliminar la posibilidad futura de añadir habilidades no contempladas haciendo que el modelo carezca de rigurosidad y completitud. Además, dicha obligatoriedad también dificultaría

la extensión con más meta-dominios en el futuro ya que habría que verificar que todas las habilidades u objetivos incluidos pueden aplicarse a los nuevos meta-dominios.

Si el meta-dominio es dependiente de las habilidades u objetivos, entonces la extensión del modelo con nuevos meta-dominios será muy sencilla; bastará con detectar las habilidades del nuevo meta-dominio e incorporarlas. A pesar de esto, el sistema será mucho más complejo ya que, o se permiten que varias habilidades u objetivos existan en diferentes meta-dominios o el modelo no será completo. No obstante, si se permiten varias habilidades u objetivos en diferentes meta-dominios, pero no todos ellos tienen las mismas habilidades, entonces la clasificación y comparación requerirá de fórmulas más complicadas.

Por otra parte, los meta-dominios identificados en los modelos influyen en la flexibilidad y completitud del modelo puesto que, cuantas más experiencias de aprendizaje de diferente tipología puedan ser representadas en el modelo, más flexible será. Cabe resaltar que en la actualidad existen modelos que incorporan meta-dominios no representados en las taxonomías analizadas, tales como el meta-dominio ético o el productivo ya que el aprendizaje no es algo exclusivo de la educación sino que se produce también en otros entornos como el laboral. Entre estos modelos destacan la taxonomía de competencias de CASAS¹⁰, Key Skills¹¹ o CPA Vision¹². A continuación, se muestra un resumen de la información sobre meta-dominios de los modelos analizados (véase Tabla 3.12).

Tabla 3.12: Comparación de los modelos de competencias en función del meta-dominio.

Modelo	Relación con habilidades	Meta-Dominio					
		Cogn.	Afect.	Psic.	Social	Ético	Prod.
Bloom	Dependiente	✓	✓	✓	×	×	×
Romiszowski	Independiente	✓	✓	✓	✓	×	×
Marzano	Dependiente	✓	✓	✓	×	×	×
Paquette	Independiente	✓	✓	✓	✓	×	×

La segunda característica de gran relevancia a tener en cuenta en este análisis es el conjunto de habilidades recogidas en cada modelo. En este sentido, cabe resaltar que, para esta comparativa, se han considerado equivalentes los conceptos de: objetivos (Bloom, Krathwohl, Harrow y Marzano), habilidades (Romiszowski) y competencias (Paquette).

Con el fin de ofrecer una visión pormenorizada de esta comparativa, se ha decidido representar la información a lo largo de diferentes tablas que contienen los datos agrupados por tipos de habilidades.

Asimismo, se han agrupado dichas habilidades en: recepción (aquellas destinadas a la obtención de información), reproducción (cuyo objetivo es manejar la información), producción (habilidades que generan más información a partir de los datos previos) y autogestión (cuyo propósito es gestionar el conocimiento adquirido).

La Tabla 3.13 muestra los datos relacionados con la recepción de la información. En esta categoría se han identificado las habilidades de *conciencia*, *identificación* y *comprensión*. Algunos modelos de competencias no tienen ninguna habilidad predefinida similar a las identificadas

¹⁰<https://www.casas.org/product-overviews/curriculum-management-instruction/casas-competencies>

¹¹<http://www.bbc.co.uk/keyskills/intro/1.shtml>

¹²<http://www.aicpa.org/RESEARCH/CPAHORIZONS2025/CPAVISIONPROJECT/Pages/default.aspx>

anteriormente, como por ejemplo, la taxonomía de Bloom, que no dispone de ningún objetivo equivalente a la conciencia¹³.

Tabla 3.13: Comparación de los modelos de competencias en función de las habilidades receptivas.

Recepción	Bloom	Krathwohl	Harrow	Romiszowski	Marzano	Paquette
Conciencia	×	Toma de conciencia	Movimientos reflejos	Atención	Recuperación	Prestar atención
Identificación	Recordar	×	×	Agudeza perceptual	Recuperación	Memorizar
Comprensión	Recordar	×	×	Discriminación perceptual	Recuperación	Memorizar

La Tabla 3.14 detalla la comparativa de los modelos en función de las habilidades reproductivas, esto es, las relacionadas con la ilustración, discriminación, explicación la transposición, traducción, uso o simulación de la información. Todas estas habilidades han sido sintetizadas en: especificación, transposición, y aplicación. Cabe destacar que las habilidades de reproducción tienen una gran relevancia ya que suelen ser las más abundantes en la mayoría de las experiencias de aprendizaje.

Tabla 3.14: Comparación de los modelos de competencias en función de las habilidades de reproducción.

Reproducción	Bloom	Krathwohl	Harrow	Romiszowski	Marzano	Paquette
Especificar	Comprender	Respuesta	Interpretar	Atención	Comprensión	Explicar
Trasponer	Aplicar	×	×	Recordar procedimiento o esquema	Aplicación	Trasponer
Aplicar	Aplicar	Valorar	Movimientos básicos fundamentales	Recordar procedimiento o esquema	Aplicación	Aplicar

La Tabla 3.15 es la encargada de ilustrar la comparativa de los modelos de competencias en función de las habilidades de producción. Dentro de esta categoría se han incluido las habilidades de analizar, reparar y sintetizar. En esta categoría es importante resaltar que, si bien es cierto que prácticamente ningún modelo incorpora una habilidad u objetivo similar al de reparar, esta habilidad podría estar considerada dentro del apartado de análisis.

Finalmente, la Tabla 3.16 ofrece la información de la comparación de los modelos de competencias en la última categoría, la autogestión. En esta categoría se han tenido en cuenta dos habilidades: la evaluación y el control. En esta categoría es importante resaltar que la habilidad de evaluación para el modelo de Harrow (habilidades físicas) ha sido considerada en este nivel ya que está estrechamente relacionada con pruebas que permiten evaluar el rendimiento de un estudiante en una disciplina (medir la resistencia del estudiante, evaluar la flexibilidad, etc.).

¹³El símbolo × representa la inexistencia de objetivos o habilidades equivalentes.

Tabla 3.15: Comparación de los modelos de competencias por habilidades de producción.

Producción	Bloom	Krathwohl	Harrow	Romiszowski	Marzano	Paquette
Analizar	Analizar	Valoración	Capacidades perceptivas	Análisis	Análisis	Analizar
Reparar	×	×	×	×	Análisis	Reparar
Sintetizar	Sintetizar	Organizar	×	Síntesis	Análisis	Sintetizar

Tabla 3.16: Comparación de los modelos de competencias en función de las habilidades de autogestión.

Autogestión	Bloom	Krathwohl	Harrow	Romiszowski	Marzano	Paquette
Evaluar	Evaluar	Caracterizar	Habilidades físicas	Evaluación	Metacognic.	Evaluar
Controlar	×	×	Mov. espec. y Com. no verbal	Iniciación, continuación y control	Autorregulación	Dominar

3.6.3. Análisis crítico de las rúbricas para la evaluación de competencias

En este tercer apartado del análisis crítico se pretende realizar una crítica constructiva de las fortalezas y debilidades de las rúbricas descritas en el apartado 3.3. A partir de esta crítica se identificarán los principios a seguir en la elaboración de rúbricas e ideas para ser aplicadas en la fase de experimentación como instrumento para la evaluación del desempeño del estudiante.

Como aspecto general, conviene mencionar que diferentes autores han argumentado que las rúbricas no son la panacea y muchas veces requieren de otros instrumentos de evaluación complementarios (Cockett and Jackson, 2018). También es habitual la crítica por la falta de validez y fiabilidades que se hacen en algunos trabajos (Reddy and Andrade, 2010).

A la hora de diseñar una rúbrica, independientemente de lo genérica o específica que sea, se debe tener especial precaución en la declaración de los niveles de desempeño. Muchos autores otorgan únicamente un valor numérico a cada nivel de desempeño, y eso, puede ocasionar malentendidos a los estudiantes u otros instructores. Si se ofrecen únicamente los valores numéricos en el nivel de desempeño, el estudiante puede ser incapaz de averiguar cuál es el nivel estándar que le permite superar el criterio. Adicionalmente, este sistema puede desencadenar errores de cálculo si, por ejemplo, los criterios se evalúan de manera ponderada. En cuanto a las nomenclaturas no numéricas empleadas por algunos autores, pueden ocasionar la falta de claridad en el establecimiento del nivel estándar. Este es el caso de, por ejemplo, la rúbrica desarrollada por Piedra y colegas (Piedra et al., 2010) donde se definen los niveles regular y bueno sin especificar qué nivel es equivalente al estándar.

Aunque el número de niveles de desempeño puede variar incluso en la misma rúbrica, creemos conveniente, en la medida de lo posible, mantener el mismo número de niveles para evitar confusiones o errores de cálculo. El número de niveles de desempeño depende directamente de los criterios e instructores y será correcto siempre que exista un nivel estándar y al menos un nivel inferior y un nivel superior. Un conjunto importante de las rúbricas analizadas definen cuatro niveles de desempeño equivalentes a: ausencia de desempeño, desempeño bajo, desempeño estándar y desempeño alto. Con el fin de facilitar las tareas de comprensión y evaluación,

consideramos adecuado que el número de niveles de desempeño sea, si es posible, tres o cinco. Esto se debe a que si el nivel intermedio es el estándar, la rúbrica es visualmente más clara. En caso de que el número de niveles elegido sea tres, estos pueden ser: desempeño bajo, desempeño estándar y desempeño alto. Si el número seleccionado es cinco, entonces los criterios pueden ser: ausencia de desempeño, desempeño bajo, desempeño estándar, desempeño alto y desempeño muy alto.

En cuanto a los criterios de desempeño se refiere, es importante destacar la posibilidad de que estos tengan un peso diferente en la rúbrica. De este modo, los estudiantes podrán detectar fácilmente cuáles son los criterios más relevantes a valorar en la experiencia de aprendizaje. Este peso debe ser fijo y es aconsejable expresarlo mediante un porcentaje para que el estudiante pueda detectarlo a simple vista. En ninguna de las rúbricas analizadas se indica este porcentaje. Esto probablemente se deba a dos factores: (1) las rúbricas descritas son, en su mayoría, genéricas y pueden ser empleadas en infinidad de experiencias de aprendizaje, (2) los instructores pueden definir las competencias que ellos consideren oportunas en cada una de las actividades y por tanto, un criterio puede ser más o menos relevante en función del instructor y la experiencia de aprendizaje.

Los diseñadores pueden definir una puntuación fija o un intervalo de puntos para cada nivel de desempeño de un criterio. Si bien es cierto que la actividad o el área pueden determinar esta decisión, en este trabajo se va a considerar el diseño mediante intervalos ya que consideramos que puede haber diferencias significativas en la calidad con la que dos estudiantes hayan realizado la misma actividad, incluso aunque hayan obtenido una valoración similar en cuanto a niveles de desempeño. Por ejemplo, en una rúbrica diseñada con tres niveles de desempeño obtendría el mismo nivel un estudiante que no realice la actividad que otro que esté rozando el desempeño estándar.

Si se analiza minuciosamente cada uno de los apartados definidos, es posible identificar competencias clave para ese apartado. A pesar de que nuestro objetivo no es diseñar una rúbrica genérica centrada en dicho apartado, alguno de los criterios definidos en las rúbricas sí pueden ser relevantes para este trabajo. Por este motivo se estudian a continuación estos criterios.

Respecto a las rúbricas de trabajo en grupo, cabe señalar los criterios de: actitud, resolución de conflictos, contribución, participación, responsabilidad, asistencia, iniciativa, planificación y liderazgo. La Tabla 3.17 compara los trabajos más relevantes de esta categoría.

Tabla 3.17: Comparación de los criterios en las rúbricas relevantes de trabajo en grupo.

Criterios	(Ekwaro-Osire and Orono, 2007)	(Merino, 2011)	(Chow et al., 2012)	(Vila Merino and Badia Miró, 2013)
Actitud	×	✓	✓	×
Res. conflictos	×	✓	✓	✓
Contribución	✓	✓	×	✓
Participación	✓	✓	×	✓
Responsabilidad	✓	✓	×	✓
Asistencia	×	✓	×	×
Iniciativa	✓	×	×	×
Planificación	✓	×	×	✓
Liderazgo	✓	×	×	×

En relación con la comunicación oral, se han identificado seis criterios fundamentales: organización, lenguaje, mensaje central, material de soporte, aspectos no verbales y adecuación. Estos criterios se muestran en la Tabla 3.18 para cada una de las rúbricas de esta categoría.

Tabla 3.18: Comparación de los criterios en las rúbricas más relevantes de comunicación oral.

Criterios	(Schreiber et al., 2012)	(Juárez Vives, 2013)	readwritethink	(Evans et al., 2015)
Organización	✓	✓	✓	✓
Lenguaje	×	✓	×	✓
Mensaje central	×	✓	×	✓
Material soporte	×	✓	×	✓
Aspecto no verbal	×	✓	✓	✓
Adecuación	✓	×	✓	×

En lo que respecta a la comunicación escrita, se han identificado siete criterios: organización, propósito, contenido, adecuación del estilo, correctitud, bibliografía y longitud. La Tabla 3.19 compara estos criterios en las rúbricas analizadas.

Tabla 3.19: Comparación de los criterios en las rúbricas relevantes de comunicación escrita.

Criterios	(Juárez 2013)	Vives, (Sundeen, 2014)	(Larkin, 2014)	(Evans et al., 2015)
Organización	✓	✓	✓	✓
Propósito	×	✓	×	✓
Contenido	×	✓	×	✓
Adecuación estilo	×	✓	×	✓
Correctitud	×	✓	✓	✓
Bibliografía	✓	×	✓	×
Longitud	✓	×	✓	×

3.6.4. Análisis crítico de los sistemas de recomendación

En este cuarto análisis crítico es necesario detectar las características a analizar de los sistemas de recomendación. En relación con esto, se tendrán en cuenta los criterios identificados por Dascalu y colegas (2016) descritos en la Sección 3.5 para realizar un análisis relativo a los sistemas de recomendación en el ámbito educativo.

En este documento se considera que estos criterios son totalmente adecuados para el análisis de los diferentes sistemas de recomendación aplicados al ámbito del aprendizaje, en general. Por lo tanto, estos criterios son los que se utilizarán para este estudio.

En este primer estudio de sistemas de recomendación no se ha analizado ningún sistema basado en contenido. Las Tablas 3.20 y 3.21 ilustran las características para los sistemas de recomendación basados en filtrado colaborativo. Por su parte, las Tablas 3.22 y 3.23 muestran las mismas características para los sistemas híbridos. Del resto de tipos de sistemas de recomendación no se han encontrado artículos especialmente relevantes relacionados con el aprendizaje. Cuanto mayor es el número de estrellas representadas en la celda correspondiente de la tabla, más alto es el nivel de la propiedad.

Tras analizar las características de los SR basados en filtrado colaborativo, es importante resaltar que la mayoría sufren de los mismos problemas. La cobertura es el mayor defecto siendo el problema de arranque en frío uno de los problemas más importantes en este sentido. Este problema cuenta con una solución aceptable para el SR de *Moodle* (donde solo los primeros usuarios sufren de este problema). La otra gran dificultad que sufren estos sistemas es la adaptabilidad puesto que si el número de usuarios es pequeño, la posibilidad de que otros usuarios similares hayan modificado sus intereses en la misma dirección es pequeña. En este

contexto, destacar LSRS que tiene en cuenta únicamente la situación actual y no los estados previos. Finalmente, cabe destacar que la mayoría pueden ser aplicados a cualquier dominio, se basan en Web y recomiendan recursos. Tanto la retroalimentación como el usuario al que se dirigen son variadas y la robustez, el riesgo y escalabilidad son generalmente aceptables.

Tabla 3.20: Características de los sistemas de recomendación de filtrado colaborativo.

Sistema de recomendación	Cobertura	Riesgo	Robustez	Adaptabilidad	Escalabilidad	Tipo implem.
Altered Vista (2003)	*	*	****	**	*	Individual
QSIA (2004)	**	**	***	**	****	Embebido
RACOFI (2005)	*	***	**	*	****	Embebido
Moodle (2007)	***	***	**	*	*****	Embebido
LSRS (2009)	**	***	***	****	****	Prototipo
ReMashed (2010)	**	***	****	**	*****	Individual

Tabla 3.21: Características de los sistemas de recomendación de filtrado colaborativo.

Sistema de recomendación	Dominio	Feedback al S.R.	Tipo de acceso	Objetivo recomendar	Satisfacción	Dirigido a
Altered Vista (2003)	Genérico	✓	Web	Recursos	****	Estudiantes, Profesores
QSIA (2004)	Genérico	×	Web	Recursos	n/a	Estudiantes, Profesores
RACOFI (2005)	Genérico	×	Web	Recursos	n/a	Estudiantes, Profesores
Moodle (2007)	Genérico	×	Web	Actividades	n/a	Estudiantes
LSRS (2009)	Genérico	✓	Web	Actividades, cursos	***	Estudiantes
ReMashed (2010)	Específico	✓	Web	Recursos	***	Estudiantes

Los sistemas híbridos son en su mayoría genéricos, dirigidos a estudiantes y su tipo de acceso es Web. Su mayor problema es la escalabilidad puesto que tratan con un mayor volumen de información. Sin embargo, Cyclades, Courserank o ISIS manejan bien esta característica. Una de las grandes diferencias es el objetivo para el que fueron creados dado que permiten recomendar recursos, cursos, actividades o comunidades (véase Tabla 3.23). Si se comparan los dos tipos de sistemas (colaborativo e híbrido) es posible encontrar las diferencias lógicas, por lo que antes de desarrollar un sistema es importante tener en consideración estas características.

Tabla 3.22: Características de los sistemas de recomendación híbridos.

Sistema de recomendación	Cobertura	Riesgo	Robustez	Adaptabilidad	Escalabilidad	Tipo implem.
Cyclades (2005)	****	**	****	****	****	Embebido
LORM (2006)	*	*	****	****	*	Prototipo
Courserank (2008)	*****	***	****	**	****	Embebido
ISIS (2009)	****	***	****	***	****	Independiente
RPL (2009)	****	***	***	****	***	Independiente
Protus (2012)	***	*	****	***	**	Embebido
EmployLeaP RS (2016)	****	**	****	***	**	Embebido

Tabla 3.23: Características de los sistemas de recomendación híbridos.

Sistema de recomendación	Dominio	Feedback	Tipo de acceso	Objetivo	Satisfacción	Dirigido a
Cyclades (2005)	Genérico	✓	Web	Recursos	n/a	Estudiantes
LORM (2006)	Genérico	×	Web	Recursos	n/a	Estudiantes
Courserank (2008)	Genérico	✓	Web	Cursos	*****	Estudiantes
ISIS (2009)	Genérico	×	n/a	Actividades	n/a	Estudiantes
RPL (2009)	Genérico	×	Web	Recursos	n/a	Estudiantes
Protus (2012)	Genérico	×	Web	Visualización recursos	n/a	Estudiantes, Profesores
EmployLeaP RS (2016)	Genérico	×	Web	Comunidades	***	Estudiantes

Una vez analizados todos los sistemas de recomendación educativos se debe hacer especial hincapié en las fortalezas y debilidades actuales. De este modo, se estudia la incorporación de las características más beneficiosas en el sistema de recomendación que se pretende diseñar en este trabajo y se buscan soluciones a los problemas más comunes.

Lo primero que se observa es que la gran mayoría de sistemas de recomendación tiene como meta la recomendación de recursos. Este propósito se basa en la idea de que existe una ingente

cantidad de recursos en la red, incluso en varios formatos (texto, audio, vídeo, juego, etc.). Si se recomiendan aquellos con mejor valoración, que mejor se adaptan al usuario o que han proporcionado buenos resultados en la actividad, el resultado puede ser prometedor. El mayor inconveniente de esta idea radica en que los materiales, sobre todo en algunas ramas, pueden quedarse fácilmente obsoletos por lo que su buen funcionamiento en el pasado podría no ser de utilidad en el presente. Si en lugar de recomendar elementos disponibles en todo Internet, se aconseja entre un conjunto de recursos controlado (por ejemplo recursos disponibles en una plataforma virtual), entonces el sistema de recomendación será probablemente más ligero.

Casi todos los sistemas de recomendación restantes tratan de recomendar actividades. Este enfoque parece, a priori, más idóneo para el sistema de aprendizaje basado en competencias a desarrollar en este trabajo ya que, las actividades están asociadas con competencias y no así los recursos. Dichos sistemas recomiendan las actividades de acuerdo a la actividad previa o a las actividades llevadas a cabo por estudiantes previos. No obstante, la recomendación basada en competencias puede ser también de gran utilidad ya que: en primer lugar, es más objetiva (las competencias son medibles), en segundo lugar, permite analizar si las experiencias de aprendizaje producen el efecto deseado en el estudiante (adquisición de competencias), y en tercer lugar, va en consonancia con la meta del aprendizaje basado en competencias (el estudiante adquiere las competencias deseadas con la mayor calidad posible).

Lo siguiente a tener en cuenta es la implementación del sistema de recomendación. La gran mayoría de sistemas actuales son diseñados para que el usuario acceda a través de Internet. Esto ofrece un gran abanico de posibilidades permitiendo el acceso a cualquier usuario desde diferentes dispositivos y siempre con la información actualizada. Todos los sistemas de recomendación analizados han sido diseñados para su uso mediante Internet y la propuesta ofrecida en este trabajo sigue las mismas pautas. En cambio, la parte de almacenamiento de la información sí ofrece diferentes alternativas. Algunos sistemas de recomendación optan por la utilización de bases de datos por su simpleza, como por ejemplo Altered Vista o QSIA. Las bases de datos cumplen con una de las funcionalidades más importantes, el almacenamiento de la información. Sin embargo, se debe tener especial precaución en la incorporación de nuevas propiedades y en la modificación de características ya disponibles en el sistema que pueden ocasionar errores. Asimismo, las bases de datos no permiten la inferencia de conocimiento de manera automática sino que es necesaria la incorporación de un sistema de reglas externo.

Por estos motivos, una gran cantidad de sistemas de recomendación hace uso de ontologías. Las ontologías mantienen la funcionalidad de almacenamiento de datos y añaden la posibilidad de inferencia y la facilidad de extensibilidad. También, cabe destacar que las ontologías pueden fácilmente combinarse con otras añadiendo mayor funcionalidad al sistema. En este proyecto se pretende emplear ontologías ya existentes con ligeras modificaciones para adaptarlas precisamente para este sistema de recomendación. En este sentido, ontologías independientes como la red modular de ontologías del estudiante, el modelo de competencias de Paquette o la ontología de rúbricas pueden combinarse para aportar una amplia fuente de información al sistema de recomendación propuesto.

El tercer aspecto a tener en cuenta es el análisis de los problemas más habituales de los sistemas de recomendación para tratar de solventarlos. Sin duda, el problema por excelencia de estos sistemas es el denominado *cold start problem*. Este problema surge cuando no existe información acerca del usuario o sobre el recurso a recomendar. Algunos sistemas de recomendación no proponen ninguna solución, sino que restringen completamente la aplicación del sistema de recomendación hasta que existan datos. Otros sistemas optan por ofrecer una solución de compromiso, es decir, proponen la recomendación de un recurso (habitualmente

básico o popular) de manera inicial hasta que existan datos relevantes para el sistema de recomendación. Un tercer conjunto de sistemas obliga al usuario a realizar una serie de tareas de manera inicial para así disponer de información inicial. Estas tareas pueden variar desde el completado de un perfil hasta la realización de un test básico.

En este trabajo se pretende realizar recomendaciones de acuerdo a las competencias. Para ello, es estrictamente necesario definir previamente las competencias asociadas a la experiencia de aprendizaje. Esta tarea es habitual en el aprendizaje basado en competencias por lo que no supone un esfuerzo añadido. Asimismo, el problema de arranque en frío para nuevos elementos en esta propuesta quedará reducido a la mínima expresión. Por otra parte, los nuevos usuarios tampoco deben suponer un problema ya que: (1) en caso de que sea imposible obtener datos del usuario de ninguna forma, se puede suponer que el usuario no dispone de ninguna competencia adquirida y por tanto el estado de todas las competencias sería falso, (2) en caso de que sea posible obtener información mediante el desarrollo de alguna tarea, el usuario podrá disponer de un perfil inicial más realista lo que permitiría recomendaciones más fiables.

El último aspecto a destacar consiste en determinar a quién debe ir dirigida la herramienta de recomendación. La mayoría de las propuestas analizadas proporcionan la recomendación de manera directa a los estudiantes. Esta idea es probablemente la más adecuada sobre todo para los cursos masivos en línea y abiertos donde hay muchos estudiantes (*MOOCs*). Si el número de estudiantes es reducido, puede ser interesante la recomendación intermedia de los elementos también al profesor. Este paso intermedio permite verificar que las recomendaciones son las aconsejadas también por el instructor. Por este motivo, se propone en este trabajo que la recomendación ofrecida pueda ir dirigida tanto al profesor como al estudiante.

3.6.5. Análisis crítico de sistemas de recomendación basados en competencias

Una vez realizado el análisis crítico de los sistemas de recomendación basados en el aprendizaje en general, se procede ahora a profundizar en aquellos basados en competencias puesto que es uno de los puntos clave de esta investigación. Para ello, se enfoca este análisis en las preguntas de investigación mencionadas en la Tabla 3.6, es decir, la evaluación de criterios, la naturaleza de las competencias y los desafíos emergentes.

Con respecto a la evaluación de criterios, las propuestas basadas en competencias deben afrontar las principales dificultades de cualquier sistemas de recomendación (por ejemplo problema del arranque en frío, sobreespecialización u oveja negra). En esta línea, el modelo de dominio adquiere especial relevancia. Cuanta más importante sea la información acerca del estudiante que tenga el sistema, mayor será el número de recomendaciones que este pueda proporcionar. En este aspecto, las ontologías pueden ser consideradas el mejor instrumento para almacenar la información del estudiante porque: (1) pueden ser fácilmente extendidas si se incorpora nueva información sobre el estudiante, (2) se basan en la información registrada que facilita el razonamiento mediante reglas y muchas herramientas para su gestión, (3) incluyen las mismas ventajas que otras técnicas de modelado como bases de datos o *datasets*. La mayoría de los autores están de acuerdo con esta idea, y en consecuencia, muchas de las propuestas están basadas en ontologías. Sin embargo, el alcance de las ontologías varía enormemente entre los diferentes estudios y propuestas.

El tipo del sistema de recomendación es también un factor determinante ya que, por ejemplo, los sistemas basados en contenidos frecuentemente sufren de los problemas de arranque en frío y sobreespecialización. El problema de arranque en frío es habitualmente resuelto proporcionando

de manera previa la información necesaria (Serrano et al., 2013) y la sobreespecialización puede ser resuelta teniendo en cuenta la información fácilmente voluble como el perfil del estudiante. Por su parte, los sistemas de recomendación de filtrado colaborativo pueden sufrir de manera más habitual los problemas de arranque en frío, dispersión, oveja negra y oveja gris. Como resultado, la *cobertura* y *escalabilidad* son, a menudo, dos propiedades afectadas en dichos sistemas. Las propuestas analizadas confirman esta suposición ya que sus debilidades están relacionadas con estos problemas. Los sistemas basados en conocimiento requieren un esfuerzo inicial para conseguir recomendaciones de calidad. Por ejemplo, una consulta muy específica puede proporcionar un conjunto vacío de elementos y, además, deben afrontar el problema de la sobreespecialización. Como se identifica en esta revisión, las propiedades más afectadas en los sistemas basados en conocimiento son la *cobertura*, *robustez* y *escalabilidad*. Finalmente, el principal problema de los sistemas de recomendación híbridos es el relacionado con la escalabilidad. Estos sistemas combinan dos o más técnicas y el procesamiento de la información es más lento que en el resto de las técnicas. En consecuencia, estos sistemas pueden sufrir si la cantidad de información a procesar es demasiado alta. La mayoría de los enfoques híbridos analizados usan modelos de datos ontológicos porque la información registrada puede ser automáticamente inferida, y, por tanto, la escalabilidad es mejorada.

A continuación se hace hincapié en la naturaleza de las competencias en los sistemas de recomendación. A este respecto, las competencias pueden ser alcanzadas en actividades de aprendizaje formales o informales y pueden abarcar cualquier meta-dominio. Por ejemplo, “ser capaz de tomar buenas decisiones” es una competencia productiva relacionada con el liderazgo que puede ser alcanzada en una experiencia de negocio y “ser capaz de aplicar el teorema de Pitágoras para encontrar la longitud de un lado del triángulo” es una competencia cognitiva que, a menudo, puede ser alcanzada durante la resolución de problemas matemáticos. Por esta razón, un sistema de recomendación basado en competencias debería ser capaz de tener en cuenta objetivos, competencias o resultados de aprendizaje en cualquier posible meta-dominio. En este contexto, el uso de estándares como IMS RDCEO o EQF para modelar competencias facilita la comprensión y extensión de los sistemas de recomendación.

También es importante discutir la relevancia del proceso de evaluación en los sistemas de recomendación basados en competencias. Tal y como se comenta en el apartado 2.1.2.3, la mayoría de los autores distinguen tres tipos de evaluación: de diagnóstico, formativa y sumativa. A este respecto, debe mencionarse que la evaluación de diagnóstico reduce el problema del arranque en frío, pero las recomendaciones son menos fiables ya que la información disponible es más limitada. Aunque una evaluación formativa adecuada requiere llevar a cabo una monitorización o mantener una traza del progreso del estado de las competencias para cada estudiante y, esto suele conllevar el registro de la traza de estos estados en el modelo de datos y una complejidad adicional para inferir el estado del objetivo para cada estudiante, su uso es significativo si el sistema de recomendación es adaptable a diferentes entornos de aprendizaje como entornos virtuales inteligentes (Clemente et al., 2014). Finalmente, las evaluaciones sumativas ayudan a detectar las causas de los problemas pero solamente cuando las actividades de aprendizaje finalizan. En consecuencia, la combinación de los tres tipos de evaluación puede ser beneficiosa para el proceso de aprendizaje.

Con respecto a la evaluación formativa es importante señalar que es a través de rúbricas. Además, la evaluación puede ser obtenida mediante el análisis del estado de los objetivos del estudiante al principio, durante y al final de la experiencia de aprendizaje. Considerando esta última evaluación complementaria, información más específica acerca del estado de conocimiento del estudiante puede ser obtenida, pero esto conlleva las complejidades mencionadas previamente (inferir el estado de los objetivos para cada estudiante y registrar la información de las trazas). La

combinación de ambas evaluaciones, a través de rúbricas y a través del estado de los objetivos, es un desafío real para los sistemas basados en competencias y su aplicación proporcionaría diferentes niveles de granularidad en las recomendaciones.

Después de estudiar las propuestas seleccionadas, los desafíos comunes relacionados con los sistemas de recomendación así como los desafíos emergentes respecto a las recomendaciones basadas en competencias deberían ser analizados para mejorar la calidad de los sistemas de recomendación. El primer desafío a analizar comprende la recomendación de elementos de acuerdo a diferentes niveles de granularidad. En este sentido, la flexibilidad de los sistemas de recomendación debería proporcionar retroalimentación en fases tempranas para que el tutor o el estudiante puedan afrontar las dificultades, problemas, conflictos o desviaciones que puedan surgir durante el proceso de aprendizaje.

Otros desafíos se refieren a la evaluación del nivel de desempeño de competencias de un estudiante a través del proceso de aprendizaje completo. Los usuarios pueden demostrar diferentes niveles de desempeño respecto al conocimiento o habilidad dependiendo del contexto, complejidad o estado de competencias del estudiante. Por ejemplo, en cualquier momento, un estudiante puede estar distraído y ejecutar incorrectamente una acción relacionada con una habilidad que él domina, o puede estar nervioso y olvidar un concepto o puede trabajar duro y alcanzar una nueva competencia por el mismo. Por consiguiente, tres desafíos emergentes surgen a partir de la evaluación de competencias. El primero consiste en analizar cómo una competencia puede ser evaluada, es decir, los parámetros que influyen en la evaluación de competencias (Paquette, 2016). El segundo consistiría en determinar como el nivel de desempeño del estudiante en una competencia puede ser una fuente crucial de información para proporcionar recomendaciones. Finalmente, el tercer desafío emergente se enfoca en cómo el estado de las competencias requiere ser adecuadamente medido durante el proceso de aprendizaje, al igual que validar tal valoración.

Tales desafíos han motivado este trabajo consistente en el desarrollo de un prototipo de herramienta de recomendación basada en competencias. Con la implementación de este prototipo se pretende ofrecer alternativas a algunos de los desafíos recientemente descritos relacionados con el aprendizaje y, en definitiva, impulsar la mejora del proceso de aprendizaje.

4

Planteamiento del problema y supuestos del trabajo

En este capítulo se expone inicialmente la motivación por la que se desarrolla este trabajo. A continuación, se establecen los objetivos a alcanzar y los requisitos del trabajo. Seguidamente, se fijan las premisas que serán asumidas en el transcurso del trabajo. Posteriormente, se plantean las hipótesis a contrastar. Finalmente, se plantea la solución y se fijan las restricciones del trabajo.

4.1. Motivación

El mundo de Internet ha impulsado la rápida evolución de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) proporcionando un sinnúmero de posibilidades para la educación tales como la incorporación de sistemas de gestión de aprendizaje (*LMS*, por sus siglas en inglés), la creación de cursos masivos en línea (*MOOCs*, por sus siglas en inglés), el desarrollo de Entornos Virtuales Inteligentes para el Entrenamiento o Formación (*EVIE*), el aprendizaje a través de juegos (*GBL* por sus siglas en inglés), la creación de plataformas de aprendizaje social desde dispositivos móviles, etc. La rápida evolución en el campo Educativo ha promovido la creación de experiencias de aprendizaje basadas en nuevas infraestructuras, metodologías, estrategias, teorías y herramientas de aprendizaje capaces de proporcionar valores añadidos, así como mejorar el aprendizaje de los estudiantes ([Hsu and Ching, 2015](#)). Asimismo, estos avances también han proporcionado una cantidad de recursos inmensa e incluso la recolección de información sobre el proceso de aprendizaje del alumno en tiempo real.

Las actividades son rediseñadas por los profesores de manera habitual para adaptarse a los nuevos usuarios, tecnologías, escenarios, propuestas, etc., con la intención de mejorar el proceso de enseñanza/aprendizaje. El proceso de rediseño de una actividad basada en competencias puede ser bastante complejo debido a que: (1) en general, se realiza antes del inicio del curso y, por consiguiente, podría no disponerse de información referente a los alumnos, (2) deben analizarse las competencias existentes en la actividad para comprobar si es necesario añadir, modificar o eliminar alguna, (3) si una competencia debe ser añadida o modificada deberá estudiarse con cautela (nivel, condiciones de alcance) para comprobar que esta es adecuada para la actividad y en qué condiciones, (4) si la actividad tiene asociado cualquier recurso (instrumento de evaluación, enunciado, material), este debe ser actualizado para ajustarse a las nuevas condiciones. Todas estas circunstancias implican que el diseño de una actividad en muchos casos no sea adecuado porque no exista correlación entre el nivel de los alumnos, la actividad planteada, las competencias a alcanzar y los recursos ofrecidos.

A partir de la información anterior es posible suponer que, si para realizar este proceso se siguen unas pautas que permitan definir y caracterizar las competencias entonces, la información que se recoja de los alumnos no solamente indicará qué competencias han alcanzado, o no, sino que puede ofrecer una mayor información sobre las posibles causas por las que no se logre alguna de ellas. A partir de ello, el profesor podría recomendar a los estudiantes competencias o actividades más adecuadas a su estado de aprendizaje actual, además de rediseñar la actividad

para su próximo uso ajustando las características de las competencias o los recursos en base a los resultados obtenidos. No obstante, el estudio del estado de la cuestión ha revelado que el proceso de recomendación de competencias no es trivial, ya que requiere el empleo de un modelo bien definido que permita registrar la información del usuario y las competencias. Muchos sistemas simplifican en exceso este modelo en aras de reducir la complejidad del sistema, lo que impide el aprovechamiento de mucha información potencial y, en definitiva, conlleva la pérdida de conocimiento por parte del sistema. Esto último implica, en muchos casos, limitaciones acerca del instante en el que se lleva a cabo la recomendación (frecuentemente, al finalizar la actividad) y del tipo de recomendación ofrecida (habitualmente, recursos).

De la misma forma, ninguna de las propuestas analizadas en el estado del arte presenta una taxonomía de criterios que permita la categorización de recomendaciones. La creación de una taxonomía facilita la reusabilidad y la capacidad de extensión del recurso. Para lograr estos objetivos, propuestas como la de Clemente (2011) presentan, a nivel de diagnóstico, patrones de reglas que puedan ser aplicadas a cualquier experiencia de aprendizaje en lugar de reglas específicas de la propia actividad. Estas pequeñas pinceladas, entre otras, del estado actual relativo a este campo, inducen a pensar en el amplio abanico de mejoras todavía latentes en el ámbito de los sistemas de recomendación.

Las limitaciones indicadas en esta sección junto con las posibilidades de mejora representan la principal motivación de este trabajo, con el que se pretende, a partir de las ventajas de los sistemas de recomendación analizados, desarrollar un prototipo de sistema basado en competencias capaz de ofrecer recomendaciones antes, durante y después de la actividad acerca de acciones, competencias, indicadores de desempeño del alumno, recursos, resultados, etc.

4.2. Objetivos

Este trabajo pretende mejorar el proceso de recomendación basado en competencias, tanto a profesores como a estudiantes, mediante el uso de reglas. A partir de la meta que trata de alcanzarse en este trabajo, se extraen los siguientes objetivos específicos:

- **O1.** *Desarrollar un Modelo del Estudiante flexible que permita expresar un amplio rango de información acerca del proceso de aprendizaje.*

Esta información permitirá al tutor: (1) establecer con mayor precisión los objetivos o competencias que el alumno debe alcanzar para superar una experiencia de aprendizaje, (2) diagnosticar las posibles causas por las que un estudiante no ha superado dicha experiencia de aprendizaje y (3) ofrecer recomendaciones al estudiante en base a su perfil, estado y traza de aprendizaje. Para el desarrollo del modelo se deberá tener en cuenta información de: el estudiante, la experiencia de aprendizaje, los objetivos o competencias y los instrumentos de evaluación.

- **O2.** *Desarrollar un Modelo del Estudiante conforme a estándares y/o recursos de reconocido prestigio para facilitar su reutilización y aprendizaje.*

La finalidad de este objetivo es desarrollar un Modelo del Estudiante flexible y basado en otras propuestas de gran repercusión para disponer de un amplio modelo que contemple de manera contrastada las relaciones entre las entidades definidas así como sus propiedades. Asimismo, es importante considerar posibles extensiones para respaldar futuras adaptaciones del modelo.

- **O3.** *Desarrollar un prototipo de sistema de recomendación flexible y fácilmente adaptable a diferentes entornos, tales como EVIEs, MOOCs o LMS.*

Este objetivo ha de validarse a través de diferentes casos de estudio en los que se propongan actividades de diferente índole y cuyo desarrollo sea llevado a cabo a través de diferentes entornos. En concreto, el prototipo de sistema de recomendación debe poder ser aplicado a una actividad llevada a cabo en un entorno virtual, a una actividad propuesta en una plataforma de gestión de aprendizaje y a una actividad desarrollada en un curso masivo. Además, el prototipo debe ofrecer flexibilidad relativa al instante en el que ofrece la recomendación (antes, durante o después del desarrollo de la actividad por parte del estudiante) y en cuanto al tipo de recomendación ofrecida (acciones, competencias, indicadores de desempeño, actividades, materiales, etc.).

- **O4.** *Desarrollar un prototipo de sistema de recomendación centrado en las competencias que ofrezca recomendaciones de diferente nivel de granularidad.*

En este trabajo se ha considerado, como elemento clave del prototipo de sistema de recomendación las competencias. Por consiguiente, estas deben formar parte fundamental del modelado y del sistema de recomendación. Para aprovechar el máximo potencial de este elemento, es necesario establecer las relaciones existentes con las acciones del estudiante y las actividades. De este modo, se podrán ofrecer recomendaciones de grano fino (concerniente a las acciones), de grano medio (relacionadas con las competencias) y de grano grueso (relacionadas con las actividades).

4.3. Requisitos

A continuación se exponen los requisitos necesarios que debe cumplir la solución propuesta:

- **R1.** Representación de una taxonomía amplia de objetivos/competencias.

Una característica fundamental a incluir en el Modelo del Estudiante es la representación de las competencias u objetivos de aprendizaje. Si bien es cierto que existen propuestas que permiten la representación de competencias u objetivos en diversos metadominios (Paquette, 2007; Clemente, 2011), no se ha encontrado ninguna que considere explícitamente más de cuatro metadominios. Con el fin de poder representar fielmente actividades de diversa índole, el modelo propuesto debe poder incluir competencias u objetivos de los metadominios: cognitivo, afectivo, psicomotor, ético, social y productivo.

Este requisito está relacionado con los objetivos O1, O2 y O4.

- **R2.** Representación de una taxonomía amplia de instrumentos de evaluación.

El Modelo del Estudiante debe permitir la representación de diferentes instrumentos de evaluación, tales como los incluidos por la ANECA en su informe técnico (2009). Una vez representada de manera general la taxonomía de instrumentos de evaluación, es posible incluir especializaciones de los instrumentos más habituales como, por ejemplo, las rúbricas.

Este requisito está relacionado con los objetivos O1, O2 y O4.

- **R3.** Representación de una taxonomía amplia del perfil del estudiante.

La representación del conocimiento sobre el perfil del estudiante permite personalizar las recomendaciones en función de sus características personales, preferencias, metas, etc. Tal y como se ha analizado en el estado del arte, existen diversos recursos que modelan el perfil del estudiante (Global Learning Consortium, 2002; IEEE, 2002; Clemente, 2011).

Este requisito está relacionado con los objetivos O1 y O2.

- **R4.** Representación de una taxonomía amplia del diseño instruccional.

El Modelo del Estudiante propuesto para este trabajo debe considerar información detallada acerca del diseño instruccional de las actividades. Para ello, es necesaria la inclusión de entidades tales como roles, entorno, actividad, objetivos de aprendizaje, estructura de la actividad u objetos de conocimiento.

Este requisito está relacionado con los objetivos O1, O2, O3 Y O4.

- **R5.** Representación de una taxonomía amplia de criterios de desempeño.

Una característica interesante para incluir en el Modelo del Estudiante relacionada con las competencias, es la representación de los criterios de desempeño. Mediante estos criterios es posible definir y valorar con mayor completitud las competencias. En relación con estos criterios, la propuesta de Paquette (2007) que se emplea como soporte para elaborar esta taxonomía identifica cinco: alcance, frecuencia, complejidad, contexto y ámbito.

Este requisito está relacionado con los objetivos O1, O2 y O4.

- **R6.** Uso de un formalismo de representación que ayude en el proceso de construcción de un Modelo del Estudiante fácilmente extensible, adaptable y reutilizable.

Con el objetivo de construir un Modelo del Estudiante rico en fuentes de información, se ha decidido emplear una red de ontologías como formalismo de representación. Las ontologías ofrecen beneficios potenciales tales como la facilidad de representación y adaptación de entidades, propiedades, instancias o axiomas; la existencia de metodologías de desarrollo que especifican el proceso de creación o reingeniería de un modelo; la existencia de lenguajes estándar para el desarrollo del modelo, etc.

Este requisito está relacionado con los objetivos O1 y O2.

Con el fin de mostrar la relación existente entre los objetivos y los requisitos definidos en este trabajo se muestra la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Relación entre requisitos y objetivos establecidos.

Requisitos \ Objetivos	Objetivos			
	O1	O2	O3	O4
R1	✓	✓		✓
R2	✓	✓		✓
R3	✓	✓		
R4	✓	✓	✓	✓
R5	✓	✓		✓
R6	✓	✓		

4.4. Supuestos

Uno de los apartados clave de este capítulo es el relacionado con los supuestos o premisas de trabajo que se van a asumir. A continuación se indican los principales supuestos de este trabajo.

- **S1.** El Modelo del Estudiante completo - red de ontologías y método de diagnóstico - (Clemente, 2011) será la base de este trabajo puesto que su diseño facilita la organización

de información del estudiante. Este aspecto será clave para la aplicación de metodologías, técnicas y herramientas en este trabajo o en futuras líneas relacionadas con la monitorización, supervisión, predicción, diagnóstico, recomendación, etc.

- **S2.** El diseño de cualquier curso que pretenda ser incorporado a la ontología deberá basarse en el diseño instruccional y, por tanto, respetar una descomposición jerárquica. Esto es, el curso debe estar dividido en una o varias unidades de aprendizaje que a su vez tengan asociadas diferentes actividades y subactividades. Cada actividad debe tener una serie de objetivos o competencias asociadas. De acuerdo con este supuesto, el tutor supervisa la progresión del estado del estudiante en las diversas sesiones.
- **S3.** Este trabajo seguirá el enfoque de aprendizaje basado en competencias. Por lo tanto, cualquier actividad seleccionada deberá seguir este enfoque, es decir, las actividades a las que se aplique la propuesta de este trabajo deberán tener competencias asociadas y estas últimas deben haber sido incorporadas completamente a la red modular de manera previa a la realización de la actividad.
- **S4.** Dada la gran diversidad de experiencias de aprendizaje existentes y ámbito en el que se realizan (entrenamiento espacial, trabajo grupal, exposición oral, trabajo escrito, etc.) se deberá tener en cuenta una gran variedad de competencias en diferentes metadominios pudiendo ser estos fácilmente actualizadas en futuras versiones.
- **S5.** Respecto a las recomendaciones sugeridas al instructor o al estudiante, estas podrán realizarse antes (evaluación de diagnóstico), durante (evaluación formativa) o después (evaluación sumativa) de realizar la experiencia de aprendizaje, dependiendo de la información registrada en la red modular.
- **S6.** En un amplio conjunto de actividades de aprendizaje existe más de un posible plan de solución al problema propuesto. Es por ello que se deben admitir diferentes soluciones alternativas por parte del estudiante. En cualquier caso, el profesor deberá poder interrumpir la sesión del estudiante si considera que una acción realizada por el mismo puede ser peligrosa.
- **S7.** Cualquier elemento necesario para la realización de la actividad debe encontrarse registrado en la red modular de manera previa a la realización de la actividad por parte de los estudiantes. Esto abarca: (a) actividades a realizar, (b) objetivos/competencias, (c) objetos de conocimiento, (d) precondiciones, (e) perfil del estudiante, (f) estado de los objetivos/competencias asociado a cada estudiante, (g) plan de la actividad, (h) reglas de diagnóstico/recomendación, (i) instrumentos de evaluación de las actividades, etc.

4.5. Hipótesis

Partiendo de los supuestos previamente definidos, se establecen a continuación las hipótesis propuestas en esta investigación.

- **H1.** Es posible diseñar un mecanismo de modelado del estudiante:
 - a) que pueda ser empleado como soporte para actividades desarrolladas en una amplia variedad de entornos tales como: entornos virtuales inteligentes para el entrenamiento o formación, entornos *e-learning*, etc.

- b) que permita el registro pormenorizado de información sobre el perfil del estudiante, su estado actual de aprendizaje y sus trazas.
 - c) que permita el registro pormenorizado de información sobre el diseño instruccional de una unidad de aprendizaje, sus objetivos o competencias asociadas y los instrumentos de evaluación empleados.
 - d) que permita el registro pormenorizado de información sobre la evaluación del estudiante y las recomendaciones sugeridas.
- **H2.** Es posible diseñar un mecanismo de recomendación para profesores y estudiantes que recabe información registrada en la red modular propuesta y ofrezca sugerencias sobre competencias a partir de:
 - a) información sobre las acciones llevadas a cabo por el estudiante.
 - b) información sobre el nivel de desempeño alcanzado por el estudiante en un objetivo.
 - c) información sobre el estado de las competencias del estudiante.
 - d) información sobre el nivel de desempeño alcanzado por el estudiante en una actividad.
 - e) información sobre el estado de la actividad del estudiante.
 - **H3.** Es posible diseñar una guía metodológica para el desarrollo de sistemas de recomendación basados en el Modelado del Estudiante propuesto.

4.6. Planteamiento de la solución

Una vez identificado el problema a resolver, establecidos los objetivos, requisitos y supuestos y propuestas las hipótesis a contrastar, se procede a plantear la solución que será llevada a cabo. Para ello se han tomado una serie de decisiones (D) y se han planteado unas tareas (T).

- **D1.** Se ha decidido emplear una red de ontologías como formalismo de representación de conocimiento para el modelado propuesto en esta investigación.
- **D2.** Se ha decidido emplear reglas como mecanismo de inferencia de conocimiento para el proceso de recomendación.
- **D3.** Se ha decidido emplear NeOn como metodología para modelar la red de ontologías.
- **D4.** Se ha decidido emplear UWE-R como metodología de desarrollo Web para modelar la aplicación.
- **T1.** Propuesta de extensión y estandarización de las diferentes ontologías que conforman el Modelo del Estudiante (véase Sección 5.3.1.2).
- **T2.** Diseño de una taxonomía de recomendación a partir de la taxonomía de criterios de diagnóstico del Modelo del Estudiante de partida (véase Sección 5.3.2.1).

- **T3.** Diseño de los patrones de reglas de recomendación a partir de los patrones de reglas de diagnóstico existentes (véase Sección 5.3.2.2).
- **T4.** Propuesta de una metodología para el desarrollo y la adaptación del sistema de recomendación a partir del Modelado del Estudiante propuesto en este trabajo (véase Sección 5.2.2).
- **T5.** Diseño de un conjunto de prototipos de demostración, aplicando la metodología propuesta (T3) para el desarrollo y adaptación del sistema de recomendación (véase Sección 6).

4.7. Restricciones

Finalmente, se enumeran algunas de las restricciones o aspectos que no serán tenidos en cuenta en este trabajo y, por tanto, pueden formar parte de futuras líneas de investigación.

- **R1.** Cualquier extensión de la red de ontologías del Modelado del Estudiante que no esté estrechamente relacionada con: (a) objetivos/competencias, (b) rúbricas, (c) indicadores de desempeño o (d) diseño instruccional, queda fuera del ámbito de este proyecto. Esto incluye posibles extensiones como las estrategias de aprendizaje, elementos no tratados en profundidad previamente como aquellos relativos a los entornos 3D, etc.
- **R2.** Las actividades que no sigan la aproximación de aprendizaje basado en objetivos o competencias no serán consideradas en el trabajo actual. Igualmente, las unidades de aprendizaje que no sigan un diseño instruccional quedan fuera del ámbito de este proyecto.
- **R3.** Cualquier extensión de la taxonomía de criterios de diagnóstico o recomendación que no esté relacionada con las acciones, objetivos, competencias, rúbricas o actividades no será considerada en esta investigación. Esta posible extensión puede ser relevante en líneas de investigación posteriores.
- **R4.** La metodología propuesta no considerará adaptaciones basadas en un Modelo del Estudiante diferente al propuesto.
- **R5.** Cualquier análisis de la accesibilidad o usabilidad para mejorar la calidad del prototipo de recomendación queda fuera del ámbito de este proyecto. No obstante, se recomienda encarecidamente la realización de este estudio en líneas de trabajo futuras.

Con el propósito de tratar de solucionar las carencias y lagunas encontradas en los sistemas de recomendación basados en competencias mencionadas en los capítulos anteriores, se presenta en este capítulo la aportación propuesta. En primer lugar, se describe su arquitectura. En segundo lugar, se detallan las dos etapas llevadas a cabo en la metodología seguida para el desarrollo del sistema de recomendación, es decir, la guía metodológica para la adaptación del modelado y la guía metodológica para la creación y adaptación del prototipo de sistema de recomendación. En último lugar, se detallan las diferentes actividades llevadas a cabo en ambas metodologías para llevar a cabo el prototipo de sistema de recomendación propuesto.

5.1. Arquitectura y funcionamiento básico

La arquitectura de la herramienta propuesta en este trabajo se ha dividido en los siguientes módulos (véase Figura 5.1):

- **Red de ontologías de aprendizaje.** Contiene toda la información registrada acerca del estudiante (perfil, estado, traza), diseño instruccional (actividades, competencias) y evaluación (rúbricas, indicadores de desempeño) pertenecientes a experiencias de aprendizaje. Este módulo se implementa a través de una red modular de ontologías que sigue la guía metodológica descrita en la Sección 5.2.1.
- **Conjunto de reglas del sistema de recomendación.** Abarca todo el conjunto de reglas implementadas en el modelado. En este módulo se han diferenciado las reglas de diagnóstico, las reglas de recomendación y el módulo de resolución de conflictos (MRC) encargado de resolver contradicciones que puedan surgir durante el proceso de diagnóstico. Para realizar esta tarea, se utiliza además como soporte un ATMS (Clemente et al., 2014). El diseño de las reglas de diagnóstico, parte esencial del método de diagnóstico desarrollado por Clemente (2011), son denominadas reglas de diagnóstico pedagógico dado que determinan los nuevos objetivos alcanzados a partir de la última acción del estudiante registrada en la ontología y los objetivos previamente alcanzados. La información referente a las reglas es descrita en la Sección 5.2.2.
- **Aplicación web del sistema de recomendación.** Facilita a los usuarios, ya sean estudiantes, profesores, instructores, etc., recomendaciones personalizadas de acuerdo con la información almacenada en la red de ontologías. Este módulo sigue el patrón arquitectónico modelo-vista-controlador. El modelo de esta aplicación se comunica con el módulo de la red de ontologías previamente descrita. El controlador recibe la petición de los usuarios, trata esa información aplicando las reglas determinadas y se la proporciona a través de una página web. Toda la información acerca de este módulo es descrita en la Sección 5.2.2.

El desarrollo de la solución propuesta para proporcionar tanto al estudiante como al profesor las recomendaciones es el siguiente:

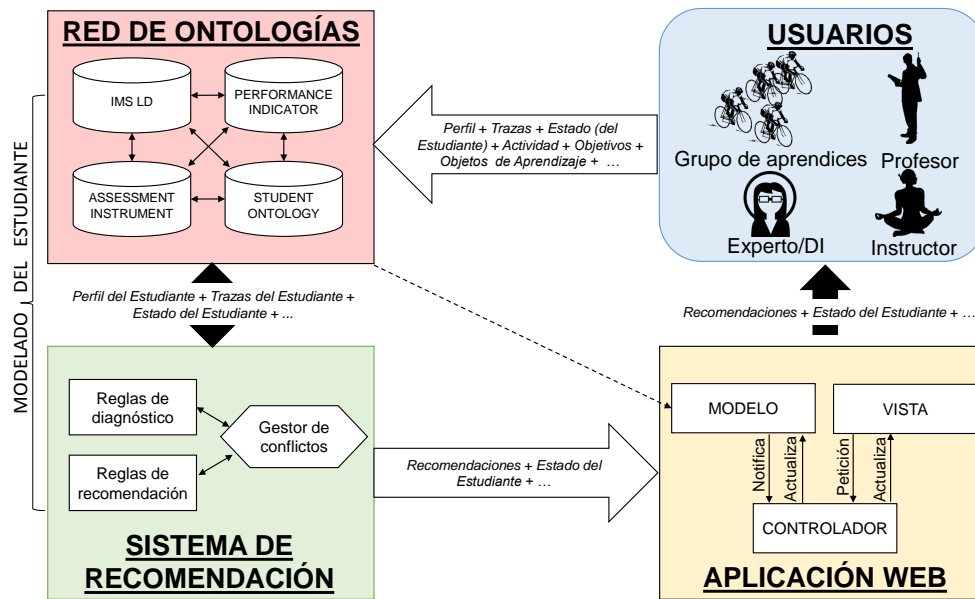


Figura 5.1: Arquitectura propuesta en este trabajo.

1. Inicialmente, el experto o diseñador instruccional (DI) prepara la experiencia o conjunto de experiencias de aprendizaje. Esto incluye la definición de la propia experiencia y de los elementos comunes, es decir, objetivos de aprendizaje y/o competencias, instrumentos de evaluación, objetos de aprendizaje, etc.
2. Tras registrar toda la información previa en la ontología y comprobar que esta dispone de todas las propiedades, entidades, axiomas y reglas necesarias para cubrir la experiencia de aprendizaje, se procede a llevar a cabo el proceso específico para cada usuario. Este proceso es cíclico y finaliza cuando el estudiante concluye la actividad.
 - a) El estudiante realiza una acción en la actividad. Esta acción puede ser llevada a cabo a través de un entorno virtual, una plataforma *LMS*, de manera presencial, etc.
 - b) La acción es registrada en la ontología insertando todas las instancias necesarias para representar completamente la acción.
 - c) A continuación, las reglas de diagnóstico, recomendación y del módulo de resolución de conflictos son aplicadas con el fin de actualizar la información existente en la ontología.
3. Tras el disparo de las reglas descritas en el apartado 2.c, el usuario, ya sea un estudiante o un profesor, puede comprobar las recomendaciones ofrecidas por el sistema de recomendación en cualquier instante. Para ello, solicita en la aplicación web las recomendaciones deseadas y es la propia aplicación la que se comunica con la ontología para ofrecer las recomendaciones actualizadas y personalizadas.
4. Si, más adelante se define una nueva actividad, esta dispondrá de la información ya existente en la ontología acerca de los objetivos o competencias alcanzados por el estudiante. Esto ayuda a reducir problemas como el arranque en frío ya que los usuarios pueden beneficiarse de la asignación de actividades más adecuadas según el nivel acreditado. Cabe destacar que la información registrada en la ontología puede ser retraída si se detecta un cambio en el estado del estudiante. Por ejemplo, un estudiante pudo superar un objetivo mucho tiempo atrás pero actualmente no recuerda los objetos de conocimiento asociados. De este modo, en caso de que ocurra una situación de estas características, el módulo de resolución de conflictos las detectará, se modificará la ontología y a continuación variarán las recomendaciones ofrecidas por el sistema de recomendación.

5.2. Metodología de adaptación del sistema de recomendación

A la hora de diseñar y desarrollar el prototipo de sistema de recomendación expuesto en la hipótesis, es recomendable seguir unas guías metodológicas que posibiliten la futura aplicación y adaptación del sistema propuesto a nuevos entornos o dominios de aprendizaje. En este caso concreto, la metodología se divide en dos etapas. La primera es una adaptación de la desarrollada por Clemente en su tesis doctoral (Clemente, 2011) y se encuentra estrechamente relacionada con la adaptación del modelado (red de ontologías de aprendizaje, reglas de diagnóstico, reglas de recomendación y módulo de resolución de conflictos) que sirve como soporte para el sistema de recomendación, mientras que la segunda fase, basada en las metodologías SAM2 (Allen, 2012) y UWE-r (Machado et al., 2009), centra su atención en la creación y posible adaptación del prototipo de sistema de recomendación.

5.2.1. Guía metodológica para la adaptación del modelado de la red de ontologías

La adaptación del modelado es un paso crucial para el desarrollo de cualquier sistema de recomendación ya que dicha adaptación: (a) comprende la reingeniería del modelo inicial para incorporar nuevas entidades, propiedades, axiomas, etc., que sean relevantes para el sistema de recomendación, (b) incluye la extensión o modificación de la jerarquía de reglas, patrones, reglas específicas o predicados que facilitan la inferencia de nuevos datos relevantes no recogidos previamente, (c) requiere la instanciación inicial de los datos soporte para afrontar problemas como el del arranque en frío y concluye con la evaluación del modelado a través de su validación y verificación. En la Figura 5.2 se muestra un esquema que ilustra las tres fases y once actividades que tienen lugar en esta primera etapa. A continuación se detalla cada una de las fases:

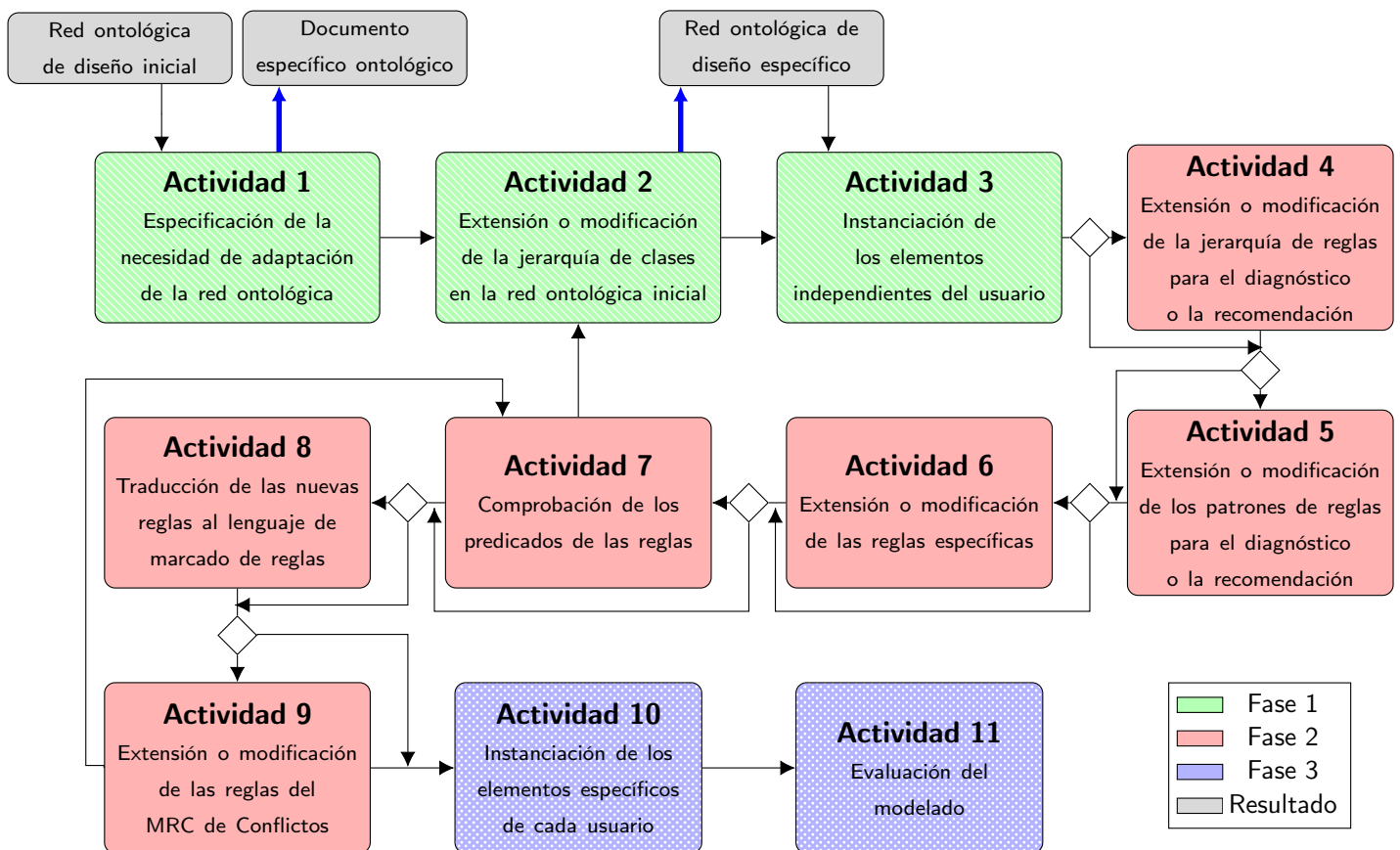


Figura 5.2: Esquema de la metodología.

- **Fase 1 - Adaptación del modelo.** Consiste en la reestructuración (especialización, extensión) de la jerarquía de clases de la red ontológica inicial y, si procede, la instanciación de los elementos comunes. En esta primera fase de la guía se ha seguido la metodología NeOn detallada en la Sección 2.2.4. La decisión de usar esta metodología en lugar de otras descritas en la misma sección radica en que: (1) este trabajo se basa en redes de ontologías y la metodología NeOn es adecuada para la construcción de redes ontológicas, (2) el resto de metodologías analizadas carecen de guías para el desarrollo de ontologías mediante procesos de reingeniería a partir de otros recursos, (3) el resto de metodologías carecen de guías para la contextualización de una ontología existente mediante la integración con otras y (4) el resto de metodologías no explican el proceso de construcción de ontologías con el mismo estilo y granularidad que las metodologías software.
 - **Actividad 1 - Especificación de la necesidad de adaptación de la red ontológica.** El primer paso para la adaptación del modelo consiste en determinar la motivación por la que se estudia dicha adaptación, es decir, qué uso se espera de dicho modelo, quiénes serán los usuarios finales y cuáles son su propósito, alcance y formalidad. Como resultado se obtiene un documento de especificación ontológico.
 - **Actividad 2 - Reestructuración de la jerarquía de clases en las ontologías.** Esta actividad implica frecuentemente la extensión o especialización de las ontologías para su aplicación en el nuevo dominio de aprendizaje o entorno. De acuerdo con la metodología NeOn, esta actividad puede implicar la reutilización de recursos ontológicos y no ontológicos, así como la reingeniería o combinación de estos recursos (Suárez-Figueroa, 2010). Por este motivo, es necesario además llevar a cabo una revisión y extensión de las cuestiones de competencia previamente obtenidas para así extraer los nuevos elementos que serán añadidos a la red de ontologías. A partir de esta actividad se obtiene la denominada *Red ontológica de diseño específico* que contiene las modificaciones llevadas a cabo en la red de ontologías.
 - **Actividad 3 - Instanciación de los elementos independientes del usuario.** Conlleva la creación en la *Ontología de diseño específico* de las instancias de clases independientes del usuario sugeridas por el diseñador instruccional. Por ejemplo, las instancias de las rúbricas, competencias, escenarios, objetos propios del entorno, etc.
- **Fase 2 - Adaptación del método de diagnóstico/recomendación.** Una vez el modelo ontológico ha sido reestructurado, se deben revisar la jerarquía de reglas, los patrones de reglas, las reglas específicas y sus predicados con la intención de comprobar si se ajustan al nuevo modelo o es necesario extenderlos o modificarlos.
 - **Actividad 4 - Extensión o modificación de la taxonomía de criterios para el diagnóstico y para la recomendación.** Consiste en analizar si las modificaciones llevadas a cabo en la red de ontologías suponen también una modificación en las taxonomías de criterios de diagnóstico o recomendación. Por ejemplo, la inclusión de un nuevo tipo de competencia en la red modular puede suponer la creación de nuevas reglas o la modificación de reglas de diagnóstico o recomendación existentes.
 - **Actividad 5 - Extensión o modificación de los patrones de reglas para el diagnóstico o la recomendación.** De manera similar a la actividad anterior, conviene analizar si las modificaciones realizadas en la actividad 2 suponen una modificación en los patrones de reglas. Por ejemplo, la incorporación de un nuevo instrumento de evaluación a la red de ontologías podría suponer la creación de un patrón de reglas relacionado con dicho instrumento.
 - **Actividad 6 - Extensión o modificación de las reglas específicas.** Si bien es cierto que esta actividad se realiza con menor frecuencia que las actividades anteriores ya que supone ampliar el conjunto de reglas específicas de un entorno de aprendizaje particular, también debe tenerse en cuenta puesto que cualquier modificación en la

ontología puede afectar a las reglas ya existentes o puede conllevar la creación de nuevas reglas concretas.

- **Actividad 7 - Comprobación de los predicados de las reglas.** Actividad necesaria si y solo si se han llevado a cabo las actividades 5 (extensión o modificación de los patrones de reglas) o 6 (extensión o modificación de las reglas específicas). En caso afirmativo se deberá: (1) añadir, si es necesario, nuevos predicados a la tabla de predicados y (2) verificar que el mapeo entre los nuevos predicados y la ontología es correcto (existen las propiedades y clases correspondientes).
 - **Actividad 8 - Traducción de las nuevas reglas al lenguaje de marcado de reglas.** Esta actividad será necesaria si y solo si se ha realizado alguna de las actividades previas de la fase 2. En esta actividad se engloba tanto la creación de nuevas reglas como la modificación de reglas existentes.
 - **Actividad 9 - Extensión o modificación de las reglas del módulo de resolución de Conflictos.** Esta actividad analiza si es necesario crear o modificar alguna regla que ayude en la resolución de contradicciones debido a los cambios producidos en el modelo. En caso afirmativo, se deberán incorporar los nuevos predicados, si los hubiese, a la tabla correspondiente.
- **Fase 3 - Instanciación del modelo y evaluación del modelado.** Tras modificar el modelo e introducir en él todas las reglas correspondientes, se procede a crear las instancias dependientes del usuario (estudiante o, en general, aprendiz). Finalmente, en esta fase se evalúa si el modelado es correcto y si se adapta adecuadamente al nuevo entorno o dominio. Para ello, se lleva a cabo un proceso de validación y verificación.
 - **Actividad 10 - Instanciación de los elementos específicos de cada usuario.** En esta actividad se establece el valor inicial de cada estudiante en determinadas instancias y los valores de propiedades, etc. relacionados con su perfil, el estado inicial de las competencias u objetivos, etc. Esta información puede ser: (1) rellenada por el propio estudiante, (2) rellenada por el tutor o experto, (3) establecida por defecto a un valor inicial o (4) recogida de otros entornos.
 - **Actividad 11 - Evaluación del modelado.** Esta actividad permite crear un juicio técnico sobre el modelado diseñado que ayuda a determinar si el modelado final cumple con los requisitos establecidos en la actividad 1 de esta metodología. Para ello, se realiza la verificación del modelado mediante, (a) la evaluación de las cuestiones de competencia y (b) la evaluación de la consistencia a través del escaner de inconsistencias OOPS¹ y la validación a través de casos de prueba que siguen una *evaluación dirigida por escenarios de actuación*, es decir, se supone que un estudiante concreto, con un estado inicial conocido realiza determinadas acciones y se comprueba que la respuesta obtenida a través del diagnóstico o la recomendación es la esperada.

5.2.2. Guía metodológica para la creación y adaptación del prototipo de sistema de recomendación

Con el fin de implementar el sistema de recomendación (SR), se ha seguido un enfoque basado en prototipos para el desarrollo de software. Este enfoque es una adaptación de la metodología SAM2² que considera las etapas de: fase de preparación, fase de diseño iterativo y fase de desarrollo iterativo que se completan progresivamente a partir del desarrollo de prototipos (Allen, 2012). Este enfoque es habitual en sistemas complejos cuando no se conocen todos los requerimientos desde el instante inicial. Cada prototipo ha sido llevado a cabo siguiendo las fases que se aprecian en la Figura 5.3.

¹<http://mayor2.dia.fi.upm.es/oeg-upm/index.php/en/technologies/292-oops/index.html>

²<https://www.alleninteractions.com/sam-process>

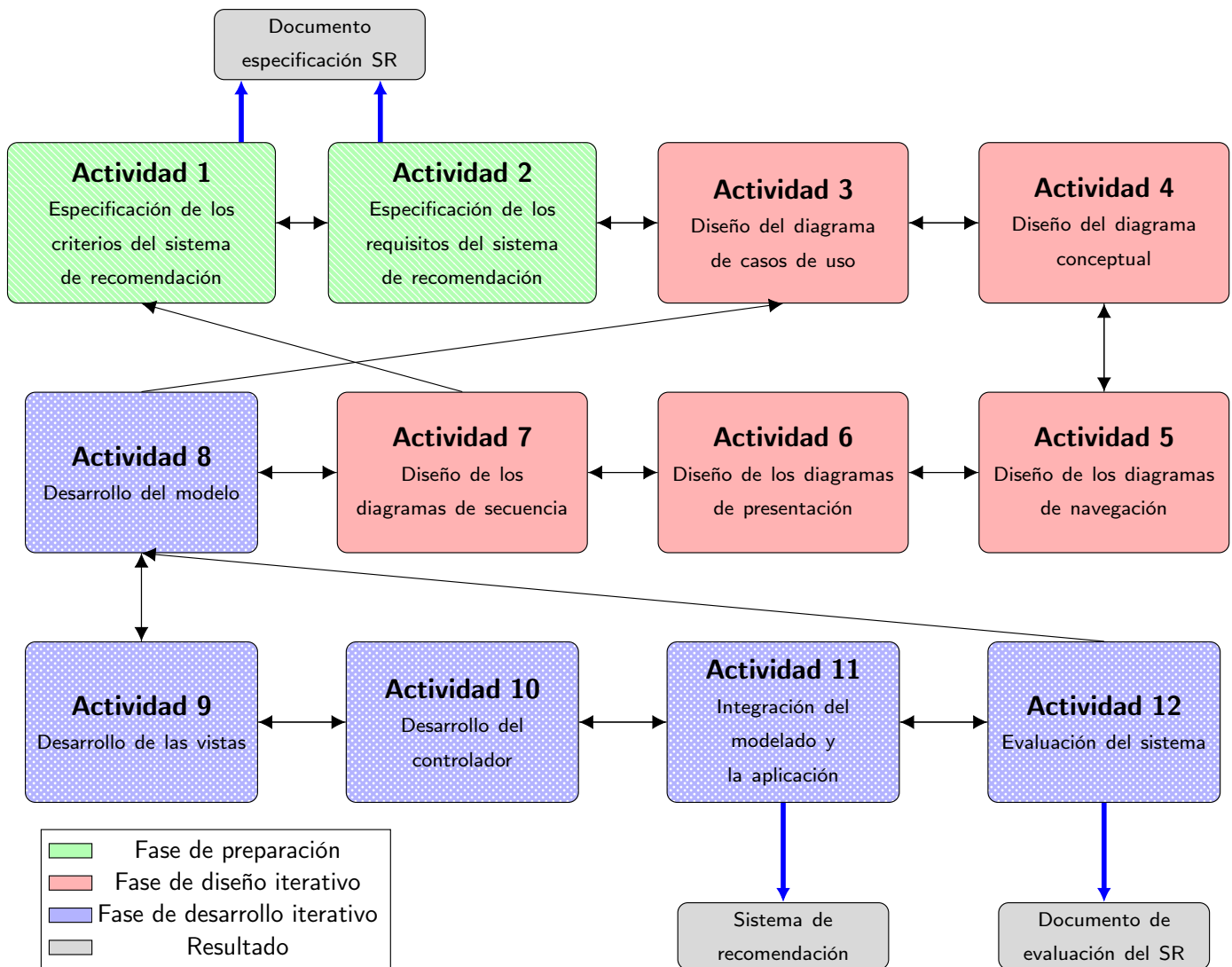


Figura 5.3: Esquema de la metodología de desarrollo del prototipo de SR.

- **Fase 1 - Preparación.** En esta fase se detallan cuáles serán las características del SR propuesto. Esto incluye tanto la especificación de las características relacionadas con la funcionalidad como las referentes al diseño. Como resultado de esta fase, se obtiene el documento de especificación del SR.
 - **Actividad 1 - Especificación de los criterios del sistema de recomendación.** La primera actividad para preparar el SR consiste en especificar los criterios deseados en dicho sistema (cobertura, riesgo, robustez, etc.). Estos fueron descritos en la Sección 3.5 y sirvieron para analizar las propuestas del estado del arte en la Sección 3.5.2.
 - **Actividad 2 - Especificación de los requisitos y restricciones adicionales del sistema de recomendación.** Esta actividad describe los requisitos y restricciones que debe respetar la implementación final y que no han sido definidos a lo largo de la *Actividad 1*. Por ejemplo, requisitos no funcionales (portabilidad, accesibilidad, etc.), requisitos comunes de interfaces (usuario, hardware, comunicación, etc.).
- **Fase 2 - Diseño iterativo.** En ella se realizan los diagramas que ayuden al cumplimiento de los requisitos y criterios establecidos en la fase 1 y al desarrollo de la aplicación. Para ello, se sigue la metodología UWE-R (Machado et al., 2009).

- **Actividad 3 - Diseño del diagrama de casos de uso.** Actividad responsable de identificar y describir los casos de uso del SR. Mediante estos diagramas es posible asociar cada rol disponible en la aplicación con las funcionalidades que los miembros de dicho rol pueden llevar a cabo.
 - **Actividad 4 - Diseño del diagrama conceptual.** Esta actividad es la responsable de identificar y describir las clases principales de la aplicación. En este caso concreto, se utilizará una aplicación que siga el patrón MVC por lo que la mayoría de las clases estarán estrechamente relacionadas con una de esas tres entidades.
 - **Actividad 5 - Diseño de los diagramas de navegación.** Esta actividad es la responsable de crear (a) un diagrama con los principales nodos y enlaces de la aplicación (Modelo del Espacio de Navegación) y (b) un diagrama que define cómo se alcanzan los objetos del espacio de navegación (Modelo de estructura de navegación) a través de la Web (Rodríguez-Echeverría et al., 2005).
 - **Actividad 6 - Diseño de los diagramas de presentación.** Actividad responsable de crear los prototipos que ilustren el diseño de las diferentes vistas de la aplicación.
 - **Actividad 7 - Diseño de los diagramas de secuencia.** Actividad responsable de crear los diagramas que ilustren la interacción del usuario con los diferentes elementos existentes en la aplicación a través del tiempo.
- **Fase 3 - Desarrollo iterativo.** Tras diseñar el sistema de recomendación, la siguiente fase consiste en llevar a cabo la implementación, es decir, desarrollar el modelo (y su estructura), la vista y el controlador. Posteriormente, se integran la red de ontologías y la aplicación desarrollada. De esta forma, los datos registrados en la red de ontologías pueden ser aplicados en la herramienta desarrollada. Finalmente, se debe comprobar que el sistema de recomendación cumple con los requisitos establecidos en la fase 1, y puede ser validado mediante diversos casos de prueba.
 - **Actividad 8 - Desarrollo de la estructura utilizada en el modelo.** Esta actividad consiste en crear en la aplicación las clases y propiedades existentes en la red de ontologías con los métodos de modificación y consulta correspondientes.
 - **Actividad 9 - Desarrollo de las vistas.** Esta actividad consiste en la creación de las vistas diseñadas en el diagrama de presentación.
 - **Actividad 10 - Desarrollo del controlador.** Esta actividad consiste en comunicar las vistas y el modelo.
 - **Actividad 11 - Desarrollo del modelo e integración del modelado y la aplicación.** Esta actividad integra la red de ontologías junto con los diferentes módulos de la aplicación. De esta combinación se obtiene el SR ya completo.
 - **Actividad 12 - Evaluación del SR.** Esta actividad consiste en comprobar: (a) si el sistema se ha construido correctamente y (b) si el sistema que se ha construido es el correcto. Para esta última subactividad, se opta por emplear una *evaluación dirigida por escenarios de actuación*.

5.3. Sistema de recomendación basado en competencias

En esta sección se describe la solución propuesta en este trabajo para tratar la información registrada sobre los estudiantes de tal forma que sea posible, a partir de ellos, llevar a cabo recomendaciones para mejorar su proceso de aprendizaje. Para ello, se ha seguido la metodología explicada en la Sección 5.2. En los siguientes apartados se detallan de manera secuencial las actividades enumeradas en dicha metodología. Cabe recordar que esta se encuentra dividida en dos etapas, la primera enfocada a la adaptación del modelado de la red de ontologías y la segunda dirigida al desarrollo y adaptación del prototipo de SR.

5.3.1. Adaptación del modelado al sistema de recomendación

Tal y como ha sido descrito en el capítulo de planteamiento del problema (véase Capítulo 4), este trabajo tiene como base la Ontología de Modelado del Estudiante (descrita en la Sección 3.1.6). Para la realización de este trabajo, es necesario adaptar esta red de ontologías para incorporar al modelado información no registrada hasta el momento pero imprescindible para el SR propuesto. En los siguientes apartados se llevará las tareas realizadas en esta fase.

5.3.1.1. Actividad 1 - Especificación de las necesidades de la red de ontologías

Puesto que mediante este trabajo se pretende desarrollar un SR, el propósito de la adaptación de la red de ontologías radica en la necesidad de disponer de un buen soporte, tanto en lo relativo a fuentes de información como en lo que respecta al diagnóstico inferido a partir de ellas, que ayude en la generación de sugerencias adecuadas para cada estudiante.

Debido a que el SR propuesto en este trabajo se enfoca en el aprendizaje basado en competencias, este debe tener acceso, al menos, a: (1) la información del estudiante, (2) la información de las experiencias de aprendizaje y (3) la información de evaluación.

En este punto, es importante resaltar que las experiencias de aprendizaje pueden ser llevadas a cabo: (a) en múltiples tipos de entornos (de manera presencial, a través de una plataforma virtual, mediante un dispositivo móvil, en un entorno laboral, en un entorno virtual inteligente, etc.), (b) por diferentes tipos de usuarios (un estudiante, un grupo reducido de alumnos, todos los miembros de una clase, personas expertas en la materia, etc.), (c) en distintas áreas de conocimiento (ciencias de la salud, ingeniería y arquitectura, ciencias sociales, humanidades, etc.). Es por ello que la flexibilidad representa una necesidad para poder adaptar el sistema de recomendación a un gran número de entornos y dominios. Esta flexibilidad, en cambio, requiere cierta cautela puesto que, al tratarse de entornos tan variados, es complejo encontrar correlaciones entre las clases o propiedades pertinentes y, por tanto, la información puede perderse o encontrarse duplicada. Con el fin de reducir esta problemática, es aconsejable el uso de estándares u otros elementos formales flexibles puesto que estos han sido minuciosamente analizados y diseñados para ser capaces de representar elementos de diversos entornos y áreas.

El sistema propuesto en este trabajo pretende ofrecer recomendaciones de competencias tanto a estudiantes como a profesores. Por este motivo, la red de ontologías necesita registrar la mayor cantidad de información posible acerca del estudiante y de las experiencias de aprendizaje llevadas a cabo. El modelo ha sido construido para ser adaptativo, acorde a las características y estado del conocimiento del estudiante y a diferentes entornos, especialmente a EVIEs. En concreto, el modelado original formó parte de MAEVIF, plataforma para el desarrollo de EVIEs diseñada para ser fácilmente configurable para diferentes aplicaciones de aprendizaje que sigue un enfoque basado en agentes, y donde existen objetos con los que el estudiante, representado por un avatar, interactúa y puede realizar una gran diversidad de acciones (mover, coger un objeto, pulsar un objeto, preguntar, etc.). En este proyecto surge la necesidad de extender la red de ontologías para modelar la parte del diseño instruccional (DI), no incluida originalmente, y que es independiente del Modelado del Estudiante (ME). Este nuevo Modelado Instruccional (MI) es importado por el ME y facilita la representación de nuevos elementos, como, por ejemplo, actividades *e-learning* en la red modular. Las ontologías «KnowledgeObject» y «LearningObjective», desarrolladas para el ME original, se consideran en esta propuesta parte del MI junto con la ontología de instrumentos de evaluación, la de indicadores de desempeño y la de diseño instruccional.

Para determinar el ámbito de la ontología (o red de ontologías) se desarrollan las denominadas cuestiones de competencia, que recapitulando, son un conjunto de preguntas en lenguaje natural utilizadas para extraer los conceptos, propiedades, relaciones y axiomas de la ontología. Estas cuestiones de competencia se obtienen a partir de un análisis de los requisitos planteados (véase Sección 4.3). En este trabajo se agruparán las cuestiones de competencia en tres categorías: relacionadas con el estudiante, relacionadas con la actividad y relacionadas con la evaluación.

Cuestiones de competencia relacionadas con la actividad

Tal y como se ha indicado en los supuestos, este trabajo está fundamentado en la Ontología del Estudiante. Consecuentemente, en este trabajo se consideran las cuestiones de competencia definidas en su tesis como punto de partida (Clemente, 2011). Si bien es cierto que esta ontología hace especial hincapié en la información del estudiante, también contempla información acerca de los objetivos de aprendizaje y de los objetos de conocimiento, en concreto, 70 de las cuestiones de competencia definidas están relacionadas con estos conceptos. Sin embargo, este trabajo no contemplaba información adicional acerca de la actividad. Por esta razón, uno de los objetivos de este trabajo consiste en extender la red modular con nuevas entidades que permitan registrar actividades, competencias, otros tipos de objetivos, etc.

Se ha decidido emplear el nivel B del IMS LD (Koper and Manderveld, 2004) para registrar la información acerca de la actividad. Este estándar de facto para el diseño instruccional se representa a través de ontologías independientes del estudiante, ya que la información registrada en ellas puede ser compartida por muchos estudiantes. Esta taxonomía ha sido complementada con la definición de nuevos objetivos de aprendizaje correspondientes a los meta-dominios ético, productivo y social, así como con la taxonomía de competencias de Paquette (véase Sección 3.2.4). En este punto, cabe recordar que, tal y como se detalla en la Sección 2.1.2.1, los objetivos y las competencias difieren principalmente en la forma de expresión, el posible ámbito de aplicación y el público objetivo. En las siguientes tablas se muestra un fragmento de las cuestiones de competencia añadidas relacionadas con la actividad.

Tabla 5.1: Cuestiones de competencia específicas de una *unidad de aprendizaje*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCA1.	<i>¿Cuál es el identificador de la unidad de aprendizaje?</i>
CCA2.	<i>¿Cuáles son los metadatos que describen la unidad de aprendizaje?</i>
CCA3.	<i>¿Cuáles son los recursos existentes en la unidad de aprendizaje?</i>
CCA4.	<i>¿Cómo se encuentra estructurada la unidad de aprendizaje?</i>

Tabla 5.2: Cuestiones de competencia específicas de un *recurso de aprendizaje*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCA5.	<i>¿Cuál es el identificador de un recurso específico?</i>
CCA6.	<i>¿Cuál es el enlace a un recurso específico?</i>
CCA7.	<i>¿Cuáles son los metadatos que describen un recurso específico?</i>
CCA8.	<i>¿De qué tipo es un recurso específico?</i>

Tabla 5.3: Cuestiones de competencia específicas de un *diseño de aprendizaje*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCA9.	<i>¿Cuál es el identificador del diseño de aprendizaje?</i>
CCA10.	<i>¿Qué nivel del IMS LD es aplicado en el diseño de aprendizaje?</i>
CCA11.	<i>¿Cuáles son los prerrequisitos aplicados en el diseño de aprendizaje?</i>
CCA12.	<i>¿Cuáles son los componentes aplicados en el diseño de aprendizaje?</i>
CCA13.	<i>¿Cuál es el método aplicado en el diseño de aprendizaje?</i>
CCA14.	<i>¿Cuáles son los metadatos que describen el diseño de aprendizaje?</i>

Tabla 5.4: Cuestiones de competencia específicas de un *rol*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCA15.	<i>¿Cuál es el identificador de un rol existente en la actividad?</i>
CCA16.	<i>¿Cuál es el mínimo número de personas que puede desempeñar un rol específico?</i>
CCA17.	<i>¿Cuál es el máximo número de personas que puede desempeñar un rol específico?</i>
CCA18.	<i>¿Cuál es el título de un rol existente en la actividad?</i>
CCA19.	<i>¿Qué información existe acerca de un rol concreto?</i>
CCA20.	<i>¿Cuáles son los metadatos de un rol específico?</i>

Tabla 5.5: Cuestiones de competencia específicas de un *entorno*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCA21.	<i>¿Cuál es el identificador del entorno de aprendizaje?</i>
CCA22.	<i>¿Cuál es el título del entorno de aprendizaje?</i>
CCA23.	<i>¿Qué objetos de aprendizaje intervienen en el entorno?</i>
CCA24.	<i>¿Qué funcionalidades ofrece el entorno?</i>
CCA25.	<i>¿Cuáles son los metadatos de un entorno?</i>

Tabla 5.6: Cuestiones de competencia específicas de una *actividad*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCA26.	<i>¿Cuál es el título de una actividad?</i>
CCA27.	<i>¿Qué objetivos de aprendizaje están asociados con una actividad?</i>
CCA28.	<i>¿Cuál es el entorno en el que se desarrolla la actividad?</i>
CCA29.	<i>¿Cuáles son los metadatos de una actividad?</i>
CCA30.	<i>¿Cuál es la descripción de la actividad?</i>
CCA31.	<i>¿Cuál es la secuencia que debe seguir un usuario para realizar las subactividades?</i>

Tabla 5.7: Cuestiones de competencia específicas de una *obra*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCA32.	<i>¿Cuál es el identificador de la obra/curso?</i>
CCA33.	<i>¿Cuál es el título de la obra/curso?</i>
CCA34.	<i>¿En qué actos/módulos se encuentra dividida la obra/curso?</i>
CCA35.	<i>¿Cuáles son los metadatos de la obra/curso?</i>
CCA36.	<i>¿Cuál es el nombre de un acto?</i>
CCA37.	<i>¿Cuáles son los metadatos de un acto?</i>

Tabla 5.8: Cuestiones de competencia específicas de una *condición*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCA38.	¿Cuál es el nombre de la condición?
CCA39.	¿Cuál es la primera parte de la expresión de la condición?
CCA40.	¿Qué ocurre si la condición es verdadera?
CCA41.	¿Qué ocurre si la condición es falsa?
CCA42.	¿Cuáles son los metadatos de una condición?

Tabla 5.9: Cuestiones de competencia específicas de una *propiedad*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCA43.	¿Cuál es el identificador de una propiedad?
CCA44.	¿Cuál es el título de una propiedad?
CCA45.	¿Cuál es el valor inicial de una propiedad?
CCA46.	¿Cuáles son las restricciones de una propiedad?
CCA47.	¿Cuál es la dimensión de una propiedad?

Tabla 5.10: Cuestiones de competencia específicas de una *habilidad*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCA48.	¿Cuál es el nombre de una habilidad?
CCA49.	¿A qué meta-dominio pertenece una habilidad?

Tabla 5.11: Cuestiones de competencia específicas de un *objetivo de aprendizaje*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCA50.	¿Cuáles son los meta-dominios en los que puede contextualizarse un objetivo?
CCA51.	¿Qué tipo de objetivos sociales existen?
CCA52.	¿Qué tipo de objetivos éticos existen?
CCA53.	¿Qué tipo de objetivos productivos existen?
CCA54.	¿Cuál es la complejidad de un determinado objetivo específico?
CCA55.	¿Cuál es el contexto en el que se desarrolla un determinado objetivo específico?
CCA56.	¿Con qué criterios de la rúbrica está relacionado un objetivo concreto?
CCA57.	¿Qué actividades tienen asociado un objetivo concreto?

Tabla 5.12: Cuestiones de competencia específicas de una *competencia*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCA58.	¿Cuál es el identificador de una competencia?
CCA59.	¿Cuál es el nombre de una competencia?
CCA60.	¿Cuál es el nivel de una competencia?
CCA61.	¿En qué subcompetencias está dividida una competencia?
CCA62.	¿Qué criterios de desempeño tiene asociada una competencia?
CCA63.	¿Qué habilidades tiene asociada una competencia?

Cuestiones de competencia relacionadas con la evaluación

A la hora de llevar a cabo las recomendaciones, se ha definido como objetivo que estas puedan ser llevadas a cabo con anterioridad al aprendizaje, durante el mismo o de manera posterior. Para afrontar este objetivo, se definen dos métodos de evaluación. El primero de ellos será a través de una rúbrica que evaluará, de manera posterior a la realización de la actividad, los criterios de desempeño. El segundo consistirá en la evaluación del estado de los objetivos o competencias

en cualquier momento a través del estado y la traza del estudiante. Este criterio comparará el nivel de desempeño relativo al estudiante con respecto al nivel de desempeño esperado por el objetivo.

A continuación se definen en las siguientes tablas algunas de las cuestiones de competencia relacionadas con la evaluación.

Tabla 5.13: Cuestiones de competencia específicas relacionadas con un *nivel de desempeño*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCE1.	¿Cuáles son las características del nivel de desempeño de la rúbrica?
CCE2.	¿Cuál es la descripción cualitativa del nivel de desempeño de la rúbrica?
CCE3.	¿Cuál es la máxima puntuación del nivel de desempeño de la rúbrica?
CCE4.	¿Cuál es la mínima puntuación del nivel de desempeño de la rúbrica?
CCE5.	¿Cuál es la información de retroalimentación asociada al nivel de desempeño?

Tabla 5.14: Cuestiones de competencia específicas relacionadas con una *rúbrica*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCE6.	¿Cuál es el título de la rúbrica?
CCE7.	¿Cuál es el identificador del criterio?
CCE8.	¿Cuál es la descripción de la rúbrica?
CCE9.	¿Es la rúbrica puntuable?
CCE10.	¿Cuál es la puntuación de la rúbrica?
CCE11.	¿En qué categorías se divide una rúbrica?
CCE12.	¿Cuál es el alcance de una rúbrica?
CCE13.	¿A qué actividades está asociada una rúbrica?

Tabla 5.15: Cuestiones de competencia específicas relacionadas con una *categoría*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCE14.	¿Cuál es el título de la categoría?
CCE15.	¿Qué criterios están asignados a una categoría?

Tabla 5.16: Cuestiones de competencia específicas relacionadas con un *criterio* de la rúbrica.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCE16.	¿Cuál es el nombre del criterio de la rúbrica?
CCE17.	¿Cuál es la descripción del criterio de la rúbrica?
CCE18.	¿Cuál es el identificador del criterio de la rúbrica?
CCE19.	¿Qué peso tiene el criterio en la rúbrica?
CCE20.	¿Qué información de retroalimentación tiene asociado el criterio de la rúbrica?
CCE21.	¿En qué niveles de desempeño se encuentra dividido el criterio de la rúbrica?

Tabla 5.17: Cuestiones de competencia específicas relacionadas con un *criterio de desempeño*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCE22.	¿Cuál es el identificador del criterio de desempeño?
CCE23.	¿De qué tipo es un criterio de desempeño específico?
CCE24.	¿Qué nivel de desempeño es necesario para superar el criterio?
CCE25.	¿Qué objetivos de aprendizaje están asociados con un criterio de desempeño?
CCE26.	¿Qué competencias están asociadas con un criterio de desempeño?

Tabla 5.18: Cuestiones de competencia específicas relacionadas con un *nivel de desempeño*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCE27.	<i>¿Cuál es el identificador del nivel de desempeño?</i>
CCE28.	<i>¿A qué criterios hace referencia un nivel de desempeño específico?</i>
CCE29.	<i>¿Con qué autonomía deben superar los estudiantes un objetivo para considerarse alcanzado?</i>
CCE30.	<i>¿Cuál es la complejidad de un determinado objetivo específico?</i>
CCE31.	<i>¿Cuál es el contexto en el que se desarrolla un determinado objetivo específico?</i>
CCE32.	<i>¿Cuál es la frecuencia con la que debe superarse un determinado objetivo para considerarse alcanzado?</i>
CCE33.	<i>¿Cuál es el alcance con el que debe superarse un determinado objetivo para considerarse alcanzado?</i>

Cuestiones de competencia relacionadas con el estudiante

En cuanto a las cuestiones de competencia relacionadas con el estudiante, previamente ya se establecieron más de 100 cuestiones de competencia (Clemente, 2011) de acuerdo con el perfil, el estado y la traza del estudiante.

En base a los requisitos definidos en este trabajo (véase Sección 4.3) se ha modificado la ontología del perfil del estudiante para facilitar la comprensión, mantenimiento y extensión de la jerarquía asociada. Se ha decidido emplear el estándar IMS-LIP en lugar de los otros analizados en la Sección 3.1 debido a su fácil integración con otros módulos como IMS-LD y a su correlación con la ontología del perfil del estudiante original. Tras realizar una comparativa entre el estándar y la ontología, nuevas cuestiones de competencia han sido incorporadas al proyecto. Un fragmento de estas cuestiones se muestra en las siguientes tablas.

Tabla 5.19: Cuestiones de competencia específicas relacionadas con una dirección en el *perfil del estudiante*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCS1.	<i>¿Cuál es el apartado postal de la ubicación donde reside el estudiante?</i>
CCS2.	<i>¿Cuál es el número de la calle donde reside el estudiante?</i>
CCS3.	<i>¿Cuál es el prefijo de la calle donde reside el estudiante?</i>
CCS4.	<i>¿Cuál es el nombre de la calle donde reside el estudiante?</i>
CCS5.	<i>¿Cuál es el tipo de calle donde reside el estudiante?</i>
CCS6.	<i>¿Cuál es el sufijo de la calle donde reside el estudiante?</i>
CCS7.	<i>¿Cuál es el tipo de apartamento donde reside el estudiante?</i>
CCS8.	<i>¿Cuál es el prefijo del número de apartamento donde reside el estudiante?</i>
CCS9.	<i>¿Cuál es el número de apartamento donde reside el estudiante?</i>
CCS10.	<i>¿Cuál es el sufijo del número de apartamento donde reside el estudiante?</i>
CCS11.	<i>¿En qué estado reside el estudiante?</i>
CCS12.	<i>¿En qué región reside el estudiante?</i>
CCS13.	<i>¿Cuál es la zona horaria de la ubicación donde reside el estudiante?</i>
CCS14.	<i>¿Cuál es la latitud de la ubicación donde reside el estudiante?</i>
CCS15.	<i>¿Cuál es la longitud de la ubicación donde reside el estudiante?</i>

Tabla 5.20: Cuestiones de competencia específicas relacionadas con la información de contacto del *perfil del estudiante*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCS16.	<i>¿Cuál es el teléfono móvil del estudiante?</i>
CCS17.	<i>¿Cuál es el código del país donde reside el estudiante?</i>
CCS18.	<i>¿Cuál es el correo electrónico del estudiante?</i>
CCS19.	<i>¿Cuál es la web del estudiante?</i>

Tabla 5.21: Cuestiones de competencia específicas relacionadas con la información de una recompensa del *perfil del estudiante*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCS20.	<i>¿Qué reconocimientos ha obtenido el estudiante?</i>
CCS21.	<i>¿De qué tipo es una cierta recompensa obtenida por el estudiante?</i>
CCS22.	<i>¿Cuál es el nombre de la recompensa?</i>
CCS23.	<i>¿Qué organización expide la recompensa?</i>
CCS24.	<i>¿Cuál es el identificador de la recompensa obtenida por el estudiante?</i>
CCS25.	<i>¿Cuál es el nivel acreditado en una recompensa obtenida por el estudiante?</i>

Tabla 5.22: Cuestiones de competencia específicas relacionadas con la información de un agente del *perfil del estudiante*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCS26.	<i>¿Cuál es el identificador del agente del estudiante?</i>
CCS27.	<i>¿Cuál es la función del agente?</i>
CCS28.	<i>¿Qué tipos de agentes existen?</i>
CCS29.	<i>¿Cuál es el dominio del agente?</i>

Tabla 5.23: Cuestiones de competencia específicas relacionadas con la información de un agente del *perfil del estudiante*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCS30.	<i>¿Cuáles son las aspiraciones actuales del estudiante?</i>
CCS31.	<i>¿De qué tipo es una aspiración de un alumno?</i>
CCS32.	<i>¿En qué fecha se estableció una aspiración?</i>
CCS33.	<i>¿Cuál es la prioridad de una aspiración?</i>
CCS34.	<i>¿Cuál es el estado de una aspiración de un alumno?</i>
CCS35.	<i>¿Cuál es la descripción de una aspiración del alumno?</i>
CCS36.	<i>¿Qué aspiraciones están englobadas en otra aspiración?</i>

Tabla 5.24: Cuestiones de competencia específicas relacionadas con la información demográfica del *perfil del estudiante*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCS37.	<i>¿Cómo puede representarse al estudiante?</i>
CCS38.	<i>¿Cuál es el lugar de nacimiento del estudiante?</i>

Tabla 5.25: Cuestiones de competencia específicas relacionadas con la información de una actividad del *perfil del estudiante*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCS39.	<i>¿Qué tipos de actividades puede realizar un estudiante?</i>
CCS40.	<i>¿En qué fecha inicia un estudiante una actividad?</i>
CCS41.	<i>¿En qué fecha finaliza un estudiante una actividad?</i>
CCS42.	<i>¿Cuál es el estado de una actividad para un determinado alumno?</i>
CCS43.	<i>¿Cuál es la recompensa que obtiene un determinado estudiante al finalizar la actividad?</i>
CCS44.	<i>¿Cuáles son los materiales del curso que un alumno ha estudiado en una determinada actividad?</i>
CCS45.	<i>¿Qué materiales se producen como resultado de que un estudiante lleve a cabo una actividad?</i>
CCS46.	<i>¿Qué testimonios se obtienen del estudiante al finalizar la actividad?</i>
CCS47.	<i>¿Qué resultados de evaluación obtiene un estudiante en una actividad determinada?</i>
CCS48.	<i>¿Qué tipo de pruebas puede tener asignada un alumno para una actividad determinada?</i>
CCS49.	<i>¿Cuál es la duración máxima disponible por un estudiante para realizar una determinada prueba de evaluación?</i>
CCS50.	<i>¿Cuál es la puntuación máxima que puede obtener un estudiante en una actividad?</i>
CCS51.	<i>¿Cuál es la puntuación mínima que puede obtener un estudiante en una actividad?</i>
CCS52.	<i>¿Cuál es la puntuación obtenida por un estudiante en una actividad?</i>
CCS53.	<i>¿Cuántos intentos ha realizado un estudiante en una determinada actividad?</i>
CCS54.	<i>¿Qué competencias ha alcanzado el estudiante mediante la realización de una determinada actividad?</i>
CCS55.	<i>¿Qué estudiantes deben superar una determinada actividad?</i>

Tabla 5.26: Cuestiones de competencia específicas relacionadas con la información de una recompensa del *perfil del estudiante* (cont.).

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCS56.	<i>¿Cuál es la fecha de emisión de la recompensa?</i>
CCS57.	<i>¿Cuál es la descripción de la recompensa?</i>

Tabla 5.27: Cuestiones de competencia específicas relacionadas con una *afiliación*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCS58.	<i>¿En qué organizaciones está afiliado un usuario?</i>
CCS59.	<i>¿Cuál es el rol del usuario en una organización determinada?</i>
CCS60.	<i>¿En qué fecha se unió el usuario a una organización determinada?</i>
CCS61.	<i>¿A qué categoría pertenece una organización a la que está afiliado un usuario?</i>
CCS62.	<i>¿Cuál es el identificador de la afiliación?</i>
CCS63.	<i>¿A que suborganizaciones está afiliado un usuario?</i>
CCS64.	<i>¿Cuál es el estado de un usuario con respecto a una afiliación?</i>
CCS65.	<i>¿Cuál es la descripción de la afiliación?</i>
CCS66.	<i>¿A qué tipo pertenece la organización a la que está afiliado un usuario?</i>
CCS67.	<i>¿Cuál es la descripción de la organización a la que está afiliado un usuario?</i>

Tabla 5.28: Cuestiones de competencia específicas relacionadas con la información de accesibilidad del *perfil del estudiante*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCS68.	<i>¿Cuál es el nivel de expresión oral de un estudiante en un idioma concreto?</i>
CCS69.	<i>¿Cuál es el nivel de expresión escrita de un estudiante en un idioma concreto?</i>
CCS70.	<i>¿Cuál es el nivel de comprensión lectora de un estudiante en un idioma concreto?</i>
CCS71.	<i>¿Cuál es el nivel de comprensión oral de un estudiante en un idioma concreto?</i>
CCS72.	<i>¿Cuáles son sus preferencias relativas a entornos físicos?</i>

Tabla 5.29: Cuestiones de competencia específicas relacionadas con una *clave de seguridad*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCS73.	<i>¿De qué tipo es una clave de seguridad determinada?</i>
CCS74.	<i>¿Cuál es el identificador de una clave de seguridad determinada?</i>
CCS75.	<i>¿Cuál es la descripción de una clave de seguridad determinada?</i>
CCS76.	<i>¿A qué elemento pertenece una clave de seguridad determinada?</i>
CCS77.	<i>¿Cuál es la clave de seguridad determinada de un elemento concreto?</i>

Tabla 5.30: Cuestiones de competencia específicas relacionadas con un *interés*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCS78.	<i>¿Cuáles son los hobbies del estudiante?</i>
CCS79.	<i>¿Cuáles son las actividades recreativas del estudiante?</i>
CCS80.	<i>¿Cuál es la descripción de un hobby del estudiante?</i>
CCS81.	<i>¿Cuál es la descripción de una actividad recreativa del estudiante?</i>
CCS82.	<i>¿Cuál es el producto resultante del hobby del estudiante?</i>
CCS83.	<i>¿Cuál es el producto resultante de una actividad recreativa del estudiante?</i>

Tabla 5.31: Cuestiones de competencia específicas relacionadas con la información de una competencia del *perfil del estudiante*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCS84.	<i>¿Qué competencias ha alcanzado el estudiante en cualquier momento?</i>
CCS85.	<i>¿En qué fecha alcanzó un estudiante una competencia determinada?</i>
CCS86.	<i>¿Cuál es la descripción de la competencia alcanzada por el estudiante?</i>

Tabla 5.32: Cuestiones de competencia específicas relacionadas con la información del expediente académico del *perfil del estudiante*.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCS87.	<i>¿Cuál es el expediente académico de un estudiante en una institución?</i>
CCS88.	<i>¿Cuál es la descripción del expediente académico de un estudiante en una institución?</i>
CCS89.	<i>¿Cuál es el enlace externo al expediente académico del estudiante?</i>

Tabla 5.33: Cuestiones de competencia específicas relacionadas con una relación.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCS90.	<i>¿Cuál es el elemento origen de la relación?</i>
CCS91.	<i>¿Cuál es la descripción de la relación?</i>
CCS92.	<i>¿Cuál es la relación existente entre los elementos?</i>
CCS93.	<i>¿Cuál es el elemento destino de la relación?</i>

En el amplio abanico de cuestiones de competencia definidas para que la red de ontologías del estudiante cubra los nuevos requisitos, descritos previamente, también deben estar incluidas cuestiones sobre el estado y/o la traza del estudiante puesto que estas ontologías registran la información actual o pasada y pueden ser de especial relevancia para las futuras recomendaciones. En las siguientes tablas se definen algunas de las nuevas cuestiones de competencia no contempladas previamente y estrechamente relacionadas con estas dos ontologías.

Tabla 5.34: Cuestiones de competencia específicas relacionadas con el estado del estudiante.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCS94.	<i>¿Cuál es el estado actual de la autonomía demostrada por un estudiante para un objetivo concreto?</i>
CCS95.	<i>¿Cuál es el estado actual del alcance demostrado por un estudiante para un objetivo?</i>
CCS96.	<i>¿Cuál es la frecuencia actual mostrada por un estudiante para un objetivo concreto?</i>
CCS97.	<i>¿Cuál es el nivel de desempeño actual de un estudiante en un criterio concreto?</i>
CCS98.	<i>¿Cuál es el nivel obtenido por un estudiante en un criterio de la rúbrica concreto?</i>
CCS99.	<i>¿Cuál es el resultado obtenido por un estudiante en una rúbrica?</i>

Tabla 5.35: Cuestiones de competencia específicas relacionadas con la traza del estudiante.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCS100.	<i>¿De qué trazas de competencias consta el registro de trazas de competencias de un estudiante?</i>
CCS101.	<i>¿Cuál es el estado de competencias asociado a una cierta traza de competencia de un estudiante?</i>
CCS102.	<i>¿De qué trazas de indicadores de desempeño consta el registro de trazas de competencias de un estudiante?</i>
CCS103.	<i>¿De qué trazas de rúbricas consta el registro de trazas de una actividad de un estudiante?</i>
CCS104.	<i>¿Cuál es el estado de una rúbrica asociado a la traza de una rúbrica de un estudiante?</i>
CCS105.	<i>¿De qué traza de hobbies consta el registro de trazas de hobbies de un estudiante?</i>
CCS106.	<i>¿Cuál es el estado de hobbies asociado a la traza de hobbies de un estudiante?</i>
CCS107.	<i>¿De qué trazas de accesibilidad consta el registro de trazas de lenguajes de un estudiante?</i>
CCS108.	<i>¿Cuál es el estado de lenguajes asociado a una cierta traza de accesibilidad de un estudiante?</i>
CCS109.	<i>¿De qué trazas de actividad consta el registro de trazas de actividades de un estudiante?</i>

Tabla 5.36: Cuestiones de competencia específicas relacionadas con la recomendación.

ID	CUESTIÓN DE COMPETENCIA
CCS110.	<i>¿A qué entidad hace referencia la recomendación?</i>
CCS111.	<i>¿Cuál es el identificador de la recomendación?</i>
CCS112.	<i>¿Cuál es la descripción de la recomendación?</i>

5.3.1.2. Actividad 2 - Reingeniería de la red de ontologías

Una de las principales ventajas que conllevan las ontologías frente a otros sistemas de estructuración de información es la facilidad de extensión o reorganización de las entidades. De este modo, es posible combinar diferentes recursos existentes, extender un recurso o adaptarlo según determinadas condiciones. En esta sección se describirá el proceso de reingeniería llevado a cabo con las diferentes ontologías.

Adaptaciones de la Ontología del Estudiante original

Con el transcurso del tiempo, es habitual que una base de conocimiento necesite ser adaptada para incorporar información soporte de nuevas funcionalidades, establecerla conforme a estándares, etc. Por estos motivos, se ha decidido adaptar la red de ontologías previa a este trabajo.

Una de las ontologías que ha sufrido modificaciones más relevantes es «StudentProfile», que ha sido adaptada al estándar IMS LIP ([Global Learning Consortium, 2002](#)) tal y como se recoge en el segundo objetivo del planteamiento del problema (véase Apartado 4.2). IMS LIP está separado en 11 categorías requeridas en el soporte de la información del estudiante (véase Figura 5.4). La primera categoría es *Identification* y contiene los datos generales de un usuario o una organización como el nombre, la dirección o los datos demográficos. La segunda categoría es *Accessibility* e incluye las preferencias cognitivas, técnicas y físicas del estudiante y sus capacidades, discapacidades y elecciones. *Goal* engloba la descripción de los objetivos personales y aspiraciones. *QCL* comprende información acerca de las cualificaciones, certificados y licencias logradas por el estudiante. La quinta categoría es *Activity* e incluye los registros de educación/entrenamiento, trabajo y servicios militares. La sexta categoría es denominada *Transcript* y contiene registros del desempeño académico del estudiante. *Competency* es la séptima categoría y representa las habilidades que el estudiante ha alcanzado. La categoría *Interest* detalla los hobbies y otras actividades recreativas. Por otra parte, *Affiliation* almacena los datos acerca de grupos, clases, equipos o instituciones a las que pertenece un estudiante. *SecurityKey* registra las contraseñas, certificados, pines y otras claves de autenticación. Finalmente, la clase *Relationship* contiene los vínculos existentes entre otras estructuras.

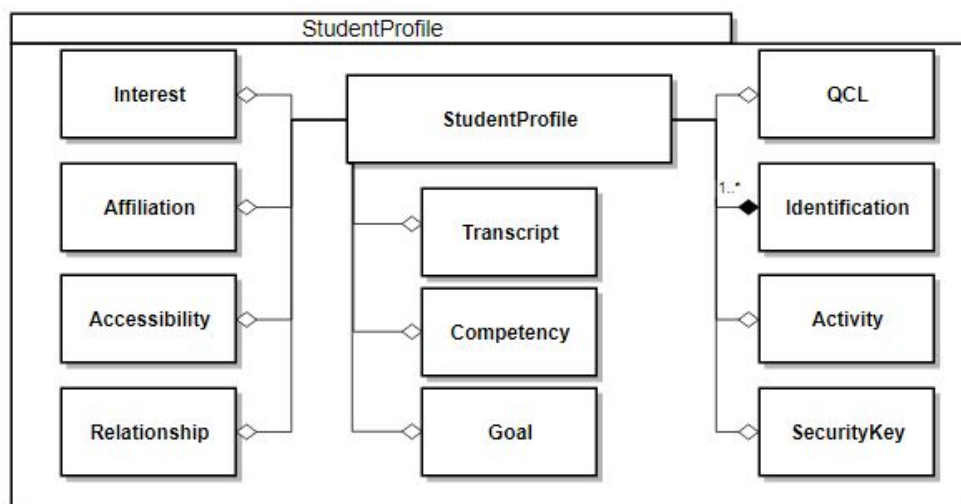


Figura 5.4: Adaptación de «StudentProfile».

Con el fin de abordar el primer objetivo definido en el planteamiento del problema (véase Apartado 4.2), también se ha modificado la ontología «LearningObjective». En este caso se

propone incorporar a la ontología dos alternativas: la primera consiste en seguir empleando la taxonomía de objetivos de Bloom pero extenderla en anchura con nuevos meta-dominios como el ético, productivo o social; la segunda consiste en aplicar un proceso de reingeniería a la Ontología de Competencias de Paquette. Este apartado se centra en la primera alternativa. La segunda alternativa se detalla en el Apartado 5.3.1.2.1).

Los nuevos tipos de objetivos: social, ético y productivo, deben definirse a la misma altura que los ya existentes en la taxonomía de Bloom o en la Ontología del Estudiante original (cognitivo, afectivo y psicomotor), es decir, heredan de la clase «SpecificObjective» (véase Figura 5.5). Si bien es cierto que no ha sido necesaria la incorporación de nuevas propiedades relacionadas con esta extensión de la ontología, cada una de las nuevas clases sí se subdividen en objetivos más específicos de cada meta-dominio.

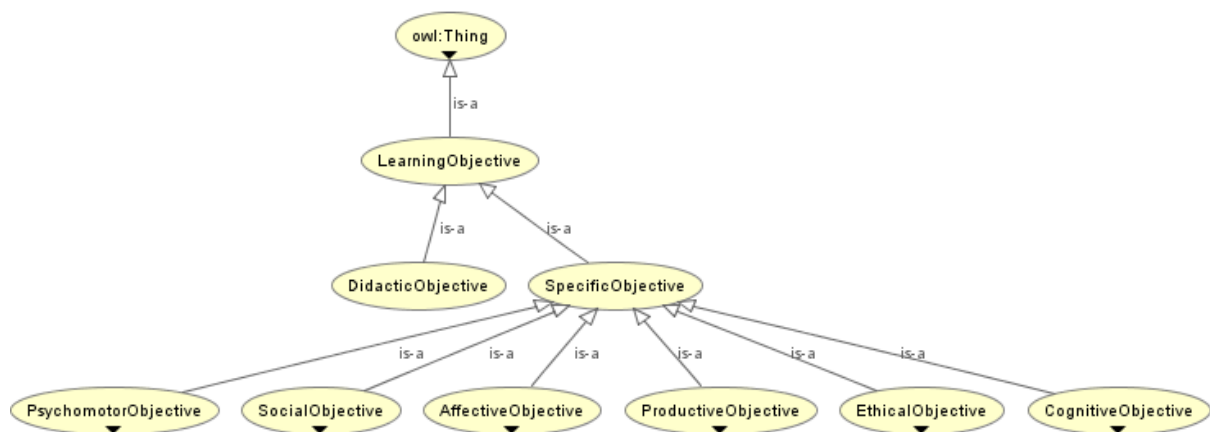


Figura 5.5: Estructura jerárquica de las clases superiores de la ontología «LearningObjective».

La clase «SocialObjective» representa los objetivos relacionados con las relaciones interpersonales y está influida por las taxonomías de CASAS (Rickard and Stiles, 1985), Key Skills (Kelly, 2006) y Paquette (Paquette et al., 2015). Esta clase agrupa los siguientes seis tipos de objetivos sociales (véase Figura 5.6):

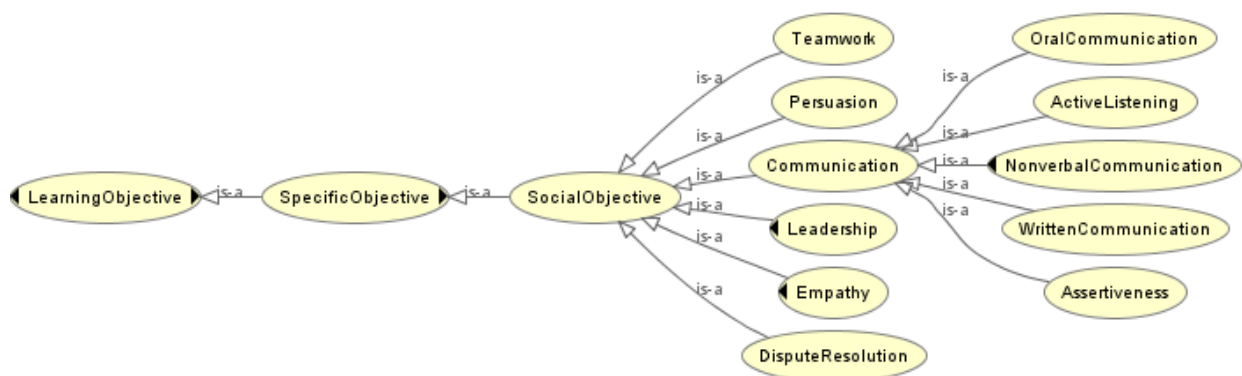


Figura 5.6: Estructura jerárquica de la clase «SocialObjective».

- «Teamwork». Se refiere a todos los objetivos relacionados con el trabajo en equipo. Por ejemplo, *ser capaz de trabajar en equipos multidisciplinares* o *ser capaz de adaptarse a diferentes roles dentro de un equipo*.
- «Persuasion». Engloba los objetivos relacionados con la capacidad de convencer a una

persona o grupo para que actúe o piense de una determinada manera mediante el uso de las palabras. Algunos ejemplos de este tipo de objetivos son: *ser capaz de convencer a un grupo de personas que obtendrán mejores resultados si trabajan de forma colaborativa* o *ser capaz de convencer a una persona para que lea las instrucciones de entrega de una tarea antes de realizar esta acción*.

- «Communication». Abarca los objetivos relacionados con la capacidad de un usuario para intercambiar información con otros. Este objetivo puede lograrse mediante la comunicación oral, comunicación escrita, comunicación no verbal, capacidad de escucha o asertividad. Algunos ejemplos de objetivos de comunicación son: *ser capaz de escuchar con detenimiento las opiniones de otra persona* o *ser capaz de acompañar una presentación oral con la comunicación no verbal adecuada*.
- «Leadership». Comprende los objetivos relacionados con el liderazgo de un usuario en un contexto determinado. Algunas posibles instancias de objetivos de liderazgo son: *ser capaz de tomar decisiones anteponiendo el beneficio del proyecto ante el beneficio del propio usuario* o *ser capaz de incentivar al resto de miembros de un proyecto para aumentar la calidad del mismo*.
- «Empathy». Incluye los objetivos relacionados con la capacidad de percibir, compartir y comprender los sentimientos de otra persona. Por ejemplo, son objetivos de empatía: *ser capaz de percibir cuándo un compañero necesita ayuda con una tarea específica* o *ser capaz de llegar a un acuerdo en la distribución de las tareas de una actividad respetando las preferencias o discapacidades del resto de compañeros*.
- «DisputeResolution». Consta de los objetivos relacionados con la capacidad para llegar a un acuerdo con otro usuario cuando existen puntos de vista diferentes. Algunos ejemplos de objetivos de resolución de disputas son: *ser capaz de argumentar ante otras personas el punto de vista del usuario acerca de un determinado tema* o *ser capaz de comprender y aceptar el punto de vista de otros usuarios*.

La clase «ProductiveObjective» engloba los objetivos relevantes para llevar a cabo un proyecto o negocio exitoso. Está inspirado en CPA Vision (Thomas, 2000). Cabe resaltar que algunos objetivos de esta entidad pertenecen también a otras clases, como por ejemplo el objetivo *Leadership* recientemente analizado desde el punto de vista social. La Figura 5.7 representa la estructura jerárquica de los objetivos productivos. A continuación se definen algunos de ellos:

- «ProblemsIdentification». Hace referencia a los objetivos relacionados con la capacidad que tiene un individuo para identificar el estado inicial de una situación, el estado final, los obstáculos intermedios y los procedimientos para resolver dichos obstáculos. Pueden ser considerados objetivos de identificación de problemas: *ser capaz de identificar los fragmentos de código erróneos en una aplicación*, *ser capaz de seguir un procedimiento preestablecido para resolver una situación problemática identificada*., etc.
- «Perseverance». Se refiere a aquellos objetivos relacionados con la predisposición que tiene un individuo para mantenerse constante en la realización de unas determinadas acciones hasta lograr el/los objetivo/s propuesto/s. Por ejemplo, *ser capaz de finalizar una maratón* o *ser capaz de escribir una novela*.
- «Leadership». Representa los objetivos relacionados con la capacidad que tiene un individuo para influir en los demás, tomar decisiones beneficiosas para el grupo y dirigirlos hasta lograr una meta común. Son ejemplos de objetivos de liderazgo: *ser capaz de gestionar a un grupo de individuos para desarrollar un proyecto complejo* o *ser capaz de decidir entre diversas opciones aquellas que sean más beneficiosas para el proyecto*.
- «Strategy». Incluyen los objetivos relacionados con la capacidad que tiene un individuo para planificar o seguir una estrategia para un proyecto determinado. Pueden considerarse objetivos estratégicos: *ser capaz de preparar un conjunto de acciones a llevar a cabo para*

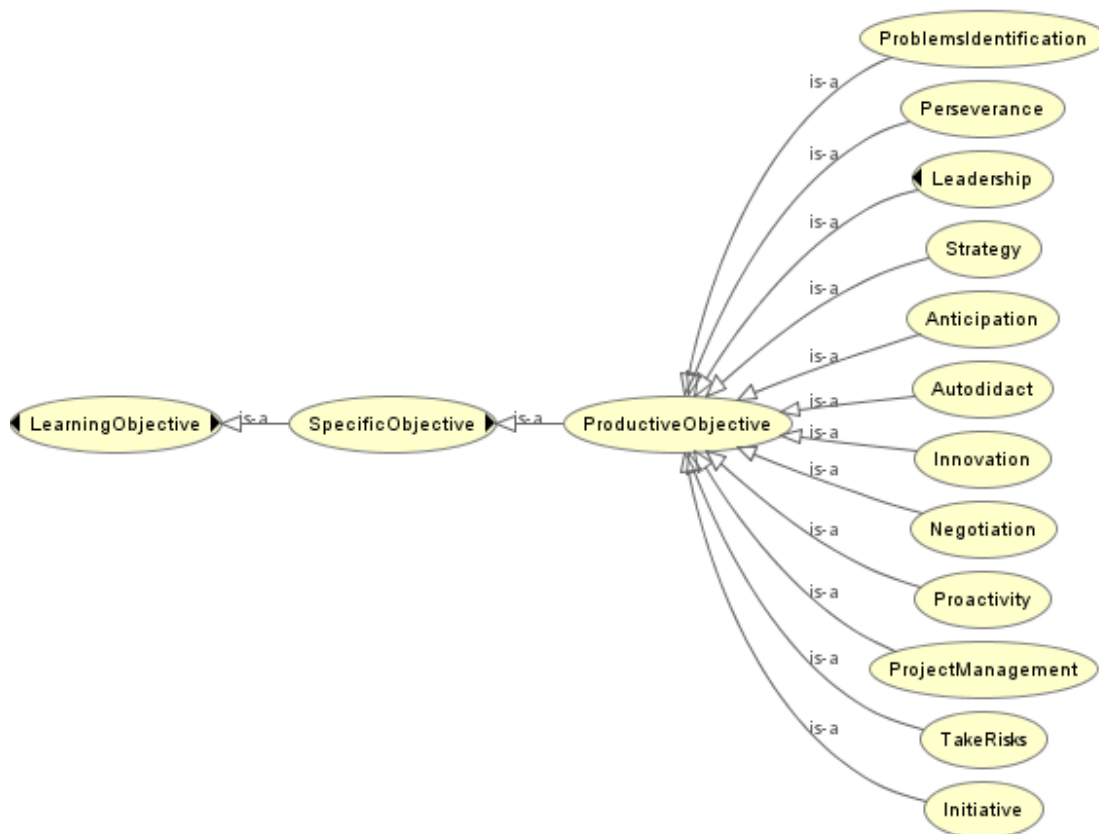


Figura 5.7: Estructura jerárquica de la clase «ProductiveObjective».

alcanzar una meta final, ser capaz de comprender la importancia de aplicar un conjunto de acciones de forma adecuada para alcanzar una estrategia prefijada, etc.

- «Anticipation». Abarca los objetivos relacionados con la capacidad que tiene un individuo para prever de antemano que algo va a suceder y estar preparado para ello. Son objetivos de anticipación: *ser capaz de prever una oportunidad y estar preparado para ella, ser capaz de anticiparse a un posible error ofreciendo una solución antes de que se produzca, etc.*
- «Autodidact». Comprende los objetivos relacionados con la capacidad que tiene un individuo de aprender por su cuenta. Por ejemplo, son objetivos autodidactas: *ser capaz de aprender un lenguaje de programación de manera autónoma o ser capaz de aprender a tocar la guitarra de manera autónoma.*
- «Innovation». Engloba los objetivos relacionados con la capacidad que tiene un individuo de introducir novedades en un elemento para mejorarlo o renovarlo. Se pueden considerar objetivos innovadores: *ser capaz de introducir un nuevo instrumento de evaluación en una práctica, ser capaz de incorporar un nuevo método de trabajo en una empresa, etc.*
- «Negotiation». Comprende los objetivos relacionados con la capacidad que tiene un individuo para llegar a un acuerdo o solución con otros individuos con metas diferentes. Algunos ejemplos de objetivos de negociación son: *ser capaz de acordar qué tareas hace cada usuario en un grupo de trabajo o ser capaz de acordar la fecha de entrega de un producto.*
- «Proactivity». Representa los objetivos relacionados con la capacidad que tiene un usuario para asumir el control absoluto de su conducta de forma activa. Esto conlleva tomar la iniciativa para desarrollar acciones que supongan mejoras en el proyecto. Por ejemplo, se consideran objetivos proactivos: *ser capaz de implementar mejoras de accesibilidad en una aplicación sin que esto suponga una de las tareas a desarrollar.*

- «ProjectManagement». Representa los objetivos relacionados con la capacidad que tiene un individuo para organizar, motivar o controlar los recursos de un proyecto. Entre los objetivos de gestión de proyectos es posible encontrar, por ejemplo: *ser capaz de gestionar el uso de los recursos informáticos para optimizar el uso de los equipos* o *ser capaz de motivar al resto de compañeros para alcanzar una meta común*.
- «TakeRisks». Engloba los objetivos relacionados con la capacidad que tiene un individuo para tomar riesgos en un determinado proyecto. Por ejemplo: *ser capaz de tomar decisiones no consensuadas con el resto de componentes del equipo* o *ser capaz de implementar una mejora no solicitada*.
- «Initiative». Comprende los objetivos relacionados con la capacidad que tiene un individuo de emprender acciones, crear oportunidades o mejorar resultados sin necesidad de un requerimiento externo. Ejemplos de objetivos de iniciativa son: *ser capaz de proponer una mejora en un servicio* o *ser capaz de modificar el diseño de una aplicación para adaptarlo a un nuevo estándar*.

La clase «EthicalObjective» comprende los objetivos relacionados con los valores éticos. Se ha inspirado en el estudio llevado a cabo por Rokeach (1973). La subclase de «EthicalObjective» denominada «InstrumentalValues» se refiere a aquellos objetivos éticos que se desean alcanzar por el bien de un fin posterior mientras que la subclase «FinalValues» representa objetivos éticos que se pretenden alcanzar para su propio fin. A continuación, se describen cada uno de los objetivos instrumentales y finales incluidos en la red modular (véase Figura 5.8):

- «Honesty». Objetivos instrumentales relacionados con la capacidad de un individuo para actuar de manera justa u honrada. Por ejemplo, son objetivos de honestidad: *ser capaz de notificar su escasa participación en un proyecto grupal* o *ser capaz de reconocer la labor de otras personas en un artículo de investigación mediante autoría o agradecimientos*.
- «Tolerance». Objetivos instrumentales relacionados con la capacidad de un individuo para respetar las opiniones, ideas o actitudes del resto de individuos aunque difieran de las propias. Por ejemplo, son objetivos de tolerancia: *ser capaz de respetar las opiniones del resto de miembros del grupo*.
- «Respect». Objetivos instrumentales relacionados con la capacidad de un individuo para respetar a una persona o un elemento. Por ejemplo, son objetivos de respeto: *ser capaz de acatar las normas establecidas en una actividad* o *no interrumpir a un compañero sin su permiso mientras realiza una presentación*.
- «SocialCommitment». Objetivos instrumentales relacionados con la capacidad de un individuo o grupo para buscar un bien común. Entre los objetivos de compromiso social se pueden considerar: *colaborar de manera activa con una ONG* o *rellenar un formulario para una encuesta médica*.
- «Responsibility». Objetivos instrumentales relacionados con la capacidad de un individuo de poner especial cuidado y atención en lo que hace. Entre los objetivos de responsabilidad se pueden considerar: *entregar un trabajo en las fechas previamente establecidas* o *tomar las precauciones de seguridad necesarias al iniciar una actividad*.
- «Humility». Objetivos instrumentales relacionados con la capacidad de un individuo de conocer las propias limitaciones y debilidades y en obrar de acuerdo con ese conocimiento. Por ejemplo, *ser capaz de admitir los puntos débiles de uno mismo* o *ser capaz de restar importancia a los logros obtenidos*.
- «Ecology». Objetivos instrumentales relacionados con la concienciación de un individuo por el sistema ecológico. Ejemplos de objetivos ecológicos son: *ser capaz de realizar una práctica utilizando únicamente material reciclado* o *reciclar de manera activa los envases de plástico*.

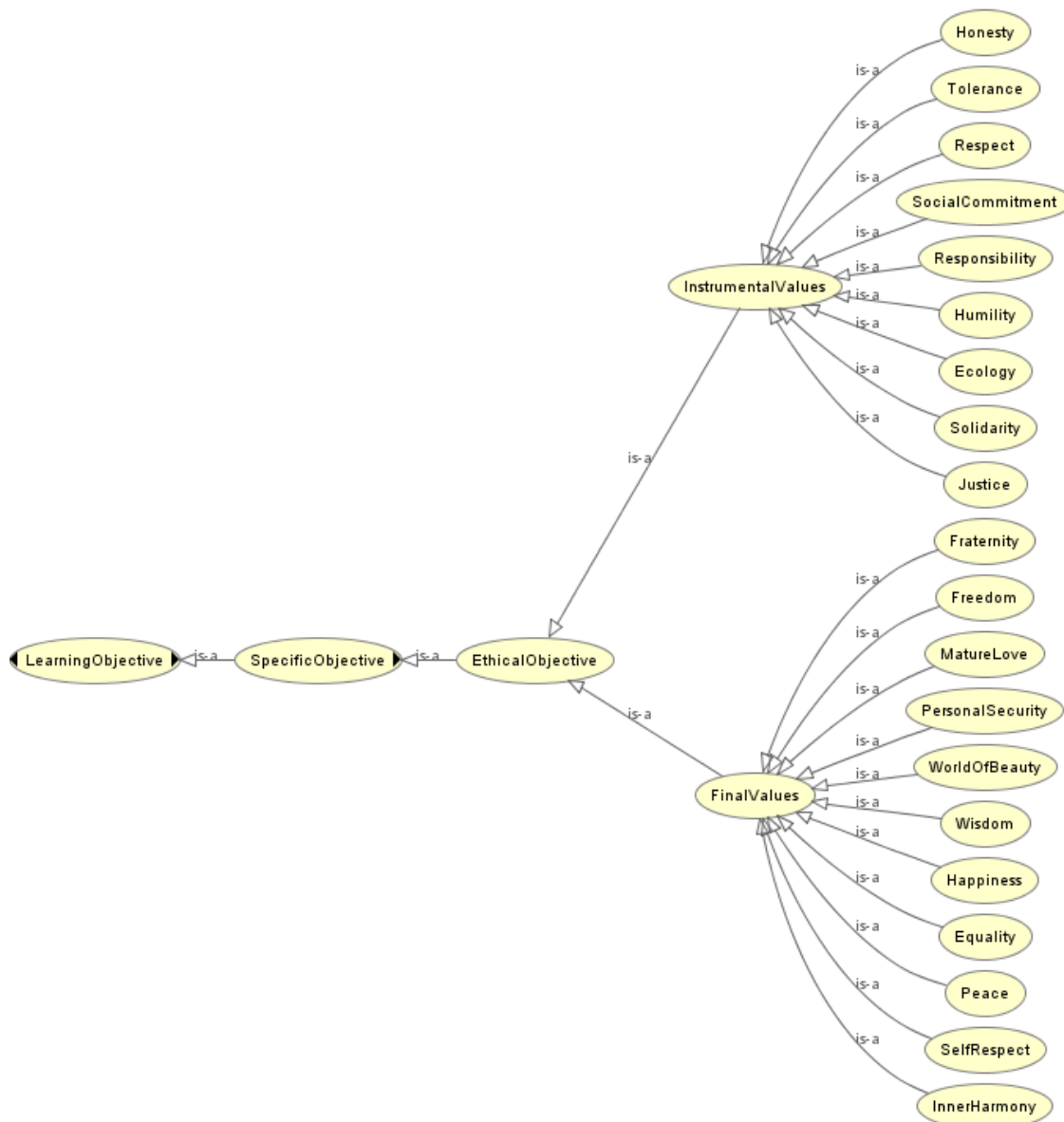


Figura 5.8: Estructura jerárquica de la clase «EthicalObjective».

- «Solidarity». Objetivos instrumentales relacionados con la capacidad de un individuo de ayudar a otro sin esperar recibir nada a cambio. Algunos ejemplos de objetivos de solidaridad son: *ser capaz de ayudar a otros compañeros en la comprensión de un conocimiento o ser capaz de apoyar en una causa ajena.*
- «Justice». Objetivos instrumentales relacionados con la capacidad de un individuo para obrar respetando la verdad y dando a cada uno lo que le corresponde. Se considera objetivo de justicia: *ser capaz de ofrecer reconocimiento en un trabajo a aquellas personas que han trabajado.*
- «Fraternity». Objetivos éticos que representan un valor final relacionado con la forma de ser de un individuo al tratar a un grupo de individuos con el mismo afecto y confianza que si fueran hermanos. Algunos ejemplos de este tipo de objetivos son: *colaborar de una manera voluntaria en la organización de un evento benéfico o mostrar apoyo a una persona que es discriminada.*
- «Freedom». Objetivos éticos que representan un valor final relacionado con la facultad y derecho de un individuo para elegir, de forma responsable, su propia forma de ser o actuar

en un colectivo o sociedad. Por ejemplo: *ser capaz de conversar de manera fluida acerca de un tema elegido por el individuo* o *ser capaz de colaborar de forma voluntaria con una organización elegida por el individuo*.

- «MatureLove». Objetivos éticos que representan un valor final relacionado con el amor maduro, es decir, el que es alimentado con comprensión y respeto. Por ejemplo: *expresar de forma sincera los sentimientos propios acerca de otro*.
- «PersonalSecurity». Objetivos éticos que representan un valor final relacionado con la seguridad personal, es decir, la sensación que tiene un individuo acerca de su capacidad para realizar una tarea de forma eficiente. Un ejemplo de objetivo de seguridad personal es: *expresar de forma convincente la opinión acerca de un suceso reciente*.
- «WorldOfBeauty». Objetivos éticos que representan un valor final relacionado con el mundo de la belleza. Un ejemplo de objetivo de belleza es: *ser capaz de elegir la indumentaria de acuerdo a las situaciones sociales*.
- «Wisdom». Objetivos éticos que representan un valor final relacionado con la sabiduría o conjunto de conocimientos adquiridos mediante el estudio o la experiencia. Algunos ejemplos de objetivos de sabiduría son: *ser capaz de leer una novela histórica* o *ser capaz de participar en una conversación aportando datos relevantes acerca de un tema específico*.
- «Happiness». Objetivos éticos que representan un valor final relacionado con la felicidad. Estos objetivos suelen estar relacionados con la satisfacción personal de una persona al alcanzar una meta deseada. Por ejemplo: *ser capaz de mostrar una actitud positiva en la realización de un trabajo*.
- «Equality». Objetivos éticos que representan un valor final relacionado con la igualdad. Algunos ejemplos de objetivos de igualdad son: *tratar a todos los demás compañeros con el mismo respeto independientemente de sus rasgos personales* u *ofrecer las mismas condiciones laborales a dos personas con las mismas capacidades y cuyo puesto es idéntico*.
- «Peace». Objetivos éticos que representan un valor final relacionado con la paz o tranquilidad mental de una persona. Se pueden considerar ejemplos de objetivos de paz: *ser capaz de resolver un conflicto con otra persona de forma no violenta* o *ser capaz de mantener buenas relaciones con el resto de compañeros de una práctica*.
- «SelfRespect». Objetivos éticos que representan un valor final relacionado con el amor propio y autorespeto que siente un individuo hacia sí mismo. Un ejemplo de objetivo de amor propio es: *ser capaz de tomar decisiones de acuerdo a los intereses propios independientemente del pensamiento del resto*.
- «InnerHarmony». Objetivos éticos que representan un valor final relacionado con la armonía interna, es decir, con la capacidad del individuo de actuar con paz y confianza incluso en situaciones difíciles. Ejemplos de objetivos de armonía interna son: *ser capaz de mantener la calma en un incendio* o *en una presentación oral*.

Si bien es cierto que muchos de estos objetivos son relevantes a diario, la gran mayoría de experiencias de aprendizaje sugeridas en este trabajo no contemplan objetivos de muchas subjerarquías. A pesar de esto, dichos objetivos pueden ser empleados en muchas actividades, como por ejemplo, un objetivo de armonía interna puede ser alcanzado en una clase de yoga, un objetivo de fraternidad puede alcanzarse en un seminario acerca de la igualdad o un objetivo persuasivo puede ser importante en una actividad relacionada con los medios de comunicación. Puesto que una de las metas fundamentales de este trabajo es ofrecer un sistema flexible que pueda aplicarse a múltiples entornos o escenarios, se ha considerado la inclusión de un importante número de nuevos objetivos de aprendizaje.

Cabe destacar que el resto de los tipos de objetivos contemplados en este modelo, es decir, los objetivos cognitivo, afectivo y psicomotor, ya se encontraban registrados en la Ontología del Estudiante y su jerarquía es mostrada en forma de tabla en el Anexo 9. Debido a que estos

objetivos no han sufrido variaciones respecto al modelo original, no serán explicados en esta sección.

De igual modo, las ontologías «KnowledgeObject» y «StudentInformation» no han sufrido apenas variaciones respecto a las originales. Únicamente se ha realizado la conexión con aquellas ontologías que así lo han requerido. Por ejemplo, la ontología referente a los objetos de conocimientos es ahora una subjerarquía de «LearningObject» perteneciente a la ontología «UnitOfLearning».

La ontología «StudentMonitoring» no ha sido incluida en la red de ontologías desarrollada para esta tesis puesto que no se prevé su uso a corto o medio plazo. A pesar de que esta ontología pertenecía a la red modular del estudiante original, no fue utilizada ni en el proyecto de investigación inicial, ni en los trabajos futuros. Cabe destacar que en caso de que se necesite su empleo en algún instante, su inclusión en la red modular de ontologías no supondría ningún tipo de problema gracias a la flexibilidad que presentan las redes de ontologías para incluir, modificar o eliminar clases o propiedades.

Por último, en este apartado se analizarán conjuntamente las modificaciones llevadas a cabo en las ontologías «StudentState» y «StudentTrace». Se ha decidido explicar la reingeniería de ambas ontologías a la vez debido a su estrecha relación. Estas ontologías deben incluir toda la nueva información detallada en las cuestiones de competencia especificadas en la Sección 5.3.1.1.

Una de las grandes modificaciones que han sufrido estas ontologías está relacionada con las competencias. Este concepto, como tal, no existía en la red original por lo que su incorporación implica la creación de las clases relacionadas «CompetenceState» y «CompetenceTrace». El estado de la competencia registra, además de la referencia al estudiante y a la competencia, la valoración de la competencia y el motivo por el que presenta ese valor, si es asumida de manera inicial, el nivel de fiabilidad de dicha competencia por parte del estudiante, el nivel actual del estudiante en los diferentes indicadores de desempeño para esa competencia y la traza de competencia asociada. La traza dispone de la referencia a la información del estudiante, los valores temporales y el estado de competencia asociado.

Estrechamente relacionado con las competencias se encuentran los indicadores de desempeño que ofrecen información más específica acerca de los objetivos y las competencias. El valor de estos indicadores de desempeño son propios de cada estudiante y, por tanto, es necesario incluirlos en las ontologías de trazas y estados. La clase «PerformanceCriterionState» ha sido incluida como subclase de «PerformanceState» y registra propiedades que describen a qué competencia u objetivo pertenece, a qué criterio de desempeño se refiere y el nivel actual de desempeño mostrado por el estudiante para ese criterio en el objetivo o competencia especificado. Asimismo, la clase «PerformanceCriterionTrace» contiene, además de la referencia al estudiante y los instantes inicial y final, los objetivos o las competencias a la que pertenece así como los estados asociados (véase Figura 5.9).

También se ha añadido a estas ontologías toda la información relacionada con el estado y la traza de las rúbricas puesto que estas también son dependientes de los estudiantes. Para ello, se han creado dos clases tanto para el estado («RubricState» y «RubricCriterionState») como para la traza («RubricTrace» y «CriterionTrace»). «RubricState» únicamente registra información genérica de la rúbrica y del estudiante. «RubricCriterionState» representa, además, el criterio al que se refiere y el nivel actual mostrado por el estudiante. «RubricTrace» registra el estado asociado de una rúbrica para un estudiante concreto en un periodo de tiempo determinado. «CriterionTrace» registra el estado de un criterio asociado a una rúbrica en un intervalo de

tiempo determinado. La información completamente detallada de estas ontologías se encuentra descrita en las Tablas 9.81, 9.75 y 9.89 pertenecientes al Anexo 9.

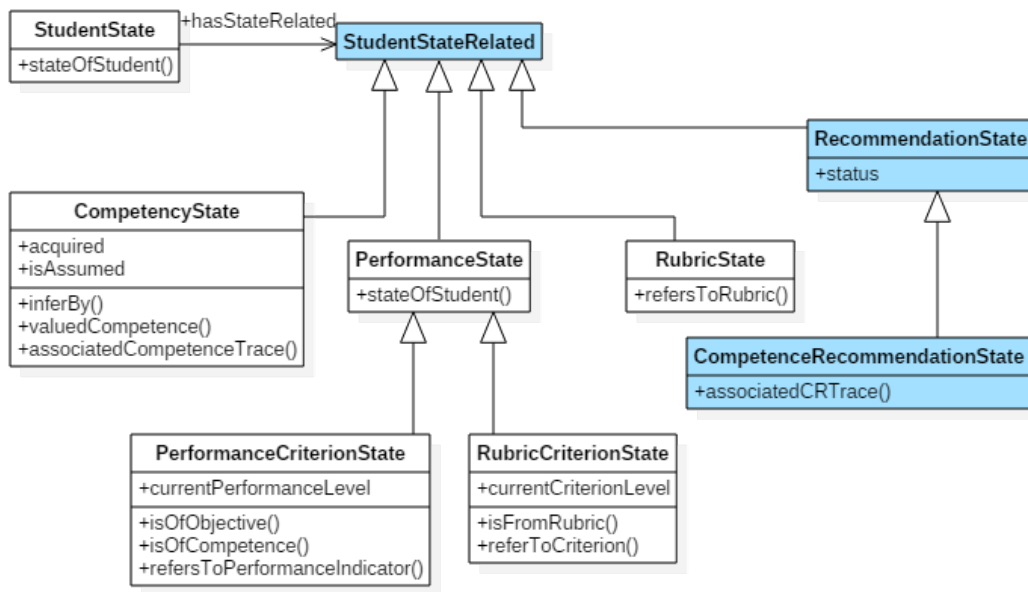


Figura 5.9: Reingeniería de la ontología «StudentState». Adaptación realizada a la ontología de (Clemente, 2011).

La ontología de la traza también registra información acerca de algunas nuevas propiedades del perfil del estudiante como los hobbies o la accesibilidad con el fin de mantener un histórico de esas características (véase Figura 5.10).

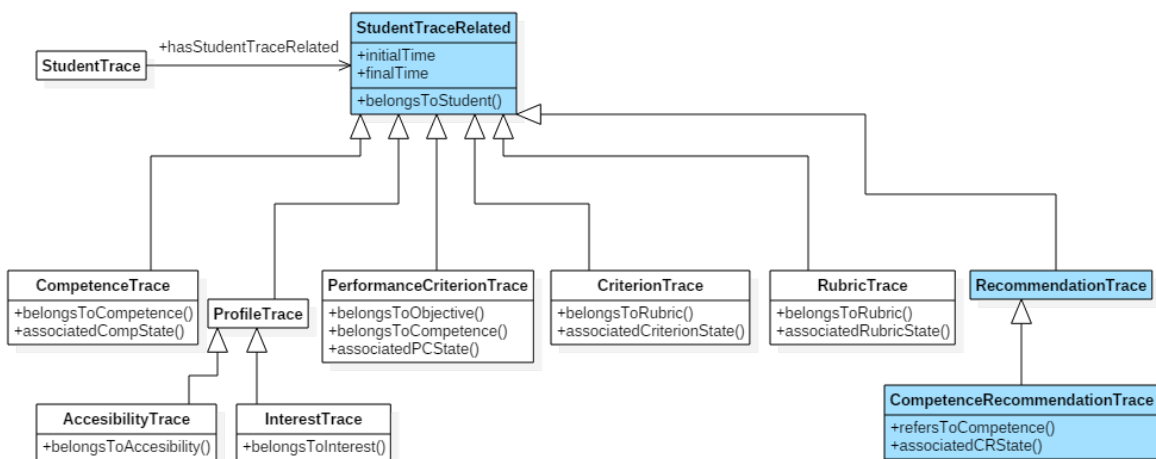


Figura 5.10: Reingeniería de la ontología «StudentTrace». Adaptación realizada a la ontología de (Clemente, 2011).

Finalmente, se ha creado una pequeña ontología de recomendación que contiene los datos básicos de las mismas (identificador, descripción y tipo). En este proyecto, se han tenido en cuenta recomendaciones de competencias, acciones, actividades, indicadores de desempeño y criterios de rúbricas (véase Figura 5.11).

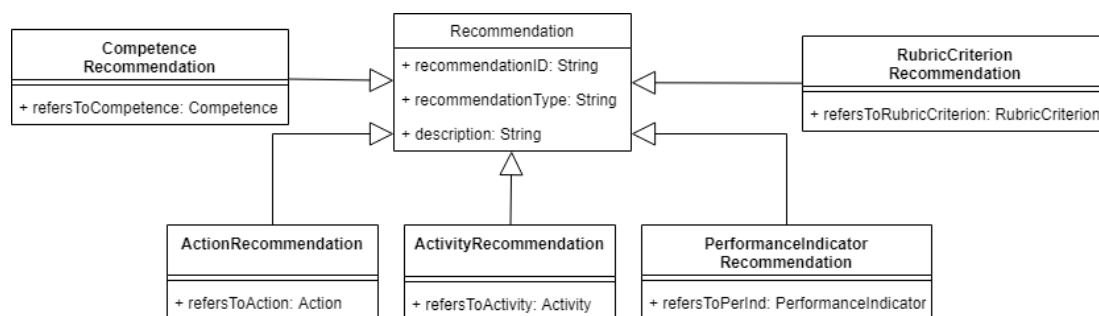


Figura 5.11: Diseño de la ontología «Recommendation».

5.3.1.2.1. Reingeniería de la Ontología de Paquete

En este apartado se describe la Ontología de Paquete original y el proceso de reingeniería ontológica siguiendo la guía metodológica de NeOn para incorporar diferentes recursos a esta red modular de ontologías.

Descripción de la Ontología de competencias de Paquete

De igual modo que la Ontología del Estudiante, la red modular de Paquete está compuesta por varias ontologías («Domain», «Competency», «Resource», etc). En este apartado se detalla la ontología de competencias puesto que es la que se ha incorporado a la propuesta.

La clase «Competency» es la entidad principal de esta ontología. Contiene todas las instancias de las competencias definidas por los instructores. Asimismo, esta clase dispone de propiedades para definir los niveles de desempeño de la competencia («hasPerformanceLevel»), el nivel de la habilidad («hasGenericSkill»), la relación con otras competencias («hasSubCompetency»), la descripción («hasStatement») y un conocimiento asociado («hasKnowledge»). La clase «Competency» también está asociada con la clase «CompetencyReferencial» a través de la propiedad «isComposedOf», donde «CompetencyReferencial» representa un modelo de competencias.

Otra entidad relevante en esta ontología es «GenericSkillType». De esta clase heredan finalmente los diez niveles de habilidades identificadas en el modelo. Sin embargo, los autores han empleado diferentes versiones de esta rama de la ontología. En el año 2007, se extendió la clase de habilidades genéricas para disponer de mayor información del tipo de competencia, incluyendo las categorías («Receive», «Reproduce», «Produce» y «Self-Manage») y diferentes subniveles en las habilidades (véase Figura 5.12).

La categoría «Receive» representa las habilidades de nivel más básico. En esta categoría se encuentran los niveles de «Pay-Attention» y «Memorize»³. La categoría «Reproduce» recopila las instancias relacionadas con «Explicitate» («Discriminate», «Clarify» e «Illustrate»), «Transpose» y «Apply» («Simulate» y «Use»). La categoría «Create» representa las habilidades de «Analyze» («Predict», «Diagnose», «Deduce» y «Clasify»), «Repair» y «Synthesize» («Plan», «Model» e «Induce»). Finalmente, la categoría de más nivel, «Self-Manage», registra las habilidades de «Evaluate» y «Self-Control» («Control» e «Influence»).

³Cabe destacar que, originalmente, el nivel «Memorize» fue representado junto a «Identify» como subnivel de «Integrate». En la actualidad, los autores han agrupado ambos subniveles denominando al conjunto «Memorize».



Figura 5.12: Ontología de habilidades. Adaptación realizada de (Paquette, 2007).

Junto a la entidad «GenericSkillType», los autores definen «GenericSkillDomain». Ambas entidades se relacionan con la clase «Competency» mediante la propiedad «hasGenericSkill». «GenericSkillDomain» representa los dominios a los que puede pertenecer una competencia. Estos dominios son: «Cognitive», «Affective», «Social» y «Psychomotor». Cabe destacar que, tal y como se explica en la Sección 3.2.4, cualquier competencia definida en este modelo puede tener cualquiera de las habilidades y dominios definidos, es decir, una competencia de aplicación, por ejemplo, puede pertenecer al dominio cognitivo, afectivo, social o psicomotor.

En este modelo, las competencias disponen de un valor numérico comprendido entre 0 y 10 que representa la dificultad de la competencia. El valor entero de este número viene definido por la propiedad «GenericSkillType» y el valor decimal por «PerformanceLevel». Esta última propiedad puede tomar cuatro valores diferentes. El menor nivel de esta propiedad es «Awareness», es decir, se pretende que los estudiantes tengan consciencia de que la competencia puede alcanzarse en el nivel de la habilidad definido. El segundo nivel es «Familiarization». En este nivel se espera que los estudiantes sepan lo básico de esa competencia en el nivel de habilidad establecido. El tercer nivel se denomina «Productivity» y pretende que los estudiantes puedan emplear la habilidad indicada en la competencia de una forma provechosa. Por último, el nivel «Expertise» se corresponde con el dominio en el nivel de habilidad indicado de la competencia.

Tanto en el sistema TELOS como en la mayoría de publicaciones de Paquette y colegas, los autores definen cinco indicadores de desempeño para calcular el nivel de desempeño previamente mencionado. Estos indicadores se describen a continuación:

- «Frequency». Este parámetro indica la regularidad con la que una competencia debe ser superada para considerarla completamente alcanzada. En la ontología original se definieron

únicamente dos valores: *in some cases* (basta con que se alcance una vez) e *in all cases* (debe ser alcanzado en todos los intentos).

- «Scope». Este parámetro proporciona información sobre la completitud con la que se debe alcanzar una competencia. Los posibles valores de este parámetro son: *partial* (basta con alcanzar alguna subcompetencia) o *total* (se deben alcanzar todas las subcompetencias asociadas).
- «Autonomy». Define el nivel de ayuda admitido para el alcance de una competencia. Originalmente se definieron dos niveles: *with assistance* (se permite cualquier tipo de ayuda) y *without help* (ningún tipo de pista, pregunta o cualquier otra forma de ayuda se permite para el logro de la competencia).
- «Complexity». Es definido por los autores para describir la dificultad que tiene la competencia. La competencia tendrá complejidad *weak*, *middle* o *high* si los procesos asociados a ella son simples, de dificultad intermedia o complejos respectivamente.
- «Context». Especifica la familiaridad para los usuarios. Una competencia tendrá un contexto *familiar* o *unfamiliar* según si los procesos, escenarios y elementos son conocidos o desconocidos por el estudiante.

A partir de estos cinco indicadores, es posible definir el nivel de desempeño de la competencia.

En este punto, es necesario resaltar que, a pesar de la relación existente entre los indicadores y el nivel de desempeño, la plataforma TELOS permite configurar este nivel de manera independiente a los indicadores. Si bien es cierto que la opción de que este valor sea configurable es un aspecto positivo, ya que da mayor libertad a los diseñadores e instructores, no se ha encontrado información sobre cómo rellenar esa propiedad (media aritmética o ponderada de esos valores).

Tras esta breve descripción de los principales elementos de la ontología de competencias de Paquette, se ilustra en la Figura 5.13 un diagrama reciente que muestra las relaciones entre las clases existentes en el modelo.

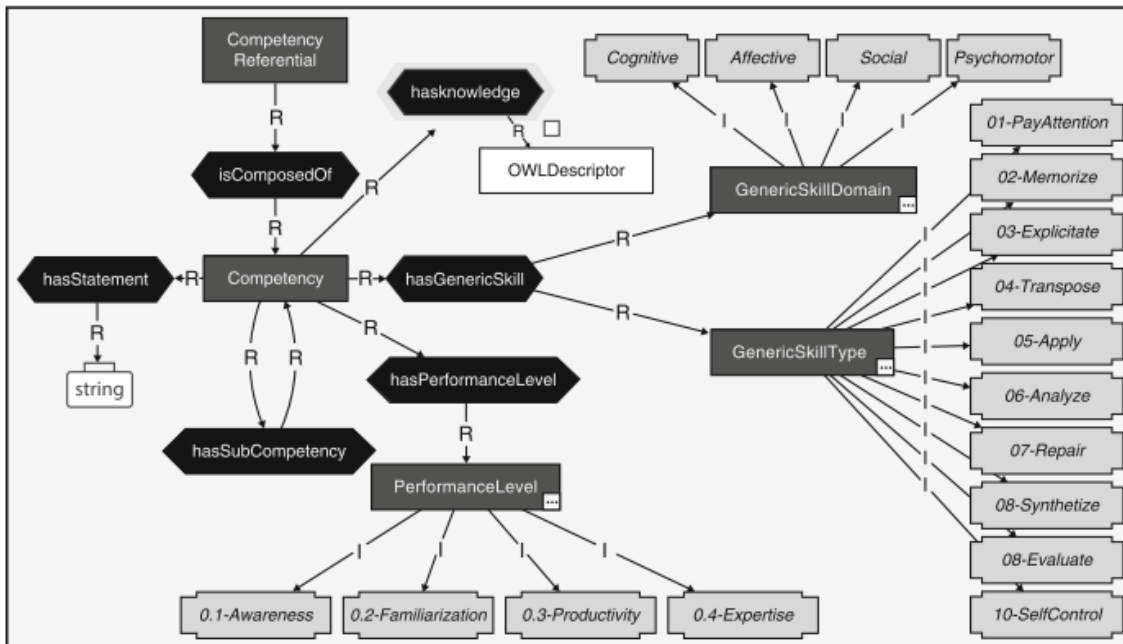


Figura 5.13: Ontología simplificada para el modelo de competencias de Paquette. Extraído de (Paquette, 2016).

Si se desea un mayor nivel de detalle de este modelo de competencias original, Paquette y colegas han publicado diferentes artículos en la última década (Paquette, 2007; Paquette et al., 2015; Paquette, 2016). A continuación, se ofrece un análisis crítico de esta ontología incluyendo además un análisis DAFO.

Análisis crítico de la ontología

Después de describir el modelo propuesto por Paquette y colegas, es aconsejable hacer un análisis similar al llevado a cabo con la Ontología del Estudiante, para estudiar cuáles son las debilidades y fortalezas de esta ontología, así como las amenazas y oportunidades.

Las debilidades de este modelo de competencias están principalmente relacionadas con las limitaciones o barreras establecidas. Por ejemplo, el modelo propone cinco indicadores para evaluar el desempeño de la competencia: *frecuencia*, *alcance*, *autonomía*, *complejidad* y *contexto*. Cada uno de estos indicadores define un rango de valores considerablemente reducido. En este sentido, el modelo no permite especificar que una competencia deba ser alcanzada un número determinado de veces (2, 3, 5), definir niveles intermedios de ayuda (solamente admite *con asistencia* o *sin ayuda*) o de contexto (solo permite escenarios *conocidos* o *totalmente desconocidos*). El modelo también queda limitado en cuanto a meta-dominios. En la actualidad se han identificado cuatro (cognitivo, afectivo, social y psicomotor) quedando fuera de los establecidos competencias éticas o productivas.

Las fortalezas de este modelo abarcan principalmente dos características. La primera es que todas las habilidades definidas pueden pertenecer a cualquiera de los meta-dominios preestablecidos. De este modo, es posible comparar la dificultad de las competencias aunque pertenezcan a diferentes dominios. Esta característica reduce asimismo la complejidad de la taxonomía al tener únicamente diez niveles para todos los meta-dominios. La segunda fortaleza de este modelo es la identificación de un conjunto de indicadores para las competencias. A través de estos indicadores se pueden evaluar de manera objetiva las competencias de una actividad.

En lo referente a las amenazas, es necesario subrayar un obstáculo relacionado con los métodos de aprendizaje actuales. A pesar de que existe una tendencia a la evaluación por competencias y a la personalización, actualmente no son muchos los entornos destinados completamente a ese fin. Por ejemplo, la mayoría de centros educativos disponen de un plan de estudios moderadamente riguroso destinado a la consecución de un título o certificado. Estos planes de estudios establecen un listado de competencias que se deben alcanzar a lo largo de las diferentes asignaturas que forman parte de dicho plan. Cada asignatura, a su vez, dispone de sus propias competencias recogidas en distintas actividades. En la mayoría de centros educativos, estas actividades permiten una leve personalización ofreciendo tareas optativas o realizando ligeras variaciones en diferentes grupos con características específicas. Por tanto, los estudiantes disponen de un pequeño margen para decidir qué competencias alcanzar o no. Como la meta es prácticamente la misma y el camino similar, el sistema de recomendación asociado a esta ontología ofrecerá en ocasiones recomendaciones similares encontrándose ligeramente limitado por el sistema. Esta limitación es un obstáculo para su implementación en este tipo de centros, ya que el modelo exige una preparación demasiado elevada (configuración de cada una de las competencias disponibles con todos sus indicadores y evaluación inicial a los estudiantes para establecer la situación inicial) para la flexibilidad existente. La segunda gran amenaza de este modelo de competencias es la popularidad de la taxonomía de Bloom. Esta taxonomía ha sido implementada en innumerables entornos educativos actuales basados en objetivos relegando la taxonomía de Paquette a un segundo plano.

Con respecto a las oportunidades, cabe destacar precisamente esa tendencia a la evaluación por competencias previamente indicada. Los entornos de aprendizaje buscan, cada vez más, aumentar la objetividad en la evaluación y este modelo ofrece importantes ventajas en esta línea. Las competencias se amoldan al ámbito laboral mejor que otros modelos anteriores. De este modo, es habitual encontrar ofertas de empleo basadas en ellas. Si esta tendencia continúa, el aprendizaje basado en competencias ganará todavía más adeptos y modelos como el de Paquette y colegas se beneficiarán de este crecimiento de popularidad (véase Tabla 5.37).

Tabla 5.37: Análisis DAFO de la ontología de competencias de Paquette.

	Fortalezas	Debilidades
Análisis interno	Habilidades válidas para cualquier meta-dominio. Competencias claramente definidas.	Rango de valores de los indicadores reducido. Nº de meta-dominios insuficiente.
	Oportunidades	Amenazas
Análisis externo	Tendencia al alza de evaluación por competencias. Modelo habitual empleado en el ámbito laboral.	Resistencia al cambio en los centros educativos. Popularidad de la taxonomía de Bloom.

En el siguiente apartado se explicará el proceso de reingeniería seguido indicando las transformaciones que han sido llevadas a cabo en este modelo de competencias.

Reingeniería de la ontología de Paquette

Del mismo modo que con la Ontología del Estudiante, se ha decidido realizar un proceso de reingeniería para adaptar el modelo ofrecido por Paquette a la red de ontologías empleada en esta tesis. Asimismo, la adaptación ha tenido en cuenta las debilidades descritas en el apartado anterior con el fin de hacer la ontología más flexible.

En primer lugar, se han considerado los meta-dominios productivo y ético como posibles valores además de los ya disponibles (cognitivo, afectivo, psicomotor y social). En este trabajo se ha establecido que los objetivos o competencias de estos nuevos meta-dominios pueden ser descritos empleando las mismas habilidades. Por ejemplo, identificar las fortalezas y debilidades de una propuesta (productivo) o analizar si un anuncio de televisión respeta unos determinados principios (ético).

En segundo lugar, se han añadido valores intermedios en los diferentes criterios de desempeño con el fin de dar una mayor flexibilidad al profesor para definir los objetivos en la fase inicial. A continuación se describen los posibles valores para cada uno de los criterios (véase Tabla 5.38):

- Frecuencia
 - *En todos los casos.* El objetivo debe cumplirse siempre para superarlo. Por ejemplo, para el entrenamiento de situaciones que puedan suponer peligrosidad o *stress* (esterilizar la aguja antes de operar, elaborar un plan de evacuación para afrontar un problema en una central nuclear, identificar qué sustancias químicas requieren ser manipuladas en una campana de gases, etc.).

- *En n casos.* El objetivo debe cumplirse, al menos, n veces para ser superado. Es importante resaltar que una de las novedades de este trabajo radica en que el número de veces que se supere un objetivo es condición necesaria pero no suficiente para alcanzarlo. Para alcanzarlo será necesario también superarlo con las condiciones de autonomía y ámbito preestablecidos por el profesor. Por ejemplo, si en un examen de conducción el aprendiz debe aparcar dos veces el vehículo sin ningún tipo de asistencia y empleando los dos tipos de aparcamiento (en línea y en batería), no puede considerarse alcanzado el objetivo si necesita guía durante la maniobra o si únicamente es capaz de aparcar el coche en batería.

- Complejidad
 1. *Débil.* Indica que el objetivo es sencillo de conseguir. Está estrechamente relacionado con un nivel bajo de habilidad requerida, el contexto familiar o la baja frecuencia necesaria. Por ejemplo, tomar las precauciones de seguridad necesarias al iniciar una actividad en un laboratorio de química (ponerse guantes, gafas y bata, recogerse el pelo, etc.).
 2. *Media.* Indica que el estudiante debe tener ciertos conocimientos para conseguir un objetivo. Esta complejidad suele referirse a niveles de habilidad intermedios, contextos parcialmente desconocidos y/o una frecuencia intermedia. Por ejemplo, los objetivos relacionados con una actividad de defensa de una práctica previamente realizada.
 3. *Alta.* Indica que el estudiante debe dominar las acciones relacionadas con el objetivo. Se refiere habitualmente a habilidades de alto nivel, en contextos totalmente desconocidos o con una frecuencia elevada, o lo que es lo mismo, con poco margen de error. Un ejemplo con esta complejidad puede ser la evaluación de la fusión de dos empresas a partir de ciertos datos económicos de ambas.

- Ámbito
 - *En todos los casos.* Se refiere a la obligatoriedad de superar todos los subobjetivos del objetivo. En el caso de aplicar los cuatro estilos de natación, se superaría el objetivo si se alcanzase la meta esperada en los cuatro estilos.
 - *De n casos.* Se refiere a la obligatoriedad de superar el objetivo en n subobjetivos. En el caso de aplicar los cuatro estilos de natación, se superaría el objetivo si se alcanzase la meta esperada en n de los 4 estilos. Por ejemplo, si n=2, bastaría con alcanzar la meta en espalda y mariposa o en otros dos cualesquiera estilos de natación.

- Autonomía
 - *Sin ayuda.* Indica que las acciones relativas a un objetivo deben ser realizadas sin ningún tipo de asistencia. Por ejemplo, el estudiante no podrá recibir pistas o realizar preguntas sobre la acción. Este caso puede ser el habitual cuando las acciones son bastante sencillas o cuando el objetivo puede conllevar situaciones de riesgo. Por ejemplo, cuando es necesario aplicar una reanimación, ya que unos segundos pueden ser determinantes para salvar una vida.
 - *Con ayuda puntual.* Indica que se admite un poco de apoyo en las acciones relativas a un objetivo. Este es el caso más habitual en las actividades donde los estudiantes realizan preguntas, reciben pistas o solicitan recursos. Por ejemplo, para el caso de analizar determinados principios de un anuncio de televisión, el aprendiz puede realizar preguntas de diferente nivel (¿Cuáles son los principios que debo analizar?, ¿Cómo debo analizar esos principios? ¿Qué es un principio?), recibir pistas (ejemplo de principio, ejemplo de anuncio), solicitar recursos (guía para analizar principios), etc.

- *Con asistencia.* Se refiere a aquellos objetivos que admiten una ayuda total en las acciones relativas a un objetivo. Puede ser frecuente cuando la complejidad del objetivo es elevada y no existe ningún tipo de riesgo o cuando el entorno es totalmente desconocido. Por ejemplo, para instalar una aplicación poco frecuente suele ofrecerse una guía indicando los pasos que deben seguirse para llevar a cabo con éxito ese plan.
- Contexto
 - *Desconocido.* Indica que el objetivo debe ser alcanzado en un entorno muy diferente al habitual con el fin de tener una mayor objetividad sobre el nivel de dominio de un estudiante en el objetivo. Como muestra de este posible valor en el contexto, es posible realizar los diferentes objetivos de una actividad de conducción en una ciudad, horario y condiciones climáticas distintas a las ya utilizadas y con un vehículo con diferentes características.
 - *Parcialmente desconocido.* Indica que el objetivo debe ser alcanzado en un entorno diferente al habitual pero con componentes comunes a este. Este es el caso de, por ejemplo, realizar una experiencia de aprendizaje en dos laboratorios con elementos similares pero con diferentes modelos u organizados de forma distinta.
 - *Familiar.* Indica que el objetivo debe ser alcanzado en un entorno similar o idéntico al habitual. Este entorno puede tener ligeras variaciones pero que no supongan una gran adaptación por parte del estudiante. Por ejemplo, un escenario donde el aprendiz deba aplicar los diferentes estilos de natación en dos piscinas diferentes pero que estas tengan condiciones similares (mismas dimensiones, similar profundidad y temperatura del agua, etc.).

Tabla 5.38: Resumen de los criterios propuestos.

Criterio	Niveles		
Ámbito	<i>De n formas</i>	<i>Total</i>	
Frecuencia	<i>En n casos</i>	<i>En todos los casos</i>	
Complejidad	<i>Débil</i>	<i>Media</i>	<i>Alta</i>
Autonomía	<i>Con asistencia</i>	<i>Ayuda puntual</i>	<i>Sin ayuda</i>
Contexto	<i>Familiar</i>	<i>Parc. Desconocido</i>	<i>Desconocido</i>

La inclusión de esta ontología a la red modular ha afectado además a propiedades existentes en la red original. De este modo, la propiedad «levelReliability», que originalmente pertenecía a «LearningObjective», establecía el número de veces que el estudiante debía superar un objetivo cualquiera para considerarse alcanzado (por defecto, 3). Tras este proceso de reingeniería, esta propiedad también ha sido incluida en la ontología «Competence» y se le ha añadido mayor flexibilidad. El profesor será el que dictaminará el valor específico para cada uno de los objetivos. Esta decisión ha sido tomada debido a que no todos los objetivos son iguales en este sentido y por tanto su alcance o no, depende de diversos factores. Por ejemplo, no se puede juzgar del mismo modo el comprender qué es un servicio POSIX, el aplicar una fórmula matemática o el modelar una ontología porque un nivel mayor de habilidad requerido implica mayor dificultad. Además, consideramos que la dificultad de las acciones influye en gran medida en cuál es el nivel de fiabilidad o número de veces a partir del cual se puede considerar que ese objetivo específico no se ha logrado por azar, es decir, se puede decir que se ha alcanzado realmente. Otros factores que pueden afectar en el número de veces que debe superarse un objetivo son el meta-dominio, el área, contexto, dificultad, etc. De cara a la fase de experimentación, descrita en el capítulo 6, únicamente se tendrá en cuenta el nivel de habilidad («competenceLevel») para probar el prototipo. No obstante, estas reglas pueden ser modificadas en cualquier instante añadiendo otros factores si el instructor lo considera adecuado.

La Figura 5.14 ejemplifica la alternativa de creación de reglas empleada en este trabajo para determinar el valor de la propiedad «levelReliability». Esta alternativa se basa en las agrupaciones de habilidades propuestas por Paquette (véase Figura 3.17), es decir, las habilidades que Paquette consideró en la categoría *Receive* (*acknowledge* y *remember*) necesitan aplicarse correctamente cuatro veces seguidas para ser superadas, las habilidades pertenecientes a la categoría *Reproduce* (*specify*, *translate* y *apply*) deberán aplicarse correctamente tres veces seguidas para ser superadas, las habilidades de la categoría *Create* (*analyze*, *repair* y *synthesize*) deberán aplicarse correctamente dos veces seguidas para superarse y las habilidades de la categoría *Self-Manage* (*evaluate* y *self-control*) deberán aplicarse correctamente una única vez para considerarse superadas.

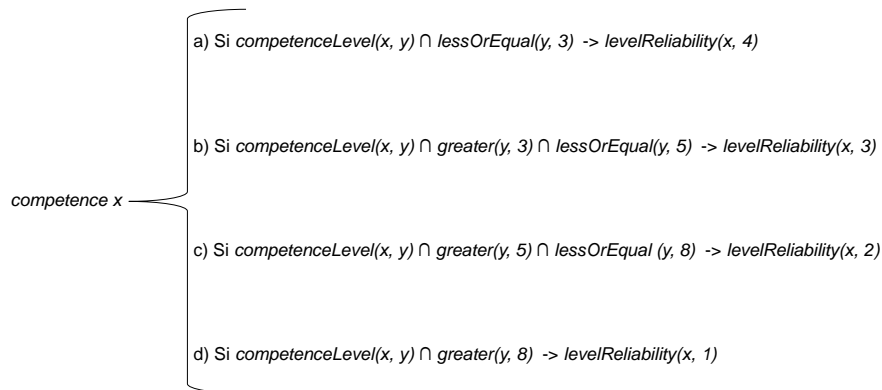


Figura 5.14: Reglas relacionadas con la definición de la propiedad «levelReliability».

La propiedad «levelCurrentReliability» de una competencia determinada aumentará su valor si y solo si (1) se ejecutan correctamente la acción o acciones asociadas con dicho objetivo y (2) los valores de la propiedad «currentPerformanceLevel» para los criterios «Autonomy», «Scope», «Frequency», «Context» y «Complexity» son iguales o superiores a los establecidos inicialmente por el profesor en la propiedad «hasPerformanceLevel». Por ejemplo, un estudiante no superará la competencia *aparcar el vehículo respetando las normas de circulación y empleando, como máximo, tres maniobras* aunque consiga aparcar si pide ayuda al profesor y este había definido previamente que la competencia debía obtenerse sin ayuda.

La incorporación de la ontología de Paquette a la red modular, así como la modificación de las propiedades «levelReliability» y «levelCurrentReliability» basada en ella, reducen el problema del arranque en frío existente en la ontología original. En primer lugar, el profesor puede establecer inicialmente para cada objetivo, y de manera independiente, el número de veces que debe ser alcanzado. Esto supone que las reglas del sistema acerca de competencias que requieran un menor nivel de fiabilidad para ser alcanzadas podrán dispararse próximas al comienzo de la actividad diagnosticando rápidamente problemas o recomendando mejoras acerca de las competencias. En segundo lugar, la inclusión de indicadores de desempeño sobre las propias competencias ofrecen soporte acerca del motivo concreto por el que una competencia no se ha alcanzado (contexto desconocido, ámbito parcial, poca autonomía, etc.). En relación con los indicadores de desempeño, si el estado de las competencias es alcanzado, entonces las recomendaciones se generarán para mejorar dichos indicadores; si el estado de las competencias es no alcanzado entonces las recomendaciones se proporcionarán para superar la competencia; si el estado de las competencias es desconocido bastará con la ejecución de una acción simple para disponer de información acerca del objetivo y proceder a ofrecer recomendaciones en caso necesario. En último lugar, es posible aplicar estrategias empleadas en algunos de los sistemas de recomendación analizados para continuar reduciendo el problema del arranque en frío. Por ejemplo, mediante el análisis de competencias similares en otras experiencias de aprendizaje, a

través de una prueba simple que facilite información de las competencias básicas, estableciendo a falso todos los valores iniciales de los objetivos⁴, etc.

Para ejemplificar lo indicado previamente, suponga que dos estudiantes no han superado una prueba de conducción porque no han superado la competencia *aparcar el vehículo respetando las normas de circulación y empleando, como máximo, tres maniobras*. Sin embargo, el primer estudiante no ha alcanzado la competencia porque no ha indicado mediante el intermitente que iba a realizar la maniobra mientras que el segundo no la ha alcanzado porque ha necesitado más maniobras de las previamente establecidas para realizar el estacionamiento en batería. Si la recomendación fuese genérica, ambos podrían recibir, por ejemplo, información teórica sobre el método de estacionamiento. Si la recomendación es especializada, el primer estudiante podría recibir información acerca de las acciones a realizar antes de empezar a maniobrar en un estacionamiento mientras que el segundo podría recibir recomendaciones acerca de practicar más el estacionamiento en batería.

5.3.1.2.2. Reingeniería de la ontología de diseño instruccional

Para la creación de un sistema de recomendación de competencias, registrar la información de las diferentes actividades que deben ir realizando los estudiantes a lo largo de una unidad de aprendizaje es muy interesante como otra fuente de información esencial para la generación de recomendaciones. Con este fin, se ha decidido restringir este prototipo únicamente a aquellas propuestas de aprendizaje que sigan un enfoque de diseño instruccional, dado que en estas se representan las actividades y, asociadas a ellas, el conjunto de competencias que es necesario alcanzar para llevarlas a cabo satisfactoriamente.

De todas las propuestas de modelados basados en el diseño instruccional analizadas en la Sección 2.1, se ha decidido emplear el modelo IMS LD puesto que: (1) es probablemente el más completo, (2) este modelo ya ha sido representado mediante ontologías (Amorim et al., 2006) y (3) dispone de tres niveles diferentes de personalización. En este caso, se ha considerado la implementación de nivel B puesto que ofrece mayor flexibilidad que la de nivel A.

En la versión inicial de la Ontología del Estudiante, algunos elementos de la ontología que representa el modelo IMS LD fueron considerados simples propiedades puesto que la finalidad de la ontología se centraba en el estado de conocimientos del estudiante. En cambio, es este proyecto, la finalidad es la recomendación de objetivos o competencias, por lo que es necesario aumentar el modelo inicial con información más completa estrechamente relacionada con sus conceptos. Uno de estos conceptos clave es actividad, representada en el modelo con la clase «Activity» y asociada con otros conceptos tales como rúbricas, objetivos, competencias, objetos de conocimiento, etc. De este modo, quedan referenciadas en este modelo las ontologías independientes del estudiante desarrolladas en la versión inicial de la OE «KnowledgeObject» y «LearningObjective».

En la Figura 5.15 es posible visualizar las principales clases relacionadas con las ontologías «UnitOfLearning» y «LearningDesign» que forman parte del modelado IMS-LD. En dicha figura ya se han incluido los conceptos relacionados con los objetivos de aprendizaje y los objetos de conocimiento. Cabe resaltar que, en aras de simplicidad, aquellos conceptos representados en color azul no han sido desarrollados en el diagrama pero sí en la ontología. Además, también se han omitido relaciones entre algunos de estos conceptos, como por ejemplo, entre «LearningDesign» y «Prerequisite». Este tipo de relaciones se han obviado debido a que el

⁴En el caso de establecer por defecto todas las competencias a no alcanzado, el estudiante podrá recibir recomendaciones innecesarias (falso negativo) acerca de acciones, recursos, competencias o actividades que ya domina. En este caso, las recomendaciones quedarán obsoletas en el instante en el que el estudiante demuestre los conocimientos asociados con dicha recomendación.

objetivo final de la Figura 5.15 es ofrecer una visión general de este modelo y no detallar todas las relaciones pormenorizadas que pueden ser consultadas en el Anexo 9.

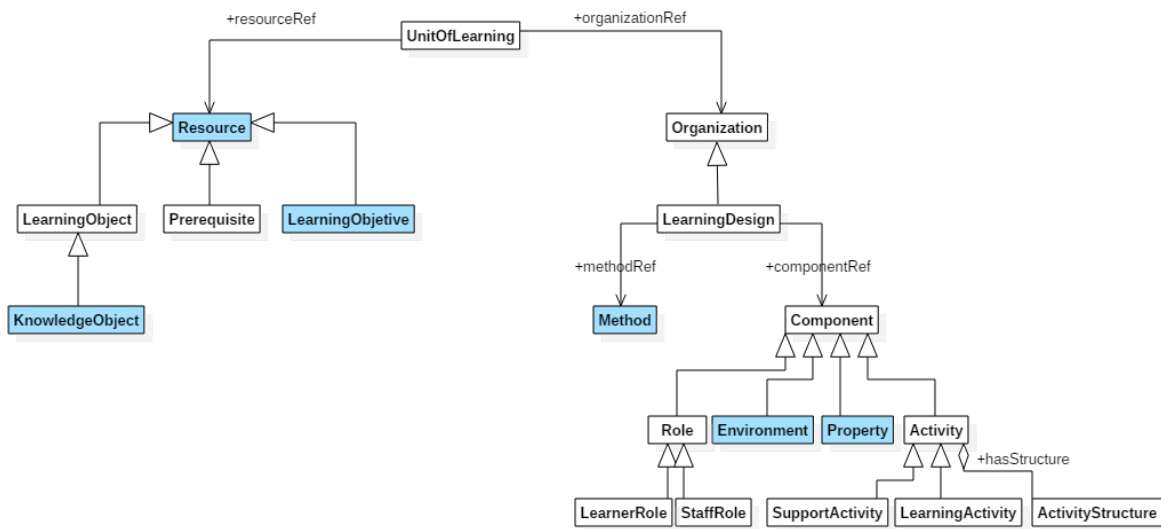


Figura 5.15: Diagrama de clases de «LearningDesign». Adaptación realizada a la ontología de (Amorim et al., 2006).

5.3.1.2.3. Reingeniería de la ontología de rúbricas

La ontología de rúbricas elaborada por Panulla (2010) no ha sufrido apenas cambios puesto que este modelo representa fielmente dicho instrumento de evaluación. No obstante, sí han sido necesarias algunas variaciones para adaptar esta ontología a la red modular. La Ontología del Estudiante no disponía en su versión inicial de información acerca de ningún instrumento de evaluación ni nada referente al diseño instruccional dado que estaba centrado en la representación de la información del propio estudiante, de tal forma que el diagnóstico pedagógico se basa principalmente en las acciones desempeñadas por el estudiante para inferir el estado de los objetivos de aprendizaje -alcanzados o no-. En cambio, el modelo de aprendizaje propuesto en este trabajo pretende proporcionar recomendaciones de diferente nivel de granularidad. Las rúbricas son un instrumento de evaluación objetivo y adecuado para evaluar el desempeño del estudiante por lo que su inclusión en la red de ontologías actual se ha considerado muy apropiada.

La ontología propuesta por Panulla (2010) cuenta con diez clases en las que se define toda la información acerca de este instrumento. Sin embargo, tres son las clases fundamentales: «Rubric», «Criterion» y «Level», «Rubric» registra la información general propia de la rúbrica, es decir, el título, la descripción así como la relación con el resto de clases (puntuación, ámbito, tipo de rúbrica, categorías y criterios). «Criterion» almacena los diferentes criterios de la rúbrica, incluyendo su descripción, peso o retroalimentación. Estos criterios pueden encontrarse o no definidos en una categoría. Finalmente, para cada uno de los criterios se definen niveles mediante la entidad «Level». A esta clase se le han incluido las propiedades «max_score» y «min_score» con la intención de permitir una rúbrica de puntuación por intervalos.

La Figura 5.16 ilustra el diagrama de clases detallado de esta ontología. Cabe resaltar, que algunas entidades, como «Criterion», están relacionadas con otros elementos de la red modular como las competencias. También es importante resaltar que la rúbrica pertenece a una ontología de instrumentos de evaluación creada a partir del informe técnico propuesto por la ANECA (2009) y descrito en los fundamentos teóricos de este trabajo. A continuación, se describen las

relaciones existentes entre los elementos de la ontología de rúbricas y el resto de ontologías de la red modular.

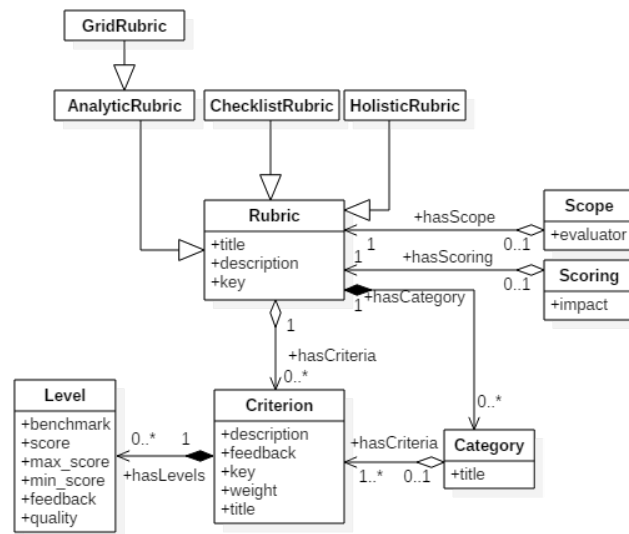


Figura 5.16: Diagrama de clases de «Rubric». Adaptación de la ontología de (Panulla and Kohler, 2010).

Se ha definido una relación que conecta las rúbricas con las actividades que conforman las experiencias de aprendizaje puesto que sin ellas no existiría esta ontología (véase Figura 5.17). En esta relación, una actividad puede tener asociadas entre 0 y n rúbricas siendo 0 y 1 los valores más frecuentes. En este trabajo se ha considerado que una actividad puede tener más de una rúbrica asociada debido a que se considera que pueden existir rúbricas de apoyo que no sean utilizadas como instrumento de evaluación.

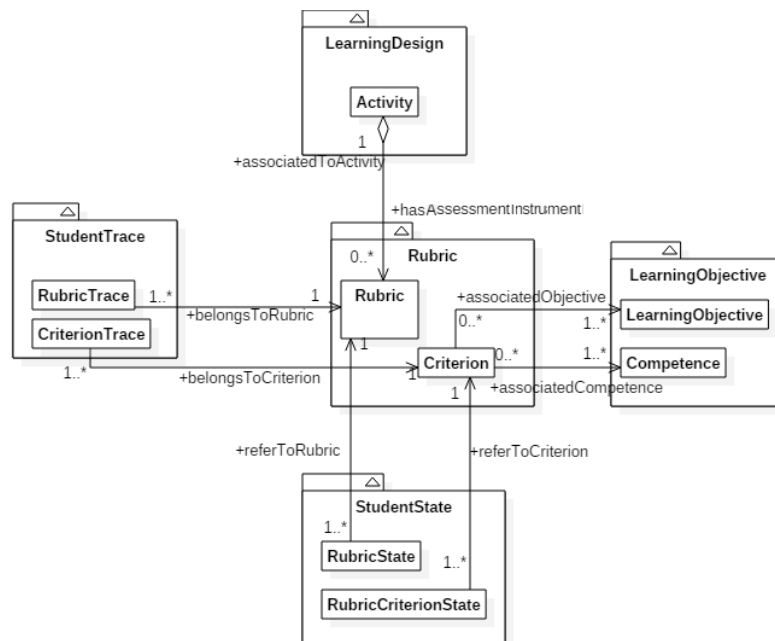


Figura 5.17: Diagrama de clases relacionadas con «Rubric».

Adicionalmente, se ha incorporado otra relación que se encarga de asociar los criterios de la rúbrica con los objetivos de aprendizaje o las competencias. Si una actividad está

correctamente diseñada, esta debe permitir alcanzar las competencias u objetivos definidos en ella. Estas competencias y objetivos deben poder ser evaluados en dicha actividad. Sin embargo, dependiendo de cómo se haya definido la experiencia de aprendizaje, una de sus actividades puede tener asociado un número de competencias u objetivos más o menos extenso ya que, estos, pueden ser tan específicos como se desee. En este caso, las rúbricas pueden cumplir un papel fundamental agrupando competencias y objetivos asociados a cada criterio lo que permite una evaluación menos pesada. Por lo tanto, en esta relación, un criterio puede tener asociados de 1 a n competencias u objetivos y un objetivo o competencia pueden pertenecer a 0 o n criterios.

Finalmente, la ontología de rúbricas también está asociada con las ontologías «StudentState» y «StudentTrace» puesto que cada estudiante debe tener registrada toda la información referente a rúbricas y criterios. Por consiguiente, el estado de un criterio está asociado con un único criterio, el estado de una rúbrica se encuentra relacionado con una única rúbrica, la traza de una rúbrica hace referencia a una rúbrica y la traza de un criterio se refiere a un único criterio.

5.3.1.3. Actividad 3 - Instanciación de los elementos independientes del usuario

El siguiente paso a llevar a cabo según la guía metodológica, consiste en crear en la ontología las instancias independientes del estudiante. Es decir, se deben crear las instancias relacionadas con el diseño instruccional, objetos de conocimiento, objetivos de aprendizaje o competencias e instrumentos de evaluación (rúbricas y criterios de desempeño). Estas instancias dependen directamente de la experiencia de aprendizaje concreta. Por este motivo, serán incluidas en los diversos experimentos detallados en la Sección 6.

5.3.2. Adaptación del método de diagnóstico y creación del método de recomendación

En el primer bloque de actividad ha sido necesario adaptar el modelo del estudiante de acuerdo al propósito de este trabajo. En este segundo bloque se va a proceder a realizar las siguientes tareas: (1) la extensión de la taxonomía de criterios a partir de las nuevas ontologías, clases o propiedades incluidas en la red modular, (2) extender, si es necesario, los patrones de reglas, (3) extender, si es necesario, las reglas específicas, (4) comprobar los predicados de las reglas, (5) la traducción de las nuevas reglas al lenguaje correspondiente y (6) la extensión de las reglas del módulo de resolución de conflictos.

5.3.2.1. Actividad 4 - Extensión de la taxonomía de criterios empleada para el diagnóstico y para la recomendación

La primera actividad de este bloque consiste en actualizar la taxonomía de criterios empleada para el diagnóstico en la tesis de Clemente (2011) y extenderla para, así, incorporar los nuevos elementos de la red de ontologías tanto para el diagnóstico como para la recomendación a partir del modelado descrito en la Sección 5.3.1. Como ya se ha comentado, el diagnóstico posibilita la inferencia de conocimiento a partir de la información almacenada mientras que, en esta propuesta, la recomendación aconseja al usuario a partir de ese diagnóstico. Esta taxonomía permite clasificar los patrones de reglas diseñados en categorías de acuerdo al nivel de granularidad descrito en el patrón.

En esta línea, se han establecido tres posibles categorías de criterios para el diagnóstico y para la recomendación de competencias: reglas estrechamente relacionadas con una acción (véase Figura 5.18), reglas relacionadas con una competencia (véase Figura 5.19) y reglas relacionadas con una actividad (véase Figura 5.20). Estas categorías se han obtenido a partir de una versión de taxonomía de criterios de diagnóstico ya realizada (Clemente, 2011), adaptada para convertirse también en una taxonomía de criterios de recomendación.

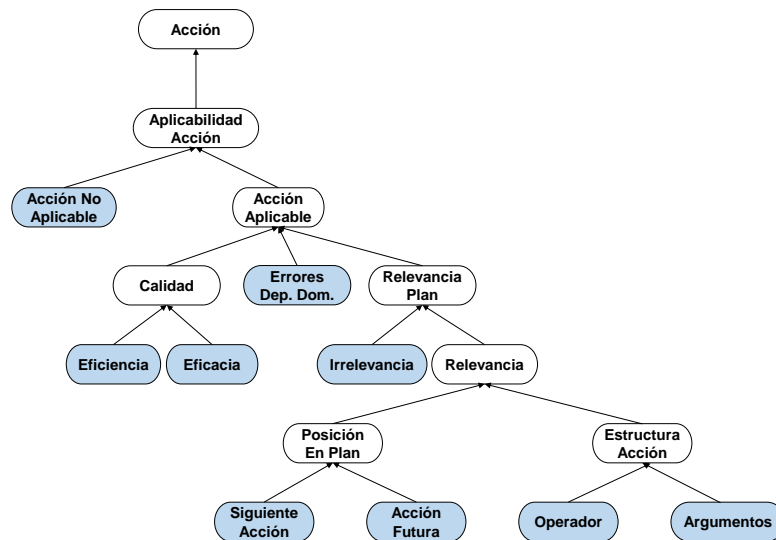


Figura 5.18: Taxonomía basada en acciones.

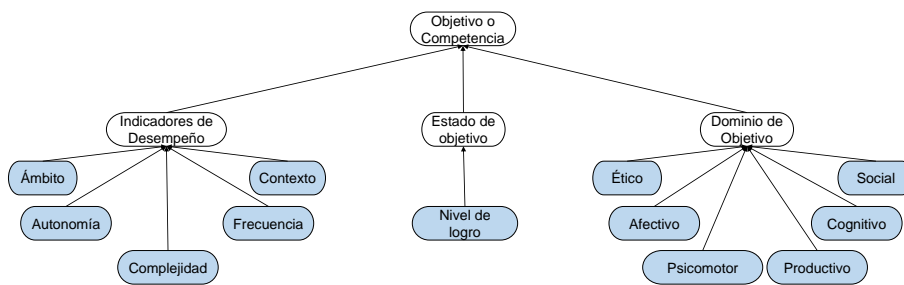


Figura 5.19: Taxonomía basada en objetivos y competencias.

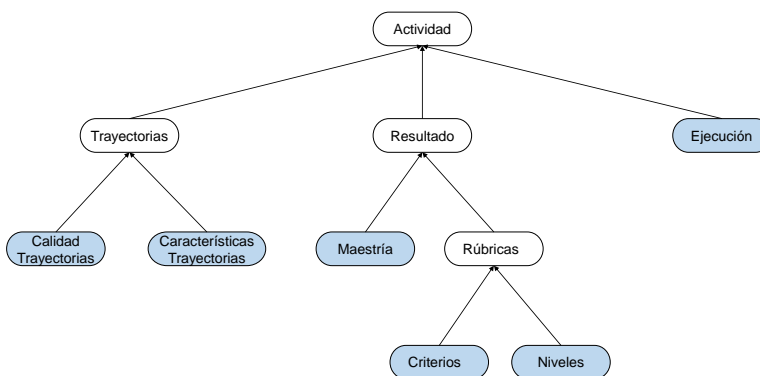


Figura 5.20: Taxonomía basada en actividades.

Es importante resaltar que, de acuerdo con la flexibilidad permitida, la inclusión de nuevas ramas en alguna de las taxonomías existentes es considerablemente sencilla puesto que únicamente habría que realizar las actividades de la Sección 5.3.2.

5.3.2.2. Actividad 5 - Extensión de los patrones de reglas para el diagnóstico o recomendación

En la actividad 4 se han presentado tres subtaxonomías que en su conjunto forman la taxonomía de criterios desarrollada para el diagnóstico y para la recomendación. Cada una de las taxonomías ha sido detallada en un amplio, pero no exhaustivo, conjunto de diferentes categorías o patrones de reglas que pueden ser aplicados independientemente del dominio o contexto. De este modo, si se desea incluir una nueva regla deben seguirse los siguientes pasos:

1. Comprobar si la regla se ajusta a alguno de los patrones previamente definidos.
2. En caso negativo:
 - a) Crear el patrón.
 - b) Comprobar que los predicados empleados se encuentran definidos en las tablas de predicados ya construidas en el diseño del sistema. Si no, crearlos.
 - c) Chequear que las clases o propiedades referidas en los predicados existen en la red modular. Si no, crearlas.
 - d) Definir el patrón de regla en el lenguaje de reglas más apropiado.

5.3.2.2.1. Patrones de reglas relacionados con las acciones

En la versión original de la OE (Clemente, 2011) ya fueron diseñados algunos patrones de reglas de diagnóstico relacionados con las acciones. Debido a la extensión y reingeniería de la red modular, es necesario extender también las reglas de diagnóstico (R_D) añadiendo información de los estados de las competencias y crear las reglas de recomendación (R_{REC}). En aras de simplificar este documento, las reglas de diagnóstico original (R_{DO}) creadas en dicha versión son brevemente descritas a continuación de manera textual (véase Tabla 5.39).

Esta primera taxonomía (véase Figura 5.18) ha sido estructurada en una única categoría: *patrones de acuerdo a la aplicabilidad de la acción*.

- **Patrones de reglas de diagnóstico - aplicabilidad de la acción**

Tabla 5.39: Patrones de reglas de diagnóstico definidos en el ME de Clemente (2011).

ID	Regla	Categoría
R_{DO01}	Si intenta aplicar una acción no aplicable es posible suponer que no sabe cuál es la siguiente acción en el plan.	Acción no aplicable.
R_{DO02}	Si intenta aplicar una acción aplicable es posible suponer que sabe que existe la acción.	Acción aplicable.
R_{DO03}	Si intenta aplicar una acción sobre un objeto es posible suponer que sabe que existe y dónde está dicho objeto.	Acción aplicable.
R_{DO04}	Si aplica una acción sobre un objeto es posible suponer que sabe que la acción es aplicable a dicho objeto.	Acción aplicable.
R_{DO05}	Si aplica una acción que modifica la relación entre dos objetos es posible suponer que sabe que dichos objetos son relacionables.	Acción aplicable.
R_{DO06}	Si intenta aplicar una acción que no cumple una determinada precondition es posible suponer que no sabe que requiere dicha precondition y que no sabe la siguiente acción del plan.	Acción aplicable.

Tabla 5.39: Patrones de reglas de diagnóstico definidos en el ME de Clemente (2011).

ID	Regla	Categoría
R_{DO07}	Si no sabe la siguiente acción del plan es posible suponer que no sabe el plan.	Acción aplicable.
R_{DO08}	Si aplica una acción que permite obtener la meta, es posible suponer que sabe que dicha acción se realiza para alcanzar esa meta.	Calidad/Eficiencia.
R_{DO09}	Si aplica la acción de un modo diferente al que permite obtener la meta, es posible suponer que no sabe que la acción debe ejecutarse de un modo concreto para alcanzar dicha meta.	Calidad/Eficiencia.
R_{DO10}	Si es capaz de aplicar una acción que permite alcanzar la meta con una calidad igual o superior a la preestablecida como óptima para dicha meta, entonces es posible suponer que es capaz de aplicar una acción con calidad óptima.	Calidad/Eficacia.
R_{DO11}	Si es capaz de aplicar una acción que permite alcanzar la meta con una calidad inferior a la preestablecida como óptima y superior a la preestablecida como pésima para dicha meta, entonces es posible suponer que es capaz de aplicar una acción con calidad media.	Calidad/Eficacia.
R_{DO12}	Si es capaz de aplicar una acción que permite alcanzar la meta con una calidad inferior a la preestablecida como media, entonces es posible suponer que es capaz de aplicar una acción con calidad pésima.	Calidad/Eficacia.
R_{DO13}	Si aplica una acción del tipo “modifica relación entre objetos” con el mismo operador y objetos que la siguiente acción en el plan pero no en el orden adecuado, entonces es posible suponer que no sabe que el orden de los argumentos es relevante y tampoco sabe cuál es el orden de los argumentos en la siguiente acción en el plan.	Errores dependientes de dominio.
R_{DO14}	Si aplica la siguiente acción en el plan al objeto de la siguiente acción en el plan, entonces es posible suponer que sabe reconocer un objeto, su ubicación y la siguiente acción en el plan.	Relevancia plan.
R_{DO15}	Si aplica la siguiente acción en el plan al objeto de la siguiente acción usando como herramienta el objeto, entonces es posible suponer que sabe para qué se usa un objeto.	Relevancia plan.
R_{DO16}	Si dado un lugar en el que se encuentra un conjunto de objetos de dicha clase, no es capaz de aplicar la siguiente acción en el plan al objeto de la siguiente acción perteneciente al conjunto de objetos descrito previamente, entonces es posible suponer que no sabe elegir entre objetos de la misma clase.	Relevancia plan.
R_{DO17}	Si aplica la siguiente acción del plan a un objeto diferente al definido para la siguiente acción, entonces es posible suponer que no sabe cuál es el objeto de la siguiente acción del plan.	Relevancia plan.
R_{DO18}	Si aplica una acción posterior en el plan, entonces es posible suponer que sabe que una acción se encuentra en el plan pero no sabe la siguiente acción.	Relevancia plan.

- **Patrones de reglas de recomendación - aplicabilidad de la acción**

Una de las características a tener muy en cuenta en las recomendaciones es que no existe una única solución adecuada. Por ejemplo, si una persona está cansada es razonable aconsejarla que repose o que beba café; si un estudiante realiza incorrectamente una acción es plausible recomendarle que intente hacer dicha acción en un contexto más sencillo o que repase los conceptos teóricos relacionados con dicha acción. Por este motivo, a continuación se ofrecen solo algunas de las reglas de recomendación posibles, siendo posible extender o modificar fácilmente dichas reglas. Es importante resaltar que las recomendaciones propuestas se realizan a partir del disparo de las reglas de diagnóstico y, por tanto, del estado de los objetivos/competencias que se van infiriendo como consecuencia del desempeño del estudiante.

Si a través de reglas de diagnóstico, como la Regla R_{DO07} , se infiere que un estudiante no sabe cuál es el plan de la actividad, es posible recomendarle con prioridad alta la competencia (según la taxonomía de Paquette) o el objetivo (según la taxonomía de Bloom) de saber el plan a través de la Regla 5.1. Por ejemplo, si un estudiante no realiza la acción de poner el suavizante en la lavadora, se deducirá a través de las reglas que no sabe el plan y recibirá la recomendación de la competencia asociada con el aprendizaje del plan.

$$\begin{aligned}
 R_{REC01} : SI \neg Sabe(plan_x) \rightarrow \\
 Recomendar(Sabe(plan_x)) \wedge \\
 Prioridad_Recomendacion("Alta")
 \end{aligned}
 \tag{5.1}$$

Si un estudiante no sabe que una acción requiere de una determinada precondition (inferido a partir de la Regla R_{DO06}), es razonable aconsejarle que repase la competencia de recuerdo de las precondiciones de esa acción (véase Regla 5.2). Por ejemplo, si un estudiante no se pone los guantes en un entorno virtual antes de manipular un producto químico, se infiere que no sabe que dicha acción requiere de la precondition "ponerse los guantes" y por tanto recibirá la recomendación de conocer las precondiciones de la acción.

$$\begin{aligned}
 R_{REC02} : SI \neg Sabe(Requiere_Precond(acc_x, precond_y) \rightarrow \\
 Recomendar(Sabe(Precondiciones(acc_x, lprecond)))
 \end{aligned}
 \tag{5.2}$$

Si un estudiante no sabe que una acción se puede efectuar de un modo concreto (inferido a partir de la Regla R_{DO09}), es razonable recomendarle que repase la competencia de identificar los posibles modos de ejecución de la acción concreta (véase Regla 5.3). A modo de ejemplo, si un aprendiz de cocina no sabe que la acción "cocinar un huevo" puede efectuarse "a la plancha", entonces es posible recomendarle la competencia asociada al conocimiento de los modos en los que se puede "cocinar un huevo".

$$\begin{aligned}
 R_{REC03} : SI \neg Sabe(Modo_Ejecucion(acc_x, modoEj_y)) \wedge \\
 Modos_Ejecucion(acc_x, lmodos) \rightarrow \\
 Recomendar(Sabe(Modos_Ejecucion(acc_x, lmodos)))
 \end{aligned}
 \tag{5.3}$$

Si un estudiante es capaz de aplicar una acción con una determinada calidad, y dicho estudiante puede obtener una meta si aplica la acción con una calidad mayor, es razonable recomendarle el logro de la competencia de aplicar la misma acción con una calidad mayor (véase Regla 5.4). Por ejemplo, si un aprendiz de cocina es capaz de batir los huevos con calidad pésima (inferido a partir de la Regla R_{DO12}), es razonable recomendarle el logro de la competencia "batir los huevos" con una calidad media.

$$\begin{aligned}
R_{REC04} : SI \text{ Es_Capaz_De_Aplicar}(acc_x, calidad_y) \wedge \\
\text{Puede_Obtener_Meta_Con_Calidad}(acc_x, meta_a, calidad_z) \wedge \\
\text{Mayor}(calidad_z, calidad_y) \rightarrow \\
\text{Recomendar}(\text{Es_Capaz_De_Aplicar}(acc_x, calidad_z))
\end{aligned} \tag{5.4}$$

Si un estudiante no sabe cuál es el objeto de la siguiente acción (inferido por la Regla R_{DO17}), es razonable recomendarle el logro de la competencia de saber el plan de la actividad (véase Regla 5.5) ó el logro la competencia de saber el objeto de la siguiente acción (véase Regla 5.6).

$$\begin{aligned}
R_{REC05} : SI \neg \text{Sabe}(\text{Obj_Sgte_Accion_Plan}(plan_x, obj_y)) \rightarrow \\
\text{Recomendar}(\text{Sabe}(plan_x))
\end{aligned} \tag{5.5}$$

$$\begin{aligned}
R_{REC06} : SI \neg \text{Sabe}(\text{Obj_Sgte_Accion_Plan}(plan_x, obj_y)) \rightarrow \\
\text{Recomendar}(\text{Sabe}(\text{Obj_Sgte_Accion_Plan}(plan_x, obj_y)))
\end{aligned} \tag{5.6}$$

Cabe destacar que existen reglas de recomendación para la taxonomía de Bloom y reglas para la taxonomía de Paquette. En aras de simplificar, en este trabajo se recogen mayoritariamente patrones de reglas en base a la taxonomía de competencias de Paquette. No obstante, reglas similares pueden ser aplicadas obteniendo recomendaciones en base a la taxonomía de objetivos de Bloom. A modo de ejemplo, a partir del diagnóstico de la Regla R_{DO16} , es posible recomendar a un estudiante, la competencia de identificación de un grupo de objetos si el problema es que el usuario no sabe elegir (taxonomía de Bloom) o discriminar (taxonomía de Paquette) un objeto entre los de la misma clase (véase Reglas 5.7 y 5.8). Por ejemplo, si un aprendiz de primeros auxilios no es capaz de diferenciar un apósito para quemaduras de un apósito genérico, entonces es razonable recomendarle la competencia de identificación de los tipos de apósitos.

$$\begin{aligned}
R_{REC07} : SI \neg \text{Discrimina}(\text{objeto}_{x'}, \text{Objetos_De_Clase}(clase_y)) \rightarrow \\
\text{Recomendar}(\text{Identifica}(\text{Objetos_De_Clase}(clase_y)))
\end{aligned} \tag{5.7}$$

$$\begin{aligned}
R_{REC08} : SI \neg \text{Sabe_Elegir}(\text{objeto}_{x'}, \text{Objetos_De_Clase}(clase_y)) \rightarrow \\
\text{Recomendar}(\text{Identifica}(\text{Objetos_De_Clase}(clase_y)))
\end{aligned} \tag{5.8}$$

Además de las anteriores, también es posible realizar recomendaciones relacionadas con el orden de los argumentos. Por ejemplo, si el estudiante no sabe el orden de los argumentos en la siguiente acción (inferido a partir de la Regla R_{DO13}), es razonable recomendarle la competencia de conocer el orden de los argumentos (véase Regla 5.9). Esta regla puede ser aplicada en laboratorios de química, recetas de cocina, clases de conducción, etc.

$$\begin{aligned}
R_{REC09} : SI \neg \text{Sabe}(\text{Orden_Args_En_Sgte_Accion}(acc_x)) \rightarrow \\
\text{Recomendar}(\text{Sabe}(\text{Orden_Args_En_Sgte_Accion}(acc_x)))
\end{aligned} \tag{5.9}$$

Si un estudiante aplica una acción con calidad pésima (inferido por la Regla R_{DO12}) y existe un recurso de aprendizaje que explica dicho acción entonces es posible recomendarle el recurso de aprendizaje (véase Regla 5.10).

$$\begin{aligned}
R_{REC10} : SI \text{ Es_Capaz_De_Aplicar}(acc_x, calidad_pesima) \wedge \\
\text{Usado_En_Competencia}(\text{recurso_aprendizaje}_y, \text{Demuestra}(acc_x)) \rightarrow \\
\text{Recomendar}(\text{recurso_aprendizaje}_y)
\end{aligned} \tag{5.10}$$

5.3.2.2.2. Patrones de reglas relacionados con objetivos y competencias

A partir del modelado propuesto es posible diseñar reglas relacionadas con los objetivos y las competencias. Puesto que las competencias han sido recientemente incorporadas al modelo, es necesario crear los patrones de reglas de diagnóstico y los de recomendación.

- **Patrones de reglas de diagnóstico - indicadores de desempeño**

Los indicadores de desempeño proporcionan una valiosa información acerca de los conocimientos o habilidades del estudiante para una competencia específica. Por ejemplo, si un estudiante realiza una pregunta acerca de una competencia o recibe una pista sobre la misma y el profesor ha definido que el estudiante debe alcanzar esa competencia sin ayuda, es posible inferir que el estudiante no ha alcanzado dicha competencia (véase Reglas 5.11 y 5.12).

$$\begin{aligned}
 R_{D01} : & SI \text{ Instancia_De}(com_x, Competencia) \wedge \\
 & \text{Criterio_Definido}(com_x, autonomia, "Sin ayuda") \wedge \\
 & Da_Pista(com_x) \rightarrow \\
 & \neg Alcanzada(com_x)
 \end{aligned} \tag{5.11}$$

$$\begin{aligned}
 R_{D02} : & SI \text{ Instancia_De}(com_x, Competencia) \wedge \\
 & \text{Criterio_Definido}(com_x, autonomía, "Sin ayuda") \wedge \\
 & Realiza_Pregunta(com_x) \rightarrow \\
 & \neg Alcanzada(com_x)
 \end{aligned} \tag{5.12}$$

De manera general, es posible asumir que si el estudiante realiza una pregunta sobre un objeto de conocimiento, no sepa dicha información. Por ejemplo, si el estudiante pregunta dónde está un objeto, es razonable asumir que no sabe la posición del mismo. De manera inversa, si el estudiante recibe una pista sobre un objeto de conocimiento, es posible asumir que el estudiante sabe dicha información. En este caso, si recibe la pista acerca del operador de la siguiente acción del plan, es razonable asumir que sabe cuál es el operador de dicha acción. Un amplio abanico de patrones de reglas de diagnóstico basados en pistas o preguntas fue desarrollado en el ME de Clemente (2011). A modo de ejemplo, se ilustran dos de las reglas realizadas en dicho modelado (véase Reglas 5.13 y 5.14).

$$\begin{aligned}
 R_{D03} : & SI \text{ Tipo_Pregunta}(pregunta, Donde_Esta, obj_x) \rightarrow \\
 & \neg(Sabe(Donde_Esta(obj_x)))
 \end{aligned} \tag{5.13}$$

$$\begin{aligned}
 R_{D04} : & SI \text{ Da_Pista}(Op_Sgte_Accion_Plan(op_x)) \rightarrow \\
 & Sabe(Op_Sgte_Accion_Plan(op_x))
 \end{aligned} \tag{5.14}$$

Dependiendo del objeto de conocimiento (acción, plan, objeto del escenario, etc.), otras reglas pueden ser inferidas a partir de las anteriores. Para ejemplificar esta situación, si un estudiante no sabe cuál es el operador de la siguiente acción del plan es posible inferir que no sabe la siguiente acción del plan (véase Regla 5.15) y, a partir de la regla R_{D007} se inferiría que el estudiante no sabe el plan.

$$\begin{aligned}
 R_{D05} : & SI \text{ Sgte_Accion_En_Plan}(acc_y) \wedge \\
 & \neg Sabe(Op_Sgte_Accion_Plan(op_x)) \rightarrow \\
 & \neg Sabe(Sgte_Accion_En_Plan(acc_y))
 \end{aligned} \tag{5.15}$$

La complejidad definida para una competencia también ofrece posibilidades de diagnóstico. Por ejemplo, si un estudiante alcanza una competencia con una complejidad determinada, es posible asumir que dicho estudiante será capaz de alcanzar otra competencia que difiere únicamente con la primera en el nivel de complejidad (la 2ª competencia tiene definido un nivel de complejidad menor). Por ejemplo, si un estudiante sabe realizar una búsqueda avanzada con el navegador, también sabrá realizar una búsqueda simple (véase Regla 5.16). Del mismo modo, es posible determinar lo opuesto, es decir, si un estudiante no sabe sumar números de dos dígitos, no sabrá sumar números de cinco dígitos (véase Regla 5.17).

$$\begin{aligned}
R_{D06} : & SI \text{ Instancia_De}(com_x, Competencia) \wedge \\
& \text{Instancia_De}(com_{x'}, Competencia) \wedge \\
& \text{Difieren_En}(com_x, com_{x'}, complejidad) \wedge \\
& \text{Criterio_Definido}(com_x, complejidad, nivel_y) \wedge \\
& \text{Criterio_Definido}(com_{x'}, complejidad, nivel_{y'}) \wedge \\
& \text{Alcanzada}(com_x) \wedge \\
& \text{Mayor}(nivel_y, nivel_{y'}) \rightarrow \\
& \text{Alcanzada}(com_{x'})
\end{aligned} \tag{5.16}$$

$$\begin{aligned}
R_{D07} : & SI \text{ Instancia_De}(com_x, Competencia) \wedge \\
& \text{Instancia_De}(com_{x'}, Competencia) \wedge \\
& \text{Difieren_En}(com_x, com_{x'}, complejidad) \wedge \\
& \text{Criterio_Definido}(com_x, complejidad, nivel_y) \wedge \\
& \text{Criterio_Definido}(com_{x'}, complejidad, nivel_{y'}) \wedge \\
& \neg \text{Alcanzada}(com_x) \wedge \\
& \text{Mayor}(nivel_{y'}, nivel_y) \rightarrow \\
& \neg \text{Alcanzada}(com_{x'})
\end{aligned} \tag{5.17}$$

El contexto es otro indicador de desempeño con amplias posibilidades de diagnóstico. Por ejemplo, si el contexto definido para una competencia es desconocido y la competencia requiere un objeto, entonces es posible inferir, de manera inicial que el estudiante no sabe donde está dicho objeto (véase Regla 5.18).

$$\begin{aligned}
R_{D08} : & SI \text{ Instancia_De}(com_x, Competencia) \wedge \\
& \text{Requiere_Objeto}(com_x, obj_y) \wedge \\
& \text{Criterio_Definido}(com_x, contexto, \text{"Desconocido"}) \rightarrow \\
& \neg \text{Sabe}(\text{Donde_Esta}(obj_y))
\end{aligned} \tag{5.18}$$

En cuanto a la frecuencia se refiere, es posible asumir que una competencia no ha sido alcanzada si dicha competencia debe superarse en todos los intentos y, sin embargo, no se supera en uno de ellos, es decir el nivel de desempeño de la frecuencia demostrado por el estudiante ($nivel_a$) es menor al número de intentos (véase Regla 5.19). Este es el caso habitual de situaciones peligrosas o con riesgo para la salud (un piloto debe comprobar el estado del avión antes de despegar, un cirujano debe desinfectarse antes de proceder a realizar una operación, etc.).

$$\begin{aligned}
R_{D09} : & SI \text{ Instancia_De}(act_x, Actividad) \wedge \\
& Tiene_Competencia(act_x, com_y) \wedge \\
& Criterio_Definido(com_y, frecuencia, "Todos los casos") \wedge \\
& Nivel_Desemp_Act_Crit(estud_z, com_y, frecuencia, nivel_a) \wedge \\
& Intentos_Realizados(estud_z, act_x, numero_intentos) \wedge \\
& Mayor(numero_intentos, nivel_a) \rightarrow \\
& \neg Alcanzada(com_y)
\end{aligned} \tag{5.19}$$

Finalmente, el último patrón de reglas de diagnóstico de acuerdo al nivel de logro de las competencias que se propone en este trabajo está relacionado con el alcance del dominio de una competencia. Para lograr algunas competencias, principalmente genéricas, es preciso alcanzar varias subcompetencias específicas. Por ejemplo, la competencia “es capaz de aparcar el vehículo correctamente independientemente de la plaza de estacionamiento” implica que el estudiante sea capaz de aparcar en batería y en línea, de este modo, si un estudiante no alcanza la competencia de aparcar en línea, no puede alcanzar la competencia de aparcar independientemente de la plaza de estacionamiento (véase Regla 5.20).

Otras competencias pueden no implicar una obligatoriedad de alcanzar todas las subcompetencias para alcanzar la competencia genérica. Este es el caso de ser capaz de nadar, que se alcanzará si cualquiera de las subcompetencias se alcanza, es decir, ser capaz de nadar a braza, ser capaz de nadar a espalda, ser capaz de nadar a mariposa o ser capaz de nadar a crol (véase Regla 5.21).

$$\begin{aligned}
R_{D10} : & SI \text{ Instancia_De}(com_x, Competencia) \wedge \\
& Se_Descompone_En(com_x, com_y) \wedge \\
& Criterio_Definido(com_x, alcance, "Total") \wedge \\
& \neg Alcanzada(com_y) \rightarrow \\
& \neg Alcanzada(com_x)
\end{aligned} \tag{5.20}$$

$$\begin{aligned}
R_{D11} : & SI \text{ Instancia_De}(com_x, Competencia) \wedge \\
& Se_Descompone_En(com_x, com_y) \wedge \\
& Criterio_Definido(com_x, alcance, "Algún caso") \wedge \\
& Alcanzada(com_y) \rightarrow \\
& Alcanzada(com_x)
\end{aligned} \tag{5.21}$$

Si bien es cierto que se han propuesto diferentes patrones de reglas de diagnóstico de acuerdo al nivel de logro de las competencias, otros patrones pueden ser tenidos en cuenta por lo que cualquier extensión de esta actividad será viable gracias a la flexibilidad de la red ontológica.

- **Patrones de reglas de recomendación - indicadores de desempeño**

Continuando con los indicadores de desempeño, se detallan diversas reglas de recomendación relacionadas con esta rama de la taxonomía de objetivos y competencias. Para ello, se empleará como soporte el estado de las competencias y las reglas de diagnóstico previamente descritas.

Si a partir de las reglas de diagnóstico sobre los indicadores de desempeño R_{D03} o R_{D08} se deduce que el estudiante no sabe la posición del objeto de la siguiente acción en el plan,

entonces es posible recomendarle la competencia de identificar el objeto (véase regla 5.22). Por ejemplo, si el estudiante no sabe dónde está el matraz, entonces es posible recomendarle que identifique dicho objeto.

$$R_{REC11} : SI \neg Sabe(Pos_Obj_Sgte_Accion_En_Plan(plan_x, obj_y)) \rightarrow \text{Recomendar}(Identifica(obj_y)) \quad (5.22)$$

De un modo similar, si se infiere que el estudiante no sabe lo que es un determinado objeto sería razonable recomendarle la competencia de identificar dicho objeto (véase Regla 5.23). A modo de ejemplo, si un estudiante no sabe que es un matraz es posible recomendarle el logro de la competencia de identificación de dicho objeto. Para ello, se puede ofrecer ayuda a través de una descripción textual o una fotografía.

$$R_{REC12} : SI \neg Sabe(Que_Es(obj_x)) \rightarrow \text{Recomendar}(Identifica(obj_x)) \quad (5.23)$$

Si en la ontología se encuentra registrado que el estudiante no sabe para qué sirve un determinado objeto, sería razonable recomendarle el logro de la competencia asociada con saber las acciones en las que se utiliza dicho objeto (véase Regla 5.24). A modo de ejemplo, si un aprendiz de conductor no sabe para que sirve el intermitente es posible recomendarle el logro de la competencia de saber las acciones en las que puede emplear un intermitente.

$$R_{REC13} : SI \neg Sabe(Para_Que_Sirve(obj_x)) \rightarrow \text{Recomendar}(Sabe(Usado_En(obj_x, lacc))) \quad (5.24)$$

Si el estudiante no sabe si una determinada acción se encuentra o no en el plan o si necesitará un objeto a lo largo de una actividad, entonces es posible recomendarle con prioridad media la competencia de recuerdo del plan (véase Reglas 5.25 y 5.26).

$$R_{REC14} : SI \neg Sabe(Acc_En_Plan_Post(acc_x, plan_y)) \rightarrow \text{Recomendar}(Sabe(plan_y)) \wedge \text{Prioridad_Recomendacion}("Media") \quad (5.25)$$

$$R_{REC15} : SI \neg Sabe(Obj_En_Plan(obj_x, plan_y)) \rightarrow \text{Recomendar}(Sabe(plan_y)) \wedge \text{Prioridad_Recomendacion}("Media") \quad (5.26)$$

Si el estudiante no ha alcanzado una competencia que tiene definido el criterio autonomía con un valor de "sin ayuda" (inferido a través de las Reglas R_{D01} , R_{D02}), entonces es posible recomendarle el logro de otra competencia que difiere únicamente con la primera en el indicador de desempeño autonomía, definido con el valor ayuda puntual (véase Regla 5.27). De un modo similar, si el estudiante no ha alcanzado una competencia que tiene definido el criterio "autonomía" con un valor de "ayuda puntual", entonces es posible recomendarle una competencia que difiere únicamente en el indicador de desempeño autonomía, definido con el valor "con asistencia" (véase Regla 5.28). Cabe destacar que reglas en sentido inverso pueden ser aplicadas si el estudiante sí alcanza la competencia (véase 5.29).

$$\begin{aligned}
R_{REC16} : & SI \neg Alcanzada(com_x) \wedge \\
& Criterio_Definido(com_x, autonomia, "Sin ayuda") \wedge \\
& Instancia_De(com_{x'}, Competencia) \wedge \\
& Difieren_En(com_x, com_{x'}, autonomía) \wedge \\
& Criterio_Definido(com_{x'}, autonomía, "Ayuda puntual") \rightarrow \\
& Recomendar(com_{x'})
\end{aligned} \tag{5.27}$$

$$\begin{aligned}
R_{REC17} : & SI \neg Alcanzada(com_x) \wedge \\
& Criterio_Definido(com_x, autonomía, "Ayuda puntual") \wedge \\
& Instancia_De(com_{x'}, Competencia) \wedge \\
& Difieren_En(com_x, com_{x'}, autonomía) \wedge \\
& Criterio_Definido(com_{x'}, autonomía, "Asistencia") \rightarrow \\
& Recomendar(com_{x'})
\end{aligned} \tag{5.28}$$

$$\begin{aligned}
R_{REC18} : & SI Alcanzada(com_x) \wedge \\
& Criterio_Definido(com_x, autonomía, "Ayuda puntual") \wedge \\
& Instancia_De(com_{x'}, Competencia) \wedge \\
& Difieren_En(com_x, com_{x'}, autonomía) \wedge \\
& Criterio_Definido(com_{x'}, autonomía, "Sin ayuda") \rightarrow \\
& Recomendar(com_{x'})
\end{aligned} \tag{5.29}$$

Si el estudiante es tímido (información almacenada en la ontología inicialmente o inferida por el disparo de reglas de diagnóstico entonces, es posible recomendarle competencias sociales siempre y cuando el nivel de dichas competencias se encuentre por debajo de un límite preestablecido por el diseñador instruccional (véase Regla 5.30) o que realice más preguntas acerca de competencias no alcanzadas que se hayan definido con autonomía de ayuda puntual o asistencia (véase Reglas 5.31 y 5.32).

$$\begin{aligned}
R_{REC19} : & SI Rasgo_Personalidad("Tímido") \wedge \\
& Instancia_De(com_x, Competencia) \wedge \\
& Habilidad_Definida(com_x, habilidad_y) \wedge \\
& Nivel_Habilidad(habilidad_y, nivel_z) \wedge \\
& Mayor(limite_nivel_habilidad, nivel_z) \wedge \\
& Metadominio(com_x, "Social") \rightarrow \\
& Recomendar(com_x)
\end{aligned} \tag{5.30}$$

$$\begin{aligned}
R_{REC20} : & SI Rasgo_Personalidad("Tímido") \wedge \\
& Criterio_Definido(com_x, autonomía, "Asistencia") \wedge \\
& \neg Alcanzada(com_x) \rightarrow \\
& Recomendar(Realiza_Pregunta(com_x)) \wedge \\
& Prioridad_Recomendacion("Alta")
\end{aligned} \tag{5.31}$$

$$\begin{aligned}
R_{REC21} : & SI \text{ Rasgo_Personalidad}(\text{"Timido"}) \wedge \\
& \text{Criterio_Definido}(com_x, \text{autonomia}, \text{"Ayuda puntual"}) \wedge \\
& \neg \text{Alcanzada}(com_x) \rightarrow \\
& \text{Recomendar}(\text{Realiza_Pregunta}(com_x))
\end{aligned} \tag{5.32}$$

En relación con el contexto, si el estudiante no es capaz de alcanzar una competencia determinada (inferido por reglas tales como R_{D07} , R_{D09} , R_{D10} , etc.), es posible recomendarle una competencia que difiera únicamente con la primera en el indicador de desempeño contexto, definido con un nivel más bajo. En el caso de que el contexto sea totalmente desconocido, es posible recomendarle otra competencia que difiera únicamente en el valor del contexto, definido como “parcialmente desconocido” (véase Regla 5.33). Del mismo modo, si el contexto es parcialmente desconocido, podría recomendarse una competencia que difiera únicamente en el valor del contexto, definido como “familiar” para el estudiante (véase Regla 5.34). A modo de ejemplo, si un estudiante no es capaz de preparar una disolución en un laboratorio parcialmente desconocido, es posible recomendarle preparar la misma disolución en un entorno familiar.

$$\begin{aligned}
R_{REC22} : & SI \neg \text{Alcanzada}(com_x) \wedge \\
& \text{Criterio_Definido}(com_x, \text{contexto}, \text{"Totalmente desconocido"}) \wedge \\
& \text{Nivel_Desemp_Act_Crit}(\text{estud}_y, com_x, \text{contexto}, \text{nivel}_z) \wedge \\
& \text{Mayor}(\text{"Totalmente desconocido"}, \text{nivel}_z) \wedge \\
& \text{Difieren_En}(com_x, com_{x'}, \text{contexto}) \wedge \\
& \text{Criterio_Definido}(com_{x'}, \text{contexto}, \text{"Parcialmente desconocido"}) \rightarrow \\
& \text{Recomendar}(com_{x'})
\end{aligned} \tag{5.33}$$

$$\begin{aligned}
R_{REC23} : & SI \neg \text{Alcanzada}(com_x) \wedge \\
& \text{Criterio_Definido}(com_x, \text{contexto}, \text{"Parcialmente desconocido"}) \wedge \\
& \text{Nivel_Desemp_Act_Crit}(\text{estud}_y, com_x, \text{contexto}, \text{nivel}_z) \wedge \\
& \text{Mayor}(\text{"Parcialmente desconocido"}, \text{nivel}_z) \wedge \\
& \text{Difieren_En}(com_x, com_{x'}, \text{contexto}) \wedge \\
& \text{Criterio_Definido}(com_{x'}, \text{contexto}, \text{"Familiar"}) \rightarrow \\
& \text{Recomendar}(com_{x'})
\end{aligned} \tag{5.34}$$

De un modo similar, si no se ha alcanzado una competencia con el valor del indicador de desempeño de “complejidad” definido como “fuerte” (inferido por las Reglas R_{D07} , R_{D09} , R_{D10} , etc.) y existe una competencia que difiere únicamente en el indicador de desempeño “complejidad”, definido como “media”, es posible recomendar al estudiante que alcance en primer lugar la competencia de complejidad más baja (véase Regla 5.35). Reglas equivalentes pueden crearse para el resto de indicadores de desempeño (frecuencia y alcance).

$$\begin{aligned}
R_{REC24} : & SI \neg Alcanzada(com_x) \wedge \\
& Criterio_Definido(com_x, complejidad, "Fuerte") \wedge \\
& Nivel_Desemp_Act_Crit(estud_y, com_x, complejidad, nivel_z) \wedge \\
& Mayor("Fuerte", nivel_z) \wedge \\
& Difieren_En(Com_x, com_{x'}, complejidad) \wedge \\
& Criterio_Definido(com_{x'}, complejidad, "Media") \rightarrow \\
& Recomendar(com_{x'})
\end{aligned} \tag{5.35}$$

También es posible combinar diferentes criterios para crear nuevas recomendaciones. Por ejemplo, si un estudiante no ha alcanzado una competencia de complejidad media porque tenía definido el valor del indicador de desempeño de “alcance” como “total” y ha mostrado un nivel “parcial” para dicho indicador (inferido por reglas tales como R_{D07} , R_{D09} , R_{D10} , etc.), es posible recomendarle el logro de una competencia que difiera únicamente en el indicador de desempeño “complejidad”, definido como “débil” (véase Regla 5.37).

$$\begin{aligned}
R_{REC25} : & SI \neg Alcanzada(com_x) \wedge \\
& Criterio_Definido(com_x, alcance, "Total") \wedge \\
& Nivel_Desemp_Act_Crit(estud_y, com_x, alcance, nivel_z) \wedge \\
& Mayor("Total", nivel_z) \wedge \\
& Criterio_Definido(com_x, complejidad, "Media") \wedge \\
& Difieren_En(com_x, com_{x'}, complejidad) \wedge \\
& Criterio_Definido(com_{x'}, complejidad, "Debil") \rightarrow \\
& Recomendar(com_{x'})
\end{aligned} \tag{5.36}$$

A partir de estas reglas de recomendación, se puede observar, tal y como se ha comentado anteriormente, que un estudiante puede recibir muchas recomendaciones distintas si no alcanza una competencia. A modo de ejemplo, si el estudiante no alcanza la competencia “aparcar tres veces en batería y en línea en un contexto totalmente desconocido y sin ayuda”, podría recibir, por ejemplo, las recomendaciones detalladas en la Tabla 5.40.

Tabla 5.40: Ejemplos de posibles recomendaciones de competencias.

Competencia recomendada	Criterio variable
Aparcar dos veces en batería y línea en un contexto totalmente desconocido sin ayuda	Frecuencia
Aparcar tres veces en batería en un contexto totalmente desconocido sin ayuda	Alcance
Aparcar tres veces en batería y línea en un contexto parcialmente desconocido sin ayuda	Contexto
Demstrar cómo se aparca en batería y línea	Habilidad
Aparcar tres veces en batería y línea en un contexto totalmente desconocido con ayuda puntual	Autonomía

- **Patrones de reglas de recomendación - estado de la competencia**

Un patrón de reglas relacionado con la recomendación de competencias está relacionado con el nivel de las competencias según las escalas de Paquette o Bloom. En este sentido, es razonable recomendar que: si un estudiante no alcanza una competencia con un nivel

de habilidad determinado (inferido por reglas tales como R_{D07} , R_{D09} , R_{D10} , etc.), intente alcanzar una segunda competencia que difiera únicamente en el nivel de habilidad (la segunda tendrá un nivel inferior). Por ejemplo, si un alumno no es capaz de aplicar una fórmula matemática, podría recibir la recomendación de demostrar dicha fórmula, si no es capaz de demostrarla, podría recibir la recomendación de identificar los elementos que intervienen en la fórmula. Estos dos ejemplos de reglas se ilustran en la Regla 5.37.

$$\begin{aligned}
R_{REC26} : & SI \neg Alcanzada(com_x) \wedge \\
& Habilidad_Definida(com_x, habilidad_y) \wedge \\
& Nivel_Habilidad(habilidad_y, nivel_y) \wedge \\
& Difieren_En_Habilidad(com_x, com_{x'}, habilidad) \wedge \\
& Habilidad_Definida(com_{x'}, habilidad_z) \wedge \\
& Nivel_Habilidad(habilidad_z, nivel_z) \wedge \\
& Igual(nivel_y, nivel_z + 1) \rightarrow \\
& Recomendar(com_{x'})
\end{aligned} \tag{5.37}$$

- **Patrones de reglas de recomendación - dominio de las competencias**

De acuerdo con el perfil del estudiante (rellenado por el estudiante, inferido a través de reglas de diagnóstico, etc.) y el estado de los objetivos o competencias actual del mismo, es posible ofrecer recomendaciones relacionadas con el dominio de las competencias. De este modo, si un estudiante es precavido podría recibir la recomendación de centrarse en competencias de nivel bajo de toma de riesgos perteneciente al meta-dominio productivo (véase Regla 5.38). Si un estudiante es nervioso podría recibir la recomendación de centrarse en competencias de nivel bajo de gestión del *stress* perteneciente al meta-dominio afectivo (véase Regla 5.39). A aquellos estudiantes con un rasgo de personalidad aventurado es posible recomendarles competencias de nivel bajo de seguridad personal perteneciente al meta-dominio ético (véase Regla 5.40). Si el estudiante muestra un rasgo de personalidad egoísta, entonces es posible recomendarle competencias de nivel bajo de solidaridad o empatía (véase Reglas 5.41 y 5.42). Si el estudiante demuestra un grado de irresponsabilidad entonces es razonable recomendarle competencias de nivel bajo de responsabilidad 5.43).

$$\begin{aligned}
R_{REC27} : & SI Rasgo_Personalidad("Precavido") \wedge \\
& Instancia_De(com_x, Competencia) \wedge \\
& Area_Competencia(com_x, "Toma_Riesgos") \wedge \\
& Habilidad_Definida(com_x, habilidad_y) \wedge \\
& Nivel_Habilidad(habilidad_y, nivel_z) \wedge \\
& Mayor(limite_bajo_nivel, nivel_z) \rightarrow \\
& Recomendar(com_x)
\end{aligned} \tag{5.38}$$

$$\begin{aligned}
R_{REC28} : & SI Rasgo_Personalidad("Nervioso") \wedge \\
& Instancia_De(com_x, Competencia) \wedge \\
& Area_Competencia(com_x, "Gestion_Stress") \wedge \\
& Habilidad_Definida(com_x, habilidad_y) \wedge \\
& Nivel_Habilidad(habilidad_y, nivel_z) \wedge \\
& Mayor(limite_bajo_nivel, nivel_z) \rightarrow \\
& Recomendar(com_x)
\end{aligned} \tag{5.39}$$

$$\begin{aligned}
R_{REC29} : & SI \text{ Rasgo_Personalidad}(\text{"Aventurado"}) \wedge \\
& \text{Instancia_De}(com_x, \text{Competencia}) \wedge \\
& \text{Area_Competencia}(com_x, \text{"Seguridad_Personal"}) \wedge \\
& \text{Habilidad_Definida}(com_x, habilidad_y) \wedge \\
& \text{Nivel_Habilidad}(habilidad_y, nivel_z) \wedge \\
& \text{Mayor}(\text{limite_bajo_nivel}, nivel_z) \rightarrow \\
& \text{Recomendar}(com_x)
\end{aligned} \tag{5.40}$$

$$\begin{aligned}
R_{REC30} : & SI \text{ Rasgo_Personalidad}(\text{"Egoista"}) \wedge \\
& \text{Instancia_De}(com_x, \text{Competencia}) \wedge \\
& \text{Area_Competencia}(com_x, \text{"Solidaridad"}) \wedge \\
& \text{Habilidad_Definida}(com_x, habilidad_y) \wedge \\
& \text{Nivel_Habilidad}(habilidad_y, nivel_z) \wedge \\
& \text{Mayor}(\text{limite_bajo_nivel}, nivel_z) \rightarrow \\
& \text{Recomendar}(com_x)
\end{aligned} \tag{5.41}$$

$$\begin{aligned}
R_{REC31} : & SI \text{ Rasgo_Personalidad}(\text{"Egoista"}) \wedge \\
& \text{Instancia_De}(com_x, \text{Competencia}) \wedge \\
& \text{Area_Competencia}(com_x, \text{"Empatia"}) \wedge \\
& \text{Habilidad_Definida}(com_x, habilidad_y) \wedge \\
& \text{Nivel_Habilidad}(habilidad_y, nivel_z) \wedge \\
& \text{Mayor}(\text{limite_bajo_nivel}, nivel_z) \rightarrow \\
& \text{Recomendar}(com_x)
\end{aligned} \tag{5.42}$$

$$\begin{aligned}
R_{REC32} : & SI \text{ Rasgo_Personalidad}(\text{"Egoista"}) \wedge \\
& \text{Instancia_De}(com_x, \text{Competencia}) \wedge \\
& \text{Area_Competencia}(com_x, \text{"Responsabilidad"}) \wedge \\
& \text{Habilidad_Definida}(com_x, habilidad_y) \wedge \\
& \text{Nivel_Habilidad}(habilidad_y, nivel_z) \wedge \\
& \text{Mayor}(\text{limite_bajo_nivel}, nivel_z) \rightarrow \\
& \text{Recomendar}(com_x)
\end{aligned} \tag{5.43}$$

Como ya se ha mencionado en varias ocasiones a lo largo de esta memoria, estas reglas representan únicamente un pequeño fragmento de todas las posibles a aplicar. La gran ventaja de la metodología empleada es la facilidad de incorporar nuevas reglas a la red de ontologías de forma que puedan ser utilizadas en cualquier actividad.

5.3.2.2.3. Patrones de reglas de diagnóstico - actividades

A un nivel todavía mayor al de los objetivos y competencias, es posible realizar reglas relacionadas con las actividades y el estado actual de los estudiantes en dicha actividad. En cuanto a las actividades se refiere, en Clemente (2011) se detallaron tres ramas: ejecución de la actividad, nivel de maestría y trayectorias. En este trabajo se propone mantener las ramas de

ejecución y trayectorias y crear una nueva rama denominada resultados que combine el nivel de maestría con los instrumentos de evaluación, en este caso concreto, las rúbricas.

- **Patrones de reglas de diagnóstico - instrumentos de evaluación**

A la hora de evaluar una actividad, los instrumentos de evaluación en general y las rúbricas en particular, ofrecen una gran cantidad de información acerca del progreso de aprendizaje del estudiante. Por ejemplo, las rúbricas permiten evaluar de manera global y objetiva el desempeño de un estudiante en toda la actividad y no solo en acciones u objetivos. Además, las rúbricas y las competencias pueden trabajar conjuntamente para fortalecer esa información ya que un criterio de la rúbrica está formado por un conjunto de competencias.

Por citar un caso en el que ambos conceptos puedes colaborar, si todas las competencias asociadas a un criterio han sido alcanzadas, es posible inferir que el nivel del criterio de la rúbrica será mayor o igual a estándar (véase Regla 5.44).

$$\begin{aligned}
 R_{D12} : SI \text{ Competencias_Asociadas}(crit_a, lcom) \wedge \\
 \text{Alcanzada}(lcom) \rightarrow \\
 \text{Nivel_Crit_Rub}(estud_x, crit_a, nivel) \wedge \\
 \text{Mayor_O_Igual}(nivel, \text{"Estandar"})
 \end{aligned} \tag{5.44}$$

De manera inversa al patrón de regla anterior, si ninguna competencia asociada a un criterio ha sido alcanzada, el nivel del criterio de la rúbrica no puede ser mayor o igual a estándar (véase Regla 5.45).

$$\begin{aligned}
 R_{D13} : SI \text{ Competencias_Asociadas}(crit_a, lcom) \wedge \\
 \neg \text{Alcanzada}(lcom) \rightarrow \\
 \text{Nivel_Crit_Rub}(estud_x, crit_a, nivel) \wedge \\
 \text{Menor}(nivel, \text{"Estandar"})
 \end{aligned} \tag{5.45}$$

Si el estudiante demuestra un nivel muy alto en todos los criterios de la rúbrica con la que se evalúa la actividad, es posible inferir que el nivel de experiencia mostrado por el estudiante para esa actividad es experto (véase Regla 5.47).

$$\begin{aligned}
 R_{D14} : Si \text{ Tiene_Instrumento_Eval}(act_x, rub_y) \wedge \\
 \text{Criterios_Rubrica}(rub_y, lcrit) \wedge \\
 \text{Nivel_Crit_Rub}(estud_z, lcrit, \text{"Muy alto"}) \rightarrow \\
 \text{Nivel_Experiencia}(act_x, \text{"Experto"})
 \end{aligned} \tag{5.46}$$

Si, de manera contraria, el estudiante demuestra ausencia de desempeño en todos los criterios de la rúbrica con la que se evalúa la actividad, es posible inferir que el nivel de experiencia mostrado por el estudiante para esa actividad es novato (véase Regla 5.47). Del mismo modo, si el tutor decide interrumpir una actividad porque considera que las acciones llevadas a cabo por el estudiante pueden ser peligrosas, es posible inferir que el nivel de experiencia mostrado por el estudiante en dicha actividad será menor que experto (véase Regla 5.48).

$$\begin{aligned}
 R_{D15} : Si \text{ Tiene_Instrumento_Eval}(act_x, rub_y) \wedge \\
 \text{Criterios_Rubrica}(rub_y, lcrit) \wedge \\
 \text{Nivel_Crit_Rub}(estud_z, lcrit, \text{"Ausencia de desempeño"}) \rightarrow \\
 \text{Nivel_Experiencia}(act_x, \text{"Novato"})
 \end{aligned} \tag{5.47}$$

$$\begin{aligned}
R_{D16} : & \text{Si } \text{Aplica}(\text{acc}_x) \wedge \\
& \text{Es_Peligrosa}(\text{acc}_x) \wedge \\
& \text{Interrumpida_Por_Tutor}(\text{act}_y) \rightarrow \\
& \text{Nivel_Experiencia}(\text{act}_y, \text{nivel}_z) \wedge \\
& \text{Menor}(\text{nivel}_z, \text{"Experto"})
\end{aligned} \tag{5.48}$$

• **Patrones de reglas de recomendación - instrumentos de evaluación**

A partir de los resultados obtenidos en las rúbricas, también es posible realizar recomendaciones. Se puede recomendar, entre otros, una competencia específica que cumpla las siguientes condiciones: (a) la competencia no haya sido alcanzada y (b) la competencia pertenezca a un criterio de la rúbrica con una calificación inferior a estándar (véase Regla 5.49).

$$\begin{aligned}
R_{REC33} : & \text{SI } \text{Competencias_Asociadas}(\text{crit}_x, \text{lcom}) \wedge \\
& \text{Contiene}(\text{lcom}, \text{com}_y) \wedge \\
& \text{Nivel_Crit_Rub}(\text{estud}_z, \text{crit}_x, \text{Menor}(\text{"Estandar"})) \wedge \\
& \neg \text{Alcanzada}(\text{com}_y) \rightarrow \\
& \text{Recomendar}(\text{com}_y) \wedge \\
& \text{Prioridad_Recomendacion}(\text{"Alta"})
\end{aligned} \tag{5.49}$$

El nivel de experiencia mostrado por el estudiante en la actividad también permite realizar recomendaciones. En consecuencia, si el estudiante ha demostrado un nivel de experto en una actividad, es decir, ha superado todas las competencias, entonces es posible recomendarle una actividad que difiera con la superada únicamente en el nivel de alguno de los criterios de desempeño de una competencia (véase Reglas 5.50, 5.51 y 5.52).

$$\begin{aligned}
R_{REC34} : & \text{SI } \text{Nivel_Experiencia}(\text{act}_x, \text{"Experto"}) \wedge \\
& \text{Actividad_Difiere_En}(\text{act}_x, \text{act}_{x'}, \text{com}_y) \wedge \\
& \text{Tiene_Competencia}(\text{act}_x, \text{com}_y) \wedge \\
& \text{Tiene_Competencia}(\text{act}_{x'}, \text{com}_{y'}) \wedge \\
& \text{Difiere_En}(\text{com}_y, \text{com}_{y'}, \text{complejidad}) \wedge \\
& \text{Criterio_Definido}(\text{com}_y, \text{complejidad}, \text{"Debil"}) \wedge \\
& \text{Criterio_Definido}(\text{com}_{y'}, \text{complejidad}, \text{"Media"}) \rightarrow \\
& \text{Recomendar}(\text{act}_{x'})
\end{aligned} \tag{5.50}$$

$$\begin{aligned}
R_{REC35} : & \text{SI } \text{Nivel_Experiencia}(\text{act}_x, \text{"Experto"}) \wedge \\
& \text{Actividad_Difiere_En}(\text{act}_x, \text{act}_{x'}, \text{com}_y) \wedge \\
& \text{Tiene_Competencia}(\text{act}_x, \text{com}_y) \wedge \\
& \text{Tiene_Competencia}(\text{act}_{x'}, \text{com}_{y'}) \wedge \\
& \text{Difiere_En}(\text{com}_y, \text{com}_{y'}, \text{autonomia}) \wedge \\
& \text{Criterio_Definido}(\text{com}_y, \text{autonomia}, \text{"Con asistencia"}) \wedge \\
& \text{Criterio_Definido}(\text{com}_{y'}, \text{autonomia}, \text{"Ayuda puntual"}) \rightarrow \\
& \text{Recomendar}(\text{act}_{x'})
\end{aligned} \tag{5.51}$$

$$\begin{aligned}
R_{REC36} : & SI \text{ Nivel_Experiencia}(act_x, \text{"Experto"}) \wedge \\
& \text{Actividad_Difiere_En}(act_x, act_{x'}, com_y) \wedge \\
& \text{Tiene_Competencia}(act_x, com_y) \wedge \\
& \text{Tiene_Competencia}(act_{x'}, com_{y'}) \wedge \\
& \text{Difiere_En}(com_y, com_{y'}, contexto) \wedge \\
& \text{Criterio_Definido}(com_y, contexto, \text{"Parcialmente desconocido"}) \wedge \\
& \text{Criterio_Definido}(com_{y'}, contexto, \text{"Desconocido"}) \rightarrow \\
& \text{Recomendar}(act_{x'})
\end{aligned} \tag{5.52}$$

De manera opuesta, si el nivel de experiencia mostrado por el estudiante es de novato, entonces es posible recomendarle la realización de una actividad que difiera con la no superada únicamente en el nivel de desempeño del criterio de una competencia (véase Reglas 5.53 y 5.54).

$$\begin{aligned}
R_{REC37} : & SI \text{ Nivel_Experiencia}(act_x, \text{"Novato"}) \wedge \\
& \text{Actividad_Difiere_En}(act_x, act_{x'}, com_y) \wedge \\
& \text{Tiene_Competencia}(act_x, com_y) \wedge \\
& \text{Tiene_Competencia}(act_{x'}, com_{y'}) \wedge \\
& \text{Difiere_En}(com_y, com_{y'}, contexto) \wedge \\
& \text{Criterio_Definido}(com_y, contexto, \text{"Parcialmente desconocido"}) \wedge \\
& \text{Criterio_Definido}(com_{y'}, contexto, \text{"Familiar"}) \rightarrow \\
& \text{Recomendar}(act_{x'})
\end{aligned} \tag{5.53}$$

$$\begin{aligned}
R_{REC38} : & SI \text{ Nivel_Experiencia}(act_x, \text{"Novato"}) \wedge \\
& \text{Actividad_Difiere_En}(act_x, act_{x'}, com_y) \wedge \\
& \text{Tiene_Competencia}(act_x, com_y) \wedge \\
& \text{Tiene_Competencia}(act_{x'}, com_{y'}) \wedge \\
& \text{Difiere_En}(com_y, com_{y'}, complejidad) \wedge \\
& \text{Criterio_Definido}(com_y, complejidad, \text{"Fuerte"}) \wedge \\
& \text{Criterio_Definido}(com_{y'}, complejidad, \text{"Media"}) \rightarrow \\
& \text{Recomendar}(act_{x'})
\end{aligned} \tag{5.54}$$

Finalmente, de manera genérica y enfocado a aquellos estudiantes de los que no se disponga nada de información, es posible recomendarles la realización de cualquier actividad cuyo nivel de experiencia sea desconocido (véase Regla 5.55). En este caso, la recomendación inicial es genérica y servirá principalmente para registrar información del estudiante. Por ejemplo, a un aprendiz de cocina se le recomendarían actividades como la realización de un plato de arroz blanco (básica), un plato de risotto (media) y una paella (difícil). Si el estudiante decide empezar por la más compleja y no supera la actividad, el sistema de recomendación le aconsejará actividades de menor complejidad demostrando la capacidad de adaptación.

$$\begin{aligned}
R_{REC39} : & SI \text{ Nivel_Experiencia}(act_x, \text{"Desconocido"}) \rightarrow \\
& \text{Recomendar}(act_x) \wedge \\
& \text{Prioridad_Recomendacion}(\text{"Baja"})
\end{aligned} \tag{5.55}$$

En cuanto a las reglas se refiere, cabe resaltar que un estudiante puede recibir muchas recomendaciones a la vez, por tanto, tras realizar una acción es posible que dicho estudiante reciba reglas de diagnóstico y de recomendación de acciones, competencias y actividades.

5.3.2.3. Actividad 6 - Extensión de las reglas específicas

En algunos dominios determinados es conveniente definir reglas específicas, es decir, indicadores propios de una actividad en un dominio concreto. Si bien es cierto que estas reglas deben ser diseñadas particularmente para, en su mayoría, una única experiencia de aprendizaje y su uso es muy limitado, pueden ser imprescindibles para dicha actividad y por tanto siempre deben ser tenidas en cuenta.

De manera similar a la actividad 3, estos elementos deben ser creados (solo si es necesario), en la fase de experimentación puesto que son propios de un determinado contexto/dominio para actividades de aprendizaje específicas.

5.3.2.4. Actividad 7 - Comprobación de los predicados

La siguiente actividad a llevar a cabo según la guía metodológica consiste en detallar los diferentes predicados que pueden ser aplicados en las reglas de diagnóstico o recomendación descritas en los apartados 5.3.2.1, 5.3.2.2 y 5.3.2.3. Estos predicados incluyen términos que son mapeados con conceptos pertenecientes a la(s) jerarquía(s) de las ontologías del estudiante soporte de este trabajo.

Tabla 5.41: Extensión de los predicados relacionados con la jerarquía «LearningDesign».

VERSIÓN	PREDICADOS	SIGNIFICADO
EX	Actividad_Difiere_En($act_x, act_{x'}, comp_y$)	Las actividades act_x y $act_{x'}$ difieren únicamente en la competencia com_y .
VO	Nivel_Experiencia(act_x, niv_y)	El estudiante ha adquirido un nivel de experiencia niv_y en la actividad act_x .
EX	Tiene_Competencia(act_x, com_y)	La competencia com_y se encuentra definida en la actividad act_x .
EX	Tiene_Instrumento_Eval(act_x, ins_y)	La actividad act_x tiene establecido el instrumento de evaluación ins_y .

Tabla 5.42: Extensión (EX) de los predicados relacionados con la jerarquía de «Competence».

VERSIÓN	PREDICADOS	SIGNIFICADO
VO	Alcanzada(com_y)	La competencia com_y ha sido alcanzada por el estudiante.
VO	Aplica(acc_x)	El estudiante aplica la acción acc_x .
EX	Area_Competencia($com_x, area_y$)	La competencia com_x está relacionada con el área $area_y$.

Tabla 5.42: Extensión (EX) de los predicados relacionados con la jerarquía de «Competence».

VERSIÓN	PREDICADOS	SIGNIFICADO
EX	$\text{Criterio_Definido}(com_x, crit_y, nivel_z)$	Criterio $crit_y$ definido por el profesor con nivel $nivel_z$ para alcanzar la competencia com_x .
EX	$\text{Demuestra}(acc_x)$	El recurso es usado para demostrar la acción acc_x .
EX	$\text{Difieren_En}(com_x, com_{x'}, indicador)$	Las competencias com_x y $com_{x'}$ varían únicamente en el indicador de desempeño $indicador$.
EX	$\text{Difieren_En_Habilidad}(com_x, com_{x'}, habilidad)$	Las competencias com_x y $com_{x'}$ varían únicamente en la habilidad $habilidad$.
EX	$\text{Discrimina}(obj_x, lobj)$	Discrimina el obj_x entre los objetos definidos en $lobj$.
EX	$\text{Habilidad_Definida}(com_x, habilidad_y)$	La competencia com_x tiene definida la habilidad $habilidad_y$.
EX	$\text{Identifica}(obj_x)$	El estudiante identifica el objeto obj_x .
EX	$\text{Metadominio}(com_x, met_y)$	La competencia com_x pertenece al meta-dominio met_y .
EX	$\text{Nivel_Habilidad}(hab_x, niv_y)$	La habilidad hab_x representa el nivel niv_y .
EX	$\text{Requiere_Objeto}(com_x, obj_y)$	Indica que la competencia com_x necesita el objeto obj_y .
EX	$\text{Se_Descompone_En}(com_x, com_y)$	Indica que la competencia com_x está formada por la competencia com_y .

Tabla 5.43: Extensión (EX) de los predicados relacionados con la jerarquía de «KnowledgeObject». Versión original (VO) disponible en la tesis de Clemente (2011).

VERSIÓN	PREDICADOS	SIGNIFICADO
VO	$Acc_En_Plan_Post(acc_x)$	La acción acc_x está en el plan posteriormente.
VO	$Donde_Esta(obj_x)$	El estudiante sabe dónde se encuentra el obj_x .
VO	$Es_Peligrosa(acc_x)$	Indica que la acción acc_x es peligrosa.
VO	$Instancia_De(inst_x, clase_y)$	La instancia $inst_x$ pertenece a la clase $clase_y$.
VO	$Modo_Ejecucion(acc_x, modoEjecucion_y)$	Indica que la acción acc_x se puede efectuar mediante el modo $modoEjecucion_y$.
EX	$Modos_Ejecucion(acc_x, lmodos)$	Indica los modos de ejecución de la acción acc_x .
EX	$Obj_En_Plan(obj_x, plan_y)$	El objeto obj_x será empleado en el plan $plan_y$ posteriormente.
VO	$Objetos_De_Clase(clase_x)$	Lista de objetos de la clase $clase_x$.
VO	$Obj_Sgte_Accion_Plan(plan_x, obj_y)$	El objeto obj_y es aplicado en la siguiente acción del plan $plan_x$.
VO	$Op_Sgte_Accion_Plan(op_y)$	Indica el operador de la siguiente acción del plan.
VO	$Orden_Args_En_Sgte_Accion(acc_x)$	Orden de los argumentos en la acción acc_x .
VO	$Para_Que_Sirve(obj_x)$	Para qué sirve el objeto obj_x .

Tabla 5.44: Extensión (EX) de los predicados relacionados con la jerarquía de «KnowledgeObject». Versión original (VO) disponible en la tesis de Clemente (2011).

VERSIÓN	PREDICADOS	SIGNIFICADO
VO	Pos_Obj_Sgte_Accion_En_Plan ($plan_x, obj_y$)	Indica la posición en la que se encuentra el objeto obj_y .
EX	Precondiciones($acc_x, lprec$)	Indica las precondiciones de la acción acc_x .
VO	Puede_Obtener_Meta Con_Calidad($acc_x, meta_y, calidad_z$)	El estudiante puede ejecutar la acción acc_x y obtener la meta $meta_y$ con calidad $calidad_z$.
VO	Que_Es(obj_x)	El usuario sabe qué es el objeto obj_x .
VO	Requiere_Precond($acc_x, precond_y$)	El operador de la acción acc_x requiere para su aplicación el cumplimiento de la precondición $precond_y$.
VO	Sgte_Accion_En_Plan(acc_y)	La siguiente acción en el plan es acc_y .
VO	Tipo_Pregunta($preg_x, tipo_pregunta_y$)	El usuario realiza la pregunta de tipo $tipo_pregunta_y$.
EX	Usado_En_Competencia ($recurso_aprendizaje_x, com_y$)	El recurso de aprendizaje $recurso_aprendizaje_x$ es usado en la competencia com_y .
EX	Usado_En($obj_x, lacc$)	El objeto obj_x es usado en las acciones de la lista $lacc$.

Tabla 5.45: Extensión (EX) de los predicados relacionados con la jerarquía de «Rubric».

VERSIÓN	PREDICADOS	SIGNIFICADO
EX	Criterios_Rubrica($rub_x, lcrit$)	La rúbrica rub_x tiene asociados los criterios $lcrit$.
EX	Competencias_Asociadas($crit_x, lcom$)	El criterio $crit_x$ tiene asociadas las competencias $lcom$.

Tabla 5.46: Extensión (EX) de los predicados relacionados con las jerarquías de «StudentProfile» y «StudentInformation». Versión original disponible en (Clemente, 2011).

VERSIÓN	PREDICADOS	SIGNIFICADO
VO	Rasgo_Personalidad($rasgo_y$)	Representa el rasgo de personalidad $rasgo_y$ del estudiante.

Tabla 5.47: Extensión (EX) de los predicados relacionados con la jerarquía de «StudentState».

VERSIÓN	PREDICADOS	SIGNIFICADO
VO	Intentos_Realizados($estud_x, act_y, num$)	Establece el número num de intentos realizados por el estudiante $estud_x$ en la actividad act_y .
EX	Interrumpida_Por_Tutor(act_x)	Indica que la actividad act_y ha sido interrumpida para el alumno.
EX	Nivel_Crit_Rub($estud_x, crit_y, niv_z$)	El estudiante $estud_x$ muestra un nivel niv_z en el criterio $crit_y$.
EX	Nivel_Desemp_Act_Crit ($estud_a, com_x, niv_y, crit_z$)	Nivel de desempeño niv_y actual alcanzado por el estudiante para el criterio $crit_z$ en la competencia com_x .
EX	Prioridad_Recomendacion($prioridad_x$)	El estudiante recibe la recomendación con prioridad $prioridad_x$.
VO	Realiza_Pregunta(com_x)	El estudiante realiza una pregunta relacionada con la competencia com_x al profesor.
EX	Recomendar(com_x)	Se recomienda al estudiante el desempeño de la competencia com_x .
EX	Recomendar ($recurso_aprendizaje_x$)	Se recomienda al estudiante que preste atención al recurso de aprendizaje $recurso_aprendizaje_x$.
EX	Recomendar(act_x)	Se recomienda al estudiante el desarrollo de la actividad act_x .
VO	Da_Pista($pista_x$)	El tutor da la pista $pista_x$ al estudiante para realizar la actividad.

Tabla 5.48: Extensión (EX) de los predicados relacionados con la jerarquía de «LearningObjective». Versión original (VO) disponible en la tesis de Clemente (2011).

VERSIÓN	PREDICADOS	SIGNIFICADO
VO	Es_Capaz_De_Aplicar($acc_x, calidad_y$)	Es capaz de aplicar la acción acc_x con calidad $calidad_y$.
VO	Sabe(obj_x)	El estudiante ha adquirido el objeto de conocimiento obj_x .
VO	Sabe_Elegir($obj_x, lobj$)	El estudiante sabe elegir el objeto de conocimiento obj_x entre los objetos del conjunto $lobj$.

5.3.2.5. Actividad 8 - Traducción de las nuevas reglas al lenguaje de marcado de reglas

En esta propuesta se ha decidido aplicar en primer lugar las reglas desarrolladas en *Jena* (diagnóstico) y posteriormente las reglas desarrolladas en SWRL (recomendación). El trabajo se enfoca a proporcionar recomendaciones a partir, principalmente, del diagnóstico de estados de objetivos obtenidos gracias al método de diagnóstico pedagógico incorporado en el ME (Clemente, 2011). El lenguaje utilizado en las reglas de diagnóstico debe tener suficiente potencia como para que, entre otras posibilidades, permita la posible existencia de no monotonía que pueda surgir, es decir, existencia a la vez de objetivos alcanzados y no alcanzados como consecuencia del razonamiento realizado por el método de diagnóstico pedagógico del ME (debido a descuidos, olvidos del estudiante, etc.), y que es resuelto por un módulo de resolución de conflictos y un ATMS (Clemente et al., 2014). Además, poder tener consecuentes en las reglas que actúen sobre la ontología de forma bien distinta según el estado de las instancias de clases existentes en la misma (por ejemplo, añadir una instancia de estado de objetivo alcanzado si no existe ya en la ontología o, si existe, incrementar en uno su nivel de fiabilidad). Estas y otras posibilidades son facilitadas mediante APIs y *built-in* que se pueden implementar con el lenguaje *Jena* basado en Java. El lenguaje utilizado en las reglas de recomendación no requiere de la misma potencia puesto que son sugerencias no obligatorias a los estudiantes o instructores basadas en el diagnóstico pedagógico. Por tanto, estas sugerencias requieren una menor delicadeza que para el diagnóstico (por ejemplo, no tiene las mismas connotaciones el inferir que una persona está cansada que recomendar tomar café a una persona que está cansada o diagnosticar una enfermedad que recomendar un medicamento apropiado para dicha enfermedad).

Por otra parte, puesto que el ME cuenta con reglas expresadas en *Jena*, es necesario que el sistema permita la comunicación con estas reglas igualmente. Estas reglas no han sido traducidas a SWRL por lo que ambos lenguajes de marcado de reglas deben poder ser aplicados sobre la misma red de ontologías.

Al igual que en secciones previas, debido a la gran cantidad de reglas llevadas a cabo, en esta memoria se muestra únicamente un ejemplo de regla traducida al lenguaje de reglas en aras de simplificar la memoria. Es importante recalcar que las nuevas reglas incluidas han sido detalladas previamente en el apartado 5.3.2.2. El fragmento de código 5.56 muestra la Regla R_{REC43} traducida al lenguaje SWRL.

$$\begin{aligned} R_{REC39} \text{ if } & ss : ActivityState(?activityState) \wedge \\ & ss : belongsToActivity(?activityState,?activity) \wedge \\ & ss : stateExperienceActivity(?activityState,?experienceState) \wedge \\ & ss : experienceLevel(?experienceState,"desconocido") \rightarrow \\ & rec : ActivityRecommendation(?activity) \end{aligned} \quad (5.56)$$

5.3.2.6. Actividad 9 - Extensión o modificación de las reglas del Módulo de Resolución de Conflictos

El Módulo de Resolución de Conflictos (MRC) es el encargado de determinar la causa del estado contradictorio de un objetivo/competencia en la Ontología del Estudiante. El MRC debe determinar si la contradicción es ocasionada porque el estudiante no ha alcanzado alguno de los objetivos/competencias que se habían supuesto ya alcanzados en el modelado, o bien porque el estudiante ha tenido un despiste o descuido, se ha desorientado o se le ha olvidado lo que tenía que hacer a continuación en el plan. Asimismo, el MRC debe resolver las contradicciones entre estados de un mismo objetivo detectadas (Clemente, 2011).

El MRC resuelve qué estado de objetivo debe ser eliminado en las contradicciones detectadas y se comunica con el ATMS para actualizar sus estructuras y, junto con este último, resolver la no monotonía. Finalmente, también elimina otros estados de objetivos en la ontología que ya no puedan tampoco ser asumidos como consecuencia de retraer el estado de objetivo eliminado y la regla de diagnóstico que lo dedujo, además de las posibles recomendaciones ya registradas. Por ejemplo, no tiene sentido, a priori, seguir recomendando un medicamento para la gripe a una persona que se creía que estaba enferma si se infiere que la persona no está realmente en ese estado.

5.3.3. Instanciación del modelo y evaluación del modelado

Una vez incluidas todas las reglas en el sistema de recomendación, es preciso evaluarlas. Este proceso se divide en dos actividades. La primera de ellas consiste en crear instancias específicas de cada usuario, mientras que la segunda trata la evaluación del modelado diseñado cuya meta es: (a) determinar si el modelado final cumple con los requisitos establecidos en la actividad 1 de esta metodología, (b) validar el modelado mediante casos de prueba y (c) evaluar la cobertura y consistencia de las reglas para garantizar su completitud.

5.3.3.1. Actividad 10 - Instanciación de los elementos específicos de cada usuario

Tal y como se ha comentado previamente, la instanciación de la información concreta de cada usuario en términos ontológicos puede ser llevada a cabo por el propio estudiante de manera manual, recogida a través de otra plataforma, establecida con un valor por defecto o rellenada por el tutor o experto. Esta actividad dependerá absolutamente de la experiencia de aprendizaje por lo que en este trabajo la información dependiente del usuario será registrada en la fase de experimentación. Cabe destacar que no todos los datos deben ser proporcionados de la misma forma, es decir, algunos datos como la información personal suelen ser introducidos por los propios estudiantes, el valor inicial del estado de las competencias u objetivos suele ser: (1) establecido por defecto a desconocido, (2) establecido por defecto a falso o (3) recogido mediante otra herramienta como un LMS o un EV, mientras que el estado final de los objetivos se obtiene en general del proceso de diagnóstico.

5.3.3.2. Actividad 11 - Evaluación del modelado

Esta actividad se compone de tres subtareas. La primera está relacionada con la evaluación de las cuestiones de competencia especificadas en la Sección 5.3.1.1 para comprobar la red de ontologías. La segunda se refiere a la validación a través de casos de prueba (detallada en el capítulo 6). La última consiste en evaluar las reglas diseñadas e incorporadas al sistema para analizar su adecuación. A continuación se procede a describir la primera y tercera subtareas.

5.3.3.2.1. Subtarea 11.1 - Evaluación de las cuestiones de competencia

De acuerdo con Suarez-Figueroa (2007), durante el proceso de desarrollo, es habitual recibir sugerencias y recomendaciones de los expertos de dominio hasta que se obtiene la aprobación de los usuarios finales. Estos consejos están relacionados con la corrección (verificar si la formulación y respuesta de las cuestiones de competencia son correctas) y la consistencia (verificar que no existen posibles inconsistencias).

Si bien en este trabajo solo se ha mostrado un pequeño fragmento de todas las cuestiones de competencia asociadas a la red de ontologías, a continuación, se muestra en la Tabla 5.49, a modo de ejemplo, las modificaciones sufridas por una determinada cuestión de competencia durante el transcurso de este trabajo.

Tabla 5.49: Evolución de una cuestión de competencia durante el transcurso del proyecto.

ID	Versión	CC	Respuesta
CCA62	1.0	¿A qué dominios puede pertenecer un objetivo?	Cognitivo, afectivo, psicomotor
CCA62	1.2	¿A qué meta-dominios puede pertenecer un objetivo?	Cognitivo, afectivo, psicomotor, ético, social, productivo
CCA62	2.0	¿Cuáles son los meta-dominios en los que puede contextualizarse un objetivo?	Cognitivo, afectivo, psicomotor, ético, social, productivo

Este proceso ha sido llevado a cabo con todas las cuestiones de competencia identificadas en el documento de especificación de la ontología y ha permitido la creación o modificación de los documentos de especificación y evaluación.

5.3.3.2.2. Subtarea 11.2 - Validación a través de casos de prueba

Tal y como se ha indicado previamente, esta subtarea se describe en el capítulo 6 en el que se exponen tres casos prácticos diferentes.

En cada uno de los experimentos propuestos, se instancian los términos registrados en las diferentes ontologías - ya sean dependientes (actividad 10) o independientes (actividad 3) del usuario, - con la intención de comprobar que no existen inconsistencias, que a priori no falta ningún elemento definido en la fase de diseño y que las reglas pueden ser aplicadas correctamente. Cabe resaltar que algunos dominios de la OE ya fueron validados en trabajos previos (Clemente, 2011; Clemente et al., 2011, 2014; Yago et al., 2018).

5.3.3.2.3. Subtarea 11.3 - Evaluación de las reglas desarrolladas en la ontología

Una tarea también muy importante a realizar consiste en evaluar la cobertura y consistencia de las reglas desarrolladas con el fin de detectar posibles refinamientos, erratas o nuevas reglas. Aplicado a la terminología de reglas, la cobertura pretende determinar el número de ejemplos positivos que son cubiertos por una regla, mientras que la consistencia permite determinar el número de ejemplos negativos (falsos positivos y falsos negativos) que son cubiertos por ella (Fürnkranz et al., 2012). En este proyecto se considerará un ejemplo positivo para una regla aquel en el que el estado inicial de una competencia sea “no alcanzado”, intervenga dicha regla y el estado final de la misma competencia pase a ser “alcanzado”. Se considerará un ejemplo negativo para una regla aquel en el que, independientemente del estado inicial de una competencia, intervenga dicha regla y el estado final de la misma competencia sea “no alcanzado”. Si el estado inicial y el estado final de una competencia son “no alcanzados” y no ha intervenido ninguna regla, se considerará que falta una regla para cubrir ese caso. Por su parte, si para un conjunto de usuarios el estado inicial es negativo, interviene una determinada regla y el estado final es negativo, convendría revisar si la regla debe ser refinada o existe algún error. En este sentido, se pretende maximizar los ejemplos positivos y minimizar los negativos.

La Tabla 5.50 resume los posibles casos existentes e indica si la regla es correcta o conviene analizar si es necesario realizar alguna determinada acción con la regla o el sistema de recomendación (Fürnkranz et al., 2012).

Es importante precisar que en este trabajo se describe únicamente el proceso para evaluar las reglas desarrolladas en la ontología junto con la tabla general propuesta. Se ha decidido no

evaluar individualmente cada una de las reglas diseñadas porque dependen en gran medida de las experiencias de aprendizaje asociadas. Puesto que este sistema se ha validado únicamente con estudiantes no reales, no ha sido posible analizar en detalle la cobertura y consistencia de cada una de las reglas individualmente.

Tabla 5.50: Análisis genérico de la evaluación de las reglas.

Estado inicial competencia	Interviene regla	Estado final competencia	Resultado
Alcanzado	✓	Alcanzado	El sistema de recomendación ha intervenido y el resultado es positivo.
Alcanzado	✓	No Alcanzado	El sistema de recomendación ha intervenido y el resultado es negativo. Error de consistencia.
Alcanzado	×	Alcanzado	El sistema de recomendación no ha intervenido y el resultado es positivo.
Alcanzado	×	No Alcanzado	El sistema de recomendación no ha intervenido y el resultado es negativo. Falta regla.
No Alcanzado	✓	Alcanzado	El sistema de recomendación ha intervenido y el resultado es positivo. Éxito de cobertura.
No Alcanzado	✓	No Alcanzado	El sistema de recomendación ha intervenido y el resultado es negativo. Error de consistencia, evaluar refinamiento.
No Alcanzado	×	Alcanzado	El sistema de recomendación no ha intervenido y el resultado es positivo.
No Alcanzado	×	No Alcanzado	El sistema de recomendación no ha intervenido y el resultado es negativo. Error de consistencia, falta regla.
Desconocido	✓	Alcanzado	El sistema de recomendación ha intervenido y el resultado es positivo. Éxito de cobertura.
Desconocido	✓	No Alcanzado	El sistema de recomendación ha intervenido y el resultado es negativo. Error de consistencia, evaluar refinamiento.
Desconocido	×	Alcanzado	El sistema de recomendación no ha intervenido y el resultado es positivo.
Desconocido	×	No Alcanzado	El sistema de recomendación no ha intervenido y el resultado es negativo. Error de consistencia, falta regla.

Este proceso debería ser aplicado cada vez que un estudiante o grupo de estudiantes realice una cierta actividad en una determinada experiencia de aprendizaje, con el fin de reevaluar si las reglas continúan siendo precisas (en caso de que lo fueran) o si se detecta cualquier tipo de diferencia con respecto a anteriores experiencias. En caso de que esto último ocurra, es conveniente analizar si se trata de un caso aislado, totalmente puntual y poco relacionado con el sistema de recomendación, o por el contrario, si se trata de un caso más genérico producido, por ejemplo, por modificaciones en la experiencia de aprendizaje. Si es un caso más genérico, es

aconsejable investigar cómo podría resolverse o reducirse el problema (por ejemplo, mediante la creación de una nueva regla).

Si una nueva regla es incorporada al sistema de recomendación, esta debe ser evaluada igual o incluso más exhaustivamente que el resto de las reglas puesto que es el momento en el que es más probable que se haya cometido algún lapsus o la regla no funcione tal y como se esperaba. También deben ser reevaluadas las reglas en caso de que se modifique el diseño de la ontología. Por ejemplo, si se añade un nuevo estado inicial a la competencia, deberían ser incorporados a la tabla genérica los nuevos casos de estudio.

5.3.4. Planificación

Respecto al desarrollo y adaptación del prototipo de sistema de recomendación, la primera fase definida en la guía metodológica es la planificación, responsable de especificar las características del prototipo a implementar o adaptar. Esta fase se subdivide en dos actividades: la primera de ellas especifica los criterios deseados en el sistema y la segunda se encarga de definir los requisitos y restricciones del mismo.

5.3.4.1. Actividad 1 - Especificación de los criterios del sistema de recomendación

En esta actividad se procede a describir las características con las que se pretenden implementar los criterios definidos en la Sección 3.5 para este prototipo.

- **Cobertura.** Criterio prioritario para este proyecto. El prototipo implementado deberá ser capaz de ofrecer recomendaciones desde el instante inicial. Para ello, existen diferentes alternativas como: (1) obligar a introducir anteriormente los datos iniciales (por ejemplo mediante un test inicial) y obtener las primeras recomendaciones basadas en ellos, (2) ofrecer recomendaciones generales al comienzo e ir personalizándolas en función de los diagnósticos específicos que se vayan obteniendo, o (3) establecer un valor por defecto para los datos incompletos en la red modular. Puesto que la flexibilidad es una característica esencial en este proyecto, será el profesor quien establezca, para cada experiencia de aprendizaje, la alternativa deseada. También es importante analizar la cantidad de información necesaria para que el prototipo realice las recomendaciones. Un requerimiento excesivo de información dificultará el arranque mientras que una cantidad escasa ofrecerá recomendaciones poco personalizadas. Para reducir este problema, se pretenden ofrecer recomendaciones de acuerdo a la cantidad de información disponible (acciones, objetivos o actividades).

Las Figuras 5.21 y 5.22 muestran varios diagramas de procesos en los que se describe la secuencia de acciones que se llevan a cabo en la definición y en la realización de la actividad por parte de los estudiantes. El primer paso antes de comenzar la actividad consiste en cargar las ontologías para poder gestionar su información. El segundo paso está relacionado con la asociación del estudiante con la actividad. El tercer paso consiste en actualizar información sobre el estado y las trazas del estudiante en las ontologías (estado de la actividad, trazas de acciones, etc.). El cuarto, quinto y sexto paso se refieren a la aplicación de las reglas de diagnóstico, al módulo de resolución de conflictos y a las reglas de recomendación. Es importante resaltar que si ningún antecedente de las reglas se cumple, no se aplicará ninguna regla. Además, las propias reglas se encargan de actualizar la ontología, ya sea mediante un *builtin* implementado expresamente para el módulo de diagnóstico, o a través del propio SWRL para las reglas de recomendación. Si la actividad no ha sido completada todavía, los usuarios (estudiante/profesor) aplican o intentan aplicar una acción relacionada con la actividad y se retorna al tercer paso. Si la actividad ha sido completada o interrumpida, finaliza el proceso.

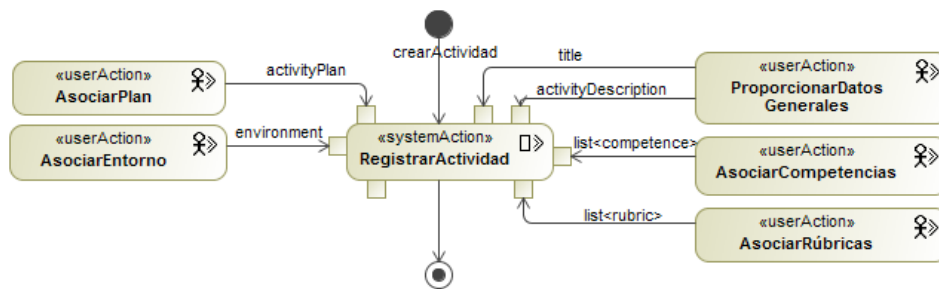


Figura 5.21: Diagrama del proceso de creación de una actividad.

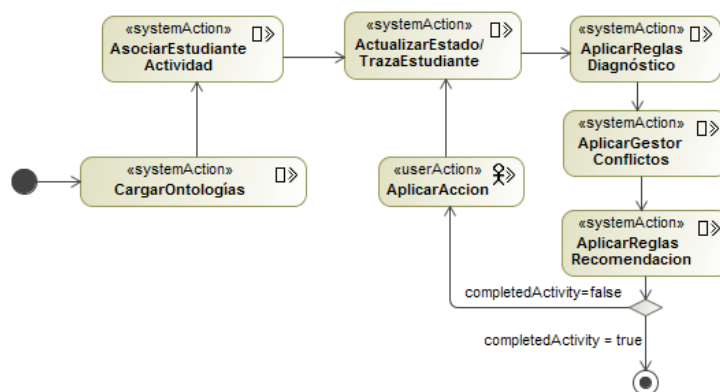


Figura 5.22: Diagrama del proceso de realización de una actividad.

- **Riesgo.** Elemento de baja importancia para el prototipo. En este sistema, el no ofrecer recomendaciones novedosas no es a priori un problema puesto que no existe un gran riesgo de sobreespecialización. El sistema recomendará al estudiante el logro de todas las competencias deducidas como consecuencia del disparo de las reglas de recomendación independientemente del nivel de habilidad, nivel de desempeño del estudiante, orden de aparición, etc.
- **Robustez.** A pesar de que cualquier problema relacionado con datos erróneos es siempre relevante, en esta propuesta puede ser menos problemático que en muchos otras ya que, incluso en el peor de los casos, se le podría recomendar cómo mejorar sobre una competencia que ya domina (falso positivo) o no ofrecerle recomendaciones sobre una competencia en la que puede necesitar ayuda (falso negativo). Este último caso, más problemático que el falso positivo, sería equivalente a no utilizar el prototipo de recomendación. Esta situación probablemente se retraería en cuanto el estudiante demuestre en siguientes intentos o actividades que no domina dicha competencia y por consiguiente, el sistema de recomendación volvería a considerar que el estudiante necesita apoyo en esa competencia.
- **Adaptabilidad.** Criterio de alta relevancia debido a la volatilidad producida en los diferentes entornos de aprendizaje. En estos, es muy habitual que los estudiantes olviden conceptos previamente adquiridos, se equivoquen en el desempeño relacionado con competencias que a priori dominan, adquieran nuevos valores o conocimientos, etc. Por todos estos motivos, las recomendaciones deben adaptarse a la situación actual y no a situaciones previas.
- **Escalabilidad.** A priori no se considera muy relevante en esta propuesta ya que el prototipo no ofrecerá recomendaciones en función de otros usuarios y tampoco se espera un elevadísimo número de competencias, actividades o acciones a tener en cuenta, por lo que la escalabilidad no debe ser un gran problema, al menos en este primer prototipo.

- **Tipo de implementación.** En este proyecto se ha decidido realizar un prototipo de sistema de recomendación que demuestre el funcionamiento en algunos experimentos concretos. Si los resultados de este proyecto son positivos, una línea de trabajo futuro será una implementación más completa del sistema para actividades colaborativas, en otro tipo de entornos, etc.
- **Integración.** El prototipo desarrollado depende de la red modular de ontologías así como de otros módulos desarrollados por Clemente (2011) y pertenecientes al método de diagnóstico pedagógico que, junto con la red de ontologías, componen el modelado del estudiante. Por tanto, se debe considerar que este prototipo debe ser integrado con otro sistema y es conveniente implementar el sistema completo para garantizar el correcto funcionamiento del sistema. Cabe resaltar que todos los módulos pueden ser fácilmente adaptados para incluir las características relacionadas con las nuevas actualizaciones.
- **Dominio.** El prototipo desarrollado se basa en las competencias por lo que se encuentra limitado a aquellos entornos en los que se trabaje con dicho componente (entornos de aprendizaje o laborales). Dentro de este contexto, existe otra limitación más: la competencia que se desee definir debe poder representarse en la ontología. En caso de que sí pueda representarse en la ontología y no exista, es posible incorporarla al modelo si se cree necesario. No existen limitaciones referentes a un área concreta puesto que el prototipo puede realizar recomendaciones en prácticas tan dispares como: un laboratorio de química, una situación de emergencia médica o una práctica de sistemas operativos, una actividad de entrenamiento físico, etc.
- **Retroalimentación del usuario.** En esta primera versión, se ha decidido que el estudiante no puede retroalimentar al sistema de recomendación de manera directa. Si el estudiante detecta un error en la recomendación recibida deberá comunicarlo al profesor quien se encargará de realizar esta verificación. Esta decisión ha sido tomada debido a que en determinadas experiencias de aprendizaje puede ser peligroso asumir que el estudiante dispone de ciertos conocimientos que en realidad puede no tenerlos. En cuanto a las recomendaciones recibidas, no tiene tanto sentido permitir ese *feedback* como en otros sistemas donde se recomienda un producto final. A pesar de esto, se trabajará en un futuro acerca de este criterio ya que la opinión de los usuarios finales sobre las recomendaciones recibidas siempre debe ser tomada muy en cuenta.
- **Tipo de sistema de recomendación.** El sistema de recomendación propuesto en este prototipo está basado en el conocimiento, es decir, tiene en cuenta las características del individuo (en este caso del estudiante) y de ciertos elementos (actividades, competencias y acciones) para recomendar al usuario información acerca de las competencias. Se ha decidido no emplear en esta primera versión del prototipo información sobre otros estudiantes a pesar de que podría ser muy interesante puesto que esto podría afectar a la escalabilidad del sistema. Tampoco se ha creído razonable aplicar un sistema basado únicamente en el contenido porque cada estudiante lleva su propio ritmo de aprendizaje, comete sus propios errores, tiene sus propias características, etc. No obstante, si en futuras versiones se decide incluir algún tipo nuevo de recomendación para esta propuesta, el prototipo se podría convertir en un sistema de recomendación híbrido que considere 2 o más tipos de recomendación.
- **Tipo de acceso.** Los usuarios recibirán las recomendaciones mediante una aplicación web. Teniendo en cuenta que una experiencia de aprendizaje puede ser realizada por personas que se encuentran ubicadas en diferentes regiones, es prácticamente inevitable pensar en una aplicación web como una de las posibles plataformas para acceder al sistema. Además, en este caso concreto, hay que tener en cuenta que las actividades pueden realizarse de manera presencial, a través de un entorno virtual, mediante un dispositivo móvil, en un sistema gestor de aprendizaje, etc. y, en consecuencia, la ontología debe poder actualizarse desde todos los dispositivos de la forma más automática posible.

- **Meta.** El objetivo final de este sistema de recomendación es ofrecer información acerca de las competencias. Esta información puede ser la recomendación directa del logro de una competencia (se sugiere que un usuario preste más atención a una competencia específica), la recomendación de algún indicador de desempeño orientado al logro de una competencia (se sugiere que un usuario practique una competencia en un entorno diferente), la recomendación de una acción relacionada con una competencia (se aconseja que aplique una determinada acción del plan para alcanzar la competencia) o recomendar actividades que incluyan una competencia determinada (se sugiere la realización de una actividad).
- **Satisfacción.** Debido a que únicamente se va a diseñar un pequeño prototipo, la herramienta será validada con estudiantes no reales. A pesar de ello, se preparará una encuesta a estudiantes reales para saber, en un futuro, la opinión de los usuarios (véase Anexo 10).
- **Usuario final.** En un entorno de aprendizaje, la información es muy valiosa, tanto para el aprendiz como para el maestro. Ofrecer la información al estudiante es, por lo general, más rápido ya que las recomendaciones repercuten directa o indirectamente en él. También es el que sabe con exactitud cuánto sabe sobre una competencia o concepto. Además, es más adecuado si el número de estudiantes es elevado como por ejemplo un MOOC. Por su parte, proporcionar la información de las recomendaciones al profesor permite añadir una verificación intermedia; que sea el profesor el que decida si llevar a cabo esa recomendación o tomar otras decisiones. Asimismo, puede ser interesante ofrecer recomendaciones grupales si se detecta que un conjunto de estudiantes con características comunes sufre el mismo problema.
- **Modelo de dominio.** Este prototipo se basará en la red de ontologías previamente detallada. Esta red modular posibilita una futura extensión del sistema de recomendación de manera flexible. También facilita la inferencia de información, es decir, si las reglas cubren por completo una nueva experiencia de aprendizaje, entonces, mientras el estudiante vaya realizando el plan asociado a una cierta actividad, las reglas irán modificando la información registrada en la red y, por tanto, el prototipo de sistema de recomendación actualizará las recomendaciones ofrecidas.

Es preciso señalar que estos son los criterios iniciales que se especifican en el sistema de recomendación y que se comprobará su cumplimiento en la posterior fase de validación de los requisitos junto con la especificación de las necesidades de la red de ontologías descrita en el apartado 5.3.1.1.

5.3.4.2. Actividad 2 - Especificación de los requisitos y restricciones adicionales del sistema de recomendación

Después de especificar cuáles son los criterios del prototipo a desarrollar, es importante describir los requisitos (RF) y restricciones (RNF) de este sistema. A continuación se detallan los requisitos y restricciones que se tendrán en cuenta en la implementación del prototipo y se mostrarán mediante tablas algunos de estos requisitos y restricciones a modo de ejemplo.

- **RF1.** El sistema permitirá la identificación de usuarios con el rol de profesor y de estudiante.
- **RF2.** El sistema permitirá al estudiante visualizar las recomendaciones personalizadas de competencias a mejorar en una cierta actividad.
- **RF3.** El sistema permitirá al profesor visualizar las recomendaciones personalizadas de competencias a mejorar para un alumno concreto en una actividad determinada.

- **RF4.** El sistema permitirá al profesor visualizar las recomendaciones personalizadas de competencias a mejorar para todos sus alumnos en una actividad determinada.
- **RF5.** El sistema permitirá al estudiante visualizar el estado de los indicadores de desempeño para una competencia concreta.
- **RF6.** El sistema permitirá al profesor visualizar el estado de los indicadores de desempeño de una competencia para un determinado alumno.
- **RF7.** El sistema permitirá al profesor visualizar el estado de los indicadores de desempeño de una competencia concreta para todos sus alumnos.
- **RF8.** El sistema permitirá al estudiante visualizar las acciones realizadas a lo largo de la ejecución de una cierta actividad.
- **RF9.** El sistema permitirá al profesor visualizar las acciones llevadas a cabo por parte de un cierto alumno en una actividad.
- **RF10.** El sistema permitirá al profesor visualizar las acciones llevadas a cabo por parte de todos los alumnos en una actividad específica.
- **RF11.** El sistema permitirá al estudiante visualizar el estado de sus competencias a lo largo de una cierta actividad.
- **RF12.** El sistema permitirá al profesor visualizar el estado de las competencias de un alumno concreto durante la ejecución de una cierta actividad.
- **RF13.** El sistema permitirá al profesor visualizar el estado de las competencias de todos los alumnos durante la ejecución de una actividad específica.
- **RF14.** El sistema permitirá al estudiante visualizar el estado de sus actividades en cualquier momento de su ejecución.
- **RF15.** El sistema permitirá al profesor visualizar el estado de las actividades de un alumno concreto en cualquier momento de su ejecución.
- **RF16.** El sistema permitirá al profesor visualizar el estado de las actividades de todos los alumnos en cualquier momento de su ejecución.
- **RF17.** El sistema permitirá al estudiante visualizar el estado de sus rúbricas asociadas con una actividad al finalizar su ejecución.
- **RF18.** El sistema permitirá al profesor visualizar el estado de las rúbricas de un alumno concreto.
- **RF19.** El sistema permitirá al profesor visualizar el estado de las rúbricas de todos los alumnos.
- **RF20.** El sistema permitirá al usuario cerrar sesión en la aplicación.

- **RNF-1.** El sistema permitirá a los usuarios identificados visualizar, en un máximo de 5 *clicks*, la información deseada en, al menos, el 80% de los casos de uso definidos.
- **RNF-2.** El sistema deberá tener un tiempo máximo de respuesta de 10 segundos para cualquier operación de consulta.
- **RNF-3.** El sistema deberá ser compatible con los navegadores Internet Explorer 11, Mozilla Firefox 59 y Google Chrome 65.
- **RNF-4.** El sistema deberá ser portable y funcionar en las distribuciones más habituales.

Identificador de requisito		RF1	
Nombre de requisito		Identificación de usuarios	
Tipo	Requisito <input checked="" type="checkbox"/>		Restricción <input type="checkbox"/>
Prioridad del requisito	Alta/Esencial <input checked="" type="checkbox"/>	Media/Deseado <input type="checkbox"/>	Baja/Opcional <input type="checkbox"/>
Descripción		El sistema permitirá la identificación de usuarios con el rol de profesor y estudiante.	

Figura 5.23: Requisito RF1.

Identificador de requisito		RF2	
Nombre de requisito		Mostrar recomendaciones al estudiante	
Tipo	Requisito <input checked="" type="checkbox"/>		Restricción <input type="checkbox"/>
Prioridad del requisito	Alta/Esencial <input checked="" type="checkbox"/>	Media/Deseado <input type="checkbox"/>	Baja/Opcional <input type="checkbox"/>
Descripción		El sistema permitirá al estudiante visualizar las recomendaciones personalizadas de competencias a mejorar en una actividad determinada.	

Figura 5.24: Requisito RF2.

Identificador de requisito		RF8	
Nombre de requisito		Mostrar acciones al profesor	
Tipo	Requisito <input checked="" type="checkbox"/>		Restricción <input type="checkbox"/>
Prioridad del requisito	Alta/Esencial <input type="checkbox"/>	Media/Deseado <input type="checkbox"/>	Baja/Opcional <input checked="" type="checkbox"/>
Descripción		El sistema permitirá al profesor visualizar las acciones realizadas a lo largo de una actividad.	

Figura 5.25: Requisito RF8.

Identificador de requisito		RF4	
Nombre de requisito		Mostrar recomendaciones globales al profesor	
Tipo	Requisito <input checked="" type="checkbox"/>		Restricción <input type="checkbox"/>
Prioridad del requisito	Alta/Esencial <input checked="" type="checkbox"/>	Media/Deseado <input type="checkbox"/>	Baja/Opcional <input type="checkbox"/>
Descripción		El sistema permitirá al profesor visualizar las recomendaciones personalizadas de competencias a mejorar de todos sus alumnos en una actividad determinada.	

Figura 5.26: Requisito RF4.

Identificador de requisito		RF5	
Nombre de requisito		Mostrar indicadores de desempeño al estudiante	
Tipo	Requisito <input checked="" type="checkbox"/>		Restricción <input type="checkbox"/>
Prioridad del requisito	Alta/Esencial <input type="checkbox"/>	Media/Deseado <input checked="" type="checkbox"/>	Baja/Opcional <input type="checkbox"/>
Descripción		El sistema permitirá al estudiante visualizar los indicadores de desempeño en una competencia concreta.	

Figura 5.27: Requisito RF5.

Identificador de requisito		RNF1	
Nombre de requisito		Usabilidad	
Tipo	Requisito <input type="checkbox"/>		Restricción <input checked="" type="checkbox"/>
Prioridad del requisito	Alta/Esencial <input type="checkbox"/>	Media/Deseado <input checked="" type="checkbox"/>	Baja/Opcional <input type="checkbox"/>
Descripción		El sistema permitirá a los usuarios identificados visualizar, en un máximo de 5 <i>clicks</i> , la información deseada en, al menos, el 80% de los casos de uso.	

Figura 5.28: Restricción RNF1.

Identificador de requisito		RNF2	
Nombre de requisito		Tiempo de respuesta	
Tipo	Requisito <input type="checkbox"/>		Restricción <input checked="" type="checkbox"/>
Prioridad del requisito	Alta/Esencial <input type="checkbox"/>	Media/Deseado <input type="checkbox"/>	Baja/Opcional <input checked="" type="checkbox"/>
Descripción		El sistema deberá tener un tiempo máximo de respuesta de 10 segundos para cualquier operación de consulta.	

Figura 5.29: Restricción RNF2.

Identificador de requisito		RNF3	
Nombre de requisito		Compatibilidad	
Tipo	Requisito <input type="checkbox"/>		Restricción <input checked="" type="checkbox"/>
Prioridad del requisito	Alta/Esencial <input checked="" type="checkbox"/>	Media/Deseado <input type="checkbox"/>	Baja/Opcional <input type="checkbox"/>
Descripción		El sistema deberá ser compatible con los navegadores Internet Explorer 11, Mozilla Firefox 59 y Google Chrome 65.	

Figura 5.30: Restricción RNF3.

Identificador de requisito		RNF4	
Nombre de requisito		Portabilidad	
Tipo	Requisito <input type="checkbox"/>		Restricción <input checked="" type="checkbox"/>
Prioridad del requisito	Alta/Esencial <input type="checkbox"/>	Media/Deseado <input checked="" type="checkbox"/>	Baja/Opcional <input type="checkbox"/>
Descripción		El sistema deberá ser portable y funcionar en las distribuciones más habituales.	

Figura 5.31: Restricción RNF4.

5.3.5. Diseño iterativo del sistema de recomendación

Después de especificar los criterios, requisitos y restricciones del prototipo a desarrollar, se debe realizar el diseño del sistema de recomendación y los modelos obtenidos en cada una de las etapas. Para ello, se va a adoptar como guía la metodología UWE-r ([Machado et al., 2009](#)). De cada una de las diferentes fases de esta metodología se obtienen: el diagrama de casos de uso, el diagrama conceptual, el diagrama de navegación, el diagrama de presentación y el de secuencia.

5.3.5.1. Actividad 3 - Diseño del diagrama de casos de uso

Una tarea esencial en el desarrollo de cualquier software consiste en indicar las funcionalidades que estarán disponibles para cada tipo de usuario existente en la aplicación. Para realizar esta tarea se utilizan los diagramas de casos de uso que permiten obtener como resultado un conjunto de diagramas que representan la lista de acciones que un usuario puede desempeñar. En este caso, para el prototipo, se distinguen únicamente dos tipos de usuario: estudiante y profesor. Estos roles son una simplificación de los indicados en la ontología IMS-LD, puesto que esta permite registrar las instancias de los actores que tendrán responsabilidades en el proceso de aprendizaje. El motivo por el que se ha tomado esta decisión es porque se considera que, a priori, la información intermedia de un estudiante en una unidad de aprendizaje no suele ser relevante para otros roles. No obstante, la ontología permite definir otros roles por lo que únicamente sería necesario realizar las vistas de la aplicación web de recomendación para los nuevos tipos de usuarios.

Las Figuras 5.32, 5.33, 5.34 y 5.35 muestran, para mayor claridad, fragmentos del diagrama de casos de uso de la aplicación. En estos fragmentos se distinguen los dos roles previamente mencionados y ocho grupos de acciones. Dos de esos grupos son completamente comunes para ambos usuarios: identificarse y cerrar sesión. Los casos de uso de los otros seis grupos restantes dependen de los permisos que tienen asociados los roles. Por ejemplo, tanto el instructor como el alumno pueden consultar las competencias del alumno en concreto (siempre que el profesor

sea responsable de la actividad) pero únicamente el docente puede consultar las competencias del resto de los compañeros de ese alumno.

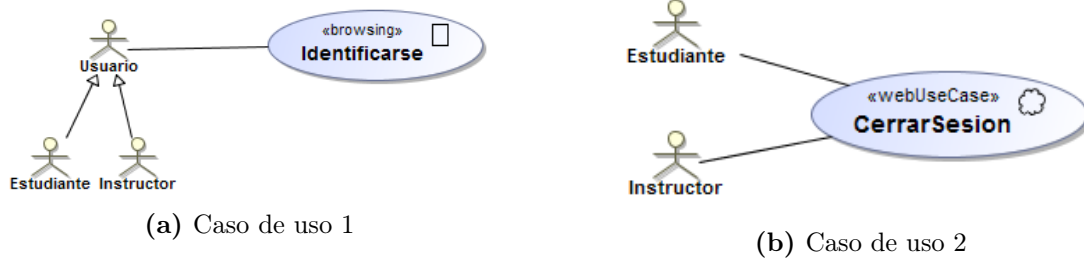


Figura 5.32: Casos de uso de la propuesta (I).

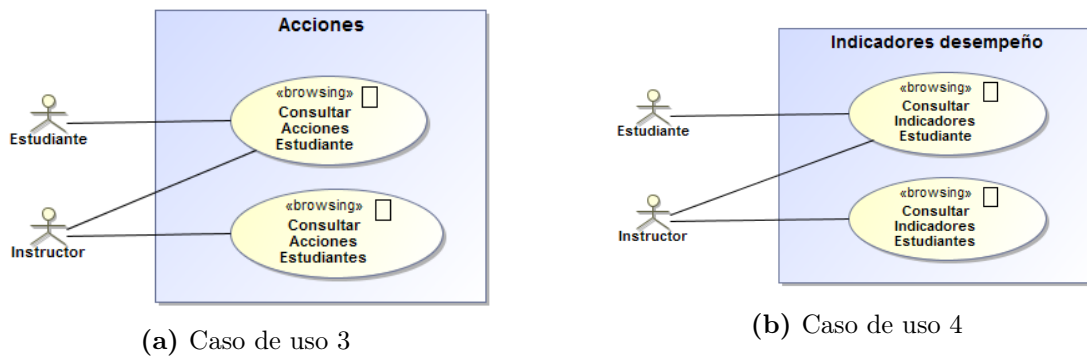


Figura 5.33: Casos de uso de la propuesta (II).

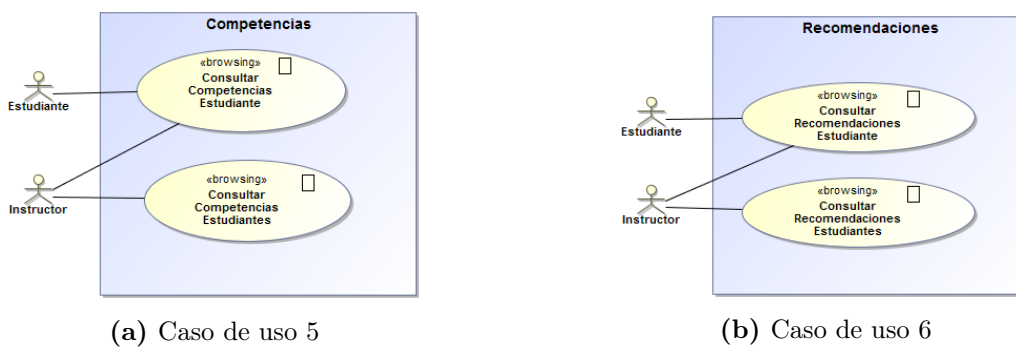


Figura 5.34: Casos de uso de la propuesta (III).

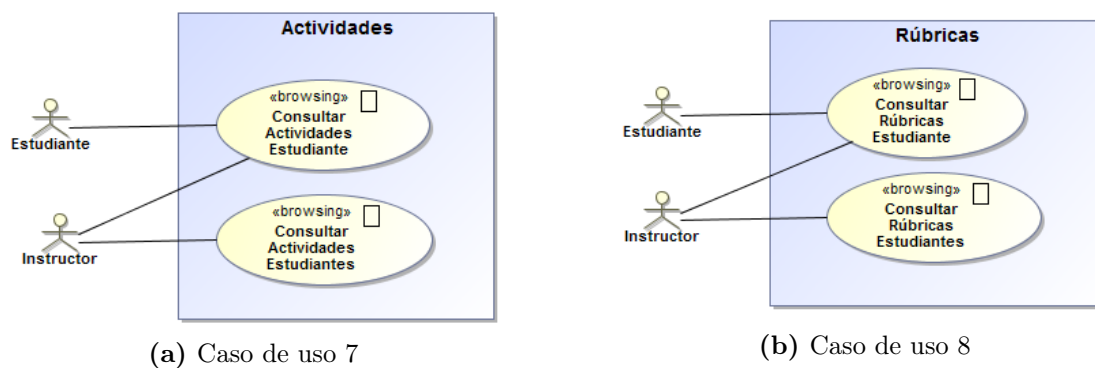


Figura 5.35: Casos de uso de la propuesta (IV).

5.3.5.2. Actividad 4 - Diseño conceptual

Otro de los diagramas más habituales en la metodología UWE-R es el diagrama conceptual, resultante de la fase de diseño conceptual de UWE-R. A través de un diagrama de clases, este artefacto permite representar los conceptos involucrados en la aplicación Web (Koch et al., 2008). Para ello, se detallan las relaciones entre las diferentes clases así como los atributos y métodos principales de cada clase.

Con respecto a la aplicación desarrollada, es importante mencionar que, debido a la gran cantidad de clases (principalmente relacionadas con el modelo), únicamente se mostrará un pequeño fragmento simplificado del diagrama conceptual. También, en este diagrama se omitirán aquellas clases de configuración sin especial relevancia para comprender la estructura de la aplicación, como por ejemplo «pom.xml», que contiene los detalles principales de la configuración de la aplicación o «log4j.xml», que proporciona la información sobre la depuración.

La Figura 5.36 ilustra las clases principales en la aplicación, la relación entre ellas, los atributos y métodos más importantes.

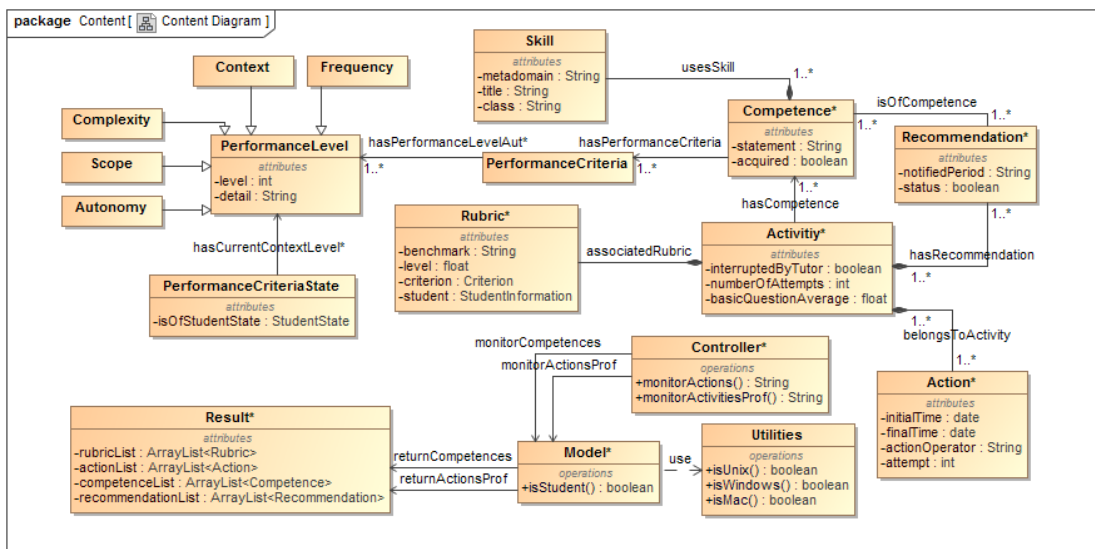


Figura 5.36: Fragmento del diagrama conceptual para la herramienta de recomendación.

Todas aquellas clases que finalizan con un asterisco en la figura disponen de más atributos o métodos que los expuestos en el diagrama. Algunas de las relaciones entre clases también han sido omitidas con la intención de facilitar la visualización del diagrama. Por ejemplo, entre la clase «PerformanceCriteria» y la clase «PerformanceLevel» existen cinco relaciones, una por cada indicador de criterio (frecuencia, contexto, complejidad, alcance y autonomía). Lo mismo pasa con las clases «PerformanceCriteriaState» y «PerformanceLevel».

Es importante resaltar que otras clases necesarias para el buen funcionamiento de la aplicación han sido omitidas del diagrama como las relacionadas con el estudiante, las vistas, los archivos de traducción, etc. Todo ello con el fin de mejorar la visualización del diagrama.

5.3.5.3. Actividad 5 - Diseño de los diagramas de navegación

A la hora de diseñar una aplicación web, es conveniente evidenciar cómo están enlazadas las diferentes páginas. Con este objetivo en mente, se desarrollan los diagramas de navegación, es decir, modelos que representan la conexión entre los objetos de la aplicación (Koch et al., 2008).

Estos diagramas permiten mostrar los diferentes elementos utilizados durante la navegación tales como índices, menús, consultas, etc.

En esta actividad se ilustra un ejemplo de diagrama de navegación implementado (véase Figura 5.37). En este trabajo se reproduce únicamente un ejemplo de este tipo de diagrama con la intención de ofrecer una visión general de la aplicación sin mostrar reiterativamente al lector diagramas similares.

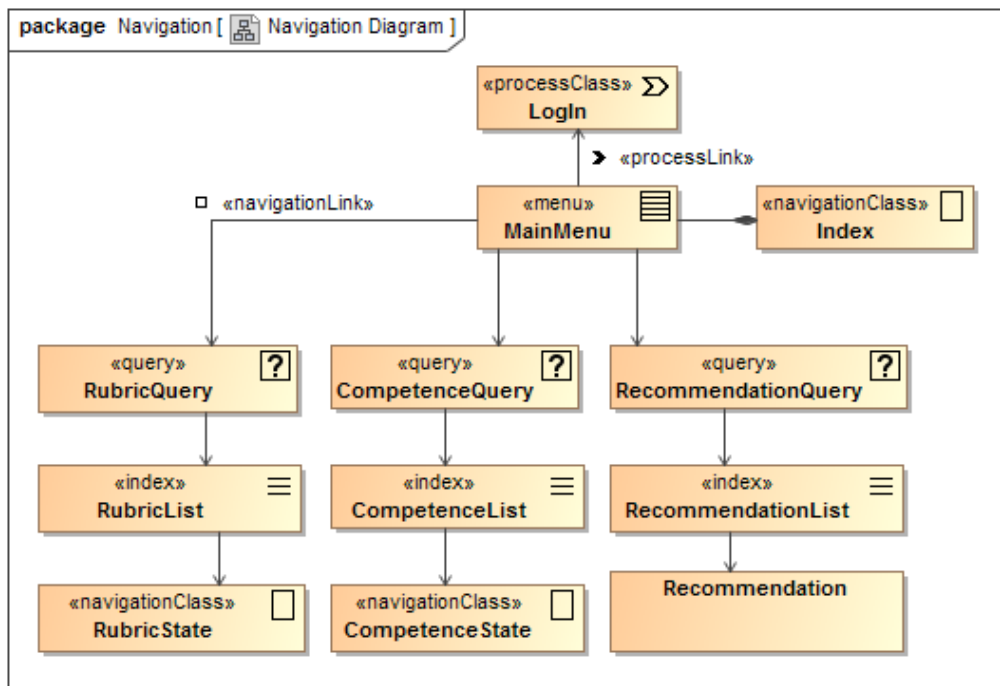


Figura 5.37: Fragmento del diagrama de navegación principal de la aplicación.

5.3.5.4. Actividad 6 - Diseño de los diagramas de presentación

Siguiendo con la metodología UWE-R, la siguiente actividad consiste en el desarrollo de los diagramas de presentación. Estos modelos representan una visión abstracta de la interfaz de usuario de una aplicación web. Este diagrama se basa en los modelos de navegación para describir la estructura básica de la interfaz de usuario (Koch et al., 2008). Adicionalmente, es posible diseñar de manera opcional un *storyboard* que proporciona un primer boceto de la interfaz completa de usuario (Koch et al., 2001).

En este apartado se procede a mostrar un par de ejemplos de los diagramas de presentación llevados a cabo (véase Figuras 5.38 y 5.39). Se ha decidido incluir únicamente estos ejemplos con el fin de proporcionar al lector una visión general de la aplicación diseñada sin mostrar reiterativamente diagramas similares.

5.3.5.5. Actividad 7 - Diseño de los diagramas de secuencia

El último paso que se realiza en este trabajo en cuanto al diseño del sistema de recomendación se refiere, está orientado al diseño de los diagramas de secuencia. Mediante estos diagramas es posible visualizar cuáles son las posibles secuencias de actividades de navegación acorde a los casos de uso previamente definidos.

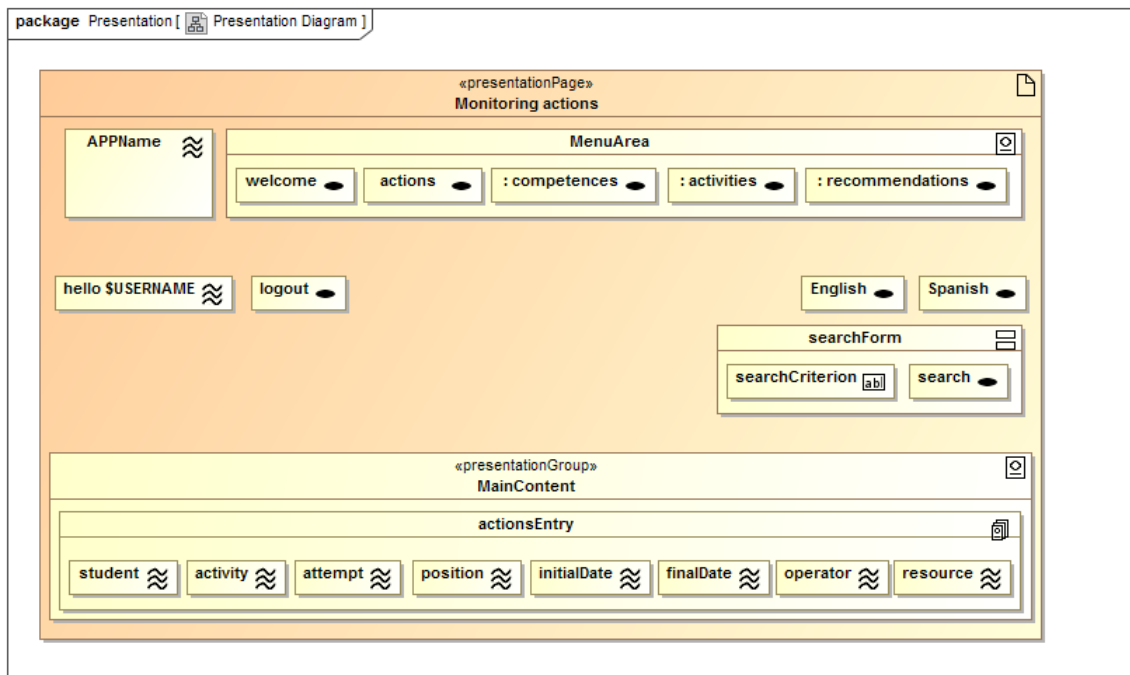


Figura 5.38: Diagrama de presentación del menú de acciones.

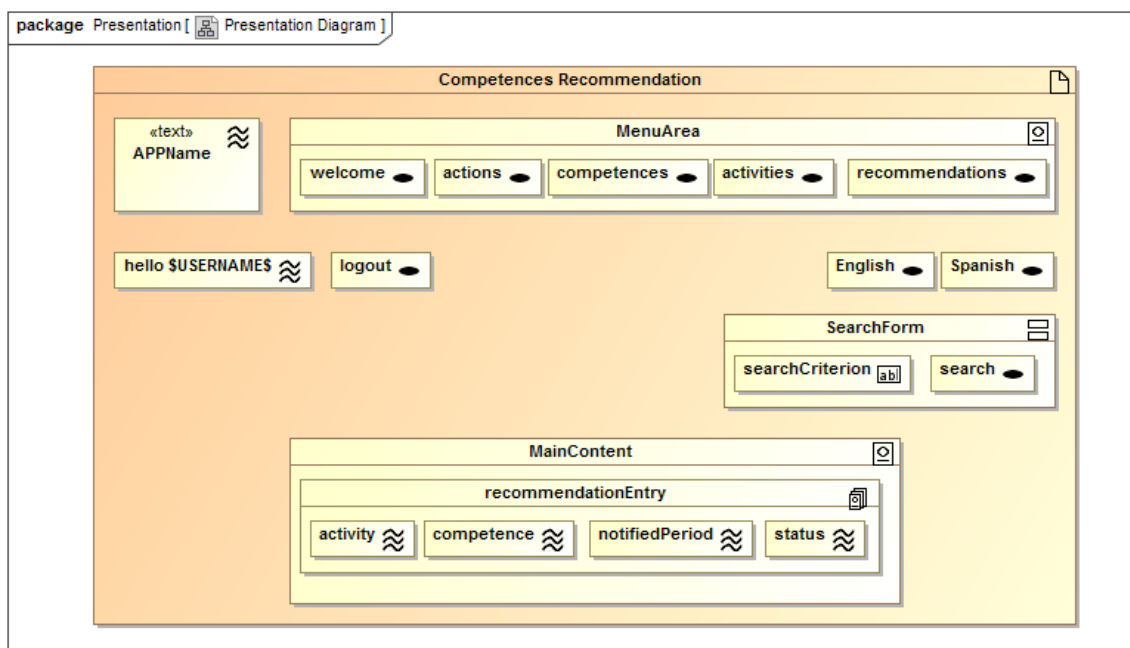


Figura 5.39: Diagrama de presentación del menú de recomendaciones para el estudiante.

El diagrama 5.40 ilustra la secuencia seguida para el caso de uso de “consultar recomendaciones de un alumno concreto”. Se ha decidido incluir únicamente este ejemplo con el fin de proporcionar al lector una visión general de la aplicación diseñada sin mostrar reiterativamente diagramas similares.

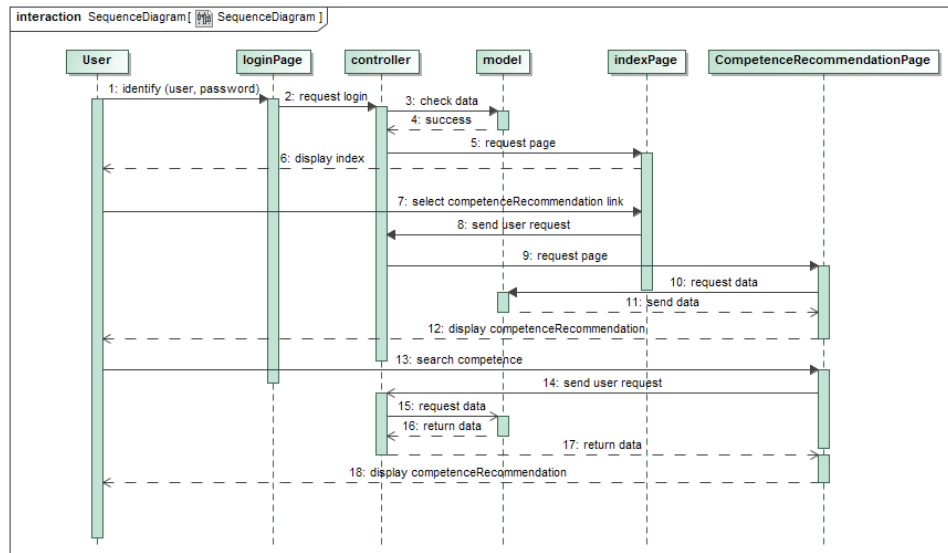


Figura 5.40: Diagrama de secuencia de la consulta acerca de las recomendaciones existentes de una competencia.

5.3.6. Desarrollo iterativo de la aplicación

Para el desarrollo iterativo de la aplicación web, se ha utilizado el *framework Spring-MVC* y el entorno de desarrollo *Spring Tool Suite*⁵. Spring-MVC es uno de los *frameworks* de desarrollo Web más populares para el lenguaje Java. Destaca por su extensa colección de componentes que facilitan la extensión de funcionalidades y servicios (autenticación y autorización, acceso a datos, gestión de transacciones, programación orientada a aspectos, etc.). La aplicación web desarrollada sigue el patrón de diseño modelo-vista-controlador (MVC), uno de los más populares y recomendados puesto que permite abstraer los datos, de la lógica de negocio y de la presentación. A continuación se describe la funcionalidad de los tres componentes para el *framework Spring-MVC*.

- **Controlador.** Elemento central de la aplicación. Es el que se encarga de comunicar el modelo y las vistas. En primera instancia, recoge la petición solicitada por el usuario a través de un evento y realiza el procedimiento asociado. De manera habitual, el procedimiento requiere del modelo que realiza una petición a la ontología para extraer información sobre la petición del usuario. Esta información es recogida por el controlador que, a su vez, la envía a la vista correspondiente.
- **Vista.** Elemento de comunicación con el usuario de la aplicación. Este realiza diversas acciones en la vista (rellena formularios, hace *click* en enlaces, escribe en el buscador, etc.) generando eventos. Estos eventos son enviados al controlador que se encarga de procesarlos y devuelve al usuario los datos a través de la vista adecuada. La vista está escrita en lenguaje JSP que posibilita la incorporación de código Java en código HTML.
- **Modelo.** Elemento de relación entre la aplicación y el sistema de almacenamiento de datos. Únicamente aparece en escena si el controlador requiere acceder a datos. En este caso, recoge la petición del controlador y se la comunica al sistema de almacenamiento que, en el presente trabajo, es la red de ontologías. Este paso se realiza mediante un lenguaje de consultas (*SPARQL*). La consulta devuelve los resultados y el modelo adapta el formato de los resultados recibidos para facilitar su tratamiento. Para ello, se recurre a instancias de *Bean*⁶.

⁵<https://spring.io/tools/sts/>

⁶*Bean* es una clase simple de Java que contiene: (1) todos sus atributos declarados como privados, (2) los

En los siguientes apartados se detallará el procedimiento llevado a cabo para el desarrollo de los tres componentes y la estructura utilizada por el modelo. La Figura 5.41 detalla cómo se comunican estos tres componentes.

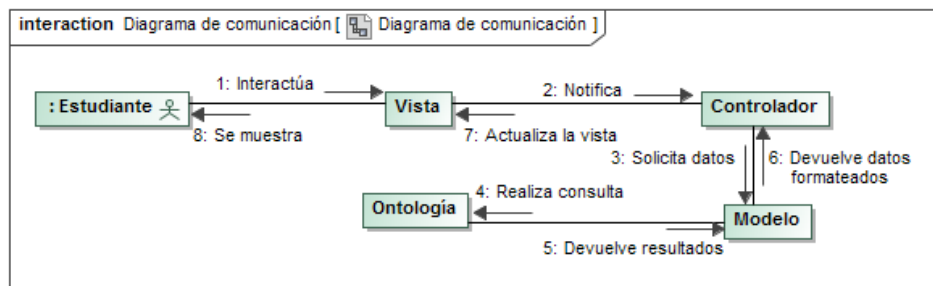


Figura 5.41: Diagrama de comunicación de los componentes principales de la aplicación.

5.3.6.1. Actividad 8: Desarrollo de la estructura

Tal y como se ha indicado previamente, el modelo utiliza una estructura que contiene los *Beans* asociados a la ontología en formato de lista. De este modo, a partir de una única clase, «Resultado», es posible gestionar cualquier elemento descrito en la ontología. Con el fin de clarificar este proceso, se muestran a continuación dos fragmentos de código. El primero de ellos contiene un fragmento de código de la clase «Resultado» (véase Código 5.1), mientras que el segundo muestra un ejemplo de clase *Bean* utilizada (véase Código 5.2).

```

1 package com.uah.hectoryago.bean;
2
3 import java.util.ArrayList;
4
5 public class Resultado {
6     private ArrayList<Competence> listadoCompetencias → new ArrayList<Competence>();
7
8     /*
9     * ...
10    */
11
12    public ArrayList<Competence> getListadoCompetencias() {
13        return listadoCompetencias;
14    }
15
16    public void setListadoCompetencias(ArrayList<Competence> listadoCompetencias) {
17        this.listadoCompetencias → listadoCompetencias;
18    }
19
20    /*
21    * ...
22    */
23
24    public Resultado() {
25        super();
26    }
27 }

```

Código 5.1: Fragmento de la clase «Resultado».

métodos get y set para cada atributo, (3) un constructor vacío y, además, (4) puede ser serializada.

```

1 package com.uah.hectoryago.bean;
2
3 public class PerformanceLevel {
4     private int level;
5     private String detail;
6     private PerformanceCriteria belongsToPerformanceCriteria;
7
8     public int getLevel() {
9         return level;
10    }
11
12    public void setLevel(int level) {
13        this.level → level;
14    }
15
16    public String getDetail() {
17        return detail;
18    }
19
20    public void setDetail(String detail) {
21        this.detail → detail;
22    }
23
24    public PerformanceCriteria getBelongsToPerformanceCriteria () {
25        return belongsToPerformanceCriteria;
26    }
27
28    public void setBelongsToPerformanceCriteria (PerformanceCriteria
29        belongsToPerformanceCriteria) {
30        this.belongsToPerformanceCriteria → belongsToPerformanceCriteria;
31    }
32
33    public PerformanceLevel() {
34        super ();
35    }

```

Código 5.2: Bean de la clase «PerformanceLevel».

El modelo recoge toda la información de las consultas SPARQL en las listas de la clase «Resultado» que, a su vez, contienen, respectivamente, las propiedades (*object properties* y *data properties*) declaradas en la ontología resultantes de la consulta.

5.3.6.2. Actividad 9: Desarrollo de las vistas

Otra de las tareas llevadas a cabo según la guía metodológica para el sistema de recomendación consiste en el desarrollo de las vistas. Cabe resaltar, que, siguiendo los diagramas de presentación realizados y de acuerdo a los requisitos funcionales de la aplicación (véase Sección 5.3.4.2), se ha procedido a crear vistas para los estudiantes y para los profesores - **RF1**-. La diferencia principal entre la misma vista para ambos roles radica en que el profesor puede visualizar la información de todos sus alumnos mientras que el alumno únicamente su información. A continuación se describe cada una de las vistas implementadas:

- **Acción.** Contiene una tabla con información acerca de la actividad a la que pertenece la acción (incluido identificador, intento, posición en la secuencia de acciones realizadas) y datos sobre la acción (fecha de inicio y fin, operador y recurso sobre el que se ejecuta la acción). La vista “Acción” para el profesor, que además contiene el identificador del estudiante que realiza la acción, está relacionada con los requisitos funcionales **RF9** y **RF10**, mientras que la misma vista para el alumno concierne al requisito **RF8**. Un ejemplo de esta tabla del profesor se ilustra en la Figura 5.42.

Student ↑	Activity ID ↑	Attempt number ↑	Position in sequence ↑	Initial time ↑	Final time ↑	Action operator ↑	Resource ↑
Anne	LA_EXP3_ACT1	I-2	ACC-4	2018-03-29 10:37:50	2018-03-29 10:38:00	Pick up	Medical Box 1
Anne	LA_EXP3_ACT1	I-1	ACC-4	2018-03-29 10:17:50	2018-03-29 10:18:00	Pick up	Ammo Box 1
Anne	LA_EXP3_ACT1	I-3	ACC-4	2018-03-29 10:47:50	2018-03-29 10:48:00	Pick up	Medical Box 1
Anne	LA_EXP3_ACT1	I-2	ACC-2	2018-03-29 10:35:30	2018-03-29 10:37:00	Drag oneself	Fence 1 area
Anne	LA_EXP3_ACT1	I-2	ACC-5	2018-03-29 10:38:00	2018-03-29 10:38:50	Go to	Fence 2 area
Anne	LA_EXP3_ACT1	I-2	ACC-3	2018-03-29 10:37:00	2018-03-29 10:37:50	Go to	Box 1 area
Anne	LA_EXP3_ACT1	I-2	ACC-1	2018-03-29 10:35:00	2018-03-29 10:35:30	Go to	Fence 1 area
Anne	LA_EXP3_ACT1	I-2	ACC-7	2018-03-29 10:39:15	2018-03-29 10:39:30	Go to	Base area
Anne	LA_EXP3_ACT1	I-1	ACC-3	2018-03-29 10:17:00	2018-03-29 10:17:50	Go to	Box 1 area
Anne	LA_EXP3_ACT1	I-1	ACC-2	2018-03-29 10:15:30	2018-03-29 10:17:00	Drag oneself	Fence 1 area

Figura 5.42: Vista asociada con el profesor acerca de las acciones en el sistema de recomendación.

- **Competencias.** Muestra una tabla con datos acerca de la competencia (a qué actividad y meta-dominio pertenece, cuál es el nivel de la habilidad relacionada y su estado actual). La vista de “Competencias” para el profesor, que incluye también el identificador del estudiante al que hace referencia la competencia, responde a los requisitos **RF12** y **RF13**. Por su parte, la vista de “Competencias” para el estudiante permite afrontar el requisito funcional **RF11**.
- **Indicadores de desempeño.** Sobre cada logro de competencia de un alumno indica los niveles de criterios de desempeño alcanzados referentes a la autonomía, contexto, frecuencia, alcance y complejidad. La vista “Indicadores de desempeño” del profesor, que contiene además el identificador del estudiante asociado a dicha competencia, está relacionada con los requisitos funcionales **RF6** y **RF7**. La misma vista para el estudiante responde al requisito **RF5**.
- **Actividades.** Esta vista muestra, para cada intento del estudiante, el número de preguntas, pistas, replanificaciones, etc. También muestra si ha sido interrumpida o no por el profesor. Los requisitos funcionales relacionados con la vista “Actividades” observable por los profesores son **RF15** y **RF16**. Por su parte, el requisito **RF14** se encuentra relacionado con la misma vista para el estudiante.
- **Rúbricas.** Tabla que ilustra información sobre los distintos criterios de las rúbricas evaluadas para un estudiante, el nivel, la puntuación y la retroalimentación ofrecida. Los requisitos funcionales **RF18** y **RF19** se cumplen mediante la vista de “Rubricas” para el profesor. El requisito funcional **RF17** se cumple a través de la misma vista para el estudiante. Un ejemplo de esta vista para un alumno puede visualizarse en la Figura 5.43.
- **Recomendaciones.** Detalla las recomendaciones sobre la competencia asociada, el instante en el que se envía esa notificación así como el estado. La vista de “Recomendaciones” para el profesor, que además incluye el identificador del estudiante, está relacionada con los requisitos **RF3** y **RF4**. Finalmente, la vista de “Recomendaciones” observable por el estudiante se encuentra relacionada con el requisito funcional **RF2**.

Criterio	Nivel	Retroalimentación
Capacidad de implementación del uso de tuberías en el intérprete de órdenes.	Bajo 3.5	muestra capacidad sólo para programar el uso de una única tubería pero no implementa la ejecución de órdenes con varios pipes.
Capacidad de aplicación de la herramienta de desarrollo make.	Estándar 6.5	muestra capacidad para aplicar correctamente la herramienta make utilizando un archivo Makefile que está adecuadamente construido: con dependencias correctas y completas, con objetivo ficticio clean pero sin opciones avanzadas (sin uso de variables, etc.)
Capacidad de implementación de una secuencia de órdenes (órdenes separadas por ;).	Alto 7.0	muestra capacidad para programar correctamente la ejecución de una secuencia de órdenes a partir de la programación de la ejecución de una orden simple y el uso de funciones de la biblioteca estándar de C.
Capacidad de desarrollo con código de apoyo del ciclo básico de ejecución de una shell simplificada -minishell-.	Alto 10.0	muestra completa capacidad para desarrollar el ciclo básico de ejecución de una minishell con código de apoyo.
Grado de dominio en la aplicación de los servicios POSIX básicos de procesos (fork(), exec(), wait() y exit()) en la ejecución de órdenes en primer plano (foreground) y en segundo plano (background) en el desarrollo de una minishell (con código de apoyo).	Estándar 8.0	Desempeño estándar: muestra capacidad para aplicar correctamente los servicios POSIX básicos de gestión de procesos para la correcta implementación de órdenes externas simples en primer plano o en segundo plano (o exclusivo) con código de apoyo.
Uso de un estilo de programación correcto y uniforme.	Estándar 6.0	El estilo de programación utilizado es uniforme y adecuado en general. Hay algún aspecto que particularmente no se ha tenido en cuenta en alguna parte del código del programa pero, en general, se utiliza un buen estilo de programación.
Capacidad de implementación de las redirecciones (de entrada y salida) en el intérprete de órdenes.	Estándar 6.0	muestra haber realizado correctamente alguna de las redirecciones de entrada y salida pero no ambas. O bien ha realizado ambas pero no funcionan correctamente en alguno de los escenarios posibles.

Figura 5.43: Fragmento de la vista de la evaluación de los criterios de las rúbricas del estudiante en el sistema de recomendación.

5.3.6.3. Actividad 10: Desarrollo del controlador

Uno de los aspectos clave en la aplicación es el desarrollo del controlador que se encarga de la lógica de negocio en el sistema de recomendación. Esta clase contiene un conjunto de métodos encargados de redireccionar la entrada a la vista correspondiente y de procesar los datos. Los métodos reciben información de la solicitud, idioma y modelo y tratan esa información para enviar a la vista los datos en el idioma seleccionado. Además, cada método llama al método específico del modelo. A continuación se muestra un fragmento del controlador (véase Código 5.3).

```

1  @RequestMapping("/competencias")
2  public String visualizarCompetenciasAlumno(HttpServletRequest request, Locale
   locale, Model model) {
3
4      String rutaDestino → "competences";
5      String welcome → messageSource.getMessage("welcome.message",
6          new Object[] { request.getSession().getAttribute("usuario") }, locale);
7      String logout → messageSource.getMessage("logout",
8          new Object[] { request.getSession().getAttribute("usuario") }, locale);
9
10     OntModel moduloCarga →
11     ModelFactory.createOntologyModel(OntModelSpec.OWL_LITE_MEM);
12     OntologyModel ontologyModel → new OntologyModel();
13     ontologyModel.cargarOntologia(moduloCarga);
14
15     model.addAttribute("message", welcome);
16     model.addAttribute("logout", logout);
17     Resultado resultado2 → ontologyModel.devolverCompetenciasAlumno(moduloCarga,
18         request.getSession().getAttribute("usuario").toString());
19     model.addAttribute("resultado", resultado2);
20
21     traducirTablas(locale, model);
22     return rutaDestino;
   }

```

Código 5.3: Fragmento de la clase «MainController».

5.3.6.4. Actividad 11 - Desarrollo del modelo

Los datos representan la parte más valiosa de la aplicación. Por ello, la integración de la aplicación y el modelado es de capital importancia. Los datos, por lo general, se encuentran almacenados en ficheros propios para ese almacenamiento, ya sean bases de datos, archivos de texto o, como en este caso, ontologías. La comunicación de la aplicación con la red modular de ontologías se lleva a cabo en el modelo. Por este motivo, se procede a detallar el desarrollo del mismo.

El modelo, que ha sido desarrollado en java, se compone de un conjunto de métodos. Es posible categorizar cada uno de los métodos en función de su finalidad: (1) método de carga de la ontología, (2) métodos de consulta del estudiante y (3) métodos de consulta del profesor. El método de carga de la ontología funciona de manera similar a como lo haría una conexión a una base de datos común, es decir, es necesario indicar la ruta dónde se encuentran los archivos y posteriormente llamar a un método para leer dichos archivos. En este caso, se ha recibido el apoyo de una clase denominada «Utilities.java» que permite conocer la distribución del sistema operativo que se está empleando y, por tanto, adecuar la ruta en base a las peculiaridades de cada sistema (cumplimiento de **RNF-4**, véase apartado 5.3.4.2).

```
1 public class Utilities {
2     private static String OS → System.getProperty("os.name").toLowerCase();
3
4     public boolean isWindows() {
5         return (OS.indexOf("win") > 0);
6     }
7
8     public boolean isMac() {
9         return (OS.indexOf("mac") > 0);
10    }
11
12    public boolean isUnix() {
13        return (OS.indexOf("nix") > 0 || OS.indexOf("nux") > 0 || OS.indexOf("aix")
14            > 0);
15    }
16
17    public boolean isSolaris() {
18        return (OS.indexOf("sunos") > 0);
19    }
20 }
```

Código 5.4: Fragmento de la clase «Utilities».

Los métodos de consulta del estudiante crean una *query* empleando el lenguaje SPARQL para obtener los valores de las propiedades deseadas de las instancias registradas en la ontología. De manera razonable, estas consultas contienen únicamente información del propio estudiante por motivos de privacidad. La consulta es procesada y el resultado es devuelto en forma de lista al controlador. El fragmento de Código 5.5 ilustra brevemente el funcionamiento de este modelo.

```
1 public Resultado devolverActividadesAlumno(OntModel m, String usuario) {
2     Resultado resultado → new Resultado();
3
4     String queryString →
5         prefijos + "SELECT ?actividad /* ... */ " + "WHERE { "
6         /* ... */ + "?Activity1 id:identifier ?actividad." /* ... */
7         + "} GROUP BY ?actividad /*...*/";
8
9     Query query → QueryFactory.create(queryString);
10    QueryExecution qe → QueryExecutionFactory.create(query, m);
11    ResultSet results → qe.execSelect();
12 }
```

```

12     QuerySolution tupla;
13     ArrayList<Activity> listadoActividades → new ArrayList<Activity>();
14
15     while (results.hasNext()) {
16         Activity actividad → new Activity();
17         tupla → results.next();
18         actividad.setTitle(tupla.get("?actividad").toString() /*...*/);
19         /* ... */
20         listadoActividades.add(actividad);
21     }
22     qe.close();
23     resultado.setListadoActividades(listadoActividades);
24     return resultado;
25 }

```

Código 5.5: Fragmento de la clase «Model».

Los métodos de consulta del profesor funcionan de manera similar, es decir, crean una *query* con SPARQL para extraer los valores de las propiedades de las instancias almacenadas en la red modular. Sin embargo, en los métodos de esta categoría se recoge información de aquellos estudiantes a los que el profesor instruye.

A través del modelo llevado a cabo, la ontología queda integrada con la aplicación web desarrollada, por lo que, cualquier modificación en la ontología se visualizará en la propia aplicación la próxima vez que se realice la consulta. Cabe destacar la facilidad para crear vistas personalizadas para diferentes usuarios según se desee mayor o menor información. También conviene resaltar la facilidad de extensión de la aplicación. Por ejemplo, es trivial la incorporación de nuevas propiedades a la vista correspondiente.

Después de las actividades de desarrollo de cualquier aplicación, es necesario realizar una evaluación para validar y verificar que el sistema desarrollado cumple los requisitos acordados en la fase de análisis y que el sistema funciona correctamente. Estas tareas son descritas en el siguiente apartado.

5.3.6.5. Actividad 12 - Evaluación del sistema de recomendación

La última actividad según la guía metodológica para el desarrollo y adaptación del prototipo de sistema de recomendación se divide en dos subactividades: (a) verificar el cumplimiento de los criterios y requisitos establecidos en la fase de análisis y (b) validar el funcionamiento del sistema mediante casos prácticos.

Con respecto a la verificación, y a pesar de que muchos de los criterios y requisitos ya han sido detallados a lo largo de la implementación del sistema de recomendación, a continuación se añadan con el fin de analizarlos de forma global. De este modo, las Tablas 5.51 y 5.52 comparan los criterios definidos en la Sección 5.3.4.1 y los criterios reales del prototipo llevado a cabo con el fin de valorar las diferencias finales.

La primera diferencia apreciable entre los criterios definidos en la descripción teórica y el prototipo realizado es la cobertura. Si bien es cierto que el problema del arranque en frío no ha sido completamente resuelto en el prototipo implementado, el sistema desarrollado dispone de diversos enfoques para afrontar este problema:

1. La inexistencia de recomendaciones no limita ni la funcionalidad de la aplicación ni las acciones del usuario. En caso de no existir recomendaciones, el estudiante debería continuar con el proceso habitual establecido por el profesor en la unidad de aprendizaje.

2. El sistema desarrollado facilita la disponibilidad de datos ya que un test inicial, una actividad previa, etc. podrían ofrecer información muy rápidamente del estudiante.
3. El sistema desarrollado es flexible ya que, a partir de las acciones, pueden obtenerse recomendaciones, es decir, no es necesario esperar a finalizar una actividad para saber las debilidades mostradas.
4. La incorporación de los indicadores de desempeño permite personalizar el nivel de fiabilidad necesario para el alcance o no de una competencia de forma que, para aquellas competencias con niveles bajos de fiabilidad requeridos, se puede obtener rápidamente información.

Tabla 5.51: Características del sistema de recomendación.

Sistema de recomendación	Cobertura	Riesgo	Robustez	Adaptabilidad	Escalabilidad	Tipo de implementación
Descripción teórica	*****	*	****	*****	***	Teoría
Prototipo realizado	****	*	****	****	***	Prototipo

Tabla 5.52: Características del sistema de recomendación (Cont.).

Sistema de recomendación	Dominio	<i>Feedback</i>	Tipo de acceso	Objetivo	Satisfacción	Dirigido a
Descripción teórica	Genérico	×	Web	Competencias	n/a	Estudiantes y profesores
Prototipo realizado	Genérico	×	Web	Competencias	***	Estudiantes y profesores

Si bien es cierto que la incorporación de los indicadores de desempeño combinados con el resto de elementos y la flexibilidad proporcionada ha sido bastante positiva para la cobertura del sistema, eliminar completamente el problema del arranque en frío es complejo. Es habitual que las competencias más sencillas suelen tener que alcanzarse un mayor número de veces para demostrar su dominio y las competencias más complejas no suelen alcanzarse rápidamente. A pesar de ello, este enfoque reduce considerablemente el problema al combinar diferentes mecanismos como: (1) la implantación de un nivel de fiabilidad variable para el alcance de objetivos/competencias (en la versión original de la OE este nivel de fiabilidad era fijo), (2) la posibilidad de ofrecer recomendaciones antes, durante y después de la actividad, (3) los indicadores de desempeño de Paquette que proporcionan información extra del estado de las competencias, (4) la flexibilidad a la hora de ofrecer recomendaciones independientemente de la información inicial (si no existe nada de información es posible proporcionar una recomendación genérica, realizar un test o completar una encuesta inicial, rellenar manualmente el perfil o incluso considerar por defecto el estado de alguna de las competencias) y (5) la posibilidad de ofrecer recomendaciones de diferente nivel de granularidad (grano fino mediante recomendaciones de acciones, grano medio a través de recomendaciones relacionadas con competencias y grano grueso referente a recomendaciones de actividades). Por tanto, la cobertura del prototipo es razonablemente buena aunque ligeramente inferior a la detallada en la descripción teórica.

La segunda diferencia entre la descripción teórica y el prototipo realizado es la adaptabilidad, es decir, la capacidad del sistema para modificar las recomendaciones de acuerdo con los

cambios producidos. En relación con este criterio, la descripción teórica propuesta considera la adaptabilidad como criterio de gran relevancia en los entornos de aprendizaje debido a la volatilidad producida en estos entornos. En el prototipo implementado, la adaptabilidad también es muy importante, ya que cualquier alteración en el estado de aprendizaje del estudiante puede ser la responsable de desencadenar las reglas de diagnóstico o recomendación definidas. Sin embargo, el sistema propuesto requiere habitualmente la ejecución de varias acciones llevadas a cabo por el estudiante para modificar el estado de aprendizaje del estudiante y así reducir recomendaciones poco razonables producidas por falsos positivos (por ejemplo, un único fallo puede no ser suficiente para inferir que el estudiante ha olvidado un concepto). Por este motivo se pierde algo de inmediatez con respecto a la descripción teórica propuesta en aras de aumentar la fiabilidad del sistema.

Las Tablas 5.53 y 5.54 describen si se han implementado o no los requisitos definidos.

Tabla 5.53: Implementación de los requisitos no funcionales del sistema.

RF1	RF2	RF3	RF4	RF5	RF6	RF7	RF8
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 5.54: Implementación de los requisitos no funcionales del sistema.

RNF-1	RNF-2	RNF-3	RNF-4
✓	✓	✓	✓

Finalmente, con respecto a la segunda subactividad, en la Sección 6 se detallan diversos experimentos llevados a cabo en este trabajo con el fin de realizar la validación del sistema.

La aportación propuesta en este trabajo, consistente en la ontología ON-SMMILE y el sistema de recomendación, debe evaluarse para corroborar que cumple con las especificaciones previamente definidas, es decir, que la aportación logra el cometido para el que fue desarrollada. En lo referente a la validación del sistema, se ha decidido aplicar la propuesta a tres experimentos diferentes. El primer experimento se desarrolla en un EVIE de tipo procedimental, el segundo se desarrolla mediante una herramienta *LMS* y el tercero, se desarrolla a través de una simulación en un videojuego.

6.1. Experimento I: Aprendizaje en un laboratorio de química

El primer experimento al que se ha aplicado parcialmente la solución propuesta se corresponde con una actividad llevada a cabo en un laboratorio de química. Este experimento es la evolución del primer prototipo presentado en la tesis doctoral de Clemente (2011) y ha sido seleccionado para contrastar las diferencias entre la Ontología del Estudiante original y la nueva red de ontologías propuesta en este trabajo. Principalmente, este experimento permite validar la extensión de la taxonomía de objetivos, la inclusión de la ontología de rúbricas y la ejecución de un subconjunto de reglas de diagnóstico y recomendación.

La actividad llevada a cabo a través de este experimento se ha denominado *Práctica del laboratorio virtual - plan de preparación de una disolución de ácido sulfúrico al 5%*. Esta práctica, que es la segunda actividad de una asignatura de primer curso del grado de Química, ha sido desarrollada en un entorno virtual inteligente de entrenamiento y formación. Este tipo de entornos son idóneos para realizar actividades que requieran recursos costosos en el mundo real o impliquen riesgos considerables. Por tanto, son entornos especialmente beneficiosos para llevar a cabo experimentos peligrosos como el de esta actividad, caros y/o de larga duración ya que permiten la disminución de riesgos, tiempo y facilitan información más rica, completa y precisa que constituye un soporte clave para realizar análisis y diagnóstico durante el proceso de aprendizaje.

A continuación, se procede a detallar la actividad y la configuración de la ontología para la misma con la finalidad de mostrar el proceso completo desde el estado inicial en el que no se dispone de ninguna información hasta el estado final en el que se proporciona al tutor y al estudiante un conjunto de recomendaciones referentes al alumno en base a competencias, indicadores de desempeño, etc.

La primera tarea consiste en el diseño instruccional de la materia a enseñar, en este caso, las unidades de aprendizaje, sus actividades y subactividades con sus correspondientes objetivos de aprendizaje. La actividad concreta de este experimento pertenece a la primera unidad de aprendizaje de una asignatura de química. El diseño instruccional de la actividad: subactividades y los objetivos asociados, han sido considerados de complejidad débil dentro de la asignatura y

se lleva a cabo en un contexto de trabajo familiar para los estudiantes. La Figura 6.1 representa el plan de solución óptimo con las acciones que un estudiante debería realizar para finalizar la actividad de manera exitosa. Existe la posibilidad de que el alumno no realice el plan exacto y este deba replanificarse a partir del estado actual en el que se encuentra el estudiante.

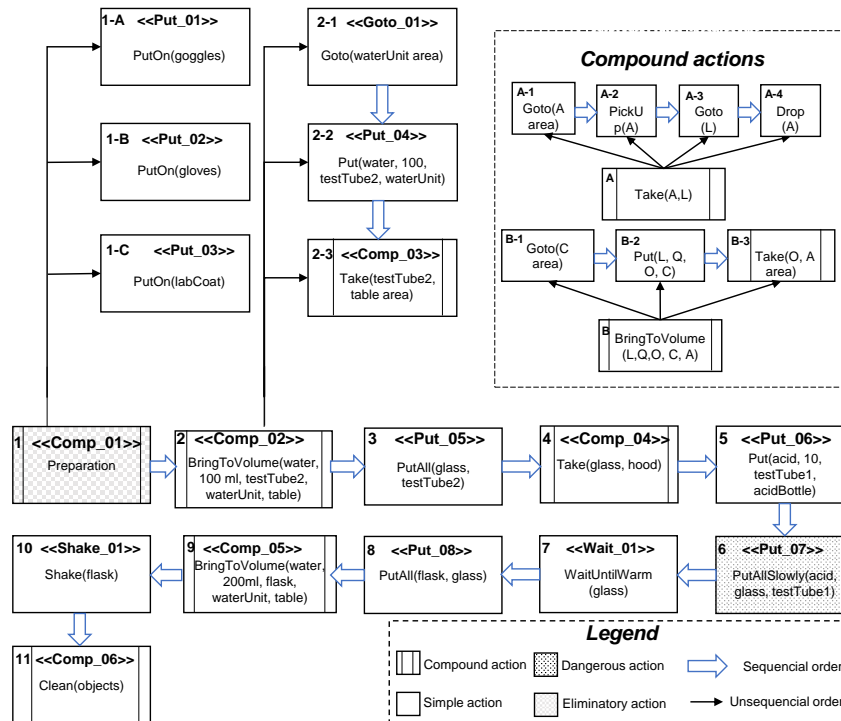


Figura 6.1: Plan de preparación de una disolución de ácido sulfúrico al 5%.

Este plan está formado por once acciones (simples o compuestas) que deben realizarse de manera secuencial. Las acciones compuestas se corresponden con una serie de acciones simples que se ejecutan en un orden secuencial o no, de acuerdo con su especificación. Asimismo, los instructores han decidido que la acción 6, “Echar lentamente el ácido de la probeta 1 en el agua del vaso de precipitado”, sea considerada como peligrosa por motivos de seguridad (esta acción provoca que el ácido se proyecte, lo que puede producir quemaduras).

Además de la figura previa, se muestra a continuación la Tabla 6.1 que contiene la codificación de las distintas acciones como operadores aplicados existentes en la propia ontología. La tabla también muestra los objetos de conocimiento que son utilizados en cada acción.

Tabla 6.1: Codificación de las acciones del plan como operadores en la ontología.

ACCIÓN	OPERADORES APLICADOS	OBJETOS DE CONOCIMIENTO
1. Preparación:	PutOn(Object)	
1-a) Ponerse las gafas.	– PutOn(goggles)	◇ goggles
1-b) Ponerse los guantes.	– PutOn(gloves)	◇ gloves
1-c) Ponerse la bata.	– PutOn(labCoat)	◇ labCoat

Tabla 6.1: Codificación de las acciones del plan como operadores en la ontología.

ACCIÓN	OPERADORES APLICADOS	OBJETOS DE CONOCIMIENTO
2. Coger 100ml de agua en la probeta 2:	BringToVolume(water, 100ml, testTube2, waterUnit, table)	
2-1) Ir a la zona de la unidad de agua.	– Goto(waterUnit Area)	◇ waterUnit
2-2) Echar 100 ml de agua en la probeta 2.	– Put(water, 100ml, testTube2, waterUnit)	◇ testTube2, waterUnit
2-3) Llevar la probeta 2 a la mesa.	– Take(testTube2, table)	◇ testTube2, table
3. Echar el agua de la probeta 2 en el vaso de precipitado:	PutAll(glass, testTube2)	glass, testTube2
4. Llevar el vaso de precipitado a la campana extractora de gases:	Take(glass, hood)	
4-1) Ir a por el vaso de precipitado.	– Goto(glass Area)	◇ glass
4-2) Coger el vaso de precipitado.	– PickUp(glass)	◇ glass
4-3) Ir a la campana extractora de gases.	– Goto(hood Area)	◇ hood
4-4) Dejar el vaso de precipitado.	– Drop(glass)	◇ glass
5. Echar 10ml de ácido sulfúrico en la probeta 1:	Put(acid, 10ml, testTube1, acidBottle)	testTube1, acidBottle
6. Echar lentamente el ácido de la probeta 1 en el vaso de precipitado:	PutAllSlowly(acid, glass, testTube1)	glass, testTube1
7. Esperar a que el vaso de precipitado se enfríe:	WaitUntilWarm(glass)	glass
8. Echar toda la disolución del vaso de precipitado al matraz:	PutAll(flask, glass)	flask, glass

Tabla 6.1: Codificación de las acciones del plan como operadores en la ontología.

ACCIÓN	OPERADORES APLICADOS	OBJETOS DE CONOCIMIENTO
9. Completar el volumen del matraz con agua:	BringToVolume(water, 200ml, flask, waterUnit, table)	
1-1) Ir a la zona de la unidad de agua.	– Goto(waterUnit area)	◇ waterUnit
1-2) Llenar el matraz (200ml) con agua.	– Put(water, 200ml, flask, waterUnit)	◇ waterUnit, flask
1-3) Llevar el matraz a la mesa.	– Take(flask, table)	◇ flask, table
10. Agitar el matraz:	Shake(flask)	flask
11. Limpiar objetos:	Clean(object);	
11-1) Ir a la zona de la unidad de agua.	– Goto(waterUnit area)	◇ waterUnit
11-2) Echar agua jabonosa a los objetos.	– Put(soapyWater, -, objects ¹ , waterUnit)	◇ soapyWater, waterUnit, objects*
11-3) Enjuagar los objetos con agua destilada.	– Rinse(object, distilledWater)	◇ distilledWater, objects
11-4) Llevar los objetos a la zona de secado.	– Take(object, dryUnit)	◇ dryUnit, objects

Tabla 6.2: Lista de instancias de objetivos de tipo «KnowsRecognize».

INSTANCIA OBJETIVO	DESCRIPCIÓN
KnowsRecognize_01	Sabe reconocer las gafas de laboratorio.
KnowsRecognize_02	Sabe reconocer los guantes de laboratorio.
KnowsRecognize_03	Sabe reconocer la bata de laboratorio.
KnowsRecognize_04	Sabe reconocer una probeta determinada.
KnowsRecognize_05	Sabe reconocer la unidad de agua.
KnowsRecognize_06	Sabe reconocer la mesa de laboratorio.
KnowsRecognize_07	Sabe reconocer un vaso de precipitado determinado.
KnowsRecognize_08	Sabe reconocer la campana extractora de gases.
KnowsRecognize_09	Sabe reconocer un matraz determinado.
KnowsRecognize_10	Sabe reconocer la botella de ácido sulfúrico.
KnowsRecognize_11	Sabe reconocer el agua destilada.
KnowsRecognize_12	Sabe reconocer la unidad de secado.
KnowsRecognize_13	Sabe reconocer el agua con jabón.

Tabla 6.3: Lista de instancias de objetivos de tipo «KnowsWhereIs».

INSTANCIA OBJETIVO	DESCRIPCIÓN
KnowsWhereIs_01	Sabe dónde están las gafas de laboratorio.
KnowsWhereIs_02	Sabe dónde están los guantes de laboratorio.
KnowsWhereIs_03	Sabe dónde está la bata de laboratorio.
KnowsWhereIs_04	Sabe dónde está una probeta determinada.

¹objects representa cada uno de los objetos empleados en la actividad (flask, testTube1, testTube2 y glass).

Tabla 6.3: Lista de instancias de objetivos de tipo «KnowsWhereIs».

INSTANCIA OBJETIVO	DESCRIPCIÓN
KnowsWhereIs_05	Sabe dónde está la unidad de agua.
KnowsWhereIs_06	Sabe dónde está la mesa de laboratorio.
KnowsWhereIs_07	Sabe dónde está un vaso de precipitado determinado.
KnowsWhereIs_08	Sabe dónde está la campana extractora de gases.
KnowsWhereIs_09	Sabe dónde está un matraz determinado.
KnowsWhereIs_10	Sabe dónde está la botella de ácido sulfúrico.
KnowsWhereIs_11	Sabe dónde está el agua destilada.
KnowsWhereIs_12	Sabe dónde está la unidad de secado.
KnowsWhereIs_13	Sabe dónde está el agua con jabón.

Tabla 6.4: Lista de instancias de objetivos de tipo «KnowsWhatIs».

INSTANCIA OBJETIVO	DESCRIPCIÓN
KnowsWhatIs_01	Sabe qué son las gafas de laboratorio.
KnowsWhatIs_02	Sabe qué son los guantes de laboratorio.
KnowsWhatIs_03	Sabe qué es la bata de laboratorio.
KnowsWhatIs_04	Sabe qué es una probeta.
KnowsWhatIs_05	Sabe qué es la unidad de agua.
KnowsWhatIs_06	Sabe qué es la mesa de laboratorio.
KnowsWhatIs_07	Sabe qué es un vaso de precipitado.
KnowsWhatIs_08	Sabe qué es la campana extractora de gases.
KnowsWhatIs_09	Sabe qué es un matraz.
KnowsWhatIs_10	Sabe qué es la botella de ácido sulfúrico.
KnowsWhatIs_11	Sabe qué es el agua destilada.
KnowsWhatIs_12	Sabe qué es la unidad de secado.
KnowsWhatIs_13	Sabe qué es el agua con jabón.

Tabla 6.5: Lista de instancias de objetivos de tipo «KnowsWhatIsFor».

INSTANCIA OBJETIVO	DESCRIPCIÓN
KnowsWhatIsFor_01	Sabe para qué sirven las gafas de laboratorio.
KnowsWhatIsFor_02	Sabe para qué sirven los guantes de laboratorio.
KnowsWhatIsFor_03	Sabe para qué sirve la bata de laboratorio.
KnowsWhatIsFor_04	Sabe para qué sirve una probeta.
KnowsWhatIsFor_05	Sabe para qué sirve la unidad de agua.
KnowsWhatIsFor_06	Sabe para qué sirve la mesa de laboratorio.
KnowsWhatIsFor_07	Sabe para qué sirve un vaso de precipitado.
KnowsWhatIsFor_08	Sabe para qué sirve la campana extractora de gases.
KnowsWhatIsFor_09	Sabe para qué sirve un matraz.
KnowsWhatIsFor_10	Sabe para qué sirve la botella de ácido sulfúrico.
KnowsWhatIsFor_11	Sabe para qué sirve el agua destilada.
KnowsWhatIsFor_12	Sabe para qué sirve la unidad de secado.
KnowsWhatIsFor_13	Sabe para qué sirve el agua con jabón.

Tabla 6.6: Lista de instancias de objetivos de tipo «KnowsThat».

INSTANCIA OBJETIVO	DESCRIPCIÓN
KnowsThat_01	Sabe que es posible aplicar el operador PutOn a las gafas.
KnowsThat_02	Sabe que es posible aplicar el operador PutOn a los guantes.
KnowsThat_03	Sabe que es posible aplicar el operador PutOn a la bata.
KnowsThat_04	Sabe que es posible aplicar el operador Put a una probeta.
KnowsThat_05	Sabe que es posible aplicar el operador Take a una probeta.

Tabla 6.6: Lista de instancias de objetivos de tipo «KnowsThat».

INSTANCIA OBJETIVO	DESCRIPCIÓN
KnowsThat_06	Sabe que es posible aplicar el operador PickUp a una probeta.
KnowsThat_07	Sabe que es posible aplicar el operador Drop a una probeta.
KnowsThat_08	Sabe que es posible aplicar el operador Rinse a una probeta.
KnowsThat_09	Sabe que es posible aplicar el operador Goto a la unidad de agua.
KnowsThat_10	Sabe que es posible aplicar el operador Goto a la mesa.
KnowsThat_11	Sabe que es posible aplicar el operador Put a un vaso de precipitado.
KnowsThat_12	Sabe que es posible aplicar el operador Take a un vaso de precipitado.
KnowsThat_13	Sabe que es posible aplicar el operador PickUp a un vaso de precipitado.
KnowsThat_14	Sabe que es posible aplicar el operador Drop a un vaso de precipitado.
KnowsThat_15	Sabe que es posible aplicar el operador Rinse a un vaso de precipitado.
KnowsThat_16	Sabe que es posible aplicar el operador PutAllSlowly a un vaso de precipitado.
KnowsThat_17	Sabe que es posible aplicar el operador WaitUntilWarm a un vaso de precipitado.
KnowsThat_18	Sabe que es posible aplicar el operador Goto a la campana extractora de gases.
KnowsThat_19	Sabe que es posible aplicar el operador Put a un matraz.
KnowsThat_20	Sabe que es posible aplicar el operador Take a un matraz.
KnowsThat_21	Sabe que es posible aplicar el operador PickUp a un matraz.
KnowsThat_22	Sabe que es posible aplicar el operador Drop a un matraz.
KnowsThat_23	Sabe que es posible aplicar el operador Rinse a un matraz.
KnowsThat_24	Sabe que es posible aplicar el operador PutAll a un matraz.
KnowsThat_25	Sabe que es posible aplicar el operador Shake a un matraz.
KnowsThat_26	Sabe que es posible aplicar el operador Put a una botella de ácido sulfúrico.
KnowsThat_27	Sabe que es posible aplicar el operador Take a una botella de ácido sulfúrico.
KnowsThat_28	Sabe que es posible aplicar el operador PickUp a una botella de ácido sulfúrico.
KnowsThat_29	Sabe que es posible aplicar el operador Drop a una botella de ácido sulfúrico.
KnowsThat_30	Sabe que es posible aplicar el operador Goto a la unidad de secado.
KnowsThat_31	Sabe que al echar ácido sulfúrico en un vaso con agua se produce una reacción exotérmica.
KnowsThat_32	Sabe que al agitar la mezcla final se genera la disolución de ácido sulfúrico.
KnowsThat_33	Sabe que el orden de los argumentos al mezclar ácido sulfúrico y agua es relevante.
KnowsThat_34	Sabe que al mezclar ácido sulfúrico y agua, se debe echar el ácido sobre el agua.

Tabla 6.7: Lista de instancias de objetivos de tipo «KnowsThatNextActionIs».

INSTANCIA OBJETIVO	DESCRIPCIÓN
KnowsThatNextActionIs_01	Sabe que la siguiente acción es ponerse las gafas.
KnowsThatNextActionIs_02	Sabe que la siguiente acción es ponerse los guantes.
KnowsThatNextActionIs_03	Sabe que la siguiente acción es ponerse la bata.
KnowsThatNextActionIs_04	Sabe que la siguiente acción es ir a la zona de la unidad de agua.
KnowsThatNextActionIs_05	Sabe que la siguiente acción es echar 100 ml de agua en la probeta 2.
KnowsThatNextActionIs_06	Sabe que la siguiente acción es ir a la zona de la probeta 2.
KnowsThatNextActionIs_07	Sabe que la siguiente acción es coger la probeta 2.
KnowsThatNextActionIs_08	Sabe que la siguiente acción es ir a la zona de la mesa.
KnowsThatNextActionIs_09	Sabe que la siguiente acción es dejar la probeta 2.
KnowsThatNextActionIs_10	Sabe que la siguiente acción es echar el agua de la probeta 2 al vaso de precipitado.
KnowsThatNextActionIs_11	Sabe que la siguiente acción es ir al área del vaso de precipitado.
KnowsThatNextActionIs_12	Sabe que la siguiente acción es coger el vaso de precipitado.
KnowsThatNextActionIs_13	Sabe que la siguiente acción es ir al área de la campana extractora de gases.
KnowsThatNextActionIs_14	Sabe que la siguiente acción es dejar el vaso de precipitado.
KnowsThatNextActionIs_15	Sabe que la siguiente acción es echar 10ml de ácido sulfúrico a la probeta 1.
KnowsThatNextActionIs_16	Sabe que la siguiente acción es echar lentamente el ácido de la probeta 1 en el agua del vaso de precipitado.

Tabla 6.7: Lista de instancias de objetivos de tipo «KnowsThatNextActionIs».

INSTANCIA OBJETIVO	DESCRIPCIÓN
KnowsThatNextActionIs_17	Sabe que la siguiente acción es esperar a que el vaso de precipitado se enfríe.
KnowsThatNextActionIs_18	Sabe que la siguiente acción es echar toda la disolución del vaso de precipitado al matraz.
KnowsThatNextActionIs_19	Sabe que la siguiente acción es ir a la zona de la unidad de agua.
KnowsThatNextActionIs_20	Sabe que la siguiente acción es llenar el matraz (200 ml) con agua.
KnowsThatNextActionIs_21	Sabe que la siguiente acción es ir a la zona del matraz.
KnowsThatNextActionIs_22	Sabe que la siguiente acción es coger el matraz.
KnowsThatNextActionIs_23	Sabe que la siguiente acción es ir a la mesa.
KnowsThatNextActionIs_24	Sabe que la siguiente acción es agitar el matraz.
KnowsThatNextActionIs_25	Sabe que la siguiente acción es ir al área de la unidad de agua.
KnowsThatNextActionIs_26	Sabe que la siguiente acción es poner agua con jabón en los objetos utilizados.
KnowsThatNextActionIs_27	Sabe que la siguiente acción es enjuagar los objetos con agua destilada.
KnowsThatNextActionIs_28	Sabe que la siguiente acción es coger los objetos utilizados.
KnowsThatNextActionIs_29	Sabe que la siguiente acción es ir al área de secado.
KnowsThatNextActionIs_30	Sabe que la siguiente acción es dejar los objetos utilizados.

Tabla 6.8: Lista de instancias de objetivos de tipo «KnowsThatNextOperatorIs».

INSTANCIA OBJETIVO	DESCRIPCIÓN
KnowsThatNextOperatorIs_01	Sabe que el siguiente operador es PutOn.
KnowsThatNextOperatorIs_02	Sabe que el siguiente operador es Put.
KnowsThatNextOperatorIs_03	Sabe que el siguiente operador es Drop.
KnowsThatNextOperatorIs_04	Sabe que el siguiente operador es PickUp.
KnowsThatNextOperatorIs_05	Sabe que el siguiente operador es Rinse.
KnowsThatNextOperatorIs_06	Sabe que el siguiente operador es Goto.
KnowsThatNextOperatorIs_07	Sabe que el siguiente operador es PutAll.
KnowsThatNextOperatorIs_08	Sabe que el siguiente operador es PutAllSlowly.
KnowsThatNextOperatorIs_09	Sabe que el siguiente operador es WaitUntilWarm.
KnowsThatNextOperatorIs_10	Sabe que el siguiente operador es Shake.

Tabla 6.9: Lista de instancias de objetivos de tipo «KnowsThatActionInPlanPost».

INSTANCIA OBJETIVO	DESCRIPCIÓN
KnowsThatActionInPlanPost_01	Sabe que la siguiente acción es ponerse las gafas.
KnowsThatActionInPlanPost_02	Sabe que la siguiente acción es ponerse los guantes.
KnowsThatActionInPlanPost_03	Sabe que la siguiente acción es ponerse la bata.
KnowsThatActionInPlanPost_04	Sabe que la siguiente acción es ir a la zona de la unidad de agua.
KnowsThatActionInPlanPost_05	Sabe que la siguiente acción es echar 100 ml de agua en la probeta 2.
KnowsThatActionInPlanPost_06	Sabe que la siguiente acción es ir a la zona de la probeta 2.
KnowsThatActionInPlanPost_07	Sabe que la siguiente acción es coger la probeta 2.
KnowsThatActionInPlanPost_08	Sabe que la siguiente acción es ir a la zona de la mesa.
KnowsThatActionInPlanPost_09	Sabe que la siguiente acción es dejar la probeta 2.
KnowsThatActionInPlanPost_10	Sabe que la siguiente acción es echar el agua de la probeta 2 al vaso de precipitado.
KnowsThatActionInPlanPost_11	Sabe que la siguiente acción es ir al área del vaso de precipitado.
KnowsThatActionInPlanPost_12	Sabe que la siguiente acción es coger el vaso de precipitado.
KnowsThatActionInPlanPost_13	Sabe que la siguiente acción es ir al área de la campana extractora de gases.
KnowsThatActionInPlanPost_14	Sabe que una acción posterior en el plan es dejar el vaso de precipitado.

Tabla 6.9: Lista de instancias de objetivos de tipo «KnowsThatActionInPlanPost».

INSTANCIA OBJETIVO	DESCRIPCIÓN
KnowsThatActionInPlanPost_15	Sabe que una acción posterior en el plan es echar 10ml de ácido sulfúrico a la probeta 1.
KnowsThatActionInPlanPost_16	Sabe que una acción posterior en el plan es echar lentamente el ácido de la probeta 1 en el agua del vaso de precipitado.
KnowsThatActionInPlanPost_17	Sabe que una acción posterior en el plan es esperar a que el vaso de precipitado se enfríe.
KnowsThatActionInPlanPost_18	Sabe que una acción posterior en el plan es echar toda la disolución del vaso de precipitado al matraz.
KnowsThatActionInPlanPost_19	Sabe que una acción posterior en el plan es ir a la zona de la unidad de agua.
KnowsThatActionInPlanPost_20	Sabe que una acción posterior en el plan es llenar el matraz (200 ml) con agua.
KnowsThatActionInPlanPost_21	Sabe que una acción posterior en el plan es ir a la zona del matraz.
KnowsThatActionInPlanPost_22	Sabe que una acción posterior en el plan es coger el matraz.
KnowsThatActionInPlanPost_23	Sabe que una acción posterior en el plan es ir a la mesa.
KnowsThatActionInPlanPost_24	Sabe que una acción posterior en el plan es agitar el matraz.
KnowsThatActionInPlanPost_25	Sabe que una acción posterior en el plan es ir al área de la unidad de agua.
KnowsThatActionInPlanPost_26	Sabe que una acción posterior en el plan es poner agua con jabón en los objetos utilizados.
KnowsThatActionInPlanPost_27	Sabe que una acción posterior en el plan es enjuagar los objetos con agua destilada.
KnowsThatActionInPlanPost_28	Sabe que una acción posterior en el plan es coger los objetos utilizados.
KnowsThatActionInPlanPost_29	Sabe que una acción posterior en el plan es ir al área de secado.
KnowsThatActionInPlanPost_30	Sabe que una acción posterior en el plan es dejar los objetos utilizados.

Tabla 6.10: Lista de instancias de objetivos de tipo «IsAbleToBuild».

INSTANCIA OBJETIVO	DESCRIPCIÓN
IsAbleToBuild_01	Ser capaz de construir un plan para preparar una disolución de ácido sulfúrico en una cierta proporción (5%).

Tabla 6.11: Lista de instancias de objetivos de tipo «IsAbleToChoose».

INSTANCIA OBJETIVO	DESCRIPCIÓN
IsAbleToChoose_01	Ser capaz de elegir la solución óptima (menor número de pasos) que permita alcanzar la meta de la actividad.
IsAbleToChoose_02	Ser capaz de elegir el objeto o conjunto de objetos adecuado para llevar a cabo una acción.

Tabla 6.12: Lista de instancias de objetivos de tipo «IsAbleToApply».

INSTANCIA OBJETIVO	DESCRIPCIÓN
IsAbleToApply_01	Es capaz de aplicar el operador PutOn a las gafas.
IsAbleToApply_02	Es capaz de aplicar el operador PutOn a los guantes.
IsAbleToApply_03	Es capaz de aplicar el operador PutOn a la bata.
IsAbleToApply_04	Es capaz de aplicar el operador Put a una probeta.
IsAbleToApply_05	Es capaz de aplicar el operador Take a una probeta.
IsAbleToApply_06	Es capaz de aplicar el operador PickUp a una probeta.

Tabla 6.12: Lista de instancias de objetivos de tipo «IsAbleToApply».

INSTANCIA OBJETIVO	DESCRIPCIÓN
IsAbleToApply_07	Es capaz de aplicar el operador Drop a una probeta.
IsAbleToApply_08	Es capaz de aplicar el operador Rinse a una probeta.
IsAbleToApply_09	Es capaz de aplicar el operador Goto a la unidad de agua.
IsAbleToApply_10	Es capaz de aplicar el operador Goto a la mesa.
IsAbleToApply_11	Es capaz de aplicar el operador Put a un vaso de precipitado.
IsAbleToApply_12	Es capaz de aplicar el operador Take a un vaso de precipitado.
IsAbleToApply_13	Es capaz de aplicar el operador PickUp a un vaso de precipitado.
IsAbleToApply_14	Es capaz de aplicar el operador Drop a un vaso de precipitado.
IsAbleToApply_15	Es capaz de aplicar el operador Rinse a un vaso de precipitado.
IsAbleToApply_16	Es capaz de aplicar el operador PutAllSlowly a un vaso de precipitado.
IsAbleToApply_17	Es capaz de aplicar el operador WaitUntilWarm a un vaso de precipitado.
IsAbleToApply_18	Es capaz de aplicar el operador Goto a la campana extractora de gases.
IsAbleToApply_19	Es capaz de aplicar el operador Put a un matraz.
IsAbleToApply_20	Es capaz de aplicar el operador Take a un matraz.
IsAbleToApply_21	Es capaz de aplicar el operador PickUp a un matraz.
IsAbleToApply_22	Es capaz de aplicar el operador Drop a un matraz.
IsAbleToApply_23	Es capaz de aplicar el operador Rinse a un matraz.
IsAbleToApply_24	Es capaz de aplicar el operador PutAll a un matraz.
IsAbleToApply_25	Es capaz de aplicar el operador Shake a un matraz.
IsAbleToApply_26	Es capaz de aplicar el operador Put a una botella de ácido sulfúrico.
IsAbleToApply_27	Es capaz de aplicar el operador Take a una botella de ácido sulfúrico.
IsAbleToApply_28	Es capaz de aplicar el operador PickUp a una botella de ácido sulfúrico.
IsAbleToApply_29	Es capaz de aplicar el operador Drop a una botella de ácido sulfúrico.
IsAbleToApply_30	Es capaz de aplicar el operador Goto a la unidad de secado.

Tabla 6.13: Lista de instancias de objetivos de tipo «Responsibility».

INSTANCIA OBJETIVO	DESCRIPCIÓN
Responsibility_01	Tomar las precauciones de seguridad necesarias al iniciar una actividad.
Responsibility_02	Comprobar antes de iniciar la práctica que todo el equipo y materiales necesarios se encuentran en condiciones adecuadas para su uso.
Responsibility_03	Ser responsable de limpiar y ordenar los materiales y equipo utilizados cuando ya no sean necesarios.

Tabla 6.14: Lista de instancias de objetivos de tipo «StressControl».

INSTANCIA OBJETIVO	DESCRIPCIÓN
StressControl_01	Ser capaz de gestionar el estrés en situaciones peligrosas.
StressControl_02	Ser capaz de gestionar el estrés en situaciones con tiempo limitado.

Tabla 6.15: Lista de instancias de objetivos de tipo «Autodidact».

INSTANCIA OBJETIVO	DESCRIPCIÓN
Autodidact_01	Es capaz de corregir una acción realizada de forma incorrecta sin realizar preguntas o solicitar pistas.

Tabla 6.16: Lista de instancias de objetivos de tipo «Autodidact».

INSTANCIA OBJETIVO	DESCRIPCIÓN
Initiative_01	Es capaz de llevar a cabo una acción adecuada que no se encuentra contemplada en el plan de la actividad o de la asignatura.

Además de establecer los objetivos que serán tenidos en cuenta a lo largo de la práctica, los instructores han desarrollado una rúbrica (véase Tabla 6.17) para la evaluación de la actividad. Esta rúbrica contiene tres criterios y cuatro niveles de desempeño (muy bajo, bajo, estándar y alto). Los estudiantes pueden visualizar los requisitos antes, durante y después de la actividad.

Tabla 6.17: Rúbrica de la actividad *Preparación de una disolución de ácido sulfúrico al 5%*.

Criterio	Desempeño			
	Muy bajo	Bajo	Estándar	Alto
Respetar las regulaciones de seguridad y las buenas prácticas de laboratorio.	El estudiante respeta menos del 20% de las regulaciones de seguridad y buenas prácticas de laboratorio (higiene, vestimenta, manipulación de productos).	El estudiante respeta menos de la mitad de las regulaciones de seguridad y buenas prácticas de laboratorio (higiene, vestimenta, manipulación de productos).	El estudiante respeta, al menos, la mitad de las regulaciones de seguridad y buenas prácticas de laboratorio (higiene, vestimenta, manipulación de productos).	El estudiante respeta más del 80% de las regulaciones de seguridad y buenas prácticas de laboratorio (higiene, vestimenta, manipulación de productos).
Comprender la importancia del proceso de preparación.	[0-5] El estudiante desconoce la información acerca de dos o más recursos requeridos (qué es, dónde está o para qué sirve) y necesita ayuda para usarlos durante el experimento.	[6-10] El estudiante desconoce información acerca de un recurso requerido (qué es, dónde está o para qué sirve) y necesita ayuda para usarlos durante el experimento.	[11-15] El estudiante conoce la información de todos los recursos requeridos pero necesita ayuda para usarlos durante el experimento.	[16-20] El estudiante es capaz de emplear todos los recursos requeridos sin ningún tipo de ayuda durante el experimento.
Elaboración de la disolución.	[0-10] El estudiante no es capaz de entregar a tiempo la composición resultante.	[11-20] El estudiante entrega la composición sin cumplir los requisitos mínimos.	[21-30] El estudiante entrega la composición cumpliendo los requisitos mínimos.	[31-40] El estudiante entrega la composición con los requisitos recomendados.

6.1.1. Adaptación de ON-SMMILE para el experimento 1

Una versión inicial de la actividad *Práctica del laboratorio virtual - plan de preparación de una disolución de ácido sulfúrico al 5%*, desarrollada para el primer experimento, ya fue implementada utilizando la Ontología del Estudiante (Clemente, 2011). Así pues, teniendo en cuenta que este trabajo incorpora una adaptación y extensión de dicha ontología (denominada ON-SMMILE), solamente será necesario adaptar esta nueva red modular de ontologías con las nuevas acciones y objetos que se han adherido en esta segunda versión del experimento. Para ello, se ha seguido la metodología establecida en la Sección 5.2 para la adaptación del sistema completo a nuevos entornos y dominios como el de este experimento. Además, conviene resaltar que las ontologías «LearningDesign» y «AssessmentRubric» deben contener la información referente al experimento (actividad, rúbrica, plan, etc.).

En la Figura 6.3 es posible apreciar las clases añadidas a la subjerarquía «GeometricObject» perteneciente a la jerarquía «StructuralKnowledge» para la realización de este experimento. Las entidades que aparecen en color amarillo representan las clases que fueron añadidas

en la primera versión del experimento mientras que las entidades de color verde ilustran las entidades adheridas en la segunda versión. Asimismo, la Figura 6.2 muestra las nuevas clases pertenecientes a la jerarquía «ProceduralKnowledge».

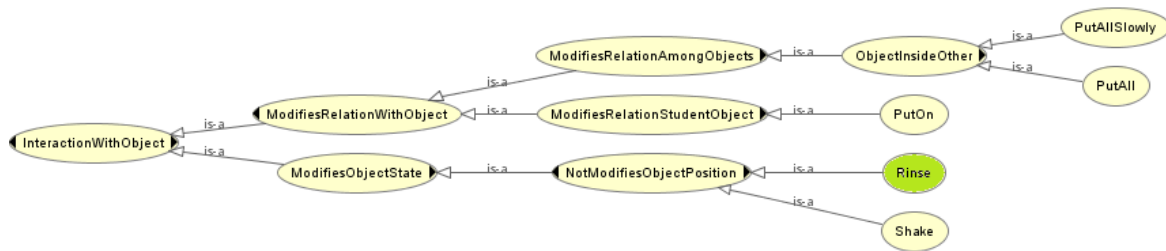


Figura 6.2: Clases añadidas a la jerarquía «ProceduralKnowledge».

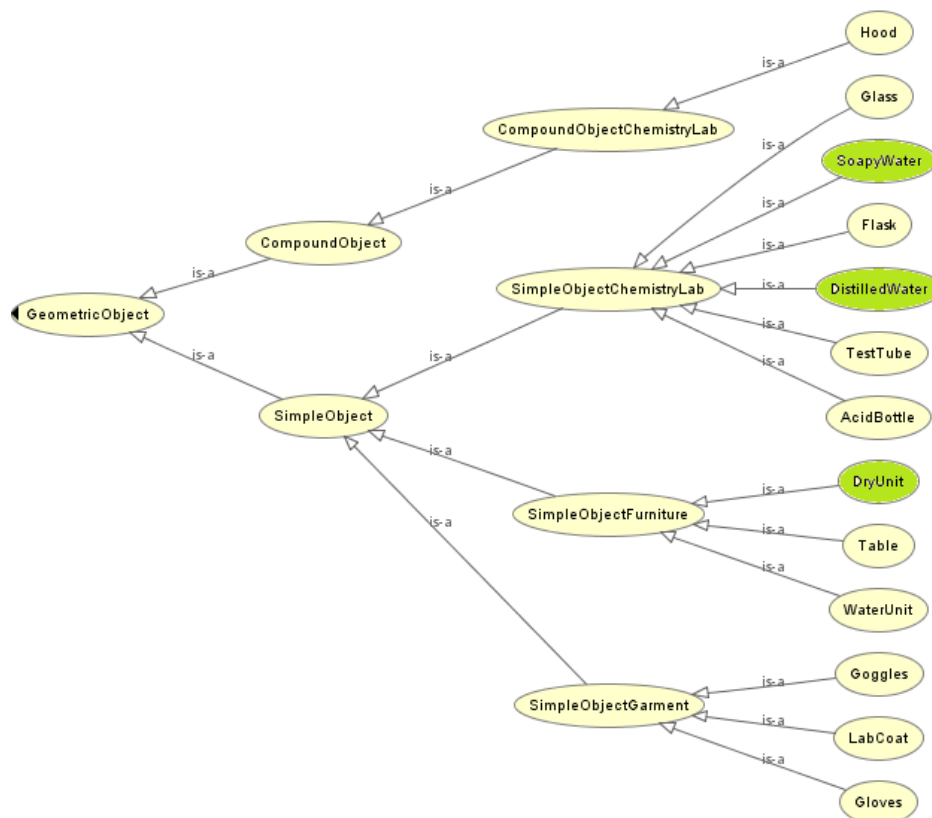


Figura 6.3: Clases añadidas a la jerarquía «GeometricObject».

6.1.2. Validación del experimento 1 mediante casos de prueba

Cuando un nuevo curso es creado, la ontología debe ser poblada con las actividades, objetivos de aprendizaje asociados con cada actividad, elementos de conocimiento involucrados en dichos objetivos e información personal acerca de cada estudiante. Como estado inicial, este primer experimento, de complejidad débil, ha sido preparado para realizarse en un contexto de trabajo familiar para los estudiantes, es decir, en un entorno previamente empleado por los alumnos. En concreto, el contexto de trabajo ha sido presentado en la actividad previa en la que se presentan y explican los diferentes materiales e instrumentos del laboratorio, así como su ubicación, a los estudiantes.

6.1.2.1. Experimento 1 - Caso de prueba 1

Carlos, el primer estudiante, lleva a cabo a tiempo todas las acciones de la actividad de manera satisfactoria y sin asistencia del tutor excepto para la acción 6 que consiste en “echar lentamente el ácido de la probeta 1 en el vaso de precipitado”. En este caso, Carlos realiza una pregunta básica al instructor acerca de la siguiente acción en el plan antes de completarla. Las preguntas quedan registradas como acciones puntuales a través de la clase «Ask» definida en la ontología «KnowledgeObject». A este respecto, muchos tipos de preguntas «WhereIs», «WhatIsNextActionInPlan», etc., y diferentes niveles de preguntas (básico, general y avanzado) son tenidos en cuenta en el modelo. A lo largo de esta actividad, después de registrar en la ontología cada acción ejecutada, múltiples reglas de diagnóstico pueden ser disparadas y, como consecuencia, algunas conclusiones son inferidas o asumidas acerca del estado de conocimiento del estudiante. A modo de ejemplo, la pregunta del estudiante acerca de la siguiente acción a realizar antes de la acción 6, permite asumir, por ejemplo, que: (1) el estudiante es precavido y (2) el estudiante no sabe cuál es la siguiente acción en el plan. Por tanto, el método de diagnóstico infiere que el estudiante no sabe el plan a partir de la Regla R_{DO07} y el sistema de recomendación podría aconsejarle saber el plan de la actividad (véase Regla R_{REC01}).

$$R_{DO07} : SI \neg Sabe(Sgte_Accion_En_Plan(acc_x)) \rightarrow \neg Sabe(Plan(plan_y)) \quad (6.1)$$

$$R_{REC01} : SI \neg Sabe(plan_x) \rightarrow Recomendar(Sabe(plan_x)) \wedge Prioridad_Recomendacion("Alta") \quad (6.2)$$

En un segundo intento, después de completar exitosamente el plan de la actividad, en una o más sesiones, al final de la ejecución del proceso de evaluación de su desempeño, se asume que Carlos ha obtenido una puntuación alta en todos los criterios de la rúbrica asociada (véase Tabla 6.17) fortaleciendo las conclusiones positivas obtenidas previamente. Como resultado de la puntuación de la rúbrica, la propiedad «FactorActivityKnowledge» es modificada al valor 9,5 y la regla de desempeño R_{D013} (véase Regla 6.3) se dispara. El lanzamiento de esta regla permite al instructor asumir que el estudiante tiene un nivel de experiencia experto en la actividad si el valor de su propiedad «FactorActivityKnowledge» en la actividad es mayor que el valor *umbral_experto*. En consecuencia, un tutor humano o software podría recomendarle como estrategia de aprendizaje afrontar una actividad con competencias de mayor complejidad (véase Regla 6.4).

$$R_{D013} : Estudiante(?est_x) \wedge Realiza_Actividad(?est_x, ?act_y) \wedge Nivel_Con_Act(?act_y, ?nivel_z) \wedge mayor(?nivel_z, umbral_experto) \rightarrow Nivel_Experiencia(?act_y, "Experto") \quad (6.3)$$

$$\begin{aligned}
R_{REC34} : & SI \text{ Nivel_Experiencia}(act_x, \text{"Experto"}) \wedge \\
& \text{Actividad_Difiere_En}(act_x, act_{x'}, com_y) \wedge \\
& \text{Tiene_Competencia}(act_x, com_y) \wedge \\
& \text{Tiene_Competencia}(act_{x'}, com_{y'}) \wedge \\
& \text{Difiere_En}(com_y, com_{y'}, complejidad) \wedge \\
& \text{Criterio_Definido}(com_y, complejidad, \text{"Debil"}) \wedge \\
& \text{Criterio_Definido}(com_{y'}, complejidad, \text{"Media"}) \rightarrow \\
& \text{Recomendar}(act_{x'})
\end{aligned} \tag{6.4}$$

6.1.2.2. Experimento 1 - Caso de prueba 2

Alicia, la segunda estudiante, realiza correctamente el plan de la actividad hasta la acción 3 “echar el agua de la probeta 2 en el vaso de precipitado”. A continuación, “echa 10ml de ácido sulfúrico en la probeta 1” correspondiente a la acción 5, sin realizar la acción 4. Esta es una acción compuesta que consiste en “ir a por el vaso de precipitado”, “coger el vaso de precipitado”, “ir a la campana extractora de gases” y “dejar el vaso de precipitado”. Como resultado de esta omisión, la regla de diagnóstico R_{DO18} (véase Regla 6.5), entre otras, es disparada.

$$\begin{aligned}
R_{DO18} : & \text{Plan}(?plan_x) \wedge \\
& \text{Aplicar}(?ac_y) \wedge \\
& \text{Sgte_Accion_En_Plan}(?plan_x, ?ac_z) \wedge \\
& \neg EQ(?ac_y, ?ac_z) \wedge \\
& \text{Esta_Accion}(?ac_y, ?plan_x) \rightarrow \\
& \text{AddSM}(\text{Sabe}(\text{Esta_Accion}(?ac_y, ?plan_x))) \wedge \\
& \text{AddSM}(\neg \text{Sabe}(\text{Sgte_Accion_En_Plan}(?plan_x, ?ac_z)))
\end{aligned} \tag{6.5}$$

Mediante esta regla, los objetivos: (1) “la estudiante sabe que el operador aplicado, *put*, aparece más tarde en el plan” y (2) “la estudiante no sabe que el siguiente operador en el plan es *goto*”, son inferidos. Enfocándonos en este segundo objetivo, la instancia de estado del objetivo “sabe que el siguiente operador en el plan es *goto*” en la ontología es modificada actualizando el valor de su propiedad «achieved» de *unknown* a *false*. Teniendo en cuenta que sustancias como el ácido sulfúrico deberían ser tratadas en la campana extractora de gases para limitar la exposición a gases tóxicos o dañinos, la acción podría haber sido considerada ligeramente peligrosa si hubiese sido ejecutada en un entorno real en lugar de en un EVIE. En consecuencia, la estrategia de tutoría decide dar una segunda oportunidad a Alicia sin ningún tipo de pista o cualquier otro soporte. Es importante resaltar que, para esta secuencia de acciones, otras estrategias de tutoría más estrictas podrían haber sido aplicadas si se considera que existe cierto riesgo para continuar la actividad.

En este segundo intento, Alicia repite la secuencia de acciones cometiendo de nuevo el mismo fallo. Por consiguiente, la regla R_{DO18} (véase Regla 6.5) se dispara de nuevo. Puesto que hay una instancia en la ontología asociada con este estado de objetivo con la propiedad «achieved» establecida a *false*, la acción AddSM actualiza la ontología incrementando en 1 el valor de la propiedad «currentLevelReliability». En consecuencia, la estrategia de tutoría decide que la estudiante no está bien preparada para esta práctica y el tutor toma el control en el

resto de la actividad proporcionando a la estudiante retroalimentación mediante la explicación de su fallo y la explicación acerca de las siguientes acciones a ser ejecutadas en el resto del plan. En este punto, la propiedad «interruptedByTutor» perteneciente a la clase «ActivityState» es actualizada de *false* a *true* y la estudiante recibe la recomendación de realizar una actividad que difiere únicamente en la disminución de la complejidad de alguna competencia.

Como consecuencia del proceso de diagnóstico, se asume que la estudiante ha alcanzado los objetivos relacionados con las tres primeras acciones con un nivel de desempeño estándar o alto. Sin embargo, Alicia no ha alcanzado el objetivo “sabe que el siguiente operador en el plan es *gato*” ya que hay una instancia de este objetivo con la propiedad «achieved» establecida a *false* y el valor de «levelCurrentReliability» establecido a 2. Puesto que el tutor toma el control de la actividad, la regla R_{D20} (véase Regla 6.6) es activada.

$$\begin{aligned}
 R_{D16} : & \textit{Si} \textit{ Aplica}(acc_x) \wedge \\
 & \textit{Es_Peligrosa}(acc_x) \wedge \\
 & \textit{Interrumpida_Por_Tutor}(act_y) \rightarrow \\
 & \textit{Nivel_Experiencia}(act_y, nivel_z) \wedge \\
 & \textit{Menor}(nivel_z, \textit{“Experto”})
 \end{aligned} \tag{6.6}$$

Esta regla de desempeño es capaz de asumir que el/la estudiante obtiene un nivel de experiencia menor a experto en una actividad si el tutor decide interrumpir la sesión del estudiante a causa de que realice incorrectamente una acción peligrosa. En términos ontológicos, el nivel de experiencia *Novato* o *Intermedio* es registrado en la propiedad «experienceLevel» de la clase «ActivityState» perteneciente a la ontología «StudentState». Mediante el lanzamiento de la regla R_{D16} unido a otras reglas de diagnóstico, se asume que Alicia tiene un nivel de experiencia de novato en la actividad y, por consiguiente, ella no reúne los requisitos para superarla. Por esta razón, el tutor podría recomendarla la lectura de un recurso que demuestre cómo se aplica la acción realizada incorrectamente (véase Regla R_{REC10}), el logro de la competencia de ser capaz de aplicar una acción con una determinada calidad (véase Regla R_{REC04}), etc.

$$\begin{aligned}
 R_{REC04} : & \textit{SI} \textit{ Es_Capaz_De_Aplicar}(acc_x, calidad_y) \wedge \\
 & \textit{Puede_Obtener_Meta_Con_Calidad}(acc_x, meta_a, calidad_z) \wedge \\
 & \textit{Mayor}(calidad_z, calidad_y) \rightarrow \\
 & \textit{Recomendar}(\textit{Es_Capaz_De_Aplicar}(acc_x, calidad_z))
 \end{aligned} \tag{6.7}$$

$$\begin{aligned}
 R_{REC10} : & \textit{SI} \textit{ Es_Capaz_De_Aplicar}(acc_x, calidad_pesima) \wedge \\
 & \textit{Usado_En_Competencia}(\textit{recurso_aprendizaje}_y, \textit{Demuestra}(acc_x) \rightarrow \\
 & \textit{Recomendar}(\textit{recurso_aprendizaje}_y)
 \end{aligned} \tag{6.8}$$

6.1.2.3. Experimento 1 - Caso de prueba 3

David, el tercer estudiante, ejecuta correctamente las primeras cinco acciones del plan de la actividad. A continuación, “echa lentamente el agua del vaso de precipitado en la probeta 1” en lugar de “echar lentamente el ácido de la probeta 1 en el vaso de precipitado”. Después de la

ejecución de esta acción, la regla R_{DO13} (véase Regla 6.9), entre otras, es disparada. Esta regla representa que “si el estudiante aplica un operador de una acción que involucra una tupla de una relación entre varios objetos y el operador y los objetos de esta acción son los mismos que los de la siguiente acción en el plan pero el orden de los objetos en la tupla es incorrecto” entonces es posible asumir que: (1) el estudiante no sabe que el orden de los argumentos es relevante y (2) el desconoce cuál es el orden correcto de los argumentos.

$$\begin{aligned}
R_{DO13} : & Sgte_Accion_En_Plan(?plan_y, ?ac_x) \wedge \\
& Orden_Args_Es_Relevante(?ac_x') \wedge \\
& Args_Precedente(?ac_x, ?obj_{z1}) \wedge \\
& Aplicar(?ac_x) \wedge \\
& Objsgte_Accion_En_Plan(?plan_y, obj_{z2}) \wedge \\
& \neg EQ(?obj_{z1}, ?obj_{z2}) \rightarrow \\
& AddSM(\neg Sabe(Orden_Args_Es_Relevante(?ac_x'))) \wedge \\
& AddSM(\neg Sabe(Args_Precedente(?ac_x, ?obj_{z1})))
\end{aligned} \tag{6.9}$$

En este caso nos vamos a enfocar en el segundo objetivo de la regla. Puesto que esta actividad de David no ha sido previamente evaluada, el estado del objetivo “el estudiante conoce el orden de los argumentos” en la ontología antes del lanzamiento de la regla era «achieved» = *unknown*. Después de que la regla R_{DO13} se dispare, el valor *false* es asignado a la propiedad «achieved» y el valor 1 a la propiedad «levelCurrentReliability». Es importante enfatizar que la aplicación de la acción en un orden incorrecto de los argumentos podría producir efectos peligrosos como la salpicadura de ácido o la explosión. Por lo tanto, no es solo una acción incorrecta sino, también, muy peligrosa para los estudiantes en un entorno real. A pesar que los ejemplos están siendo realizados en un EVIE donde el riesgo inherente de las acciones peligrosas, como la última, es evitado, el tutor interrumpe inmediatamente la sesión actual del estudiante y le recomienda una revisión en profundidad de los materiales de aprendizaje antes de que él pueda intentar la actividad de nuevo (véase Regla R_{REC10}). Al igual que en ejemplos previos, es importante resaltar que otras estrategias de tutoría más o menos estrictas podrían ser aplicadas en este punto.

$$\begin{aligned}
R_{REC10} : & SI Es_Capaz_De_Aplicar(acc_x, calidad_pesima) \wedge \\
& Usado_En_Competencia(recurso_aprendizaje_y, Demuestra(acc_x) \rightarrow \\
& Recomendar(recurso_aprendizaje_y)
\end{aligned} \tag{6.10}$$

Debido a los resultados obtenidos durante el proceso de diagnóstico, el estudiante ha alcanzado un nivel de desempeño muy bajo en el objetivo “sabe que el orden de los argumentos en la acción 6 es relevante”. De manera similar al ejemplo previo, mediante la regla R_{D16} (véase Regla 6.6) y el lanzamiento de otras reglas, se asume que el estudiante tiene un nivel de experiencia de novato en la actividad y la decisión de recomendarle la realización de una actividad que difiere únicamente en el nivel de los indicadores de desempeño de las competencias no alcanzadas es reforzada (véase Regla R_{REC37}).

$$\begin{aligned}
R_{REC37} : & SI \text{ Nivel_Experiencia}(act_x, \text{"Novato"}) \wedge \\
& Actividad_Difiere_En(act_x, act_{x'}, com_y) \wedge \\
& Tiene_Competencia(act_x, com_y) \wedge \\
& Tiene_Competencia(act_{x'}, com_{y'}) \wedge \\
& Difiere_En(com_y, com_{y'}, contexto) \wedge \\
& Criterio_Definido(com_y, contexto, \text{"Parcialmente desconocido"}) \wedge \\
& Criterio_Definido(com_{y'}, contexto, \text{"Familiar"}) \rightarrow \\
& Recomendar(act_{x'})
\end{aligned} \tag{6.11}$$

6.2. Experimento II: Aprendizaje en un laboratorio de sistemas operativos

El segundo experimento se centra en la validación de toda la red de ontologías ON_SMMILE. En este proceso se presta especial atención en la validación de la extensión de la Ontología del Estudiante realizada en esta tesis, en concreto, de la extensión de la ontología de competencias siguiendo la propuesta de Paquette y colegas (Paquette, 2007), así como de las ontologías de indicadores de desempeño, diseño instruccional y rúbricas. Adicionalmente, también se comprueba el buen funcionamiento de la herramienta de recomendación desarrollada a lo largo de este trabajo. Para llevar a cabo este experimento, se ha decidido modelar una experiencia de aprendizaje (desde cero) consistente en una práctica de laboratorio de sistemas operativos.

En particular, la práctica en la que se basa este experimento consiste en la implementación parcial de un intérprete de órdenes, como la *bash shell*, de uso frecuente en entornos unix con el fin de determinar el logro de las competencias relacionadas principalmente con gestión de procesos, servicios POSIX y uso de herramientas de desarrollo en este tipo de entornos. Tiene una duración estimada de diez horas presenciales (cinco semanas), requiere conocimientos básicos del lenguaje C y de manejo del intérprete de órdenes. La práctica es la tercera actividad de la asignatura por lo que ya existe en la red modular información previa sobre los estudiantes (estado de competencias, perfil del estudiante, etc.). La práctica tiene una duración de cinco sesiones de laboratorio y posee como requisitos previos que el estudiante posea conocimientos básicos del lenguaje C.

La práctica, compuesta por siete fases, se lleva a cabo en grupos de cuatro personas donde cada estudiante tiene asociado un rol principal en cada fase. Los roles creados son: líder, programador, evaluador y documentalista. A continuación se describen brevemente sus tareas en la actividad:

- El líder es el encargado de planificar las tareas de esa fase, resolver los conflictos entre los integrantes del grupo, supervisar y apoyar al resto de estudiantes y validar que todos los miembros han realizado su tarea de forma exitosa.
- El programador es el responsable de desarrollar la funcionalidad requerida en el lenguaje de programación C. Debe hacerlo respetando un estilo de programación adecuado sin crear código innecesario (variables o funciones), declarando variables con nombres significativos, creando código que sea fácilmente legible y comprensible por otras personas, etc.
- El evaluador debe ser capaz de validar que el código implementado por el programador funciona correctamente. Para ello, debe probar diferentes secuencias de comandos. También debe comprender el código escrito por el programador e informar de cualquier posible error que haya podido cometer.

- El documentalista tiene como funcionalidad principal la de comentar el código desarrollado por el programador. La documentación debe ser: correcta, adecuada (longitud, fragmento comentado) y comprensible.

Además de sus tareas específicas, todos, independientemente de su rol, deben colaborar con el resto de compañeros cuando sea necesario, deben reunirse para resolver cualquier conflicto, establecer los objetivos de la fase o comentar las dificultades encontradas. Al finalizar la actividad todos deben ser capaces de comprender y resolver de nuevo el problema completo y, por tanto, demostrar un desempeño estándar en cualquiera de las subactividades o fases del problema que se le puedan plantear.

6.2.1. Diseño de experiencia de aprendizaje

En primer lugar, se ha llevado a cabo la fase de planificación descrita en los párrafos previos. En segundo lugar, se establecen los resultados de aprendizaje a alcanzar por parte de los estudiantes. En este caso, se va a seguir una propuesta similar a la de Paquette y colegas (2016), por lo que los resultados de aprendizaje tendrán asociado un nivel de habilidad y un nivel de desempeño mínimo. Este último está formado por las propiedades de autonomía, complejidad, frecuencia, alcance y contexto. Además, es necesaria la superación de todas las propiedades previas para alcanzar el resultado de aprendizaje. Para definir los resultados, se ha decidido emplear los verbos aconsejados por la ANECA (2009). A pesar de que estos verbos fueron propuestos para el modelo cognitivo de Bloom, es posible aplicar la gran mayoría a la taxonomía de Paquette. Además, debido al contexto en el que se fundamenta esta actividad, muchos de los resultados a especificar pertenecen al meta-dominio cognitivo por lo que se adecuan perfectamente a ambas taxonomías (Bloom y Paquette). A continuación, se muestran algunos ejemplos de resultados de aprendizaje.

Nombre: Distinguir funcionalidades Shell		ID: SSOO_P3_N2.1
Descripción: Distinguir las funcionalidades implementadas en una Shell completa de Unix y las funcionalidades implementadas en el intérprete de órdenes de la práctica y lo que esto implica respecto a los resultados obtenidos al ejecutar diversas órdenes en ambos casos.		
Propiedades generales:		
Habilidad: Identificar (2)	Metadominio: Cognitivo	Desempeño: Familiar (2)
Criterios:		
Frecuencia: Varias veces (2)	Autonomía: Sin ayuda (3)	Contexto: Familiar (1)
Ámbito: Bastantes casos (2)	Complejidad: Débil (1)	Nº veces/Intentos: 1/2

(a) Resultado de aprendizaje 1.

Nombre: Identificar servicios POSIX gestión procesos		ID: SSOO_P3_N2.2
Descripción: Identificar los servicios POSIX de gestión de procesos necesarios para la ejecución de órdenes internas y externas; en primer y segundo plano.		
Propiedades generales:		
Habilidad: Identificar (2)	Metadominio: Cognitivo	Desempeño: Familiar (2)
Criterios:		
Frecuencia: Varias veces (2)	Autonomía: Ayuda puntual (2)	Contexto: Familiar (1)
Ámbito: Bastantes casos (2)	Complejidad: Débil (1)	Nº veces/Intentos: 1/2

(b) Resultado de aprendizaje 2.

Figura 6.4: Resultados de aprendizaje 1 y 2.

Nombre: Completar código comunicación procesos		ID: SSOO_P3_N3.1
Descripción: Completar diferentes fragmentos de código relacionados con el funcionamiento de los servicios POSIX de comunicación de procesos (servicios POSIX de pipes y señales).		
Propiedades generales:		
Habilidad: Aplicar (5)	Metadominio: Cognitivo	Desempeño: Familiar (2)
Criterios:		
Frecuencia: Varias veces (2)	Autonomía: Ayuda puntual (2)	Contexto: Parc. desc. (2)
Ámbito: Algún caso (1)	Complejidad: Media (2)	Nº veces/Intentos: 2/3

(a) Resultado de aprendizaje 3.

Nombre: Programar ciclo ejecución Shell		ID: SSOO_P3_N3.2
Descripción: Programar el ciclo de ejecución del intérprete de órdenes.		
Propiedades generales:		
Habilidad: Aplicar (5)	Metadominio: Cognitivo	Desempeño: Familiar (2)
Criterios:		
Frecuencia: Varias veces (2)	Autonomía: Ayuda puntual (2)	Contexto: Parc. desc. (2)
Ámbito: Bastantes casos (2)	Complejidad: Débil (1)	Nº veces/Intentos: 2/3

(b) Resultado de aprendizaje 4.

Figura 6.5: Resultados de aprendizaje 3 y 4.

Nombre: Programar ordenes internas Shell	ID: SSOO_P3_N3.3
Descripción:	
Programar la ejecución de órdenes internas del intérprete de órdenes.	
Propiedades generales:	
Habilidad: Aplicar (5)	Metadominio: Cognitivo Desempeño: Familiar (2)
Criterios:	
Frecuencia: Varias veces (2)	Autonomía: Ayuda puntual (2) Contexto: Parc. desc. (2)
Ámbito: Bastantes casos (2)	Complejidad: Media (2) Nº veces/Intentos: 2/3

(a) Resultado de aprendizaje 5.

Nombre: Programar ordenes externas primer plano	ID: SSOO_P3_N3.4
Descripción:	
Programar la ejecución en primer plano de órdenes externas simples del intérprete de órdenes.	
Propiedades generales:	
Habilidad: Aplicar (5)	Metadominio: Cognitivo Desempeño: Familiar (2)
Criterios:	
Frecuencia: Varias veces (2)	Autonomía: Ayuda puntual (2) Contexto: Parc. desc. (2)
Ámbito: Bastantes casos (2)	Complejidad: Media (2) Nº veces/Intentos: 2/3

(b) Resultado de aprendizaje 6.

Figura 6.6: Resultados de aprendizaje 5 y 6.

Nombre: Programar órdenes externas segundo plano	ID: SSOO_P3_N3.5
Descripción:	
Programar la ejecución en segundo plano de órdenes externas simples del intérprete de órdenes.	
Propiedades generales:	
Habilidad: Aplicar (5)	Metadominio: Cognitivo Desempeño: Productivo (3)
Criterios:	
Frecuencia: Varias veces (2)	Autonomía: Ayuda puntual (2) Contexto: Parc. desc. (2)
Ámbito: Bastantes casos (2)	Complejidad: Fuerte (3) Nº veces/Intentos: 2/3

(a) Resultado de aprendizaje 7.

Nombre: Programar redirecciones Shell	ID: SSOO_P3_N3.6
Descripción:	
Programar el uso de redirecciones de entrada y salida estándar (>, <) en el intérprete de órdenes.	
Propiedades generales:	
Habilidad: Aplicar (5)	Metadominio: Cognitivo Desempeño: Familiar (2)
Criterios:	
Frecuencia: Varias veces (2)	Autonomía: Ayuda puntual (2) Contexto: Parc. desc. (2)
Ámbito: Bastantes casos (2)	Complejidad: Media (2) Nº veces/Intentos: 2/3

(b) Resultado de aprendizaje 8.

Figura 6.7: Resultados de aprendizaje 7 y 8.

Nombre: Programar tuberías sin nombre shell	ID: SSOO_P3_N3.7
Descripción:	
Programar el uso de las tuberías sin nombres en el intérprete de órdenes.	
Propiedades generales:	
Habilidad: Aplicar (5)	Metadominio: Cognitivo Desempeño: Familiar (2)
Criterios:	
Frecuencia: Varias veces (2)	Autonomía: Ayuda puntual (2) Contexto: Parc. desc. (2)
Ámbito: Bastantes casos (2)	Complejidad: Fuerte (3) Nº veces/Intentos: 1/2

(a) Resultado de aprendizaje 9.

Nombre: Programar secuencia de órdenes Shell	ID: SSOO_P3_N3.8
Descripción:	
Programar la secuencia de órdenes (órdenes separadas por ";") en un intérprete de órdenes.	
Propiedades generales:	
Habilidad: Aplicar (5)	Metadominio: Cognitivo Desempeño: Productivo (3)
Criterios:	
Frecuencia: Varias veces (2)	Autonomía: Ayuda puntual (2) Contexto: Parc. desc. (2)
Ámbito: Bastantes casos (2)	Complejidad: Media (2) Nº veces/Intentos: 1/2

(b) Resultado de aprendizaje 10.

Figura 6.8: Resultados de aprendizaje 9 y 10.

Nombre: Aplicar herramientas de desarrollo clásicas	ID: SSOO_P3_N3.9
Descripción:	
Aplicar las herramientas de desarrollo clásicas en Unix: gcc, uso de bibliotecas estáticas, make, y gdb.	
Propiedades generales:	
Habilidad: Aplicar (5)	Metadominio: Cognitivo Desempeño: Familiar (2)
Criterios:	
Frecuencia: Varias veces (2)	Autonomía: Ayuda puntual (2) Contexto: Parc. desc. (2)
Ámbito: Bastantes casos (2)	Complejidad: Media (2) Nº veces/Intentos: 2/3

(a) Resultado de aprendizaje 11.

Nombre: Utilizar estilo de programación correcto	ID: SSOO_P3_N3.10
Descripción:	
Utilizar un estilo de programación (documentación incluida) correcto y uniforme en la programación del intérprete de órdenes.	
Propiedades generales:	
Habilidad: Aplicar (5)	Metadominio: Cognitivo Desempeño: Familiar (2)
Criterios:	
Frecuencia: Siempre (3)	Autonomía: Sin ayuda (3) Contexto: Familiar (1)
Ámbito: Todos los casos (3)	Complejidad: Débil (1) Nº veces/Intentos: 2/3

(b) Resultado de aprendizaje 12.

Figura 6.9: Resultados de aprendizaje 11 y 12.

Nombre: Programar mejoras		ID: SSOO_P3_N3.11
Descripción: Programar mejoras en el intérprete solicitado relacionadas con la simplificación de código, completitud de funcionalidades u otras ideas creativas.		
Habilidad: Aplicar (5)	Propiedades generales: Metadominio: Cognitivo	Desempeño: Familiar (2)
Criterios:		
Frecuencia: Alguna vez (1)	Autonomía: Sin ayuda (3)	Contexto: Desconocido (3)
Ámbito: Algún caso (1)	Complejidad: Media (2)	Nº veces/Intentos: 1/2

(a) Resultado de aprendizaje 13.

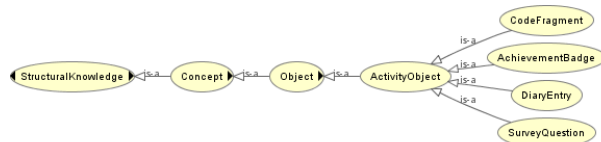
Nombre: Valorar participación compañeros		ID: SSOO_P3_N4.1
Descripción: Valorar de manera justificada y ética la participación de los compañeros al equipo en el proyecto desarrollado (actitud: perseverancia, responsabilidad, asistencia, capacidad de colaboración, capacidad de organización y liderazgo y resolución de conflictos).		
Habilidad: Analizar (6)	Propiedades generales: Metadominio: Social	Desempeño: Productivo (3)
Criterios:		
Frecuencia: Varias veces (2)	Autonomía: Sin ayuda (3)	Contexto: Familiar (1)
Ámbito: Todos los casos (3)	Complejidad: Débil (1)	Nº veces/Intentos: 3/5

(b) Resultado de aprendizaje 14.

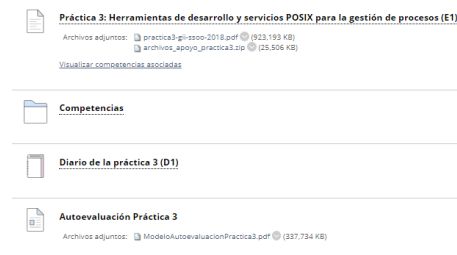
Figura 6.10: Resultados de aprendizaje 13 y 14.

Posteriormente, es necesario analizar todas las acciones que puede realizar un estudiante a lo largo de la actividad así como los objetos de conocimiento asociados a cada uno de los resultados de aprendizaje previamente definidos. De este modo, podrá extenderse la red de ontologías para incorporar nuevos elementos no definidos hasta el momento.

Debido al carácter semipresencial de la actividad, los estudiantes pueden realizar acciones: (a) de manera presencial, bien en el laboratorio en el que se desarrolla la actividad, bien en una tutoría en el despacho o, (b) de manera virtual mediante la plataforma *LMS*, a través de una tutoría virtual, etc. La plataforma *LMS* incluye las siguientes herramientas o contenidos visibles por los estudiantes cuya información ha sido añadida a la ontología (véase Figuras 6.11a y 6.11b):



(a) Extensión de la entidad «ActivityObject».



(b) Herramientas y contenidos en el *LMS*.

Figura 6.11: Actualización del *LMS* y la ontología.

- **Enunciado de la actividad.** Archivo pdf que describe competencias, instrucciones y tareas de la actividad. Adjunto a este archivo, se encuentran las rúbricas de evaluación de la actividad con los criterios y niveles de desempeño correspondientes.
- **Diario de bitácora.** Herramienta que permite a los estudiantes registrar los procedimientos seguidos e incidencias en la actividad. Las entradas en el diario tienen un formato preestablecido. En estas entradas se puede encontrar información sobre: (1) el nombre del alumno, (2) integrantes del grupo, (3) identificador del grupo, (4) número de fase, (5) rol del alumno en la fase, (6) aportación del alumno en la fase y (7) dificultades encontradas. Este diario es revisado por los profesores de la práctica que se encargan de analizar manualmente la información definida en los puntos 6 y 7 con el fin de registrar en la ontología las acciones, trazas y estado concreto del estudiante.
- **Logros de la práctica.** Conjunto de recompensas que pueden obtener cada uno de los estudiantes de acuerdo con las acciones llevadas a cabo en la actividad. Existen recompensas que pueden lograr todos los estudiantes y otras que solamente serán obtenidas por los que demuestren un desempeño superior en una tarea concreta.

- **Encuestas de coevaluación y autoevaluación.** Cuestionarios compuestos por un conjunto de preguntas para evaluar los diferentes indicadores de desempeño de cada estudiante de acuerdo con los roles ejercidos por ellos durante la actividad. Los estudiantes deben rellenar la encuesta para todos sus compañeros de grupo y para sí mismos. A partir de dichas encuestas se obtendrán el segundo tipo de logros mencionado anteriormente.

La información recogida en los contenidos y herramientas previamente definidos servirá como soporte, junto a la información registrada a través de las otras fuentes (tutorías, preguntas en clase, etc.), para establecer las recomendaciones personalizadas para cada uno de los usuarios.

Las tutorías virtuales y presenciales no siguen un formato preestablecido ya que los estudiantes deben poder expresar a través de ellas diferentes aspectos tales como cuestiones administrativas de la asignatura, cambios en el perfil del estudiante, dudas sobre la aplicación de una determinada acción, etc., o cualquier cuestión que ellos consideren relevante. Por tanto, debido al carácter semipresencial de la actividad y dado que la actividad concreta cuenta con un número razonable de estudiantes, los profesores se encargan de registrar manualmente esta información en la ontología. Para experiencias de aprendizaje con un número de estudiantes mayor, como puede ser un MOOC, es posible solicitar a los estudiantes que registren previamente toda la información relacionada con la tutoría siguiendo un modelo previamente establecido.

Las acciones a tener en cuenta para esta práctica por parte del estudiante son:

- **Planificar fase.** Esta actividad es llevada a cabo al inicio de cada fase y permite comprobar la capacidad de comunicación y organización de los usuarios. Cualquier problema surgido a partir de esta acción será notificado en el diario. Esta acción puede influir en el resultado de aprendizaje relacionado con la valoración de la participación de los compañeros. Asimismo, es posible realizar recomendaciones para fases posteriores a partir de los problemas detectados en las fases iniciales.
- **Desarrollar un fragmento de código.** Esta acción permite implementar nuevas funcionalidades a la aplicación. A partir de ella, es posible comprobar el nivel de desempeño en muchos de los resultados de aprendizaje asociados a la experiencia de aprendizaje. Esta acción únicamente podrá evaluarse una vez entregado el fragmento de código por lo que acciones como las tutorías o las entradas en el diario adquieren una mayor relevancia. El desarrollo del fragmento de código se basará en un diseño inicial sugerido por los instructores con anterioridad.
- **Realizar una prueba de la aplicación.** Esta acción ayuda a evaluar que se han implementado todas las acciones solicitadas en la fase y que se han llevado a cabo de manera correcta. Mediante esta acción es posible determinar si el alumno comprende los conceptos de la práctica. Por ejemplo, si introduce el símbolo que permite identificar tareas en segundo plano (&) pero lo sitúa en una posición errónea en la orden entonces, es posible inferir que, el estudiante, no sabe aplicar órdenes en segundo plano. En este caso se podría recomendar el logro de una competencia de un nivel menor como, por ejemplo, identificar la estructura de las órdenes en segundo plano.
- **Documentar un fragmento de código.** Esta acción permite evaluar de manera parcial, y tras la entrega de la práctica, la capacidad del estudiante para utilizar un estilo de programación correcto. En caso de que el estudiante no realice esta acción de manera correcta, es posible evaluar si es un problema parcial (y realizar las correcciones oportunas) o si es un problema total y recomendarle la lectura de materiales relacionados con esta temática.
- **Crear o modificar entrada en el diario.** Esta acción es clave en la experiencia de aprendizaje ya que permite llevar un seguimiento de los avances del estudiante en cada

sesión de trabajo en el laboratorio. Por ejemplo, a partir de una entrada en el diario es posible averiguar: (1) que un grupo de estudiantes está teniendo más dificultades de las previstas en una fase si llevan mucho tiempo sin publicar una entrada en el diario, (2) que un estudiante o grupo de estudiantes tiene dificultades con una determinada fase, especialmente útil en actividades de especial dificultad y envergadura como la descrita en este experimento, (3) que un estudiante se está planteando abandonar la asignatura, (4) que existen problemas con un integrante de un grupo, etc. Si cualquiera de estos sucesos se detecta de manera prematura, es posible ofrecer recomendaciones que ayuden a revertir la situación antes de que sea demasiado tarde.

- **Responder a un comentario en el diario.** Esta comunicación se producirá si y solo si el profesor estima que el estudiante debe mejorar su intervención en una fase de la práctica. En tal caso, el profesor recomendará la realización de un conjunto de acciones y el estudiante debería llevarlas a cabo y documentarlas en el diario.
- **Rellenar una encuesta de coevaluación.** Esta actividad permite evaluar la capacidad de un estudiante para valorar de manera justificada y ética la participación del resto de compañeros. Esta herramienta, junto con las entradas en el diario, permite descubrir problemas como la falta de interés de un compañero por realizar sus obligaciones o virtudes como la empatía con otros miembros del grupo.
- **Asistir a una tutoría presencial.** En caso de que el estudiante tenga algún problema de comprensión o deba realizar una comunicación importante al profesor, puede solicitar una tutoría presencial. Estas tutorías tienen un formato abierto para permitir al estudiante expresar todo lo que desee. Mediante estas tutorías, es posible detectar un cambio de estado o del perfil del estudiante.
- **Participar en una tutoría virtual.** De igual modo, los estudiantes pueden comunicarse mediante correo electrónico, Skype, etc., con los profesores para preguntar cualquier duda o realizar alguna comunicación. Estas tutorías virtuales pueden implicar cambios en el estado o perfil del estudiante y, por lo tanto, dar lugar a nuevas recomendaciones.
- **Resolver conflictos.** Esta acción implica permitir expresarse a todos los miembros implicados en la controversia y, en base a los argumentos presentados, tomar la decisión que se estime más positiva para el grupo. Los resultados de esta acción deben ser recogidos en el diario de bitácora y sirven para evaluar el resultado de aprendizaje relacionado con la participación de los compañeros. Además, es una capacidad muy valorada en los líderes de proyectos.
- **Solicitar pista.** Cuando el estudiante tiene dudas acerca de la siguiente acción, puede solicitar una pista al profesor durante las sesiones de laboratorio. El profesor debe decidir si le ofrece o no una pista al estudiante y qué tipo de pista. El estudiante puede solicitar pistas más generales, por ejemplo, ¿qué es lo siguiente que tengo que hacer? u otras más específicas, como por ejemplo: ¿cuál es la estructura de la orden?. Estas pistas deben ser recogidas en la traza del estudiante y permiten deducir información sobre el estado de conocimiento del estudiante. El número y tipo de pistas solicitadas por el estudiante puede ofrecer mucha información acerca de sus conocimientos lo que permite ajustar las recomendaciones. Por ejemplo, un estudiante que solicita muchas pistas acerca de una competencia probablemente no comprenda bien los conceptos clave asociados con dicha competencia. En este caso, es posible recomendarle la realización de una competencia que difiera únicamente en la reducción de los valores de los criterios de desempeño (en un contexto familiar, alcanzarla de manera parcial, etc.) y cuando el estudiante domine la competencia con los nuevos criterios, se aumenta progresivamente la dificultad.
- **Ayudar a otro compañero.** En caso de que un compañero tenga dificultades a la hora de realizar su tarea, otro integrante del grupo puede ofrecerle apoyo en la realización de la misma. Esta acción muestra compromiso y solidaridad y debería quedar reflejada tanto en el diario como en las encuestas de coevaluación.

Tras definir todas las acciones posibles a realizar por un estudiante durante la experiencia de aprendizaje del experimento II, se requiere definir en la ontología aquellas acciones no existentes hasta el momento. En este sentido, la entidad «PunctualAction» perteneciente a la ontología «KnowldegeObject» ha sido completada tal y como se muestra en las Figuras 6.12 y 6.13. Cabe destacar que, si bien las acciones propuestas no son en realidad acciones simples, en este experimento se han considerado como tal en aras de simplificar el caso práctico y favorecer la comprensión del experimento.

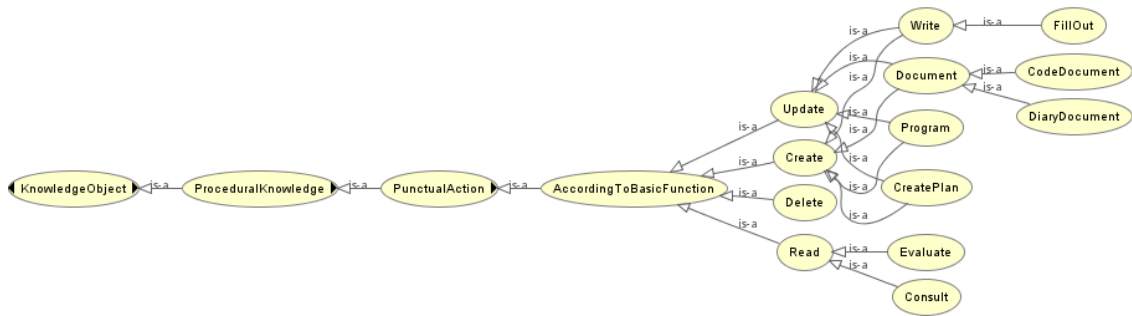


Figura 6.12: Extensión de la entidad «PunctualAction»(I).

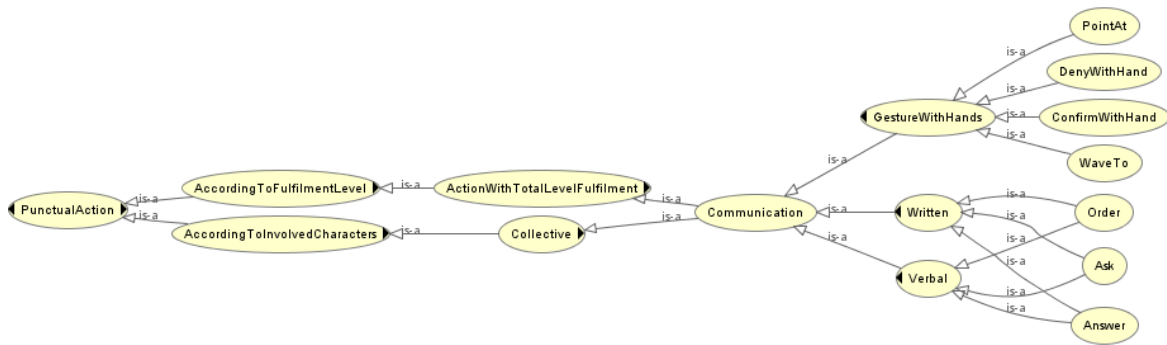


Figura 6.13: Extensión de la entidad «PunctualAction»(II).

Después de definir las acciones y los objetos relacionados con la experiencia de aprendizaje, se procede a mostrar el plan óptimo para dicha actividad. Este plan consta de 8 acciones (la mayoría compuestas) que deben ser realizadas secuencialmente (véase Figura 6.14).

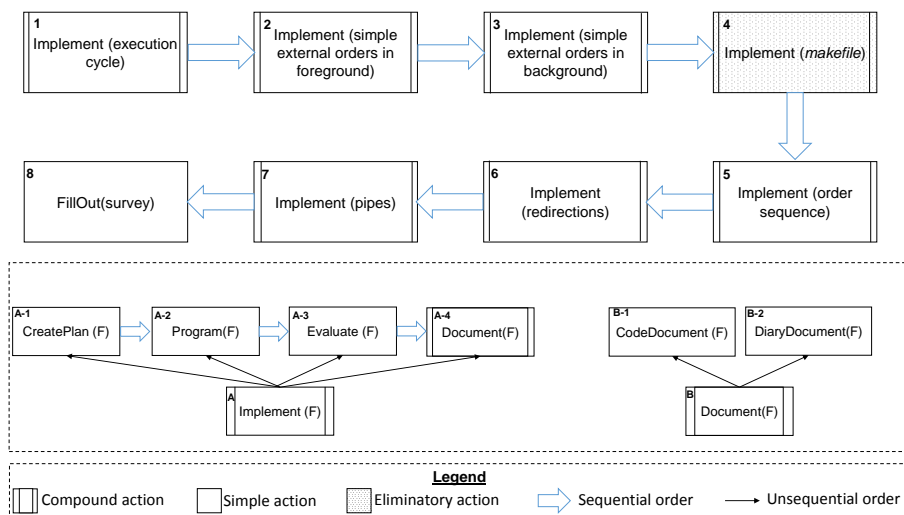


Figura 6.14: Plan de realización de la implementación parcial de un intérprete de órdenes.

Además de la figura previa, se muestra a continuación la Tabla 6.2.1 que contiene la codificación de las distintas acciones como operadores aplicados en la propia ontología. La tabla también muestra los objetos de conocimiento que son utilizados en cada acción.

Tabla 6.18: Codificación de las acciones del plan como operadores dentro de la ontología.

ACCIÓN	OPERADORES APLICADOS	OBJETOS DE CONOCIMIENTO
1. Implementar ciclo de ejecución de órdenes:		
1-1) Crear plan para la fase.	– CreatePlan(plan_1)	◇ plan_1
1-2) Programar el código del ciclo de ejecución.	– Program(codeFrag_1)	◇ codeFrag_1
1-3) Evaluar el código.	– Evaluate(codeFrag_1)	◇ codeFrag_1
1-4) Documentar el código.	– Document(codeFrag_1)	◇ codeFrag_1
1-5) Crear entrada en el diario.	– DiaryDocument(diaryEntry_1)	◇ diaryEntry_1
2. Implementar las órdenes externas en primer plano:		
2-1) Crear plan para la fase.	– CreatePlan(plan_2)	◇ plan_2
2-2) Programar órdenes externas en primer plano.	– Program(codeFrag_2)	◇ codeFrag_2
2-3) Evaluar el código.	– Evaluate(codeFrag_2)	◇ codeFrag_2
2-4) Documentar el código.	– Document(codeFrag_2)	◇ codeFrag_2
2-5) Crear entrada en el diario.	– DiaryDocument(diaryEntry_2)	◇ diaryEntry_2
3. Implementar las órdenes externas en segundo plano:		
3-1) Crear plan para la fase.	– CreatePlan(plan_3)	◇ plan_3
3-2) Programar órdenes externas en segundo plano.	– Program(codeFrag_3)	◇ codeFrag_3
3-3) Evaluar el código.	– Evaluate(codeFrag_3)	◇ codeFrag_3
3-4) Documentar el código.	– Document(codeFrag_3)	◇ codeFrag_3
3-5) Crear entrada en el diario.	– DiaryDocument(diaryEntry_3)	◇ diaryEntry_3
4. Implementar el <i>makefile</i>:		
4-1) Crear plan para la fase.	– CreatePlan(plan_4)	◇ plan_4
4-2) Programar <i>makefile</i> .	– Program(codeFrag_4)	◇ codeFrag_4
4-3) Evaluar el código.	– Evaluate(codeFrag_4)	◇ codeFrag_4
4-4) Documentar el código.	– Document(codeFrag_4)	◇ codeFrag_4
4-5) Crear entrada en el diario.	– DiaryDocument(diaryEntry_4)	◇ diaryEntry_4

Tabla 6.18: Codificación de las acciones del plan como operadores dentro de la ontología.

ACCIÓN	OPERADORES APLICADOS	OBJETOS DE CONOCIMIENTO
5. Implementar la secuencia de órdenes:		
5-1) Crear plan para la fase.	– CreatePlan(plan_5)	◇ plan_5
5-2) Programar secuencia de órdenes.	– Program(codeFrag_5)	◇ codeFrag_5
5-3) Evaluar el código.	– Evaluate(codeFrag_5)	◇ codeFrag_5
5-4) Documentar el código.	– Document(codeFrag_5)	◇ codeFrag_5
5-5) Crear entrada en el diario.	– DiaryDocument(diaryEntry_5)	◇ diaryEntry_5
6. Implementar las redirecciones:		
6-1) Crear plan para la fase.	– CreatePlan(plan_6)	◇ plan_6
6-2) Programar las redirecciones.	– Program(codeFrag_6)	◇ codeFrag_6
6-3) Evaluar el código.	– Evaluate(codeFrag_6)	◇ codeFrag_6
6-4) Documentar el código.	– Document(codeFrag_6)	◇ codeFrag_6
6-5) Crear entrada en el diario.	– DiaryDocument(diaryEntry_6)	◇ diaryEntry_6
7. Implementar las tuberías:		
7-1) Crear plan para la fase.	– CreatePlan(plan_7)	◇ plan_7
7-2) Programar las tuberías.	– Program(codeFrag_7)	◇ codeFrag_7
7-3) Evaluar el código.	– Evaluate(codeFrag_7)	◇ codeFrag_7
7-4) Documentar el código.	– Document(codeFrag_7)	◇ codeFrag_7
7-5) Crear entrada en el diario.	– DiaryDocument(diaryEntry_7)	◇ diaryEntry_7
8. Rellenar la encuesta:	FillOut(survey_1)	◇ survey Question_1-1 ◇ survey Question_1-2 ◇ survey Question_1-3

Además de establecer las competencias a alcanzar durante el desarrollo de la práctica, los instructores han desarrollado dos rúbricas para la evaluación de la actividad. La primera (véase Tabla 6.19) permite evaluar siete criterios mediante cuatro niveles de desempeño (ausencia de desempeño, bajo, estándar y alto). La segunda (véase Tabla 6.20) permite evaluar siete criterios mediante cinco niveles de desempeño (muy bajo, bajo, estándar, alto y muy alto).

Tabla 6.19: Rúbrica para la evaluación del trabajo individual de la actividad *Implementación parcial de un intérprete de órdenes*.

Criterio	Desempeño				
	Muy bajo	Bajo	Estándar	Alto	Muy alto
Capacidad de desarrollo de un diario individual.	El estudiante no escribe más de dos entradas en el diario o no respeta el formato prefijado. [0-6.6]	El estudiante no escribe una entrada por cada fase de la práctica y/o los detalles ofrecidos en la mayoría de los apartados son muy pobres. [6.66-13.2]	El estudiante escribe una entrada por cada fase de la práctica. Estas son demasiado escuetas y/o faltan detalles importantes en algún apartado. [13.2-19.8]	El estudiante escribe una entrada por cada fase de la práctica. Estas están bastante por menorizadas pero faltan detalles en algún apartado. [19.8-26.4]	El estudiante escribe una entrada por cada fase de la práctica. Las entradas están completamente detalladas. [26.4-33]
Grado de dominio de la aplicación demostrado en la defensa.	No asiste a la defensa o no es capaz de demostrar que ha tenido una participación en el desarrollo de la práctica. [0-6.8]	Es capaz de demostrar que comprende algunos conceptos de la práctica pero no es capaz de explicar el procedimiento realizado de manera clara. [6.8-13.6]	Es capaz de demostrar que comprende algunos de los conceptos de la práctica y es capaz de explicar el procedimiento realizado. [13.6-20.4]	Es capaz de demostrar que comprende casi todos los conceptos de la práctica y es capaz de explicar el procedimiento realizado. [20.6-27.2]	Es capaz de demostrar que comprende todos los conceptos de la práctica y es capaz de explicar el procedimiento realizado de manera clara. [27.2-34]
Asistencia y puntualidad.	No asiste a ninguna de las reuniones del grupo y/o llega considerablemente tarde. [0-1.3]	Asiste a menos de la mitad de las reuniones y/o llega con poca puntualidad. [1.3-2.6]	Asiste habitualmente a las reuniones del grupo y lo hace de manera puntual. [2.6-3.9]	Asiste a todas las reuniones del grupo y lo hace, casi siempre, de manera puntual. [3.9-5.2]	Asiste a todas las reuniones del grupo y lo hace de manera puntual. [5.2-6.5]
Grado de responsabilidad y perseverancia.	No cumple nunca con sus responsabilidades en la práctica y/o las abandona al más mínimo problema. [0-1.3]	Rara vez cumple con sus responsabilidades y/o las abandona si no obtiene resultados en un breve periodo. [1.3-2.6]	Suele cumplir con sus responsabilidades pero las abandona si no obtiene resultados en el plazo establecido. [2.6-3.9]	Suele cumplir con sus responsabilidades aunque lo haga fuera del plazo establecido. [3.9-5.2]	Cumple siempre con sus responsabilidades aunque lo haga fuera del plazo establecido. [5.2-6.5]
Capacidad de colaboración.	No colabora nunca con las tareas del resto de compañeros. [0-1.3]	Rara vez colabora con las tareas del resto de compañeros. [1.3-2.6]	Colabora habitualmente en las tareas sencillas. [2.6-3.9]	Colabora habitualmente en la mayoría de tareas. [3.9-5.2]	Colabora con los compañeros en todas las tareas. [5.2-6.5]
Grado de organización y liderazgo.	No participa en la organización de la práctica. [0-1.3]	Participa ligeramente en la organización de la práctica. [1.3-2.6]	Participa regularmente en la organización de la práctica. [2.6-3.9]	Contribuye ampliamente en la organización de la práctica. [3.9-5.2]	Demuestra grandes dotes de organización y liderazgo. [5.2-6.5]
Capacidad de resolución de conflictos.	No trata de resolver problemas o ayudar a otros a resolverlos. [0-1.3]	No sugiere o refina soluciones. A veces está dispuesto a tratar las propuestas por otros. [1.3-2.6]	No sugiere o refina soluciones, pero está dispuesto a tratar las propuestas por otros. [2.6-3.9]	A veces sugiere ideas y siempre ayuda a refinar soluciones sugeridas por otros. [3.9-5.2]	Busca y sugiere soluciones a los problemas. [5.2-6.5]

Tabla 6.20: Rúbrica para la evaluación del trabajo colectivo de la actividad *Implementación parcial de un intérprete de órdenes*.

Criterio	Desempeño			
	Ausencia de desempeño	Bajo	Estándar	Alto
Uso de un estilo de programación correcto y uniforme.	El estilo de programación utilizado es claramente pobre o no uniforme. [0]	El estilo de programación utilizado es uniforme pero claramente pobre. [0-4]	El estilo de programación utilizado es, en general, uniforme y adecuado. [4-8.5]	El estilo de programación es uniforme y correcto. [8.5-12.5]
Capacidad de desarrollo del ciclo básico de ejecución de una <i>minishell</i> .	Muestra incapacidad para realizar, con código de apoyo, el ciclo básico de ejecución de una <i>minishell</i> . [0]	Muestra capacidad para realizar dos de las funcionalidades del ciclo básico de ejecución de la <i>minishell</i> . [0-3]	Muestra capacidad para realizar la mayoría de las funcionalidades del ciclo de ejecución de la <i>minishell</i> . [3-7]	Muestra completa capacidad para desarrollar el ciclo básico de ejecución de una <i>minishell</i> . [7-10]
Aplicación de los servicios POSIX básicos de procesos en la ejecución de órdenes en 1 ^{er} y 2 ^o plano.	Muestra incapacidad para utilizar los servicios POSIX de procesos en el desarrollo de una <i>minishell</i> (con código de apoyo). [0]	Muestra solo capacidad para aplicar correctamente algunos de los servicios POSIX de creación y ejecución de procesos en la <i>minishell</i> . [0-5]	Muestra capacidad para aplicar los servicios POSIX de gestión de proc. para la implementación de órdenes externas simples en 1 ^{er} o 2 ^o plano. [5-10]	Muestra capacidad para aplicar los servicios POSIX de gestión de proc. para la implementación de órdenes externas simples en 1 ^{er} y 2 ^o plano. [10-15]
Capacidad de aplicación de la herramienta de desarrollo <i>make</i> .	Muestra incapacidad para aplicar, sin errores, el <i>make</i> ; define reglas incorrectas, una única regla o sin objetivo ficticio <i>clean</i> . [0]	Muestra capacidad para aplicar el <i>make</i> utilizando un archivo <i>Makefile</i> que no provoca errores pero no está adecuadamente construido. [0-4]	Muestra capacidad para aplicar el <i>make</i> utilizando un archivo <i>Makefile</i> que está adecuadamente construido pero sin opciones avanzadas. [4-8.5]	Muestra capacidad para aplicar correctamente el <i>make</i> utilizando un <i>Makefile</i> adecuadamente construido y con opciones avanzadas. [8.5-12.5]
Capacidad de implementación de una secuencia de órdenes (órdenes separadas por ;).	Muestra incapacidad para programar la ejecución de una secuencia de órdenes partiendo del código para la ejecución de una orden. [0]	Muestra capacidad para programar únicamente la ejecución de una secuencia de dos órdenes. [0-3]	Muestra capacidad para programar la ejecución de una secuencia de órdenes pero no funciona en alguno de los escenarios posibles. [3-7]	Muestra capacidad para programar correctamente la ejecución de una secuencia de órdenes. [7-10]
Implementación de las redirecciones en el intérprete de órdenes.	Muestra incapacidad para programar las redirecciones de entrada y salida en el intérprete de órdenes. [0]	Muestra haber realizado alguna de las redirecciones de entrada y salida pero no funciona correctamente en alguno de los escenarios posibles. [0-6]	Muestra haber realizado correctamente alguna de las redirecciones de entrada y salida pero no ambas. [6-12]	Muestra haber realizado correctamente las redirecciones de entrada y salida. [12-17.5]
Capacidad de implementación del uso de tuberías en el intérprete de órdenes.	Muestra incapacidad para programar el uso de tuberías en el intérprete de órdenes. [0]	Muestra capacidad solo para programar el uso de una única tubería pero no implementa la ejecución de órdenes con varios <i>pipes</i> . [0-7.5]	Muestra haber programado correctamente el uso de órdenes compuestas con varias tuberías salvo en algún escenario. [7.5-15]	Muestra haber programado correctamente el uso de órdenes compuestas con varias tuberías. [15-22.5]

6.2.2. Validación del experimento 2 mediante casos de prueba

Tal y como ya ha sido comentado en la metodología de adaptación del modelado y del método de diagnóstico y recomendación (véase Secciones 5.3.1 y 5.3.2), existen algunas actividades que deben ser llevadas a cabo en la fase de experimentación. Al igual que se realizó en el experimento 1 (véase Sección 6.1), estas actividades se refieren a la instanciación de los elementos independientes (Actividad 3) y dependientes del estudiante (Actividad 10).

Puesto que en el apartado anterior ya han sido definidos, en términos de las ontologías, los elementos independientes del estudiante (competencias, plan, rúbricas, etc.), esta sección se centrará en los elementos directamente relacionados con los estudiantes, por lo que se plantean diferentes casos de prueba relacionados con el experimento 2.

6.2.2.1. Experimento 2 - Caso de prueba 1

Debido a que la actividad requiere un trabajo en grupo de cuatro alumnos, Sofía, Sergio, Santiago y Sonia decidieron trabajar conjuntamente. Dichos estudiantes, acordaron, siguiendo el plan establecido, reunirse una vez por cada fase para planificar las tareas que desempeñarían cada uno de ellos en cada sesión. El grupo funcionó adecuadamente durante el desarrollo de la actividad repartiéndose las tareas de forma razonable, asistiendo al resto de compañeros cuando era necesario y completando la actividad con resultados por encima de lo esperado.

Como es lógico, los estudiantes tuvieron ligeras dificultades durante la experiencia de aprendizaje y, como consecuencia, plantearon algunas preguntas a los instructores responsables. Por ejemplo, Sonia preguntó para qué se utiliza el *GDB*. A partir de esta pregunta, es posible inferir que no sabe para que sirve esta herramienta y la regla R_{REC13} es disparada (véase Regla 6.12).

$$R_{REC13} : SI \neg Sabe(Para_Que_Sirve(obj_x)) \rightarrow Recomendador(Sabe(Usado_En(obj_x, lacc))) \quad (6.12)$$

Además, alguna acción no fue ejecutada con la máxima calidad logrando en los criterios asociados un desempeño estándar y recibiendo algunas recomendaciones de competencias. No obstante, el grupo superó la actividad. A continuación, se muestra, en formato tabla, algunas de las instancias generadas por este grupo de estudiantes para el experimento (véase Tablas 6.21, 6.23 y 6.22). Asimismo, se muestra, a modo de ejemplo, la regla R_{REC18} (relacionada con los indicadores de desempeño de una de las competencias) desencadenadas en esta actividad.

Tabla 6.21: Tabla de distribución de roles del primer grupo en la actividad del experimento 2.

Alumno	Líder	Programador	Evaluador	Documentalista
Sofía	Fases 3 y 5	Fase 7	Fases 1 y 6	Fases 2 y 4
Sergio	Fases 1 y 6	Fases 2 y 3	Fases 4 y 5	Fase 7
Sonia	Fase 4	Fases 1 y 6	Fase 2 y 7	Fases 3 y 5
Santiago	Fases 2 y 7	Fases 4 y 5	Fase 3	Fases 1 y 6

Tabla 6.22: Tabla de preguntas realizadas por los miembros del grupo.

Autor	Pregunta	Recomendación
Sonia	¿Para qué se utiliza el <i>GDB</i> ?	Revisar el recurso disponible acerca de para que sirve el <i>GDB</i> .
Santiago	¿En qué archivo se programa la secuencia de órdenes?	Identificar la estructura del proyecto.
Sergio	¿Es la orden <code>sleep 300</code> una orden en segundo plano?	Saber la estructura orden segundo plano.

Tabla 6.23: Tabla de indicadores de desempeño de los estudiantes para algunas de las competencias del experimento 2 (demostrado/predefinido como estándar).

Competencia	Frec.	Cont.	Comp.	Auton.	Alc.
Programar ciclo de ejecución shell ↑↑	3/2	2/2	1/1	3/2	2/2
Aplicar herramientas de desarrollo clásicas ↑	2/2	2/2	2/2	2/2	3/2
Utilizar un estilo de programación correcto →	3/3	1/1	1/1	3/3	3/3
Valorar participación de los compañeros →	2/2	1/1	1/1	3/3	3/3

$$\begin{aligned}
 R_{REC18} : & SI \text{ Alcanzada}(com_x) \wedge \\
 & Criterio_Definido(com_x, autonomia, "Ayuda puntual") \wedge \\
 & Instancia_De(com_{x'}, Competencia) \wedge \\
 & Difieren_En(com_x, com_{x'}, autonomía) \wedge \\
 & Criterio_Definido(com_{x'}, autonomía, "Sin ayuda") \rightarrow \\
 & Recomendar(com_{x'})
 \end{aligned} \tag{6.13}$$

6.2.2.2. Experimento 2 - Caso de prueba 2

Un segundo grupo formado por Nicolás, Noelia, Sara y Saúl trabaja conjuntamente para realizar el mismo experimento. En la práctica anterior, estos alumnos mostraron carencias de conocimiento que paliaron con la solicitud de una gran cantidad de pistas en sus respectivos grupos. En este caso, los estudiantes no se adaptan adecuadamente en el trabajo colectivo presentando mayores problemas durante la actividad que el grupo del experimento 1. Al igual que en el caso de prueba anterior, los estudiantes planifican el reparto de las tareas de manera razonable, pero la problemática surgida en las últimas fases impide que se cumpla esta planificación y son incapaces de adquirir determinadas competencias.

Noelia acude a una tutoría presencial porque no obtiene el resultado esperado a la hora de programar la redirección de entrada. Durante esta tutoría, el instructor comprende que la estudiante tiene graves problemas a la hora de manejar bien los servicios POSIX de archivos relacionados, e incorpora esta información a la red modular. En cuanto las reglas de la ontología son nuevamente disparadas, Noelia recibe, entre otras, la recomendación de revisar el material complementario en el que se explican los conceptos relacionados con los servicios POSIX de archivos (véase Regla R_{REC10}).

$$\begin{aligned}
 R_{REC10} : & SI \text{ Es_Capaz_De_Aplicar}(acc_x, calidad_pesima) \wedge \\
 & Usado_En_Competencia(recurso_aprendizaje_y, Demuestra(acc_x)) \rightarrow \\
 & Recomendar(recurso_aprendizaje_y)
 \end{aligned} \tag{6.14}$$

En la siguiente sesión de laboratorio, Nicolás, quien ya había tenido dificultades en actividades previas para comprender los conceptos de redirección y tubería, muestra síntomas evidentes de incapacidad para programar el uso de las tuberías. De hecho, únicamente consigue programar correctamente la minishell con una tubería a pesar del apoyo de sus compañeros. Durante esa sesión, el alumno realiza un elevado número de preguntas conceptuales relacionadas con la fase. Por ejemplo, ¿cómo se aplica el servicio POSIX `dup`? o ¿cuál es la diferencia entre `dup` y `dup2`? A partir de estas preguntas y de sus acciones, se infiere, entre otra información, que el estudiante no sabe diferenciar dos elementos de la misma clase (véase R_{DO16}) y recibe

la recomendación de identificar `dup` y `dup2` a partir de la regla R_{REC08} . Al finalizar la sesión, el sistema determina que Nicolás no ha alcanzado la competencia asociada con la aplicación de los servicios POSIX de comunicación y le recomienda al estudiante la competencia de demostrar los servicios POSIX de comunicación mediante la Regla R_{REC26} .

$$R_{REC08} : SI \neg Sabe_Elegir(objeto_{x'}, Objetos_De_Clase(clase_y)) \rightarrow \\ Recomendador(Identifica(Objetos_De_Clase(clase_y))) \quad (6.15)$$

$$R_{REC26} : SI \neg Alcanzada(com_x) \wedge \\ Habilidad_Definida(com_x, habilidad_y) \wedge \\ Nivel_Habilidad(habilidad_y, nivel_y) \wedge \\ Difieren_En_Habilidad(com_x, com_{x'}, habilidad) \wedge \\ Habilidad_Definida(com_{x'}, habilidad_z) \wedge \\ Nivel_Habilidad(habilidad_z, nivel_z) \wedge \\ Igual(nivel_y, nivel_z + 1) \rightarrow \\ Recomendador(com_{x'}) \quad (6.16)$$

Las Tablas 6.24 y 6.25 ilustran fragmentos de información que han sido registrados en la red de ontologías durante y después de la realización de la actividad. Esta información ha sido empleada como soporte para que determinadas reglas fuesen desencadenadas, tales como R_{REC25} y R_{REC17} .

Tabla 6.24: Tabla de indicadores de desempeño de los estudiantes para algunas de las competencias del experimento 2 (demostrado/predefinido como estándar).

Competencia	Frec.	Cont.	Comp.	Auton.	Alc.
Programar uso redirecciones entrada ↓↓	1/2	2/2	2/2	1/2	2/2
Programar uso redirecciones salida →	2/2	2/2	2/2	2/2	2/2
Programar uso tuberías sin nombre ↓↓	2/2	2/2	3/3	1/2	1/3

Tabla 6.25: Tabla de preguntas realizadas por los miembros del grupo.

Autor	Pregunta	Recomendación
Nicolás	¿Cómo se aplica el servicio POSIX <code>dup</code> ?	Identificar las funcionalidades del servicio POSIX <code>dup</code> .
Nicolás	¿Cuál es la diferencia entre <code>dup</code> y <code>dup2</code> ?	Saber para que sirven <code>dup</code> y <code>dup2</code> .

$$R_{REC25} : SI \neg Alcanzada(com_x) \wedge \\ Criterio_Definido(com_x, alcance, "Total") \wedge \\ Nivel_Desemp_Act_Crit(estud_y, com_x, alcance, nivel_z) \wedge \\ Mayor("Total", nivel_z) \wedge \\ Criterio_Definido(com_x, complejidad, "Media") \wedge \\ Difieren_En(com_x, com_{x'}, complejidad) \wedge \\ Criterio_Definido(com_{x'}, complejidad, "Debil") \rightarrow \\ Recomendador(com_{x'}) \quad (6.17)$$

$$\begin{aligned}
R_{REC17} : & SI \neg Alcanzada(com_x) \wedge \\
& Criterio_Definido(com_x, autonomia, "Ayuda puntual") \wedge \\
& Instancia_De(com_{x'}, Competencia) \wedge \\
& Difieren_En(com_x, com_{x'}, autonomía) \wedge \\
& Criterio_Definido(com_{x'}, autonomía, "Asistencia") \rightarrow \\
& Recomendar(com_{x'})
\end{aligned} \tag{6.18}$$

El grupo de alumnos de este segundo caso de prueba entrega la actividad tras la séptima sesión previamente descrita. Unos días más tarde, el instructor evalúa a los estudiantes mediante la rúbrica asociada a la entrega grupal. Los resultados se muestran en la Tabla 6.26.

Tabla 6.26: Tabla resumen del nivel de desempeño obtenido por los estudiantes en los criterios asociados a la actividad.

Criterio	Nivel de desempeño	Puntuación
- Uso de un estilo de programación correcto y uniforme.	Estándar	6
- Capacidad de desarrollo del ciclo básico de ejecución de una minishell.	Alto	10
- Aplicación de servicios POSIX de procesos en la ejecución de órdenes en 1 ^{er} y 2 ^o plano.	Estándar	8
- Capacidad de aplicación de la herramienta de desarrollo <i>make</i> .	Estándar	6.5
- Capacidad de implementación de una secuencia de órdenes (órdenes separadas por ;).	Alto	7
- Implementación de las redirecciones en el intérprete de órdenes.	Estándar	6
- Capacidad de implementación del uso de tuberías en el intérprete de órdenes.	Bajo	3.5

El sistema de recomendación tiene en cuenta los resultados de la rúbrica y recomienda a los estudiantes que refuercen aquellos criterios con un nivel de desempeño inferior a estándar. En este caso, mediante la Regla R_{REC33} , se recomienda el refuerzo de aquellas competencias no alcanzadas relacionadas con el criterio de implementación del uso de tuberías (programar el uso de tuberías sin nombre).

$$\begin{aligned}
R_{REC33} : & SI Competencias_Asociadas(crit_x, lcom) \wedge \\
& Contiene(lcom, com_y) \wedge \\
& Nivel_Crit_Rub(estud_z, crit_x, Menor("Estandar")) \wedge \\
& \neg Alcanzada(com_y) \rightarrow \\
& Recomendar(com_y) \wedge \\
& Prioridad_Recomendacion("Alta")
\end{aligned} \tag{6.19}$$

A modo de resumen, los estudiantes de este grupo reciben, entre otras, las siguientes recomendaciones antes, durante y tras la actividad (véase Tabla 6.27).

Tabla 6.27: Tabla resumen de recomendaciones recibidas antes, durante y después de la actividad.

Antes	Durante	Después
1.- Saber conceptos relacionados con redirecciones.	1.- Identificar el formato de las redirecciones.	1.- Programar el uso de tuberías sin nombre.
2.- Saber conceptos relacionados con tuberías.	2.- Saber conceptos relacionados con tuberías.	2.- Demostrar los servicios POSIX de comunicación
3.- Repetir actividad 2 sin ayuda	3.- Recurso sobre servicios POSIX de archivos	3.- Actividad de complejidad baja sobre el lenguaje C

6.2.2.3. Experimento 2 - Caso de prueba 3

Un tercer caso de prueba de este experimento representa la actividad desarrollada por Nuria, Nathan, Nazareth y Noel. Estos cuatro alumnos acordaron trabajar en equipo en la experiencia de aprendizaje. Antes de comenzar la actividad, este grupo de alumnos había mostrado carencias relacionadas con la comprensión de los servicios POSIX de comunicación. Además, Nazareth había recibido recomendaciones relacionadas con su rasgo de personalidad tímido diagnosticado en actividades previas (véase Regla R_{REC20}). Tras cuatro sesiones de trabajo, Nathan decide abandonar la actividad por lo que sus compañeros deben asumir también su trabajo (véase Tabla 6.28).

$$\begin{aligned}
 R_{REC20} : & SI \text{ Rasgo_Personalidad}(\text{"Tímido"}) \wedge \\
 & \text{Criterio_Definido}(\text{com}_x, \text{autonomia}, \text{"Asistencia"}) \wedge \\
 & \neg \text{Alcanzada}(\text{com}_x) \rightarrow \\
 & \text{Recomendar}(\text{Realiza_Pregunta}(\text{com}_x)) \wedge \\
 & \text{Prioridad_Recomendacion}(\text{"Alta"})
 \end{aligned} \tag{6.20}$$

Tabla 6.28: Tabla de distribución de roles del tercer grupo en la actividad del experimento 2.

Alumno	Líder	Programador	Evaluador	Documentalista
Nuria	Fases 3 y 5	Fase 7 y 6*	Fases 1 y 6	Fases 2 y 4
Nazareth	Fases 1 y 6	Fases 2 y 3	Fases 4 y 5	Fase 7 y 5*
Nathan	Fase 4	Fases 1 y 6	Fase 2 y 7	Fases 3 y 5
Noel	Fases 2 y 7	Fases 4 y 5	Fase 3 y 7*	Fases 1 y 6

Los miembros del grupo tienen bastantes problemas en la actividad, algo que se observa en las entradas del diario (tardías y poco detalladas). La Tabla 6.29 muestra algunos fragmentos de entradas escritas por miembros del grupo.

El profesor responsable, introduce la información de las entradas del diario en la ontología a partir de las cuales se producen algunas recomendaciones, como por ejemplo la recomendación a los alumnos del grupo de ser capaz de aplicar con una calidad mayor la acción de evaluar un fragmento de código obtenida a partir de la Regla R_{REC04} o la recomendación de un recurso de aprendizaje que demuestra cómo se aplica correctamente la documentación (véase Regla R_{REC10}).

Tabla 6.29: Algunas entradas del diario de los alumnos para el experimento 2.

Alumno	Nº fase	Rol	Entrada	Retroalimentación
Nuria	Fase 1	Evaluadora	- Hemos tenido muchos problemas para ejecutar la 1ª fase. Se ha probado una orden interna y el comando <code>exit</code> .	- Recuerda que es importante evaluar todas las órdenes internas y también el resultado con órdenes erróneas.
Noel	Fase 2	Líder	- Nuria no pudo asistir a la reunión semanal. Hubo un conflicto acerca de cómo realizar la programación de esta fase que finalmente resolvimos democráticamente.	- Si tenéis cualquier conflicto podéis acudir a una tutoría grupal para intentar resolverlo.
Nathan	Fase 4	Líder	- Ante la ausencia de problemas, he ayudado a mis compañeros con sus tareas. También les he comunicado que abandono la asignatura por un problema personal.	- Ojalá se resuelva pronto tu problema. A partir de ahora tus compañeros deberán asumir entonces tus tareas.
Nuria	Fase 6	Programadora y evaluadora	- En esta fase he tenido que asumir la programación que le tocaba a Nathan. He tenido muchas dificultades por un problema en ejecución. Finalmente pude resolverlo y probarlo. Funciona únicamente la redirección de entrada.	- Buen trabajo asumiendo el rol de tu compañero. Como todavía tenéis tiempo, intentad resolver la redirección de salida, es muy parecida.
Nazareth	Fase 7	Documentalista	- No he podido realizar mi rol porque no hemos sido capaces de llevar a cabo la programación de esta fase a tiempo.	- Asegurados de comprender bien los conceptos teóricos de las tuberías de cara a las futuras pruebas.

$$\begin{aligned}
 R_{REC04} : & SI \text{ Es_Capaz_De_Aplicar}(acc_x, calidad_y) \wedge \\
 & Puede_Obtener_Meta_Con_Calidad(acc_x, meta_a, calidad_z) \wedge \\
 & Mayor(calidad_z, calidad_y) \rightarrow \\
 & Recomendar(Es_Capaz_De_Aplicar(acc_x, calidad_z))
 \end{aligned} \tag{6.21}$$

$$\begin{aligned}
 R_{REC10} : & SI \text{ Es_Capaz_De_Aplicar}(acc_x, calidad_pesima) \wedge \\
 & Usado_En_Competencia(recurso_aprendizaje_y, Demuestra(acc_x) \rightarrow \\
 & Recomendar(recurso_aprendizaje_y)
 \end{aligned} \tag{6.22}$$

Una vez concluida la actividad, el profesor evalúa mediante la rúbrica grupal la entrega de la práctica. Los resultados obtenidos por los estudiantes se muestran en la Tabla 6.30.

A partir de los resultados obtenidos en la rúbrica, los estudiantes reciben recomendaciones de competencias asociadas a los criterios cuyo nivel de desempeño se encuentra por debajo del estándar. En este sentido, los criterios “*implementación de las redirecciones en el intérprete de órdenes*” y “*capacidad de implementación del uso de tuberías en el intérprete de órdenes*” cuyo desempeño obtenido ha sido inferior al estándar influirán en las reglas ejecutadas (véase Regla 6.19).

A modo de resumen, los estudiantes de este grupo reciben, entre otras, las siguientes recomendaciones antes, durante y tras la actividad (véase Tabla 6.31).

Tabla 6.30: Tabla resumen del nivel de desempeño obtenido por los estudiantes en los criterios asociados a la actividad.

Criterio	Nivel de desempeño	Puntuación
- Uso de un estilo de programación correcto y uniforme.	Estándar	6
- Capacidad de desarrollo del ciclo básico de ejecución de una minishell.	Estándar	5
- Aplicación de servicios POSIX de procesos en la ejecución de órdenes en 1 ^{er} y 2 ^o plano.	Estándar	8
- Capacidad de aplicación de la herramienta de desarrollo <i>make</i> .	Estándar	6.5
- Capacidad de implementación de una secuencia de órdenes (órdenes separadas por ;).	Alto	7
- Implementación de las redirecciones en el intérprete de órdenes.	Bajo	3
- Capacidad de implementación del uso de tuberías en el intérprete de órdenes.	Ausencia de desempeño	0

Tabla 6.31: Resumen de recomendaciones recibidas antes, durante y después de la actividad.

Antes	Durante	Después
1.- Hacer más preguntas al tutor.	1.- Comprender como se aplica la evaluación de un fragmento de código.	1.- Programar el uso de redirecciones.
2.- Asistir a más tutorías.	2.- Programar el uso de de redirecciones de salida.	2.- Recordar conceptos relacionados con tuberías.
3.- Identificar los servicios POSIX de comunicación.	3.- Recurso sobre documentación en informática.	3.- Actividad similar de complejidad media

6.3. Experimento III: Aprendizaje de técnicas de primeros auxilios

Tras una reunión fructífera, un conjunto de organizaciones relacionadas con la salud (Cruz Roja, SAMUR, Hospital niño Jesús, UNICEF, etc.) decide colaborar en la creación de un MOOC gratuito de primeros auxilios con el fin de concienciar a la gente de cómo deben actuar en situaciones en la que se requieran primeros auxilios. En dicha reunión, las organizaciones acuerdan que el curso se componga de ocho unidades de aprendizaje de primeros auxilios (básicos, en el deporte, en bebés y niños, en el hogar, para personas mayores, en la naturaleza, en el ámbito laboral y psicológicos). Cada una de las unidades de aprendizaje planteadas está compuesta por: (a) recursos teóricos elaborados por las entidades organizadoras y (b) un conjunto de actividades desarrolladas a través de un entorno virtual. Por ejemplo, la unidad de aprendizaje de primeros auxilios en el hogar contempla las siguientes actividades con diferentes niveles de criterios de desempeño:

- **Traumatismo craneoencefálico:** actividad que simula una situación de emergencia producida por un fuerte golpe en el craneo. El herido presenta una hemorragia abundante en la cabeza, amnesia, dolor intenso y respiración lenta con periodos de parada respiratoria.
- **Atragantamiento:** actividad que simula una situación de emergencia producida por una obstrucción total de las vías respiratorias. El paciente se lleva las manos al cuello y presenta un color azulado en la cara.
- **Intoxicación:** actividad que simula una situación de emergencia producida por la ingesta de una sustancia tóxica. El paciente se encuentra inconsciente junto a un producto de limpieza derramado en el suelo.
- **Quemadura:** actividad que simula una situación de emergencia producida por un conjunto de quemaduras de segundo grado tras un despiste en la cocina y agravadas por una mala gestión de la situación. La paciente se encuentra en el suelo de la cocina con llamas en

el delantal y tosiendo de forma constante. La cocina está llena de humo que sale de una sartén y apenas se aprecia nada en el entorno.

- **Infarto:** actividad que simula una situación de emergencia producida por la obstrucción de las arterias coronarias. El paciente presentaba un dolor persistente en el pecho y problemas para respirar hasta que se ha desmayado y se encuentra inconsciente y en situación de parada cardiorespiratoria.
- **Lipotimia:** actividad que simula una situación de emergencia en la que el paciente, que se encontraba en una bicicleta estática, empieza a sentirse mareado, decide parar de hacer ejercicio y al bajarse de la bicicleta cae inconsciente al suelo. El paciente presenta piel pálida, sudorosa y fría.

La Figura 6.15 representa el menú de selección de actividad en el entorno de simulación para la unidad de aprendizaje de primeros auxilios del hogar.



Figura 6.15: Menú de actividades referentes a los primeros auxilios del hogar.

Toda la información sobre el diseño instruccional del curso y el proceso de aprendizaje de los estudiantes en cada una de las unidades de aprendizaje es registrada en la red modular de ontologías propuesta. Mediante este experimento se desea validar el sistema general compuesto por la red modular de ontologías, la aplicación de monitorización y las reglas de diagnóstico y recomendación. Especialmente se hará hincapié en la ontología de indicadores de desempeño y las reglas de recomendación relacionadas con las competencias. Además, este experimento pretende demostrar la importancia de la extensión de la ontología de competencias para representar competencias cognitivas, afectivas, psicomotoras, éticas, sociales y productivas.

6.3.1. Diseño de la experiencia de aprendizaje

Para abordar las diferentes actividades planteadas en el MOOC, se han diseñado múltiples entornos desarrollados mediante el motor *Unity*². Las Figuras 6.16a y 6.16b ilustran dos de los escenarios diseñados para este tercer experimento.

Independientemente del escenario de primeros auxilios, en cualquier situación de emergencia debe actuarse siguiendo la conducta PAS, es decir, primero proteger, luego avisar y por último socorrer. Proteger el lugar de los hechos es fundamental ante cualquier accidente puesto que el peligro que lo originó puede persistir (fuego, gas, tráfico, etc.). Es por ello que la primera línea de actuación siempre debe ser hacer seguro el lugar del accidente para el auxiliador, la víctima y el resto de usuarios en un contexto cercano. A continuación, es fundamental alertar a los servicios de emergencia puesto que son estos servicios los que disponen de los medios adecuados para afrontar la situación. Cuando se alerta al personal, se deben aportar, con la mayor calma posible, los siguientes datos: suceso ocurrido, número y estado de las víctimas, lugar exacto del

²<https://unity3d.com/es>

suceso y los datos de contacto para ser localizado. Finalmente, se debe socorrer a las víctimas siguiendo las indicaciones del personal de emergencia (si las hay) o actuando según el protocolo de actuación para cada tipo de emergencia. Cabe destacar que, en caso de que existan varios heridos, se debe atender primero al paciente más grave sin olvidar al resto de heridos.



(a) Escenario exterior del experimento 3.

(b) Escenario interior del experimento 3.

Figura 6.16: Escenarios diseñados para el experimento 3.

Para ejemplificar la validación llevada a cabo para este experimento, se ha decidido representar una actividad específica desde el instante inicial en el que se define dicha actividad hasta el instante final en el que los alumnos han finalizado la ejecución de la misma. La actividad seleccionada pertenece a la unidad de aprendizaje de primeros auxilios para el hogar y consiste en la aplicación de los primeros auxilios necesarios ante unas quemaduras de segundo grado.

De igual modo que para cada una de las subactividades de la experiencia de aprendizaje, existe un plan óptimo para esta actividad. Este plan está formado por 15 acciones (simples o complejas) que deben realizarse, en su mayoría, de manera secuencial. Muchas de las acciones definidas en el plan de la actividad son eliminatorias ya que, en un entorno real, pueden suponer un peligro para la vida de la víctima o del auxiliador. El plan óptimo puede apreciarse en la Figura 6.17. Sin embargo, existe la posibilidad de que la persona que socorre no realice el plan exacto y este debe replanificarse a partir del estado actual en el que se encuentra el usuario.

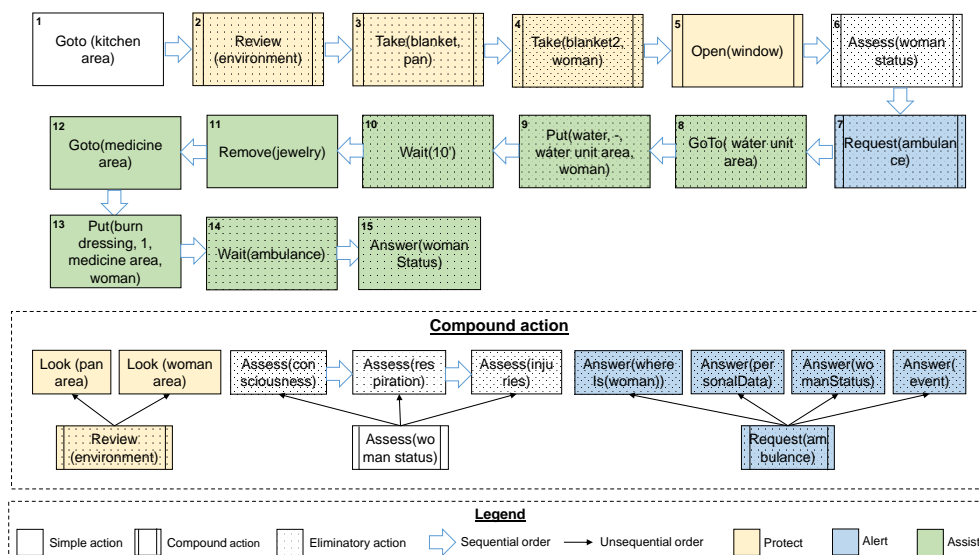


Figura 6.17: Plan de realización de una actividad de primeros auxilios.

Además de las figuras previas, se muestra a continuación la Tabla 6.3.1 que contiene los operadores aplicados en las distintas acciones, en términos de la propia ontología, así como los de conocimiento utilizados en cada una de ellas. La tabla también muestra los objetos de conocimiento que son utilizados en cada acción.

Tabla 6.32: Representación de las acciones, operadores y objetos del plan.

ACCIÓN	OPERADORES APLICADOS	OBJETOS DE CONOCIMIENTO
1. Ir a la zona de la cocina:	Goto(kitchen area)	◇ kitchen
2. Revisar el entorno:		
2-A) Mirar zona de la sartén.	- Look(pan area)	◇ pan
2-B) Mirar zona de la mujer.	- Look(woman area)	◇ woman
3. Llevar manta a la sartén:		
3-1) Ir a la zona de la manta.	- Goto(blanket area)	◇ blanket
3-2) Coger la manta.	- PickUp(blanket)	◇ blanket
3-3) Ir a la zona de la sartén.	- Goto(pan area)	◇ pan
3-4) Dejar manta.	- Drop(blanket)	◇ blanket
4. Llevar manta a la mujer:		
4-1) Ir a la zona de la manta.	- Goto(blanket area)	◇ blanket
4-2) Coger la manta.	- PickUp(blanket)	◇ blanket
4-3) Ir a la zona de la mujer.	- Goto(woman area)	◇ pan
4-4) Dejar manta.	- Drop(blanket)	◇ blanket
5. Abrir ventana:	Open(window)	◇ window
6. Evaluar estado de la mujer:	Assess(woman status)	
6-1) Evaluar consciencia.	- Assess(woman consciousness)	◇ woman
6-2) Evaluar respiración.	- Assess(woman respiration)	◇ woman
6-3) Evaluar lesiones.	- Assess(injuries)	◇ woman
7. Solicitar ambulancia:		
7-1) Responder lugar evento.		
7-2) Responder datos personales.	- Answer(WhereIs(Woman)) - Answer(personalData)	◇ woman, kitchen ◇ personal data
7-3) Responder estado de la mujer.	- Answer(womanStatus)	◇ woman
7-4) Responder evento.	- Answer(event)	◇ event
8. Ir a la zona de agua:	Goto(kitchen area)	◇ woman, water unit
9. Poner agua en la herida:	Put(water, -, water unit area, woman)	◇ woman, water
10. Aguantar 10 minutos:	Wait(10')	◇ woman, water
11. Quitar joyas:	Remove(jewelry)	◇ woman, jewelry

Tabla 6.32: Representación de las acciones, operadores y objetos del plan.

ACCIÓN	OPERADORES APLICADOS	OBJETOS DE CONOCIMIENTO
12. Ir a la zona de las medicinas:	GoTo(medicine area)	◇ medicine
13. Poner apósito para quemaduras en la herida:	Put(burn dressing, 1, medicine area, woman)	◇ woman, burn dressing
14. Esperar ambulancia:	Wait(ambulance)	◇ ambulance
15. Responder el estado de la mujer:	Answer(woman status)	◇ woman

Analizando la naturaleza de esta actividad de aprendizaje, se ha constatado que algunas de las acciones involucradas en ella no existen en la jerarquía de acciones de la ontología de objetos de conocimiento ya existente, por lo que será necesario incluirlas. Asimismo, ha sido necesario crear en esta ontología objetos con los que debe interaccionar el aprendiz en este nuevo escenario. La Figura 6.18 ilustra las nuevas acciones incorporadas a la ontología de objetos de conocimiento para abordar correctamente esta actividad. La Figura 6.19 representa las modificaciones necesarias en la ontología de objetos de conocimiento. Cabe resaltar que se han añadido algunos objetos que no se encuentran en el plan de la actividad pero sí son propios del tipo de escenario en el que se desarrolla.

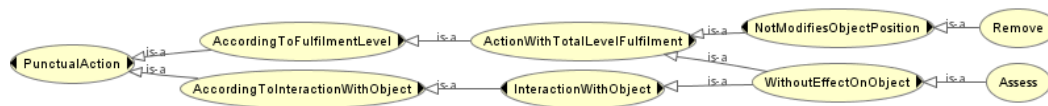


Figura 6.18: Clases añadidas a la jerarquía «PunctualAction».

La ejecución de las diferentes acciones de la experiencia de aprendizaje posibilita la obtención o no de un conjunto de competencias: cognitivas, productivas, afectivas, psicomotoras, éticas y sociales. Del mismo modo que para el experimento 2, se han diseñado previamente las competencias con sus correspondientes indicadores de desempeño. Las Figuras 6.20a, 6.20b, 6.21a, 6.21b, 6.22a, 6.22b), 6.23a, 6.23b) representan un pequeño fragmento representativo de todas las competencias existentes en la actividad.

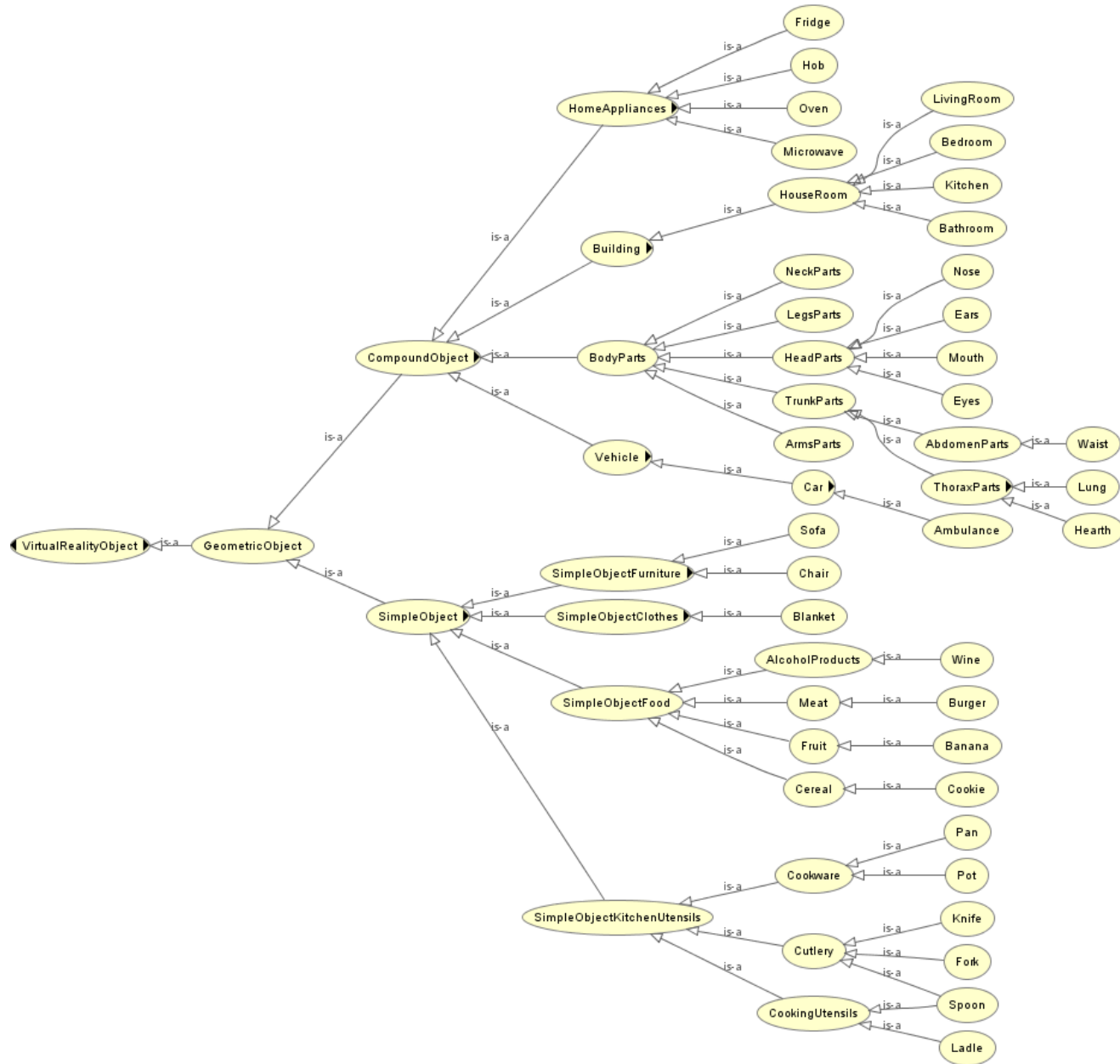


Figura 6.19: Clases añadidas a la jerarquía «GeometricObject».

Nombre: Identificar situaciones de peligro		ID: EXP3_ACT1_1
Descripción: Reconocer cuándo una situación puede entrañar peligro y actuar en función de ello.		
Propiedades generales:		
Habilidad: Identificar (2)	Metadominio: Cognitivo	Desempeño: Familiar (2)
Criterios:		
Frecuencia: Alguna vez (1)	Autonomía: Sin ayuda (3)	Contexto: Familiar (1)
Ámbito: Todos los casos (3)	Complejidad: Media (2)	Nº veces/Intentos: 1/3

(a) Resultado de aprendizaje 1.

Nombre: Manejar el stress		ID: EXP3_ACT1_25
Descripción: Ser capaz de gestionar el stress en una prueba con tiempo limitado y sin posibilidad de fallo.		
Propiedades generales:		
Habilidad: Dominio (10)	Metadominio: Afectivo	Desempeño: Familiar (2)
Criterios:		
Frecuencia: Alguna vez (1)	Autonomía: Sin ayuda (3)	Contexto: Parc. desc (2)
Ámbito: Todos los casos (3)	Complejidad: Media (2)	Nº veces/Intentos: 1/3

(b) Resultado de aprendizaje 25.

Figura 6.20: Resultados de aprendizaje 1 y 25.

Nombre: Tomar las decisiones adecuadas en una situación de stress		ID: EXP3_ACT1_26
Descripción: Ser capaz de elegir las mejores decisiones para superar las diferentes pruebas de la actividad.		
Propiedades generales:		
Habilidad: Aplicar (5)	Metadominio: Productivo	Desempeño: Familiar (2)
Criterios:		
Frecuencia: Alguna vez (1)	Autonomía: Sin ayuda (3)	Contexto: Parc. desc. (2)
Ámbito: Todos los casos (3)	Complejidad: Media (2)	Nº veces/Intentos: 1/3

(a) Resultado de aprendizaje 26.

Nombre: Reconocer los agentes emisores del peligro		ID: EXP3_ACT1_2
Descripción: Reconocer cuáles son los agentes que están emitiendo el peligro (sartén, delantal).		
Propiedades generales:		
Habilidad: Identificar (2)	Metadominio: Cognitivo	Desempeño: Familiar (2)
Criterios:		
Frecuencia: Alguna vez (1)	Autonomía: Sin ayuda (3)	Contexto: Familiar (1)
Ámbito: Todos los casos (3)	Complejidad: Media (2)	Nº veces/Intentos: 1/3

(b) Resultado de aprendizaje 2.

Figura 6.21: Resultados de aprendizaje 26 y 2

Nombre: Tener conciencia de la importancia de la seguridad personal		ID: EXP3_ACT1_5
Descripción: Darse cuenta de la importancia de actuar siempre en función de la seguridad personal.		
Propiedades generales:		
Habilidad: Ser consciente (1)	Metadominio: Ético	Desempeño: Familiar (2)
Criterios:		
Frecuencia: Alguna vez (1)	Autonomía: Sin ayuda (3)	Contexto: Parc. desc. (2)
Ámbito: Todos los casos (3)	Complejidad: Media (2)	Nº veces/Intentos: 1/3

(a) Resultado de aprendizaje 5.

Nombre: Valorar los riesgos existentes de la actividad		ID: EXP3_ACT1_6
Descripción: Valorar si el nivel de riesgo es demasiado elevado o no para actuar de una forma u otra.		
Propiedades generales:		
Habilidad: Valorar (6)	Metadominio: Productivo	Desempeño: Familiar (2)
Criterios:		
Frecuencia: Alguna vez (1)	Autonomía: Sin ayuda (3)	Contexto: Parc. desc. (2)
Ámbito: Todos los casos (3)	Complejidad: Media (2)	Nº veces/Intentos: 1/3

(b) Resultado de aprendizaje 6.

Figura 6.22: Resultados de aprendizaje 5 y 6.

Nombre: Sofocar el fuego tapándolo con una manta.		ID: EXP3_ACT1_10
Descripción: Actuar de manera refleja en la extinción del foco de fuego		
Propiedades generales:		
Habilidad: Aplicar (5)	Metadominio: Psicomotor	Desempeño: Productividad (3)
Criterios:		
Frecuencia: Varias veces (2)	Autonomía: Sin ayuda (3)	Contexto: Desconocido (3)
Ámbito: Todos los casos (3)	Complejidad: Media (2)	Nº veces/Intentos: 2/3

(a) Resultado de aprendizaje 10.

Nombre: Aplicar una comunicación efectiva		ID: EXP3_ACT1_14
Descripción: Ser capaz de realizar una comunicación efectiva con los servicios de emergencias indicándoles el suceso, el lugar, el estado de la víctima y su información personal		
Propiedades generales:		
Habilidad: Aplicar (5)	Metadominio: Social	Desempeño: Consciencia (1)
Criterios:		
Frecuencia: Alguna vez (1)	Autonomía: Con asistencia (1)	Contexto: Familiar (1)
Ámbito: Todos los casos (3)	Complejidad: Débil (1)	Nº veces/Intentos: 1/3

(b) Resultado de aprendizaje 14.

Figura 6.23: Resultados de aprendizaje 10 y 14.

6.3.2. Validación del experimento 3 mediante casos de prueba

Tras la definición de todos los elementos independientes del estudiante, se procede a validar la experiencia de aprendizaje con una serie de casos de prueba. En aras de simplificar, se describen únicamente 3 casos de prueba.

6.3.2.1. Experimento 3 - Caso de prueba 1

El primer estudiante que va a realizar la actividad es John Smith. En las actividades previas, John ha mostrado alguna cualidad positiva (por ejemplo, la capacidad en la identificación de problemas) y alguna negativa (por ejemplo, la dificultad para la toma de decisiones). Sus fortalezas y debilidades, junto con el estado de las competencias, implican que antes de comenzar la actividad, John reciba, entre otras, la recomendación de realizar una actividad con complejidad media en la competencia de toma de decisiones a través de la regla R_{REC38} . Por este motivo, el alumno decide realizar a continuación, entre todas las actividades disponibles, la actividad de primeros auxilios producida por una quemadura.

$$\begin{aligned} R_{REC38} : & SI \text{ Nivel_Experiencia}(act_x, \text{"Novato"}) \wedge \\ & \text{Actividad_Difiere_En}(act_x, act_{x'}, com_y) \wedge \\ & \text{Tiene_Competencia}(act_x, com_y) \wedge \\ & \text{Tiene_Competencia}(act_{x'}, com_{y'}) \wedge \\ & \text{Difiere_En}(com_y, com_{y'}, complejidad) \wedge \\ & \text{Criterio_Definido}(com_y, complejidad, \text{"Fuerte"}) \wedge \\ & \text{Criterio_Definido}(com_{y'}, complejidad, \text{"Media"}) \rightarrow \\ & \text{Recomendar}(act_{x'}) \end{aligned} \tag{6.23}$$

John Smith comienza su primer intento dubitativo, sin saber muy bien qué debe hacer. Tras este pequeño periodo de incertidumbre, se dirige a la cocina donde ha oído un grito. Lo primero que observa es una columna de humo negro que sale de una sartén que se encuentra ardiendo en la vitrocerámica de gas. A continuación, unas pequeñas llamas hacen que baje la mirada al suelo donde se encuentra a una mujer con un delantal ardiendo y tosiendo de forma grave por el humo. Sin pensarlo dos veces, el estudiante acude inmediatamente a auxiliar a la mujer para sofocar sus llamas y automáticamente la actividad es suspendida. El mensaje “heroes muertos no salvan vidas” aparece en el simulador indicando al estudiante que la primera acción que debe hacerse en cualquier entorno peligroso es protegerse a sí mismo y al entorno ya que de lo contrario, el agente que está emitiendo el peligro puede ocasionar todavía mayores complicaciones (por ejemplo, puede explotar la bombona de butano).

Tras este primer breve intento, el alumno decide comprobar la aplicación de monitorización. Primero, accede a la secuencia de acciones, en la que observa la Tabla 6.33. Después acude a la pestaña de recomendaciones en la que aparece la Tabla 6.34 que contiene, entre otras, las nuevas recomendaciones. En este primer intento, el alumno ha recibido recomendaciones relacionadas con saber el plan (R_{REC01}), el recuerdo de la conducta PAS a través de un recurso del curso (R_{REC10}), la identificación de las precondiciones (R_{REC02}), etc.

$$\begin{aligned}
R_{REC01} : SI \neg Sabe(plan_x) \rightarrow \\
Recomendar(Sabe(plan_x)) \wedge \\
Prioridad_Recomendacion("Alta")
\end{aligned}
\tag{6.24}$$

$$\begin{aligned}
R_{REC02} : SI \neg Sabe(Requiere_Precond(acc_x, precond_y) \rightarrow \\
Recomendar(Sabe(Precondiciones(acc_x, lprecond)))
\end{aligned}
\tag{6.25}$$

$$\begin{aligned}
R_{REC10} : SI Es_Capaz_De_Aplicar(acc_x, calidad_pesima) \wedge \\
Usado_En_Competencia(recurso_aprendizaje_y, Demuestra(acc_x) \rightarrow \\
Recomendar(recurso_aprendizaje_y)
\end{aligned}
\tag{6.26}$$

Tabla 6.33: Tabla resumen de la secuencia de acciones seguida por el estudiante en el primer intento de la actividad.

Acción	Hora de inicio	Hora de fin	Interrumpida por el tutor
- INTENTO 1	9:30:00	9:30:39	✓
- Ir a la zona de la cocina.	9:30:00	9:30:23	×
- Mirar la zona de la sartén.	9:30:23	9:30:28	×
- Mirar la zona de la mujer.	9:30:28	9:30:33	×
- Ir a la zona de la mujer.	9:30:33	9:30:39	✓

Tabla 6.34: Tabla resumen de las recomendaciones tras el 1^{er} intento.

Intento	Instante de la recomendación	Recomendación
- nº 1	Antes de la actividad	Realizar actividad con complejidad media en la competencia de toma de decisiones.
- nº 1	Antes de la actividad	Realizar actividad sin ayuda en la competencia de reconocimiento de los agentes emisores de peligro.
- nº 1	Durante la actividad	Recordar el plan de la actividad.
- nº 1	Durante la actividad	Releer el recurso sobre la aplicación de la conducta PAS.
- nº 1	Durante la actividad	Identificar las precondiciones de auxiliar a la mujer.

Unos minutos más tarde, tras haber revisado cuidadosamente la conducta PAS y el plan de la actividad, el aprendiz comienza su segundo intento en la actividad. John se dirige directamente a la cocina y observa nuevamente los focos de actuación. En este momento recuerda que lo primero que debe hacer es protegerse a sí mismo y al entorno por lo que busca una manera efectiva de acabar con el fuego de la sartén, después apaga el gas por mayor precaución y abre la ventana para liberar el humo. A continuación coge una manta y se la pone por encima a la mujer que está tirada en el suelo con el delantal ardiendo para sofocar las llamas. Si bien este no era el plan original de la actividad (véase Figura 6.17), el sistema no interrumpe al estudiante en este momento porque apagar el gas (no recogida como obligatoria en el plan pero sí contemplada en la ontología) y abrir la ventana (contemplada inicialmente tras apagar las llamas de la mujer), son acciones enfocadas a proteger al estudiante y al entorno. Una vez controlado el entorno, el estudiante decide llamar a emergencias para solicitar ayuda y la actividad es nuevamente interrumpida. En la pantalla aparece un mensaje recordando al estudiante que antes de llamar a emergencias debe comprobar el estado de las personas que requieran ayuda ya que: (1) es posible

que no se requiera el servicio de emergencia, (2) la llamada será menos efectiva puesto que no se sabe la gravedad de la situación y (3) el herido puede transmitir información relevante (más información sobre un posible foco de peligro, detalles sobre su estado, etc.) para la llamada de emergencia.

John, después de este intento, acude nuevamente a la aplicación de monitorización. En este caso decide observar únicamente las acciones (véase Tabla 6.35) y los indicadores de desempeño (véase Tabla 6.36).

Tabla 6.35: Tabla resumen de la secuencia de acciones seguida por el estudiante en el segundo intento de la actividad.

Acción	Hora de inicio	Hora de fin	Interrumpida por el tutor
- INTENTO 2	10:30:00	10:31:34	✓
- Ir a la zona de la cocina.	10:30:00	10:30:12	×
- Mirar la zona de la sartén.	10:30:12	10:30:16	×
- Mirar la zona de la mujer.	10:30:16	10:30:20	×
- Ir a la zona de la manta.	10:30:20	10:30:28	×
- Coger la manta.	10:30:28	10:30:30	×
- Ir a la zona de la sartén.	10:30:30	10:30:40	×
- Dejar la manta encima de la sartén.	10:30:40	10:30:45	×
- Apagar la vitrocerámica de gas.	10:30:45	10:30:50	×
- Ir a la zona de la ventana.	10:30:50	10:30:58	×
- Abrir ventana.	10:30:58	10:31:04	×
- Ir a la zona de la manta 2.	10:31:04	10:31:16	×
- Coger la manta 2.	10:31:16	10:31:19	×
- Ir a la zona de la mujer.	10:31:19	10:31:30	×
- Dejar la manta 2 encima de la mujer.	10:31:30	10:31:34	×
- Llamar a emergencias.	10:31:34	10:31:34	✓

Tabla 6.36: Tabla resumen del estado de las competencias del estudiante tras el segundo intento de la actividad (conseguido/estándar).

Competencia	Intento	Frecuencia	Autonomía	Contexto	Alcance	Complejidad	Adquirida
EXP3_ACT1_1	nº 2	alguna vez	sin ayuda	familiar	todos	media	✓
EXP3_ACT1_25	nº 2	alguna vez	sin ayuda	parc. desc.	algún caso	media	×
EXP3_ACT1_26	nº 2	alguna vez	sin ayuda	parc. desc.	algún caso	media	✓
EXP3_ACT1_2	nº 2	alguna vez	sin ayuda	familiar	todos	media	✓
EXP3_ACT1_5	nº 2	alguna vez	sin ayuda	parc. desc.	todos	media	✓
EXP3_ACT1_6	nº 2	alguna vez	sin ayuda	parc. desc.	algún caso	media	×
EXP3_ACT1_10	nº 2	una vez	sin ayuda	desconocido	todos	media	×
EXP3_ACT1_14	nº 2	desconocido	desconocido	desconocido	desconocido	desconocido	×

En el último intento, John realiza los mismos pasos iniciales, es decir, analiza los focos de peligro y los elimina. A continuación, en lugar de realizar la llamada como en el segundo intento, evalúa a la víctima para comprobar su estado. Primero comprueba que el herido está consciente, después evalúa su respiración (presenta problemas respiratorios leves) y finalmente evalúa las lesiones (sufre quemaduras de segundo grado en un brazo y en el pecho). Tras esta evaluación, el aprendiz realiza la llamada al servicio de emergencia y responde a las cuestiones habituales (cuál ha sido el suceso, el lugar del evento, el estado de la persona herida y los datos personales). El servicio de emergencia le indica que ponga abundante agua en las zonas cercanas a la quemadura durante 10 minutos, que le quite cualquier tipo de accesorios y ropa apretada y que le ponga un

apósito para quemaduras en las heridas. John sigue las indicaciones recibidas hasta el momento en el que llegan los servicios de emergencia completando la actividad con éxito.

Una vez completada la actividad, el estudiante visita por última vez la aplicación de monitorización para comprobar las recomendaciones recibidas (véase Tabla 6.37). El alumno recibe, entre otras, recomendaciones sobre: (1) la realización de actividades en las que se haya definido la competencia de toma de decisiones con complejidad fuerte, (2) la realización de actividades en las que se haya definido la competencia de comunicar de manera efectiva el suceso a los servicios de emergencia con ayuda puntual, (3) la realización de actividades en las que se haya definido la competencia de darse cuenta de la importancia de actuar siempre en función de la seguridad personal en un contexto desconocido, etc. A modo de ejemplo, se muestra la regla R_{REC35} que es desencadenada tras la aplicación de este tercer intento.

$$\begin{aligned}
 R_{REC35} : & SI \text{ Nivel_Experiencia}(act_x, \text{"Experto"}) \wedge \\
 & \text{Actividad_Difiere_En}(act_x, act_{x'}, com_y) \wedge \\
 & \text{Tiene_Competencia}(act_x, com_y) \wedge \\
 & \text{Tiene_Competencia}(act_{x'}, com_{y'}) \wedge \\
 & \text{Difiere_En}(com_y, com_{y'}, \text{autonomia}) \wedge \\
 & \text{Criterio_Definido}(com_y, \text{autonomia}, \text{"Con asistencia"}) \wedge \\
 & \text{Criterio_Definido}(com_{y'}, \text{autonomia}, \text{"Ayuda puntual"}) \rightarrow \\
 & \text{Recomendar}(act_{x'})
 \end{aligned} \tag{6.27}$$

Tabla 6.37: Tabla resumen de las recomendaciones tras el 3^{er} intento.

Intento	Instante de la recomendación	Recomendación
- nº 3	Después de la actividad	Realizar actividad que tenga definida la competencia “aplicar una comunicación efectiva” con autonomía “ayuda puntual”.
- nº 3	Después de la actividad	Realizar actividad que tenga definida la competencia “tomar las decisiones adecuadas en una situación de <i>stress</i> ” con complejidad “fuerte”.
- nº 3	Después la actividad	Realizar actividad que tenga definida la competencia “tener conciencia de la importancia de la seguridad personal” con contexto “desconocido”.

6.3.2.2. Experimento 3 - Caso de prueba 2

La segunda estudiante que va a realizar la actividad es Anne Bonny. Anne se puso en contacto con los instructores antes de inscribirse al curso para indicarles que ella tiene una discapacidad motora por lo que necesita una silla de ruedas para desplazarse, pero que le gustaría aprender todo lo posible sobre primeros auxilios. Los instructores adaptaron el personaje de Anne y el escenario a su condición real y realizaron las modificaciones oportunas en el plan de las actividades. Por ejemplo, en la actividad de la quemadura, Anne no puede agacharse para evaluar el estado de la mujer que se encuentra en el suelo de la cocina como indican los recursos de primeros auxilios por lo que deberá observar minuciosamente desde su posición si el torax se eleva o no. En caso de que alguna acción no pueda realizarse y no exista alternativa eficaz, esta se omitirá del plan. Si dicha acción es obligatoria (por ejemplo, realizar un RCP), entonces se valorará si es posible que la persona cuente con asistencia para esa situación. Si no es posible,

entonces se sustituirá la actividad por otra que tenga competencias similares y que la estudiante sí pueda realizar.

Anne no ha realizado ningún caso práctico todavía pero sí ha rellenado una encuesta inicial elaborada por los instructores para conocer el estado inicial de conocimientos de los aprendices. En dicha encuesta, las respuestas de la alumna han permitido diagnosticar que: (1) no está familiarizada con la conducta PAS, (2) nunca ha aplicado un RCP, (3) no sabe para qué se emplea un desfibrilador, (4) sabe cuáles son los signos vitales de una persona, (5) no sabe diferenciar los diferentes tipos de apósitos y (6) sabe cómo debe actuar en caso de incendio.

Tras la realización de este test, Anne decide iniciar la actividad de las quemaduras en lugar de acudir a la aplicación Web para consultar las recomendaciones recibidas. En el primer intento de la actividad, la estudiante muestra su gran capacidad de observación, por lo que cuando percibe un sonido desde la cocina y visualiza el entorno, coge inmediatamente las mantas del salón para eliminar los focos de peligro. La aprendiz, tras un breve vistazo, comprende que la ventana se encuentra inalcanzable para ella y decide abrir la puerta de la calle para liberar el humo. A continuación, Anne evalúa desde su silla a la mujer herida comprobando lo siguiente: está inconsciente, respira (aunque dificultosamente) y tiene quemaduras de segundo grado en el brazo derecho y en la cintura. Puesto que la mujer se encuentra inconsciente, la alumna decide llamar al servicio de emergencias para informar de la situación. La llamada es efectiva ya que Anne sabe de la importancia de mantener la calma en estos momentos. Durante la comunicación, se aconseja a la estudiante que lave durante 10 minutos la zona cercana a la quemadura, que le quite cualquier tipo de accesorio (joyas, relojes, etc.) cercano al lugar de la quemadura y, a continuación, le ponga un apósito para quemaduras en las zonas afectadas. Una vez ha colgado al servicio de emergencias, Anne acude a la pila, abre el grifo y dirige el agua hacia la tripa y el brazo. Tras diez intensos minutos, la estudiante cierra el grifo y se da cuenta que no llega a quitarle el reloj, la pulsera y el anillo, por lo que decide ir a buscar los apósitos. Abre el armario y coge los primeros que encuentra y cuando se dirige de vuelta a la cocina, llaman a la puerta los servicios de emergencia. La aprendiz les informa del estado de la víctima y finaliza la actividad.

La Tabla 6.38 muestra un resumen de la secuencia de acciones seguida por la aprendiz en el primer intento de la actividad y la Tabla 6.39 detalla el estado de las competencias de Anne tras el primer intento de la actividad.

Tabla 6.38: Tabla resumen de la secuencia de acciones seguida por la aprendiz en el primer intento de la actividad.

Acción	Hora de inicio	Hora de fin	Interrumpida por el tutor
- INTENTO 1	16:27:13	16:44:53	×
- Ir a la zona de la cocina.	16:27:13	16:27:29	×
- Mirar la zona de la sartén.	16:27:29	16:27:33	×
- Mirar la zona de la mujer.	16:27:33	16:27:39	×
- Ir a la zona de la manta.	16:27:39	16:27:55	×
- Coger la manta.	16:27:55	16:27:59	×
- Ir a la zona de la manta 2.	16:27:59	16:28:08	×
- Coger la manta 2.	16:28:08	16:28:12	×
- Ir a la zona de la sartén.	16:28:12	16:28:30	×
- Dejar la manta encima de la sartén.	16:28:30	16:28:39	×
- Ir a la zona de la mujer.	16:28:39	16:28:47	×
- Dejar la manta 2 encima de la mujer.	16:28:47	16:28:58	×
- Ir a la zona de la ventana.	16:28:58	16:29:14	×

Tabla 6.38: Tabla resumen de la secuencia de acciones seguida por la aprendiz en el primer intento de la actividad (cont.).

Acción	Hora de inicio	Hora de fin	Interrumpida por el tutor
- Ir a la zona de la puerta.	16:29:14	16:29:32	×
- Abrir puerta.	16:29:32	16:29:39	×
- Ir a la zona de la mujer.	16:29:39	16:29:52	×
- Preguntar estado.	16:29:52	16:29:59	×
- Mirar torax.	16:29:59	16:30:29	×
- Mirar brazo.	16:30:29	16:30:35	×
- Mirar cintura.	16:30:35	16:30:42	×
- Informar a emergencias lugar.	16:30:42	16:31:34	×
- Informar a emergencias suceso.	16:31:34	16:31:53	×
- Informar a emergencias estado.	16:31:53	16:32:27	×
- Informar a emergencias contacto.	16:32:27	16:32:49	×
- Ir a la zona de la unidad de agua.	16:32:49	16:33:01	×
- Abrir el gripe hacia las heridas.	16:33:01	16:33:09	×
- Esperar 10 minutos.	16:33:09	16:43:09	×
- Ir a la zona de las medicinas.	16:43:09	16:43:27	×
- Coger apósito.	16:43:27	16:43:37	×
- Ir a la zona de la puerta.	16:43:37	16:43:58	×
- Abrir la puerta.	16:43:58	16:44:05	×
- Informar a emergencias estado.	16:44:05	16:44:53	×

Tabla 6.39: Tabla resumen del estado de las competencias de la estudiante tras el primer intento de la actividad. En verde se muestran los indicadores de desempeño superados.

Competencia	Intento	Frecuencia	Autonomía	Contexto	Alcance	Complejidad	Alcanzada
EXP3_ACT1_1	nº 2	alguna vez	sin ayuda	familiar	todos	media	✓
EXP3_ACT1_25	nº 2	alguna vez	sin ayuda	parc. desc.	todos	media	✓
EXP3_ACT1_26	nº 2	alguna vez	sin ayuda	parc. desc.	algún caso	media	×
EXP3_ACT1_2	nº 2	alguna vez	sin ayuda	familiar	todos	media	✓
EXP3_ACT1_5	nº 2	alguna vez	sin ayuda	parc. desc.	todos	media	✓
EXP3_ACT1_6	nº 2	alguna vez	sin ayuda	parc. desc.	todos	media	✓
EXP3_ACT1_10	nº 2	una vez	sin ayuda	desconocido	todos	media	×
EXP3_ACT1_14	nº 2	una vez	asistencia	familiar	todos	débil	✓

Si bien es cierto que la estudiante ha superado la actividad tras el primer intento, diferentes reglas han sido disparadas antes, durante y después de la ejecución de las acciones. Con el fin de ejemplificar las recomendaciones recibidas, se muestran a continuación tres reglas disparadas en el experimento 3 para la alumna, una antes de comenzar la actividad, una durante la ejecución de la misma y la última tras la finalización de dicha actividad.

Antes de comenzar la actividad, la regla R_{REC13} ha sido disparada a partir de la información obtenida de la encuesta inicial. Esta regla indica que si la estudiante no sabe para que se emplea un desfibrilador, entonces es posible recomendarle la competencia de saber todas las acciones que pueden ser aplicadas con ese objeto. A partir de la misma información, la estudiante recibe otras recomendaciones como, por ejemplo, la lectura de un recurso relacionado con los desfibriladores o la realización de actividades en las que se haya definido la competencia de “recordar para qué se emplea un desfibrilador” con complejidad baja, en caso de que exista.

$$R_{REC13} : SI \neg Sabe(Para_Que_Sirve(obj_x)) \rightarrow \\ Recomendador(Sabe(Usado_En(obj_x, lacc))) \quad (6.28)$$

Durante la actividad, Anne coge un apósito cualquiera mostrando que no sabe diferenciar los tipos de apósitos. A partir de esa información, la regla R_{REC07} es lanzada. Esta regla indica que si la estudiante no sabe elegir un objeto concreto entre todos los de la misma clase es posible recomendarla la competencia de identificar objetos de dicha clase. Igualmente, la aprendiz recibe más recomendaciones como, por ejemplo, la competencia de recordar para qué sirven los objetos de la misma clase.

$$R_{REC07} : SI \neg Discrimina(objeto_{x'}, Objetos_De_Clase(clase_y)) \rightarrow \\ Recomendador(Identifica(Objetos_De_Clase(clase_y))) \quad (6.29)$$

Finalmente, después de la actividad, Anne recibe recomendaciones de grano más grueso relacionadas con el desarrollo de la actividad. En concreto, la regla R_{REC34} , entre otras, es disparada. Esta regla indica que si un estudiante ha mostrado un nivel de experiencia de experto en una actividad y dicha actividad tiene una competencia con complejidad débil (aplicar una comunicación efectiva), es posible recomendarle el desarrollo de una nueva actividad en la que exista una competencia que difiera únicamente en el valor de la complejidad definida. Por ejemplo, el desarrollo de una actividad que difiera en el número de heridos de los que se debe recabar información, modificando el entorno a un lugar desconocido o añadiendo algún factor externo que pueda generar stress (batería baja del teléfono, situación más grave del herido, etc.).

$$R_{REC34} : SI Nivel_Experiencia(act_x, "Experto") \wedge \\ Actividad_Difiere_En(act_x, act_{x'}, com_y) \wedge \\ Tiene_Competencia(act_x, com_y) \wedge \\ Tiene_Competencia(act_{x'}, com_{y'}) \wedge \\ Difiere_En(com_y, com_{y'}, complejidad) \wedge \\ Criterio_Definido(com_y, complejidad, "Debil") \wedge \\ Criterio_Definido(com_{y'}, complejidad, "Media") \rightarrow \\ Recomendador(act_{x'}) \quad (6.30)$$

6.3.2.3. Experimento 3 - Caso de prueba 3

Mary Read es la siguiente estudiante que participa en el experimento. A diferencia de los anteriores alumnos, no existe información inicial de Mary puesto que no ha participado en ninguna actividad, no ha rellenado la encuesta, ni existe otra información del perfil. Los instructores han determinado para esta actividad que, en caso de desconocer el estado de las competencias, estas sean establecidas a estado "desconocido" y que, si no se dispone de ninguna información acerca de la estudiante, se recomienden actividades³ con competencias de nivel bajo

³Dependiendo de la actividad, los instructores pueden acordar: (1) no ofrecer recomendaciones hasta que no haya información, (2) obligar al estudiante a rellenar su perfil o una encuesta, (3) recomendar el alcance de las competencias desconocidas, (4) recomendar material relacionado con las competencias desconocidas o con las actividades recomendadas, (5) recomendar la actividad más simple, etc.

(por ejemplo, “saber la importancia de actuar siempre en función de la seguridad personal” es una competencia cuyo nivel de habilidad, según Paquette, es 1). Es por ello que la alumna recibe, entre otras, la recomendación de realizar la actividad de primeros auxilios por la quemadura como consecuencia del disparo de la regla R_{REC39} .

$$\begin{aligned}
 R_{REC39} : SI \text{ Nivel_Experiencia}(act_x, \text{“Desconocido”}) \rightarrow \\
 \text{Recomendar}(act_x) \wedge \\
 \text{Prioridad_Recomendacion}(\text{“Baja”})
 \end{aligned} \tag{6.31}$$

En el primer intento de la actividad, la alumna comienza precavida ya que no sabe a qué va a enfrentarse. Tras oír un grito, acude a la cocina donde observa una gran cantidad de humo negro y los fuegos en la sartén y el delantal. Rápidamente busca algo con lo que sofocarlos y como no encuentra nada en la cocina, regresa nerviosa al salón. En el salón encuentra una manta encima del sofá, que utiliza para sofocar el incendio de la sartén, y otra para apagar el fuego del delantal. Decide además abrir la ventana y encender la campana para liberar la cocina de humo. A continuación, regresa al lado de la mujer que llevaba puesto el delantal, comprueba sus constantes vitales y observa las quemaduras. Al observar que tiene graves problemas para respirar, vuelve a ponerse nerviosa y procede a llamar al servicio de emergencias. La llamada no es 100 % efectiva ya que Mary está muy nerviosa y no facilita sus datos de contacto. A pesar de ser una acción eliminatoria, los instructores decidieron durante el diseño de la actividad que, en lugar de interrumpir la misma, la alumna recibiría una pista indicando la siguiente acción del plan. Además, a causa del olvido en primera instancia, la acción tendría dos consecuencias negativas: (1) el servicio de emergencia tardaría 3 minutos más en llegar al lugar del accidente debido a que les cuesta encontrar el lugar exacto y (2) la situación del enfermo se agravaría unos minutos más tarde cayendo en una situación de parada cardiorespiratoria. De esta forma, se instruye a los alumnos en la importancia de mantener la calma en la comunicación con los servicios de emergencia. La alumna comienza a realizar la acción de poner agua en la zona de las quemaduras durante 10 minutos. Sin embargo, después de unos minutos observa que la mujer ha entrado en parada cardiorespiratoria. Mary se queda completamente en shock sin saber qué debe hacer y la actividad es interrumpida por el tutor.

Tras este primer intento, Mary se dirige a la aplicación de monitorización y observa su secuencia de acciones (véase Tabla 6.40) y las recomendaciones recibidas. La aprendiz presta especial atención a la recomendación de “centrarse en una competencia de nivel bajo de gestión del *stress*” (obtenida a partir de la regla R_{REC28}) y decide seguirla antes de continuar esta actividad.

$$\begin{aligned}
 R_{REC28} : SI \text{ Rasgo_Personalidad}(\text{“Nervioso”}) \wedge \\
 \text{Instancia_De}(com_x, \text{Competencia}) \wedge \\
 \text{Area_Competencia}(com_x, \text{“Gestion_Stress”}) \wedge \\
 \text{Habilidad_Definida}(com_x, habilidad_y) \wedge \\
 \text{Nivel_Habilidad}(habilidad_y, nivel_z) \wedge \\
 \text{Mayor}(\text{limite_bajo_nivel}, nivel_z) \rightarrow \\
 \text{Recomendar}(com_x)
 \end{aligned} \tag{6.32}$$

Tabla 6.40: Tabla resumen de la secuencia de acciones seguida por Mary en el primer intento de la actividad.

Acción	Hora de inicio	Hora de fin	Interrumpida por el tutor
- INTENTO 1	18:14:59	18:19:53	✓
- Ir a la zona de la cocina.	18:14:59	18:15:21	×
- Mirar la zona de la sartén.	18:15:21	18:15:26	×
- Mirar la zona de la mujer.	18:15:26	18:15:31	×
- Ir a la zona de la manta.	18:15:31	18:15:55	×
- Coger la manta.	18:15:55	18:16:00	×
- Ir a la zona de la sartén.	18:16:00	18:16:11	×
- Dejar la manta encima de la sartén.	18:16:11	18:16:16	×
- Ir a la zona de la manta 2.	18:16:16	18:16:27	×
- Coger la manta 2.	18:16:27	18:16:33	×
- Ir a la zona de la mujer.	18:16:33	18:16:47	×
- Dejar la manta 2 encima de la mujer.	18:16:47	18:16:51	×
- Ir a la zona de la ventana.	18:16:51	18:16:58	×
- Abrir ventana.	18:16:58	18:17:01	×
- Ir a la zona de la campana.	18:17:01	18:17:08	×
- Encender campana.	18:17:08	18:17:19	×
- Ir a la zona de la mujer.	18:17:19	18:17:29	×
- Preguntar estado.	18:17:29	18:17:38	×
- Mirar torax.	18:17:38	18:17:49	×
- Mirar brazo.	18:17:49	18:18:00	×
- Mirar cintura.	18:18:00	18:18:08	×
- Informar a emergencias lugar.	18:18:08	18:18:51	×
- Informar a emergencias suceso.	18:18:51	18:19:33	×
- Informar a emergencias estado.	18:19:33	18:20:00	×
- Ir a la zona de la unidad de agua.	18:20:00	18:20:11	×
- Abrir el grifo hacia las heridas.	18:20:11	18:20:15	×
- Esperar 10 minutos.	18:20:15	18:23:13	✓

Tras el parón en la actividad de primeros auxilios producida por las quemaduras y con el fin de mejorar la competencia de gestión del *stress*, la estudiante decide intentar por segunda vez la actividad después de haber alcanzado un nivel de desempeño alto en el control del *stress*. Durante el segundo intento, la estudiante, ya más relajada, se dirige a la cocina ya con las mantas en la mano y las utiliza para apagar los fuegos de la sartén y del delantal, abre la ventana, activa la campana y apaga el gas. Después, acude a la mujer y la reconoce para evaluar su estado. En este reconocimiento observa igualmente los problemas respiratorios y las quemaduras en la cintura y el brazo. Llama a emergencias y detalla cuidadosamente el suceso, el estado de la mujer, el lugar del accidente y la información de contacto. A continuación, siguiendo los consejos indicados por el operador, pone agua durante 10 minutos en las zonas cercanas a las quemaduras, le quita anillos, pulseras y el reloj y le pone un apósito para quemaduras en cada una de las heridas. Inmediatamente después llega el servicio de emergencias y Mary les informa de la situación superando con creces la actividad en este segundo intento.

La aprendiz no solo ha conseguido finalizar toda la actividad correctamente sino que también ha superado todas las competencias sin mayor problema. Asimismo, el nivel de desempeño obtenido en las competencias es bastante alto. La Tabla 6.41 muestra los resultados obtenidos por Mary en las distintas competencias.

Tabla 6.41: Tabla resumen del estado de las competencias de la estudiante tras el primer intento de la actividad (conseguido/estándar).

Competencia	Intento	Frecuencia	Autonomía	Contexto	Alcance	Complejidad	Adquirida
EXP3_ACT1_1	nº 2	alguna vez	sin ayuda	familiar	todos	media	✓
EXP3_ACT1_25	nº 2	alguna vez	sin ayuda	parc. desc.	todos	media	✓
EXP3_ACT1_26	nº 2	alguna vez	sin ayuda	parc. desc.	todos	media	✓
EXP3_ACT1_2	nº 2	siempre	sin ayuda	familiar	todos	media	✓
EXP3_ACT1_5	nº 2	siempre	sin ayuda	parc. desc.	todos	media	✓
EXP3_ACT1_6	nº 2	siempre	sin ayuda	parc. desc.	todos	media	✓
EXP3_ACT1_10	nº 2	varias veces	sin ayuda	desconocido	todos	media	✓
EXP3_ACT1_14	nº 2	una vez	asistencia	familiar	todos	débil	✓

Finalmente, Mary también recibe a través de la aplicación de monitorización las recomendaciones pertinentes. Por ejemplo, el prototipo de recomendación aconseja a Mary a través de la regla R_{REC36} la realización de una actividad similar en un contexto desconocido para afianzar las competencias de gestión de *stress* y comunicación efectiva. La Tabla 6.42 muestra un fragmento de las recomendaciones que ha recibido la aprendiz antes, durante y después de la realización de la actividad.

$$\begin{aligned}
 R_{REC36} : & SI \text{ Nivel_Experiencia}(act_x, \text{“Experto”}) \wedge \\
 & \text{Actividad_Difiere_En}(act_x, act_{x'}, com_y) \wedge \\
 & \text{Tiene_Competencia}(act_x, com_y) \wedge \\
 & \text{Tiene_Competencia}(act_{x'}, com_{y'}) \wedge \\
 & \text{Difiere_En}(com_y, com_{y'}, contexto) \wedge \\
 & \text{Criterio_Definido}(com_y, contexto, \text{“Parcialmente desconocido”}) \wedge \\
 & \text{Criterio_Definido}(com_{y'}, contexto, \text{“Desconocido”}) \rightarrow \\
 & \text{Recomendar}(act_{x'})
 \end{aligned} \tag{6.33}$$

Tabla 6.42: Fragmento de tabla resumen de las recomendaciones tras el 2º intento.

Intento	Instante de la recomendación	Recomendación
- nº 1	Antes de la actividad	Realizar actividad que tenga definida una competencia cuyo nivel sea “ser consciente”.
- nº 1	Durante la actividad	Centrarse en una competencia de nivel bajo de “gestión de <i>stress</i> ”.
- nº 2	Después la actividad	Realizar actividad que tenga definida la competencia “aplicar una comunicación efectiva” en un contexto “desconocido”.
- nº 2	Después de la actividad	Realizar actividad que tenga definida la competencia “ser capaz de gestionar el <i>stress</i> en un contexto “parcialmente desconocido”.

Los avances en la Inteligencia Artificial y la Educación se han intensificado a lo largo del siglo XXI y junto con el avance tecnológico han permitido el desarrollo de sistemas inteligentes enfocados hacia el aprendizaje. En este contexto, existen grandes progresos como por ejemplo los entornos de realidad virtual, los sistemas de tutoría inteligente, las plataformas de aprendizaje online o la analítica de aprendizaje que, además, muchas veces se complementan como los entornos virtuales inteligentes para la formación y el entrenamiento donde se combinan los sistemas inteligentes con los entornos 3D. Puesto que son áreas de “reciente” creación, todavía presentan importantes carencias que los investigadores están tratando de abordar para paliarlas en mayor o menor medida. El trabajo propuesto en esta memoria aborda una de estas carencias, en concreto, ofrecer a los participantes en el proceso educativo recomendaciones basadas en el estado de las competencias del estudiante. Para ello, se ha seguido una metodología de investigación clásica en la que se presentan los trabajos de mayor difusión hasta la fecha en el ámbito de trabajo, a continuación se han expuesto las hipótesis que se pretenden demostrar y, finalmente, se ha llevado a cabo el desarrollo correspondiente para validar dichas hipótesis. De cada uno de estos apartados es posible obtener una serie de conclusiones de suma importancia para futuros avances que serán detallados a continuación.

7.1. Conclusiones relacionadas con el estado de la cuestión

Para este trabajo ha sido necesario el estudio de trabajos relacionados con el modelado del estudiante, modelos de competencias, instrumentos de evaluación (rúbricas) y sistemas de recomendación por lo que las conclusiones obtenidas pertenecen a algunas de estas áreas.

Del estudio del modelado del estudiante es posible concluir que la existencia de diferentes modelados ofrece mayor flexibilidad ya que para cada sistema y dominio específico, es posible emplear el que mejor se adapte a sus necesidades. Por contra, complica el desarrollo de sistemas de forma general al dificultar o hacer imposible la localización de un modelado compatible con un gran abanico de entornos de aprendizaje y dominios. De este estudio también se puede extraer el gran desafío que existe en encontrar el equilibrio entre disponer de la mayor información posible del estudiante para poder ofrecer funcionalidades personalizadas y registrar la menor información del alumno posible por motivos de privacidad, seguridad, velocidad, etc. Asimismo, se concluye que es posible agrupar por categorías la información del estudiante (contacto, preferencias, seguridad, etc.). Estas categorías se representarán mediante clases en el sistema de representación de forma que sea relativamente sencillo añadir futuras propiedades a cada clase (por ejemplo, añadir un perfil de red social en información de contacto).

Con respecto al estudio de los modelos de competencias, también debe recalcar la existencia de diferentes taxonomías que pueden ser incluidas en los sistemas de representación. En este aspecto, los modelos de competencias son fácilmente compatibles entre ellos puesto que existe

una evolución lógica desde la taxonomía de Bloom hasta el modelo de competencias de Paquette (pasando por el ciclo de habilidades de Romiszowski y la taxonomía de Marzano). Del análisis de los modelos de competencias se puede deducir que existen diferencias significativas en los meta-dominios definidos. Esto puede deberse a la evolución de las competencias ya que, por ejemplo, las competencias productivas o éticas han sido incorporadas recientemente a estos modelos.

En relación con las rúbricas para la evaluación de competencias se puede extraer información muy interesante como la existencia de rúbricas enfocadas únicamente a una categoría (trabajo en grupo, expresión oral, etc.). Estas rúbricas son más especializadas y, por tanto, disponen de información más detallada en cada uno de sus criterios. Sin embargo, lo más habitual en una experiencia de aprendizaje es evaluar diferentes categorías por lo que estas rúbricas pueden servir como soporte para el desarrollo de otras rúbricas más heterogéneas. Otra conclusión muy importante acerca de las rúbricas es que no todas disponen de un nivel estándar, lo que dificulta la comprensión de este instrumento por parte del estudiante. En este sentido, es muy importante incorporar este nivel a la rúbrica y, al menos, un nivel inferior y un nivel superior.

Respecto a los sistemas de recomendación educativos, es posible extrapolar que la mayoría de sistemas son de filtrado colaborativo o híbridos. Estos sistemas suelen reducir problemas, como la sobreespecialización, a cambio de aumentar el problema del arranque en frío o reducir drásticamente la velocidad de recomendación. También se concluye que la mayoría de sistemas van dirigidos a los estudiantes puesto que las recomendaciones están más orientadas a recursos. Si bien para la recomendación de recursos es suficiente con ofrecer la información únicamente a los alumnos, si se desea hacer recomendaciones para mejorar en general el proceso de aprendizaje, es muy interesante ampliar el tipo de recomendaciones de acuerdo con diferentes criterios y con diferentes niveles de granularidad (grano más fino o grano más grueso). De igual modo, resulta interesante ampliar el tipo de usuario objeto de las recomendaciones a los propios instructores o tutores, tanto humanos como software, según el tipo de entorno de aprendizaje.

Finalmente, acerca de los sistemas de recomendación de competencias se puede concluir que deberían: (1) afrontar los mismos problemas que cualquier otro sistema de recomendación (arranque en frío, sobreespecialización, etc.), (2) como desafío emergente, poder aplicarse a cualquier experiencia formativa basada en competencias independientemente de su meta-dominio (productivo, afectivo, psicomotor, ético, social o cognitivo), (3) abordar las recomendaciones de competencias antes, durante o después de realizar la experiencia de aprendizaje.

7.2. Conclusiones relacionadas con el desarrollo de la aplicación

En lo relativo al desarrollo de la aplicación, también se pueden extraer algunas conclusiones relevantes. Si, en general, es aconsejable seguir una metodología de desarrollo para cualquier proyecto con el fin de mejorar la calidad del software desarrollado, cuando dichos proyectos tienen una gran envergadura como el presente, el seguir una metodología es prácticamente indispensable. Las metodologías ayudan, entre otros, a diseñar el sistema de una forma eficiente o a evaluar si el proyecto desarrollado cumple con los requisitos establecidos. De no emplear ninguna metodología, podría darse el caso que el código no fuera fácilmente extensible y cuando se deseara incorporar una nueva funcionalidad hubiese que desarrollar desde el principio un nuevo trabajo con todo lo que ello conlleva. En este caso se han seguido los pasos de dos guías metodológicas, la primera para la adaptación del modelado a la red de ontologías y, la segunda, para el desarrollo del sistema de recomendación.

Respecto a la primera metodología se concluye lo siguiente: (1) la extracción de las necesidades de la ontología, obtenidas a partir de las cuestiones de competencia es fundamental ya que permitirá incorporar los requisitos en el diseño, (2) las ontologías son fácilmente extensibles por lo que antes de diseñar desde cero una nueva ontología, conviene dedicar un tiempo a buscar si ya existen recursos ontológicos o no ontológicos relacionados que puedan ser adaptados a las necesidades del proyecto, (3) antes de comenzar cualquier experiencia de aprendizaje deben haberse instanciado todos los elementos independientes del usuario ya que, de esta manera, los estudiantes pueden contar desde el principio con información como las rúbricas, competencias, etc. (4) si la ontología ha sido modificada, es importante también analizar las posibles extensiones de reglas (jerarquías, patrones o reglas específicas) y los predicados que pueden ser aplicados para la inferencia automática de información, (5) conviene evaluar finalmente si la ontología cumple con los requerimientos definidos en las primeras actividades. Para ello, se ha partido de la guía existente para la adaptación de la Ontología del Estudiante a nuevos sistemas (Clemente, 2011).

En relación con la segunda metodología, se concluye lo siguiente: (1) describir las necesidades a través de los criterios, requisitos y restricciones del sistema permite analizar las características que debe tener la herramienta de recomendación, (2) el uso de una metodología adecuada que haga posible no solo modelos para las diferentes fases de su diseño sino, inclusive, un metamodelo que permita guiar la creación de los mismos de forma automática o semiautomática, mediante herramientas adecuadas, sirviendo de soporte para el desarrollo de una aplicación web, como es la que se desarrolla en este trabajo, ayuda a mejorar el desarrollo y posterior mantenimiento de las aplicaciones, (3) el patrón MVC es adecuado para el desarrollo de la aplicación ya que separa los datos, de las vistas y de la lógica de negocio (fundamental por motivos de seguridad) y ayuda a futuras extensiones de la aplicación, (4) la evaluación de la herramienta, incluyendo validación y verificación, ayuda a comprobar que la aplicación desarrollada es la requerida.

7.3. Principales contribuciones de este trabajo

Teniendo en cuenta el estado actual de la cuestión (véase Sección 3), los requisitos definidos en este trabajo (véase Sección 4.3), las hipótesis de partida (véase Sección 4.5) y la implementación desarrollada (véase Sección 5), se presentan a continuación las principales aportaciones de la presente tesis al campo de sistemas de recomendación basados en competencias:

1. Reingeniería de la Ontología del Estudiante (Clemente, 2011) para adaptar dicho modelado a estándares como IMS LD (Amorim et al., 2006) o IMS LIP (Global Learning Consortium, 2002), a taxonomías de competencias como la de Paquette (Paquette, 2016) o para añadir la ontología de instrumentos de evaluación que incluye a la de rúbricas con el fin de registrar información útil para evaluar el desempeño del estudiante (Panulla and Kohler, 2010). Esta red modular de ontologías posibilita el uso de los modelos de objetivos y competencias más habituales en los entornos de aprendizaje (Bloom, Marzano y Paquette). Además, la red sigue siendo fácilmente extensible. Por ejemplo, es posible añadir nuevos instrumentos de evaluación sin tener que realizar un proceso pesado de reingeniería; bastaría con añadir la nueva ontología colgando de la clase correspondiente «AssessmentInstrument». Estas ontologías interrelacionadas ofrecen también como ventaja la posibilidad de ser incorporadas en múltiples tipos de entornos (entornos virtuales o presenciales, plataformas de gestión del aprendizaje, etc.).
2. Descripción de una metodología de desarrollo para la creación o adaptación de sistemas de recomendación basados en ontologías. Está basada en la metodología NeOn (Suárez-

Figuerola, 2010), la adaptación de la metodología de aplicación del modelado del estudiante propuesta para un sistema específico (Clemente, 2011) y la metodología UWE-R (Machado et al., 2009). La metodología propuesta (véase 5.2) abarca desde el instante inicial (análisis de las necesidades de la ontología) hasta el instante final (evaluación del sistema de recomendación planteado).

3. Diseño e implementación de una taxonomía de criterios de recomendación (véase Sección 5.3.2.1) a partir de la taxonomía de criterios de diagnóstico de Clemente (2011). En base a esta jerarquía de criterios surgen nuevos patrones de reglas (véase Sección 5.3.2.2) o reglas específicas (véase Sección 5.3.2.3) dirigidas tanto a estudiantes como a instructores antes, durante o después de la realización de una experiencia de aprendizaje que se emplean para deducir posibles recomendaciones interesantes para el estudiante. El disparo de estas reglas se producirá cuando se cumpla su antecedente cuyas condiciones están basadas en: información sobre las acciones puntuales realizadas por los estudiantes, indicadores de desempeño, el estado de sus competencias, valoración de las rúbricas o estado de las actividades llevadas a cabo durante el aprendizaje.
4. Desarrollo de una aplicación web que permite a los usuarios (estudiantes e instructores) visualizar información registrada en la red de ontologías acerca del desempeño del estudiante. Entre la información accesible para el estudiante cabe destacar: (1) lista de acciones que ha realizado, (2) estado de las competencias, (3) nivel de los indicadores de desempeño, (4) estado de las actividades, (5) valoración de rúbricas asociadas a las actividades finalizadas y (6) recomendaciones recibidas. Por su parte, el instructor puede visualizar la misma información para todos sus alumnos. Asimismo, existe un filtro que permite centrarse únicamente en las características que el tutor estime oportunas. Por ejemplo, mostrar información sobre un único alumno, de aquellos que no hayan adquirido una competencia, de los los estudiantes con desempeño bajo en una competencia, etc.).

El desarrollo de esta tesis doctoral permite afrontar en el futuro nuevas líneas de actuación dirigidas principalmente a tres ámbitos fundamentales de este trabajo: la red de ontologías, el sistema de recomendación basado en competencias y la aplicación web de consulta del sistema de recomendación.

Con respecto a la red de ontologías cabe destacar la posibilidad de extender cualquiera de las ontologías existentes para compatibilizar la ontología con otros trabajos populares (por ejemplo, con IEEE PAPI para el perfil del estudiante). Asimismo, también puede ser fácilmente extendida con nuevas ontologías adicionales que posibiliten el registro de información tal como otros instrumentos de evaluación. Todas las ontologías existentes en la actualidad también admiten clases, propiedades u otros elementos nuevos que permitan registrar más información relevante para monitorizar, diagnosticar, supervisar o recomendar recursos relacionados con el aprendizaje del estudiante. Estos pueden ser elementos que anteriormente no fueran excesivamente relevantes (por ejemplo, un perfil en una red social), y sin embargo, actualmente o en el futuro se conviertan en una fuente rica de información para el proceso de aprendizaje desarrollado en dichos entornos. O bien, elementos que previamente se omitieron y puedan ser importantes para nuevas reglas (por ejemplo, se puede crear, entre otros, un conjunto de reglas de recomendación de estrategias de aprendizaje en función del estilo y las preferencias del estudiante). La red de ontologías también puede extenderse para ser aplicada a diferentes tipos de experiencias de aprendizaje (no solo de tipo procedimental). En consecuencia, convendría profundizar más en el proceso de comunicación entre la ontología y diferentes plataformas o entornos populares para facilitar su adaptación a un mayor número de ellos. Y si esta adaptación se hiciera factible, habría que validar la red de ontologías en estos entornos, todavía más variados. Con respecto a la validación de las ontologías, otra línea de trabajo próxima y esencial consistirá en probar la red de ontologías con estudiantes reales con el fin de comprobar que el modelado cumple los requisitos establecidos. Además, esta validación posibilitará un mejor análisis de la cobertura y consistencia de las diferentes reglas de diagnóstico/recomendación. A partir de esta validación sería más sencillo detectar y corregir posibles lagunas de conocimiento en la ontología propuesta.

En cuanto al prototipo de sistema de recomendación se refiere, conviene llevar a cabo un análisis más exhaustivo de la información inferida por el método de diagnóstico existente en el modelado que permita establecer nuevas jerarquías, patrones de reglas o reglas específicas involucradas en el sistema de recomendación (por ejemplo, patrones de reglas de recomendación basados en la trayectoria/trazas diversas sobre el estudiante). Independientemente del método de diagnóstico, es posible identificar otros patrones de reglas de recomendación cuyos antedecentes no hayan sido contemplados inicialmente en dicho método. Cabe recordar que cualquier modificación en el método de diagnóstico o recomendación implicará el análisis de los predicados y de la red modular de ontologías para verificar que el sistema se encuentra correctamente implementado. En esta línea, sería también interesante profundizar en la validación de los patrones de las reglas de recomendación mediante un análisis de la cobertura (número de

ejemplos positivos que son cubiertos por un patrón de regla) y consistencia (número de ejemplos negativos que son cubiertos por un patrón de regla) de los mismos que permitiese mejorar las reglas incorporadas. Adicionalmente, en el contexto de futuras líneas en lo referente a la evaluación del sistema de recomendación, se realizará un análisis más exhaustivo de los criterios del sistema de recomendación (cobertura, robustez, adaptabilidad, escalabilidad, tipo de implementación, integración, dominio, retroalimentación, tipo, tipo de acceso, meta, satisfacción, usuario final y modelo de dominio) para determinar con exactitud las debilidades del prototipo. A partir de este estudio, sería posible diagnosticar cuáles son los desafíos actuales o emergentes a los que convendría dedicar más recursos para mejorar el prototipo de sistema de recomendación. Por ejemplo, sería interesante analizar cómo tener en cuenta la participación activa del estudiante para mejorar las recomendaciones.

Finalmente, la última vertiente de líneas de actuación futuras está relacionada con la aplicación web de consulta del sistema de recomendación. Si bien es cierto que la aplicación proporciona información acerca de las acciones, competencias, indicadores de desempeño, actividades, rúbricas y recomendaciones, interesa analizar la calidad y la cantidad de información proporcionada en las tablas para explotar al máximo la red de ontologías empleada. Estrechamente relacionado con ello, es posible ahondar en las preferencias del usuario con el fin de personalizar la información mostrada en la aplicación para cada usuario de la misma. Igualmente importante es llevar a cabo las mejoras de accesibilidad necesarias en la aplicación para que cualquier usuario pueda emplear adecuadamente la herramienta con independencia de cualquier tipo de limitación que posea. También se puede abordar la posibilidad de aumentar las funcionalidades de la aplicación (por ejemplo, es posible incluir la modificación del perfil del alumno, la consulta de su progreso en una unidad de aprendizaje o la consulta del histórico de un grupo de competencias de una manera gráfica). A menor escala, es factible realizar pequeñas mejoras como la incorporación de nuevos roles, facilitar la exportación de datos a otros sistemas en formatos estándares, etc. Como tareas complementarias, la aplicación desarrollada podría ser integrada como *plugin* en entornos de gestión de aprendizaje para que, ni alumnos ni profesores deban emplear otra aplicación externa para obtener las recomendaciones. En este aspecto, podría adaptarse la aplicación para aquellos usuarios que utilicen *smartphones* o *tablets*. Un desafío mayor consistiría en implementar la aplicación en otras plataformas actuales como las basadas en agentes para beneficiarse de las ventajas de estas plataformas (cada agente se especializa en una tarea, optimización de los recursos, etc.).

9

Apéndice A: Descripción de la red de ontologías desarrollada

A lo largo de este capítulo se describe la red de ontologías desarrollada para esta investigación. Como se ha mencionado a lo largo de este documento, este trabajo sigue la metodología NeOn para crear una red de ontologías mediante la combinación de recursos ontológicos (Ontología del Estudiante, Ontología de Rúbricas, etc.) y recursos no ontológicos (IMS Learner Information Profile, la taxonomía de objetivos, etc.).

En este anexo se describen, mediante tablas, todas las ontologías empleadas para este trabajo. Algunas ontologías, como por ejemplo, «KnowledgeObject» o «Rubric» se mantienen prácticamente iguales que en su versión original (desarrollada por otros autores). A pesar de ello, se describen estas ontologías también en este anexo con la intención de proporcionar al lector el acceso a la información. Se ha decidido representar de color azul las nuevas entidades o propiedades de la Ontología del Estudiante con el fin de facilitar al lector el acceso a la información actualizada.

Las ontologías descritas en este anexo son:

- Ontología del Estudiante ([Clemente, 2011](#))
 - KnowledgeObject
 - LearningObjective
 - StudentTrace
 - StudentState
 - StudentInformation
 - StudentProfile*
- IMS Learning ([IMS-Global, 2002](#); [Global Learning Consortium, 2002](#))
 - LearningDesign
 - LearningInformationProfile* ¹
- AssessmentInstrument
- Rubric ([Panulla and Kohler, 2010](#))
- Competence ([Paquette, 2016](#))
- PerformanceIndicator
- Recommendation
- UnitOfLearning ([Amorim et al., 2006](#))

¹Se han combinado ambos recursos. La ontología del perfil del estudiante original de Clemente y el estándar IMS LIP.

Tabla 9.1: Descripción de la ontología **AssessmentInstrument**. A partir de ella, se crea la ontología **Rubric**. Dicha ontología ha sido adaptada de (Panulla and Kohler, 2010).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
AssessmentInstrument Elemento en el que se definen el resto de instrumentos de evaluación.	owl:Thing	title: especifica el nombre del instrumento de evaluación. description: describe el uso previsto del instrumento. isComposedOf: describe los elementos que componen el instrumento.	
DirectAssessmentInstrument Representa los instrumentos de evaluación que relacionan directamente la actividad y el estudiante.	AssessmentInstrument		Ídem AssessmentInstrument
IndirectAssessmentInstrument Representa los instrumentos de evaluación que relacionan indirectamente la actividad y el estudiante.	AssessmentInstrument		Ídem AssessmentInstrument
DiscussionGroup Representa un grupo de discusión.	Indirect AssessmentInstrument		Ídem AssessmentInstrument
EmploymentRates Representa una tasa de empleo.	Indirect AssessmentInstrument		Ídem AssessmentInstrument
Interview Representa una entrevista.	Indirect AssessmentInstrument		Ídem AssessmentInstrument
EmployerInterview Representa una entrevista con personal de contratación .	Interview		Ídem AssessmentInstrument

Tabla 9.2: Descripción de la ontología **AssessmentInstrument**. A partir de ella, se crea la ontología **Rubric**. Dicha ontología ha sido adaptada de (Panulla and Kohler, 2010).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
GraduateInterview Representa una entrevista con egresados.	Interview		Ídem AssessmentInstrument
SuccessIndicators Representa un instrumento que se basa en datos como los resultados académicos, premios o proyectos para evaluar la calidad del aprendizaje.	Indirect AssessmentInstrument		Ídem AssessmentInstrument
Survey Representa una encuesta.	Indirect AssessmentInstrument		Ídem AssessmentInstrument
Achievement Representa un logro.	Direct AssessmentInstrument		Ídem AssessmentInstrument
CaseStudy Representa un caso de estudio.	Direct AssessmentInstrument		Ídem AssessmentInstrument
Diary Representa un diario.	Direct AssessmentInstrument		Ídem AssessmentInstrument
DirectObservation Representa una evaluación por observación directa.	Direct AssessmentInstrument		Ídem AssessmentInstrument
Essay Representa un trabajo.	Direct AssessmentInstrument		Ídem AssessmentInstrument
ExternalPractice Representa una práctica externa.	Direct AssessmentInstrument		Ídem AssessmentInstrument

Tabla 9.3: Descripción de la ontología **AssessmentInstrument**. A partir de ella, se crea la ontología **Rubric**. Dicha ontología ha sido adaptada de (Panulla and Kohler, 2010).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
FinalDegree Representa un trabajo final.	Direct AssessmentInstrument		Ídem AssessmentInstrument
LaboratoryPractice Representa una práctica de laboratorio.	Direct AssessmentInstrument		Ídem AssessmentInstrument
OralExam Representa un examen oral.	Direct AssessmentInstrument		Ídem AssessmentInstrument
Portfolio Representa un <i>portfolio</i> .	Direct AssessmentInstrument		Ídem AssessmentInstrument
Poster Representa un poster.	Direct AssessmentInstrument		Ídem AssessmentInstrument
ProblemResolution Representa una resolución de problemas.	Direct AssessmentInstrument		Ídem AssessmentInstrument
Project Representa un proyecto.	Direct AssessmentInstrument		Ídem AssessmentInstrument
Report Representa un informe.	Direct AssessmentInstrument		Ídem AssessmentInstrument
TestExam Representa un examen de tipo test.	Direct AssessmentInstrument		Ídem AssessmentInstrument
WrittenExam Representa un examen escrito.	Direct AssessmentInstrument		Ídem AssessmentInstrument

Tabla 9.4: Descripción de la ontología **AssessmentInstrument**. A partir de ella, se crea la ontología **Rubric**. Dicha ontología ha sido adaptada de (Panulla and Kohler, 2010).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
Rubric Elemento central de la ontología Rubric . Es posible crear instancias de rúbricas analíticas, holísticas y de rasgo primario.	AssessmentInstrument	key : identificador de la rúbrica. hasScore : indica información extra de la puntuación de la rúbrica. hasCategory : permite asignar a la rúbrica varias categorías. hasScope : indica información extra del alcance de una rúbrica. associatedToActivity : indica la actividad que se evalúa con la rúbrica. hasCriteria : permite asignar los criterios a la categoría.	Ídem AssessmentInstrument
AnalyticRubric Desglosa la actividad en criterios y niveles permitiendo un análisis detallado.	Rubric		Ídem Rubric
CheckListRubric Rúbrica que emplea listas de verificación	Rubric		Ídem Rubric
HolisticRubric Rúbrica que hace un análisis global sin juzgar los componentes por separado.	Rubric		Ídem Rubric

Tabla 9.5: Descripción de la ontología **Rubric** (cont.). Ontología adaptada de (Panulla and Kohler, 2010).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
GridRubric Rúbrica basada en cuadrículas	AnalyticRubric		Ídem AnalyticRubric
Criterion En este elemento se basan las rúbricas analíticas y de rasgo primario. Se trata de los elementos que van a ser evaluados en la rúbrica	owl:Thing	<p>title: especifica el nombre del criterio.</p> <p>description: describe en qué consiste el criterio.</p> <p>key: identificador del criterio.</p> <p>weight: detalla el peso que tiene el criterio en la rúbrica.</p> <p>feedback: describe la retroalimentación del criterio.</p> <p>associatedCompetence: indica las competencias asociadas con el criterio.</p> <p>associatedObjective: indica los objetivos asociados con el criterio.</p> <p>hasLevels: contiene el conjunto de niveles de desempeño en los que se divide el criterio.</p>	
Level Componente principal de la clase <i>Rubric</i> en las rúbricas holísticas y de la clase <i>Criterion</i> en las rúbricas analíticas. Representa la escala de evaluación desde un desempeño pobre o nulo hasta un desempeño ejemplar.	owl:Thing	<p>benchmark: describe las características de ese grado de desempeño.</p> <p>quality: describe de manera cualitativa el grado de desempeño.</p> <p>max_score: describe cuantitativamente el grado de desempeño máximo.</p> <p>score: describe cuantitativamente el grado de desempeño.</p> <p>min_score: describe cuantitativamente el grado de desempeño mínimo.</p> <p>feedback: retroalimentación predefinida para guiar a los estudiantes.</p>	
Category Contenedores simples para agregar varios criterios.	owl:Thing	<p>title: especifica el nombre de la categoría.</p> <p>hasCriteria: permite asignar los criterios a la categoría.</p>	
Scope Contiene información extra acerca de cómo la rúbrica es aplicada.	owl:Thing	evaluator: especifica el tipo de evaluador.	
Scoring Contiene información extra acerca de la puntuación de la rúbrica.	owl:Thing	impact: especifica si la rúbrica es puntuable o no.	

Tabla 9.6: Descripción de la ontología **Competence**. Ontología adaptada de (Paquette, 2007).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
Competence Elemento central de la ontología. Es posible crear instancias de competencias genéricas y específicas.	owl:Thing	competenceID : especifica el identificador de la competencia. competenceStatement : especifica el nombre de la competencia. competenceLevel : indica el nivel de la competencia. consistsOfCompetences : indica las subcompetencias de una competencia. associatedObject : indica los objetos asociados a una competencia. hasPerformanceCriteria : indica los criterios asociados a una competencia. usesSkill : indica la habilidad asociada a una competencia.	
GenericCompetence Permite definir competencias genéricas.	Competence		Ídem Competence
SpecificCompetence Permite definir competencias específicas.	Competence		Ídem Competence
Skill Contenedores para agregar habilidades.	owl:Thing	title : especifica el nombre de la habilidad. meta-domain : permite asignar el meta-dominio de la habilidad.	
Create Habilidades de creación.	Skill		Ídem Skill
Receive Habilidades de recepción.	Skill		Ídem Skill
Reproduce Habilidades de reproducción.	Skill		Ídem Skill
Self-Manage Habilidades de auto-gestión.	Skill		Ídem Skill

Tabla 9.7: Descripción de la ontología **Competence** (cont.). Ontología adaptada de (Paquette, 2007).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
Analyze Habilidades de análisis.	Create		Ídem Skill
Repair Habilidades de reparación.	Create		Ídem Skill
Synthesize Habilidades de síntesis.	Create		Ídem Skill
Deduce Habilidades de deducción.	Analyze		Ídem Skill
Diagnose Habilidades de diagnóstico.	Analyze		Ídem Skill
Predict Habilidades de predicción.	Analyze		Ídem Skill
Classify Habilidades de clasificación.	Analyze		Ídem Skill
Induce Habilidades de inducción.	Synthesize		Ídem Skill
Model Habilidades de modelado.	Synthesize		Ídem Skill
Plan Habilidades de planificación.	Synthesize		Ídem Skill
Remember Habilidades de recuerdo.	Receive		Ídem Skill
Pay-Attention Habilidades de prestar atención.	Receive		Ídem Skill
Identify Habilidades de identificación.	Remember		Ídem Skill
Memorize Habilidades de memoria.	Remember		Ídem Skill

Tabla 9.8: Descripción de la ontología **Competence** (cont.). Ontología adaptada de (Paquette, 2007).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
Apply Habilidades de aplicación.	Reproduce		Ídem Skill
Explicitate Habilidades de explicitación.	Reproduce		Ídem Skill
Transpose Habilidades de trasposición.	Reproduce		Ídem Skill
Simulate Habilidades de simulación.	Apply		Ídem Skill
Use Habilidades de uso.	Apply		Ídem Skill
Clarify Habilidades de aclarado.	Explicitate		Ídem Skill
Discriminate Habilidades de discriminación.	Explicitate		Ídem Skill
Illustrate Habilidades de ilustración.	Explicitate		Ídem Skill
Evaluate Habilidades de evaluación.	Self-Manage		Ídem Skill
Self-Control Habilidades de auto-control.	Self-Manage		Ídem Skill
Control Habilidades de control.	Self-Control		Ídem Skill
Influence Habilidades de influencia.	Self-Control		Ídem Skill

Tabla 9.9: Descripción de la ontología **LearningObjective**. Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>LearningObjective Objeto de aprendizaje definido en un proceso de aprendizaje a nivel cognitivo, psicomotor, afectivo, ético, social o productivo.</p>	<p>LearningObjective Resource</p>	<p>identifierObjective: especifica el identificador del objetivo. objectiveDescriptor: describe el objetivo. describesFollowUpOf: especifica los alumnos que deberían alcanzar ese objetivo. isAchievedFromActivities: especifica las actividades en las que el objeto está definido para ser alcanzado por el alumno. requiredByActivities: especifica las actividades que requieren el objetivo como precondition para ser realizadas por el alumno. hasAssociatedCriteria: especifica el criterio de la rúbrica asociado. requiresKnowledgeObjects: describe los objetos de conocimiento que debe adquirir el estudiante para alcanzar el objetivo de aprendizaje. performsWith: indica los indicadores de desempeño asociados con el objetivo de aprendizaje.</p>	
<p>DidacticObjective Objetivo definido en las unidades de mayor nivel de un curso, como las fases.</p>	<p>LearningObjective</p>	<p>consistOfObjectives: especifica los posibles objetivos de aprendizaje (didácticos y/o específicos) en los que se descompone un objetivo didáctico. isAchievedFromPhases: especifica las fases en las que el objetivo está definido para ser alcanzado por el alumno. requiredByPhases: especifica las fases que requieren el objetivo como precondition para ser realizadas por el estudiante.</p>	<p>Ídem LearningObjective</p>
<p>SpecificObjective Objetivo definido en los niveles bajos de las unidades de aprendizaje. Por ejemplo las actividades establecidas.</p>	<p>LearningObjective</p>	<p>levelReliability: especifica el número de veces que el estudiante debe alcanzar el objetivo para considerarlo completamente adquirido.</p>	<p>Ídem DidacticObjective</p>

Tabla 9.10: Descripción de la ontología **LearningObjective** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
CognitiveObjective Objetivo referido a estructuras de conocimiento (basado en la taxonomía de Bloom descrita en la Sección 3.2.1).	SpecificObjective		identifierObjective objectiveDescriptor describesFollowUpOf isAchievedFromActivities performsWith hasAssociatedCriteria requiredByActivities requiresKnowledgeObjects levelReliability
Analyze Objetivo cognitivo del nivel de análisis.	CognitiveObjective		Ídem CognitiveObjective
Apply Objetivo cognitivo del nivel de aplicación.	CognitiveObjective		Ídem CognitiveObjective
Create Objetivo cognitivo del nivel de creación.	CognitiveObjective		Ídem CognitiveObjective
Evaluate Objetivo cognitivo del nivel de evaluación.	CognitiveObjective		Ídem CognitiveObjective
Remember Objetivo cognitivo del nivel de recuerdo.	CognitiveObjective		Ídem CognitiveObjective
Understand Objetivo cognitivo del nivel de comprensión.	CognitiveObjective		Ídem CognitiveObjective

Tabla 9.11: Descripción de la ontología **LearningObjective** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
IsAbleToClassify Objetivo de análisis que indica que el usuario es capaz de clasificar un objeto.	Analyze		Ídem Analyze
IsAbleToDeduce Objetivo de análisis que indica que el usuario es capaz de deducir algo.	Analyze		Ídem Analyze
IsAbleToDiagnose Objetivo de análisis que indica que el usuario es capaz de diagnosticar algo.	Analyze		Ídem Analyze
IsAbleToPredict Objetivo de análisis que indica que el usuario es capaz de predecir algo.	Analyze		Ídem Analyze
IsAbleToApply Objetivo de aplicación que indica que el usuario es capaz de aplicar algo a un objeto.	Apply		Ídem Apply
IsAbleToBuild Objetivo de aplicación que indica que el usuario es capaz de construir algo.	Apply		Ídem Apply
IsAbleToChoose Objetivo de aplicación que indica que el usuario es capaz de elegir algo.	Apply		Ídem Apply
IsAbleToObtain Objetivo de aplicación que indica que el usuario es capaz de obtener algo.	Apply		Ídem Apply
IsAbleToSimulate Objetivo de aplicación que indica que el usuario es capaz de simular algo.	Apply		Ídem Apply

Tabla 9.12: Descripción de la ontología **LearningObjective** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
IsAbleToDesign Objetivo de creación que indica que el usuario es capaz de diseñar algo.	Create		Ídem Create
IsAbleToInduce Objetivo de creación que indica que el usuario es capaz de inducir algo.	Create		Ídem Create
IsAbleToPlan Objetivo de creación que indica que el usuario es capaz de planear algo.	Create		Ídem Create
KnowsRecognize Objetivo que indica que el usuario es capaz de reconocer algo.	Remember		Ídem Remember
KnowsThat Objetivo que indica que el usuario es capaz de saber algo.	Remember		Ídem Remember
KnowsWhatIs Objetivo que indica que el usuario es capaz de saber qué es algo.	Remember		Ídem Remember
KnowsWhereIs Objetivo que indica que el usuario es capaz de saber dónde está algo.	Remember		Ídem Remember
KnowsThatActionInPlanPost Objetivo que indica que el usuario sabe cuál es la acción posterior en el plan.	KnowsThat		Ídem KnowsThat
KnowsThatActionObjectInPlanPost Objetivo que indica que el usuario sabe cuál es el objeto de la acción posterior en el plan.	KnowsThat		Ídem KnowsThat

Tabla 9.13: Descripción de la ontología **LearningObjective** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
KnowsThatArgOrderNextActionIs Objetivo que indica que el usuario sabe cuál es el orden de los argumentos en la siguiente acción en el plan.	KnowsThat		Ídem KnowsThat
KnowsThatNextActionIs Objetivo que indica que el usuario sabe cuál es la siguiente acción en el plan.	KnowsThat		Ídem KnowsThat
KnowsThatNextOperatorIs Objetivo que indica que el usuario sabe cuál es el siguiente operador en el plan.	KnowsThat		Ídem KnowsThat
RequiresPlanToAchieve Objetivo que indica que el usuario sabe cuál es el plan requerido para alcanzar un objetivo.	KnowsThat		Ídem KnowsThat
KnowWhatIsFor Objetivo que indica que el usuario sabe para qué se usa un objeto.	KnowsWhatIs		Ídem KnowWhatIs
AffectiveObjective Objetivo de nivel afectivo basado en la taxonomía de Bloom.	SpecificObjective		Ídem CognitiveObjective
Characterization Objetivo que representa una actuación práctica conforme a un sistema de valores.	AffectiveObjective		Ídem AffectiveObjective
EmotionalAbility Objetivo que representa una habilidad emocional.	AffectiveObjective		Ídem AffectiveObjective

Tabla 9.14: Descripción de la ontología **LearningObjective** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
Organization Objetivo afectivo de nivel organizativo.	AffectiveObjective		Ídem AffectiveObjective
Receiving Objetivo afectivo de nivel receptivo.	AffectiveObjective		Ídem AffectiveObjective
Responding Objetivo afectivo de nivel de respuesta.	AffectiveObjective		Ídem AffectiveObjective
Valuing Objetivo afectivo de nivel valorativo.	AffectiveObjective		Ídem AffectiveObjective
Curiosity Objetivo relacionado con la curiosidad.	EmotionalAbility		Ídem EmotionalAbility
Empathy Objetivo relacionado con la empatía.	EmotionalAbility		Ídem EmotionalAbility
FearControl Objetivo relacionado con el control de miedos.	EmotionalAbility		Ídem EmotionalAbility
SelfControl Objetivo relacionado con el autocontrol.	EmotionalAbility		Ídem EmotionalAbility
SelfKnown Objetivo relacionado con el conocimiento de uno mismo.	EmotionalAbility		Ídem EmotionalAbility
SelfRegulation Objetivo relacionado con la autorregulación.	EmotionalAbility		Ídem EmotionalAbility
StressControl Objetivo relacionado con el control de stress.	EmotionalAbility		Ídem EmotionalAbility
Trust Objetivo relacionado con la confianza.	EmotionalAbility		Ídem EmotionalAbility

Tabla 9.15: Descripción de la ontología **LearningObjective** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
PsychomotorObjective Objetivo psicomotor basado en la taxonomía de Bloom.	SpecificObjective		Ídem SpecificObjective
BasisFundamentalMovement Objetivo referido a movimientos simples.	PsychomotorObjective		Ídem PsychomotorObjective
NonVerbalCommunication Objetivo referido a comunicación no verbal.	PsychomotorObjective		Ídem PsychomotorObjective
PerceptualAbility Objetivo referido a habilidades perceptivas.	PsychomotorObjective		Ídem PsychomotorObjective
PhysicalAbility Objetivo referido a habilidades físicas.	PsychomotorObjective		Ídem PsychomotorObjective
Reflex Objetivo referido a movimientos reflejos.	PsychomotorObjective		Ídem PsychomotorObjective
SkilledMovement Objetivo referido a movimientos hábidosos.	PsychomotorObjective		Ídem PsychomotorObjective

Tabla 9.16: Descripción de la ontología **LearningObjective** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
EthicalObjective Objetivo referido a valores éticos.	SpecificObjective		Ídem CognitiveObjective
FinalValues Aquellos a los que aspira el individuo como fin en sí mismo.	EthicalObjective		Ídem EthicalObjective
InstrumentalValues Medios necesarios para alcanzar los valores finales.	EthicalObjective		Ídem EthicalObjective
Equality Objetivos de igualdad.	FinalValues		Ídem EthicalObjective
Fraternity Objetivos de fraternidad.	FinalValues		Ídem EthicalObjective
Freedom Objetivos de libertad.	FinalValues		Ídem EthicalObjective
Happiness Objetivos de felicidad.	FinalValues		Ídem EthicalObjective
InnerHarmony Objetivos de armonía.	FinalValues		Ídem EthicalObjective
MatureLove Objetivos de amor maduro.	FinalValues		Ídem EthicalObjective
Peace Objetivos de paz.	FinalValues		Ídem EthicalObjective
PersonalSecurity Objetivos de seguridad personal.	FinalValues		Ídem EthicalObjective
SelfRespect Objetivos de auto-respeto.	FinalValues		Ídem EthicalObjective

Tabla 9.17: Descripción de la ontología **LearningObjective** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
Wisdom Objetivos de sabiduría.	FinalValues		Ídem EthicalObjective
WorldOfBeauty Objetivos de belleza.	FinalValues		Ídem EthicalObjective
Ecology Objetivos ecológicos.	InstrumentalValues		Ídem EthicalObjective
Honesty Objetivos de honestidad.	InstrumentalValues		Ídem EthicalObjective
Humility Objetivos de humildad.	InstrumentalValues		Ídem EthicalObjective
Justice Objetivos de justicia.	InstrumentalValues		Ídem EthicalObjective
Respect Objetivos de respeto.	InstrumentalValues		Ídem EthicalObjective
Responsibility Objetivos de responsabilidad.	InstrumentalValues		Ídem EthicalObjective
SocialCommitment Objetivos de compromiso social.	InstrumentalValues		Ídem EthicalObjective
Solidarity Objetivos de solidaridad.	InstrumentalValues		Ídem EthicalObjective
Tolerance Objetivos de tolerancia.	InstrumentalValues		Ídem EthicalObjective

Tabla 9.18: Descripción de la ontología **LearningObjective** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
ProductiveObjective Objetivos referido a habilidades para emprender con éxito un proyecto o empresa.	SpecificObjective		Ídem CognitiveObjective
Anticipation Objetivos de anticipación.	ProductiveObjective		Ídem ProductiveObjective
Autodidact Objetivos autodidactas.	ProductiveObjective		Ídem ProductiveObjective
Initiative Objetivos de iniciativa.	ProductiveObjective		Ídem ProductiveObjective
Innovation Objetivos de innovación.	ProductiveObjective		Ídem ProductiveObjective
Leadership Objetivos de liderazgo.	ProductiveObjective		Ídem ProductiveObjective
Negotiation Objetivos de negociación.	ProductiveObjective		Ídem ProductiveObjective
Perseverance Objetivos de perseverancia.	ProductiveObjective		Ídem ProductiveObjective
Proactivity Objetivos de proactividad.	ProductiveObjective		Ídem ProductiveObjective
ProblemsIdentification Objetivos de identificación de problemas.	ProductiveObjective		Ídem ProductiveObjective
ProjectManagement Objetivos de gestión de proyectos.	ProductiveObjective		Ídem ProductiveObjective
Strategy Objetivos estratégicos.	ProductiveObjective		Ídem ProductiveObjective
TakeRisks Objetivos de toma de riesgos.	ProductiveObjective		Ídem ProductiveObjective

Tabla 9.19: Descripción de la ontología **LearningObjective** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
SocialObjective Objetivos referido a las relaciones con otras personas.	SpecificObjective		Ídem CognitiveObjective
Communication Objetivos de comunicación.	SocialObjective		Ídem SocialObjective
DisputeResolution Objetivos de resolución de conflictos.	SocialObjective		Ídem SocialObjective
Empathy Objetivos de empatía.	SocialObjective		Ídem SocialObjective
Leadership Objetivos de liderazgo.	SocialObjective		Ídem SocialObjective
Persuasion Objetivos de persuasión.	SocialObjective		Ídem SocialObjective
Teamwork Objetivos de trabajo en equipo.	SocialObjective		Ídem SocialObjective
ActiveListening Objetivos de escucha activa.	Communication		Ídem Communication
Assertiveness Objetivos de asertividad.	Communication		Ídem Communication
NonverbalCommunication Objetivos de comunicación no verbal.	Communication		Ídem Communication
OralCommunication Objetivos de comunicación oral.	Communication		Ídem Communication
WrittenCommunication Objetivos de comunicación escrita.	Communication		Ídem Communication

Tabla 9.20: Descripción de la ontología **PerformanceIndicator**.

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
PerformanceCriteria Permite especificar los criterios que se tendrán en cuenta en una competencia.	owl:Thing	hasPerformanceLevel : especifica el nivel necesario para superar el criterio.	
Autonomy Autonomía que se requiere en el logro de la competencia para desarrollar con éxito una tarea.	PerformanceCriteria		Ídem PerformanceCriteria
Complexity Grado de complejidad con la que se debe afrontar el logro de una competencia.	PerformanceCriteria		Ídem PerformanceCriteria
Context Contextos en los que se debe lograr una competencia.	PerformanceCriteria		Ídem PerformanceCriteria
Frequency Frecuencia con la que se debe lograr una competencia para desempeñar con éxito una actividad.	PerformanceCriteria		Ídem PerformanceCriteria
Scope Alcance del dominio de una competencia.	PerformanceCriteria		Ídem PerformanceCriteria
PerformanceLevel Nivel de desempeño de un criterio.	owl:Thing	belongsToPerformanceCriteria : especifica el criterio asociado a este nivel. level : especifica el nivel de desempeño. detail : contiene los detalles del nivel.	

Tabla 9.21: Descripción de la ontología **StudentProfile**. Ontología adaptada de (Clemente, 2011) y (Global Learning Consortium, 2002).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>LearnerInformation</p> <p>Clase que contiene toda la información acerca del perfil del estudiante.</p>	owl:Thing	<p>hasQLC: contiene toda la información acerca de calificaciones, certificados y licencias adquiridas por el estudiante.</p> <p>hasIdentification: contiene toda la información sobre los datos identificativos del alumno.</p> <p>hasGoal: registra los objetivos de los estudiantes.</p> <p>hasActivity: almacena los datos relativos a las actividades realizadas por los estudiantes.</p> <p>hasTranscript: registro que proporciona un resumen de los logros académicos.</p> <p>hasAccessibility: define las discapacidades, elegibilidad, preferencias y capacidades del lenguaje.</p> <p>hasCompetency: define las competencias del estudiante.</p> <p>hasInterest: información que describe los hobbies y las actividades recreativas.</p> <p>personalTrait: identifica los rasgos de personalidad del usuario.</p> <p>profileOfStudent: identifica el estudiante.</p> <p>hasAffiliation: registra si el alumno es miembro de alguna organización o grupo.</p> <p>hasSecurityKey: conjunto de claves y contraseñas asignadas al usuario.</p> <p>hasRelationship: contiene las relaciones entre usuarios y organizaciones.</p>	
<p>Identification</p> <p>Objetivo referido a los datos identificativos.</p>	owl:Thing	<p>username: contiene el nombre del usuario.</p> <p>hasName: contiene el nombre completo del usuario.</p>	

Tabla 9.22: Descripción de la ontología **StudentProfile** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011) y (Global Learning Consortium, 2002).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>Goal</p> <p>Clase que contiene toda la información acerca de las metas del estudiante.</p>	owl:Thing	<p>hasDate: contiene la fecha de creación de la meta.</p> <p>priority: indica la relevancia del objetivo.</p> <p>hasGoal: registra los subobjetivos.</p> <p>hasStatus: registra el estado en el que se encuentra la meta (adquirido, activo).</p> <p>hasTypeName: detalla el tipo de objetivo.</p> <p>hasDescription: detalla el objetivo.</p>	
<p>QCL</p> <p>Clase que contiene toda la información acerca de las cualificaciones, certificaciones y licencias obtenidas por el usuario.</p>	owl:Thing	<p>title: contiene el nombre de la cualificación, certificación o licencia.</p> <p>hasOrganization: contiene el nombre de la organización responsable de la cualificación, certificación o licencia.</p> <p>registrationNo: identificador único.</p> <p>level: detalla el nivel de la cualificación, certificación o licencia.</p> <p>hasDate: contiene la fecha de obtención de la cualificación, certificación o licencia.</p> <p>hasTypeName: detalla el tipo de certificado.</p> <p>hasDescription: detalla la cualificación, certificación o licencia.</p>	
<p>Activity</p> <p>Registra la información referente a las actividades realizadas por el alumno.</p>	owl:Thing	<p>hasDate: contiene las fechas relevantes de la actividad.</p> <p>hasStatus: registra el estado en el que se encuentra la actividad (adquirido, activo).</p> <p>hasUnits: indica los créditos, horas u otras medidas de la actividad.</p> <p>hasProduct: material producido por el estudiante en el desarrollo de la actividad.</p> <p>hasTestimonial: comentarios al alumno acerca de la actividad.</p> <p>hasEvaluation: contiene los resultados de la actividad.</p> <p>hasTypeName: detalla el tipo de actividad.</p> <p>hasDescription: detalla los materiales.</p>	

Tabla 9.23: Descripción de la ontología **StudentProfile** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011) y (Global Learning Consortium, 2002).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>Transcript</p> <p>Clase que contiene toda la información acerca de los logros académicos del estudiante.</p>	<p>owl:Thing</p>	<p>hasExRefRecord: contiene la información sobre el logro (fecha, estado, enlace).</p> <p>hasTypeName: detalla el tipo de transcripción.</p> <p>hasDescription: detalla el logro.</p>	
<p>Accessibility</p> <p>Clase que contiene toda la información acerca de las preferencias, discapacidades y habilidades del lenguaje del usuario.</p>	<p>owl:Thing</p>	<p>hasLanguage: describe las habilidades lingüísticas del usuario.</p> <p>hasPreference: contiene las preferencias sobre entorno, tecnología o estilo preferidos por el estudiante.</p> <p>hasEligibility: contiene los criterios que deben ser aplicados acerca de un estudiante para el desarrollo de una actividad (prerrequisitos académicos, económicos, etc.).</p> <p>hasDisability: registra cualquier dato sobre discapacidad que tenga el estudiante.</p>	
<p>Interest</p> <p>Registra la información referente a los hobbies y actividades recreativas del alumno.</p>	<p>owl:Thing</p>	<p>hasProduct: contiene los materiales que han sido creados por el alumno.</p> <p>hasTypeName: detalla el tipo de interés.</p> <p>hasDescription: detalla los materiales que han sido creados por el alumno.</p>	
<p>Competency</p> <p>Registra la información de las competencias del alumno.</p>	<p>owl:Thing</p>	<p>hasExRefRecord: contiene los datos externos de la competencia (fecha, tipo, url).</p> <p>hasDescription: detalla las competencia adquirida por el estudiante.</p>	

Tabla 9.24: Descripción de la ontología **StudentProfile** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011) y (Global Learning Consortium, 2002).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>Affiliation</p> <p>Clase que contiene toda la información acerca de las organizaciones a las que está afiliado el estudiante.</p>	owl:Thing	<p>classification: contiene la clase de afiliación (ejecutivo, honorario, etc.).</p> <p>affiliationID: número de afiliación asignado al estudiante.</p> <p>role: rol que tiene el usuario en la organización.</p> <p>hasOrganization: registra el nombre de la organización a la que el estudiante está afiliado.</p> <p>hasDate: contiene las fechas relevantes como la de unión o expiración.</p> <p>hasStatus: informa acerca del estado de afiliación del estudiante.</p> <p>hasDescription: describe la organización.</p> <p>hasTypeName: detalla el tipo de afiliación.</p> <p>hasAffiliation: detalla las organizaciones existentes a las que está afiliado el estudiante dentro de otras organizaciones.</p>	
<p>SecurityKeys</p> <p>Clase que registra toda la información referente a las claves y contraseñas del usuario.</p>	owl:Thing	<p>keyfields: describe una tupla con la información sobre el tipo de clave y la propia clave.</p> <p>description: contiene la descripción de las claves.</p> <p>hasTypeName: detalla el tipo de clave de seguridad.</p> <p>hasDescription: contiene los detalles acerca de la tupla.</p>	
<p>Relationship</p> <p>Registra la información referente a las relaciones entre otras estructuras.</p>	owl:Thing	<p>tuple: identifica las entidades de la relación.</p> <p>hasDescription: detalla la relación.</p>	

Tabla 9.25: Descripción de la ontología **UnitOfLearning**. Ontología adaptada de (Amorim et al., 2006).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
UnitOfLearning Clase que define un modulo general de un proceso educativo.	owl:Thing	identifier : contiene el identificador único de la unidad de aprendizaje. metadata-ref : metadatos que describen la unidad de aprendizaje. resources-ref : registra los recursos existentes en la unidad de aprendizaje. organization-ref : registra la organización de la unidad de aprendizaje.	
Organization Clase que estructura la unidad de aprendizaje.	owl:Thing		
Resource Registra todos los recursos existentes.	owl:Thing	identifier : identifica de manera inequívoca el recurso. href : referencia el recurso a través de su url. metadata-ref : describe el recurso. type : indica si el recurso es contenido Web o contenido dentro del curso.	

Tabla 9.26: Descripción de la ontología **UnitOfLearning** (cont.). Ontología adaptada de (Amorim et al., 2006).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
ActivityDescriptionResource Registra todas las descripciones de actividad.	Resource		Ídem Resource
CompetenceResource Registra todas las competencias.	Resource		Ídem Resource
InformationResource Registra todos los recursos informativos.	Resource		Ídem Resource
LearningObjectResource Registra todos los objetos de aprendizaje.	Resource		Ídem Resource
PrerequisiteResource Registra todos los prerrequisitos.	Resource		Ídem Resource
FeedbackDescriptionResource Registra todas las descripciones de retroalimentación.	Resource		Ídem Resource
LearningObjectiveResource Registra todos los objetivos de aprendizaje.	Resource		Ídem Resource

Tabla 9.27: Descripción de la ontología **LearningDesign**. Ontología adaptada de (Amorim et al., 2006).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
LearningDesign Registra el diseño de aprendizaje.	Organization	<p>identifier: identifica de manera inequívoca el diseño de aprendizaje.</p> <p>learning-objective: detalla los objetivos de aprendizaje.</p> <p>title: contiene el título del diseño instruccional.</p> <p>prerequisite: detalla los prerrequisitos.</p> <p>version: versión del diseño.</p> <p>uri: especifica la uri del diseño.</p> <p>level: indica el nivel de diseño definido de acuerdo al estándar (A,B o C).</p> <p>sequence-used: indica si se emplea el estándar IMS Simple Sequencing.</p> <p>metadata-ref: referencia los metadatos.</p> <p>method-ref: referencia el método aplicado en el diseño.</p> <p>component-ref: contiene las referencias a los componentes aplicados en el diseño.</p> <p>prerequisite-ref: contiene la referencia a los prerrequisitos aplicados en el diseño.</p>	Ídem Organization
Component Registra todos los componentes.	owl:Thing		
Role Registra todos los roles.	Component	<p>identifier: identifica de manera inequívoca el rol.</p> <p>uri: cadena de caracteres para identificar el rol.</p> <p>min-persons: número de personas mínimo para desempeñar el rol.</p> <p>create-new: permite la creación de un nuevo rol.</p> <p>match-persons: especifica el número de personas ideal para desempeñar el rol.</p> <p>metadata-ref: contiene información adicional sobre el rol.</p> <p>max-persons: número de personas máximo para desempeñar el rol.</p> <p>information: contiene información sobre el rol.</p> <p>performsAct: contiene información sobre el acto.</p> <p>title: contiene el nombre del rol.</p>	Ídem Component

Tabla 9.28: Descripción de la ontología **LearningDesign** (cont.). Ontología adaptada de ([Amorim et al., 2006](#)).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
Activity Registra las actividades.	Component	hasAssessmentInstrument: relaciona una actividad con un instrumento de evaluación. hasCompetence: relaciona la actividad con sus competencias. hasObjective: relaciona la actividad con sus objetivos. hasPlan: relaciona la actividad con su plan. identifier: identificador de la actividad. hasStructure: relaciona la actividad con su estructura. isPerformedIn: relaciona la actividad con su entorno. activityDescription: contiene la descripción de la actividad. complete-activity-ref: referencia de la actividad. environment-ref: referencia del entorno. execution-order: orden de ejecución. metadata-ref: referencia de los metadatos. on-completion-ref: referencia al completar la actividad. isVisible: indica si los usuarios pueden visualizar la actividad. title: título de la actividad.	Ídem Component
Environment Registra todos los entornos.	Component	identifier: identifica de manera inequívoca el entorno. title: título del entorno. learningObject: contiene los objetos de aprendizaje que intervienen en el entorno. service-ref: contiene las funcionalidades que ofrece el entorno (conferencias, búsquedas o envíos de correos). metadata-ref: otros datos relevantes del entorno.	Ídem Component
Method Registra todas las funciones que recogen información durante y al finalizar una unidad de aprendizaje.	Component	on-completion-ref: Referencia a la actividad completada. complete-unit-of-learning-ref: Referencia a la unidad de aprendizaje. play-ref: Referencia a la obra.	Ídem Component

Tabla 9.29: Descripción de la ontología **LearningDesign** (cont.). Ontología adaptada de (Amorim et al., 2006).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
Learner Registra todas las instancias de roles de estudiantes.	Role	learner: contiene los subroles del rol.	Ídem Role
Staff Registra todas las instancias de roles de miembros de plantilla.	Role	staff: contiene los subroles del rol.	Ídem Role
ConferenceManager Registra todas las instancias de roles de directores de conferencia.	Role		Ídem Role
Moderator Registra todas las instancias de roles de moderadores.	Role		Ídem Role
Participant Registra todas las instancias de roles de participantes.	Role		Ídem Role
Instructor Registra todas las instancias de roles de instructores.	Role	username: nombre de usuario. manageActivity: indica la actividad gestionada. password: clave de usuario.	Ídem Role
LearningActivity Registra las actividades de aprendizaje.	Activity	learning-objectives: listado de los objetivos de la actividad. prerequisite: contiene los prerrequisitos de la actividad.	Ídem Activity
SupportActivity Registra las actividades de apoyo.	Activity	role-ref: referencia al rol del participante en la actividad.	Ídem Activity

Tabla 9.30: Descripción de la ontología **LearningDesign** (cont.). Ontología adaptada de (Amorim et al., 2006).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
ActivityStructure Registra la estructura de la actividad.	owl:Thing	<p>identifier: título de la actividad.</p> <p>numberToSelect: contiene el número de sub-actividades que deben ser superadas para completar la actividad.</p> <p>sort: determina el orden de clasificación en relación con la visibilidad. Por defecto, el orden en que las actividades son visualizadas es el orden especificado en la estructura de la actividad.</p> <p>structureType: indica el tipo de la estructura (secuencia o selección).</p> <p>environment-ref: referencia el entorno.</p> <p>execution-entity-ref: referencia la entidad en ejecución.</p> <p>execution-order: indica el orden de ejecución.</p> <p>information: indica la información sobre la estructura.</p> <p>metadata-ref: referencia los metadatos.</p> <p>title: título de la estructura.</p>	
Play Registra la información de la obra/actuación.	Method	<p>identifier: identificador de la actuación.</p> <p>isVisible: indica la visibilidad de la actuación.</p> <p>title: indica el título de la actuación.</p> <p>on-completion-ref: Referencia la actividad completada.</p> <p>act-ref: Referencia los actos.</p> <p>complete-play-ref: contiene un conjunto de elementos que especifican cuándo una obra es completada.</p> <p>metadata-ref: otros datos relevantes de la actuación.</p>	Ídem Method

Tabla 9.31: Descripción de la ontología **LearningDesign** (cont.). Ontología adaptada de (Amorim et al., 2006).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
Complete-Unit Especifica cuándo se completan las unidades de aprendizaje.	owl:Thing	whenPlayCompleted: indica el conjunto de actuaciones que deben ser completadas para superar la unidad. timeLimit: especifica el límite de tiempo para completar la actividad.	
On-Completion-Unit Registra las acciones que ocurren cuando una unidad es completada.	Method	feedbackDescription: almacena toda la información de retroalimentación en caso de completar la unidad.	Ídem Method
Act Registra toda la información referente a un acto.	Play	role-part-ref: relaciona los roles con las actividades.	Ídem Play

Tabla 9.32: Descripción de la ontología **LearningDesign** (cont.). Ontología adaptada de (Amorim et al., 2006).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>Condition Registra las condiciones y precondiciones de la unidad de aprendizaje.</p>	Method	<p>title: indica el nombre de la condición. if: contiene la información acerca de la primera parte de la expresión (puede evaluarse con un verdadero o un falso). then: contiene lo que ocurre si el valor de la primera parte es verdadero. else: contiene lo que ocurre si el valor de la primera parte es falso. metadata-ref: especifica otra información acerca de las condiciones.</p>	Ídem Method
<p>Restriction Restricciones de los elementos.</p>	Component	<p>restriction: contiene la propia restricción. restriction-type: especifica el tipo de restricción.</p>	Ídem Component
<p>Property Define las propiedades existentes de los elementos.</p>	Component	<p>identifier: contiene el identificador de la propiedad. property-ref: contiene un grupo de propiedades definidas en conjunto.</p>	Ídem Component
<p>InternalProperty Propiedades internas de los elementos.</p>	Property	<p>title: contiene el nombre de la propiedad. metadata-ref: especifica otra información acerca de las propiedades. initialValue: valor inicial de la propiedad. restriction-ref: referencia las restricciones.</p>	Ídem Property
<p>LocProperty Define las propiedades locales de los elementos.</p>	InternalProperty		Ídem InternalProperty

Tabla 9.33: Descripción de la ontología **LearningDesign** (cont.). Ontología adaptada de (Amorim et al., 2006).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
LocPersProperty Define las propiedades locales de los elementos para un individuo concreto.	InternalProperty		Ídem InternalProperty
LocRoleProperty Define las propiedades locales de los elementos para un rol concreto.	InternalProperty		Ídem InternalProperty
ExternalProperty Define las propiedades externas existentes de los elementos.	Property	existing: contiene la url.	Ídem Property
GlobProperty Propiedades globales de los elementos.	ExternalProperty		Ídem ExternalProperty
GlobPersProperty Define las propiedades globales de los elementos para un individuo concreto.	ExternalProperty		Ídem ExternalProperty
Property-Group Define los grupos de propiedades existentes de los elementos.	Component		Ídem Component

Tabla 9.34: Descripción de la ontología **KnowledgeObject**. Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
KnowledgeObject Elemento de conocimiento que se puede aprender en una determinada actividad educativa.	LearningObjectResource	idObject : especifica el identificador del objeto. descriptorObject : describe el objeto.	Ídem LearningObjectResource
StructuralKnowledge Objeto de conocimiento que describe un conocimiento estructural.	KnowledgeObject		idObject descriptorObject
Concept Representa una idea que pueda generalizarse a todos los objetos, fenómenos, etc. de la misma categoría.	StructuralKnowledge		Ídem StructuralKnowledge
Map Conjunto de escenarios que constituyen, en el espacio geométrico, el medio en el que se desarrolla la actividad.	Concept	consistsOfScenarios : especifica el conjunto de escenarios del mapa.	Ídem Concept
LocatingInMentalMap Orientación mental de una persona tomando ciertos puntos u objetos como referencia.	Concept	locatingOrigin : especifica la posición inicial del camino durante el cual el estudiante debe ubicarse mentalmente. locatingDestination : especifica la posición final del camino durante el cual el estudiante debe ubicarse mentalmente.	Ídem Concept
Eversight Conocimiento adquirido a través de los sentidos.	Concept		Ídem Concept

Tabla 9.35: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
Way Dirección que se sigue para llegar a un lugar a partir de otro.	Concept	startOfWay: especifica la posición inicial del camino. endOfWay: especifica la posición final del camino.	Ídem Concept
Strech Parte en la que se divide un camino.	Concept	pointStrechBeginning: especifica la posición inicial del tramo. pointStrechEnd: especifica la posición final del tramo.	Ídem Concept
Trajectory Dirección que sigue el estudiante al desplazarse de un punto a otro en el espacio geométrico.	Concept	distance: distancia a recorrer en la trayectoria. consistsOfSubscenarios: especifica los subescenarios. containsStrech: especifica los tramos. startOfTrajectory: especifica la posición inicial de la trayectoria. endOfTrajectory: especifica la posición final de la trayectoria. speed: especifica la velocidad de la trayectoria.	Ídem Concept
SensoryStimulus Define los estímulos sensoriales.	Concept		Ídem Concept
Object	Concept	objectPosition: contiene la posición del objeto	Ídem Concept
VirtualRealityObject Describe un objeto característico de espacios virtuales.	Object		descriptorObject idObject objectPosition
Scenario Describe el lugar geométrico donde se desarrolla una cierta actividad virtual.	VirtualRealityObject	isComposedOfSubscenarios: especifica las partes en las que se divide el escenario. isConnectedOfSubscenarios: identifica los posibles escenarios a los que se puede acceder a partir de este.	Ídem VirtualRealityObject

Tabla 9.36: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
ComputerInterfaceObject Objeto intrínseco al computador que puede ser manejado por un estudiante desde un punto de vista lógico.	Object		descriptorObject objectPosition idObject
File Conjunto de datos con un nombre asociado para poder ser referenciado de forma lógica.	ComputerInterfaceObject		Ídem ComputerInterfaceObject
Directory Objeto que contiene información jerarquizada sobre uno o más archivos o directorios. Tiene asociado un nombre para ser referenciado de forma lógica.	ComputerInterfaceObject		Ídem ComputerInterfaceObject
Widget Objeto usado para diseñar interfaces gráficas de usuario.	ComputerInterfaceObject		Ídem ComputerInterfaceObject
Container Objeto gráfico usado para ubicar otros componentes. Se establece así una jerarquía de objetos contenedores. El contenedor de nivel superior viene definido por el marco ventana.	Widget		Ídem ComputerInterfaceObject

Tabla 9.37: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
ContainerWindow Objeto gráfico de una aplicación usado como contenedor de nivel superior e incluirá otros componentes gráficos.	Container	locationByPlatform: indica la plataforma. height y width: establecen el tamaño del contenedor. xCoordinate y yCoordinate: establecen las coordenadas bidimensionales de la ventana.	Ídem ComputerInterfaceObject
Frame Ventana con una barra de título y con los botones para su manipulación que puede visualizarse en cualquier parte del escritorio.	ContainerWindow		descriptorObject idObject objectPosition height width xCoordinate yCoordinate
Window Ventana sin una barra de título y sin los botones para su manipulación y puede visualizarse en cualquier parte del escritorio.	ContainerWindow		Ídem Frame
Dialog Objeto contenedor que permite visualizar una caja de dialogo personalizada.	ContainerWindow		Ídem Frame

Tabla 9.38: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>Component Objeto contenedor atómico, o destinado a contener otros componentes. Este objeto pertenece a un contenedor de nivel superior.</p>	Container	<p>alignmentX y alignmentY: establecen la localización del componente con respecto al contenedor al que pertenece. colorBackground y colorForeground: establecen los colores del fondo y la fuente. font: establece la fuente del componente.</p>	Ídem ComputerInterfaceObject
<p>MenuBar Componente al que se añaden alineados uno o más menús que puede seleccionar el usuario.</p>	Component	<p>isBorderPainted: establece si el borde de la barra debe pintarse. isSelected: establece si la barra tiene un componente seleccionado.</p>	<p>descriptorObject idObject objectPosition alignmentX alignmentY</p>
<p>PopupMenu Menú que aparece cuando el usuario selecciona un elemento de una barra menús.</p>	Component	<p>invoker: componente que lo invoca. listMenuItem: elemento del menú.</p>	Ídem MenuBar
<p>FileChooser Tipo de cajas de diálogo estándar que permite al usuario seleccionar una unidad de disco, un directorio, una extensión de archivo y un nombre de archivo.</p>	Component	<p>chooseFileFilter: lista de filtros a elegir. acceptAllFileFilter: establece si el filtro de “todos los archivos” se incluye en la lista “Archivos de tipo”. multiSelectionEnabled: establece si puede ser seleccionado más de un archivo a la vez. dialogType: indica el tipo de cuadro de dialogo. fileFilter: indica el filtrado de archivos. fileSelectionMode: indica el modo de selección de archivos. selectFiles: nombre de los archivos seleccionados cuando está permitida su selección múltiple. currentDirectory: nombre del directorio actual en la selección.</p>	Ídem MenuBar

Tabla 9.39: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
ComboBox Componente formado por una caja de texto y una lista desplegable de la que se puede seleccionar un valor.	Component	isEditable: establece si el usuario puede escribir información en la caja de texto o bien, seleccionar un elemento de la lista (lista editable) o solo puede seleccionar elementos de la lista (lista no editable). maximumRowCount: establece el número de filas de elementos que muestran la lista.	Ídem MenuBar
List Componente que visualiza un conjunto de elementos de los que el usuario puede elegir uno.	Component	listData: establece los elementos de la lista. selectedValue: establece el valor o los valores seleccionados. selectionMode: establece si se pueden seleccionar uno o más elementos de la lista. selectionInterval: establece el intervalo de selección de la lista. layoutOrientation: establece si los elementos de la lista son visualizados en una sola columna o en múltiples columnas.	Ídem MenuBar
AbstractButton Componente que define el comportamiento común de los botones asociados a una interfaz gráfica y a los elementos del menú.	Component	textButton: establece el texto asociado al botón.	Ídem MenuBar
Button Botón de pulsación que permite al usuario ejecutar su acción asociada.	AbstractButton		descriptorObject idObject objectPosition alignmentX alignmentY textButton

Tabla 9.40: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
MenuItem Elemento de un menú (elemento de una barra de menús u opción de un menú desplegable).	AbstractButton		Ídem Button
Menu Menú de una barra de menús. Está formado principalmente por elementos MenuItem .	MenuItem		Ídem Button
RadioButtonMenuItem Componente (opción) que forma parte de un grupo de elementos de un menú desplegable y de los cuales solo puede ser seleccionado uno de ellos.	MenuItem		Ídem Button
CheckBoxMenuItem Elemento de un menú que, cuando es seleccionado, aparece una marca junto a él.	MenuItem		Ídem Button
ToggleButton Botón que puede tener dos estados - seleccionado o no seleccionado-.	AbstractButton		Ídem Button
CheckBox Casilla de verificación que gráficamente presenta si ha sido seleccionada o no.	ToggleButton		Ídem Button
RadioButton Botón de opción que presenta gráficamente si está seleccionado o no.	ToggleButton		Ídem Button

Tabla 9.41: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
ColorChooser Elemento de selección de color.	Component	color: indica el color seleccionado.	Ídem Component
Label Etiqueta para identificar algún componente.	Component	displayedMnemonic: muestra mnemotécnica. labelFor: indica el componente asociado. text: indica el texto de la etiqueta.	Ídem Component
Panel Caja con borde que sirve como contenedor.	Component		Ídem Component
ScrollBar Barra de desplazamiento.	Component	blockIncrement: desplazamiento habitual. maximum: cantidad máxima de desplazamiento. minimum: cantidad mínima de desplazamiento. orientationScrollBar: orientación de la barra de desplazamiento. unitIncrement: incremento unitario. visibleAmount: cantidad visible de desplazamiento.	Ídem Component
ScrollPane Panel de desplazamiento.	Component		Ídem Component
Separator Separador de elementos	Component		Ídem Component
ToolBar Barra de herramientas.	Component	listButton: lista de botones en la barra. orientationMenuBar: orientación de la barra.	Ídem Component
ToolTip Widget usado para visualizar mensajes breves asociados con otros widgets.	Component		Ídem Component

Tabla 9.42: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
ViewPort Vista de datos, objeto que se mueve cuando se usa una barra de desplazamiento para desplazar información.	Component		Ídem Component
TextComponent Componente gráfico de texto.	Component		Ídem Component
EditorPane Widget que permite editar diversos tipos de contenidos.	TextComponent		Ídem TextComponent
TextPane Widget que permite editar texto con formato.	EditorPane		Ídem EditorPane
TextArea Caja de texto multilínea.	TextComponent		Ídem TextComponent
TextField Caja de texto monolínea.	TextComponent		Ídem TextComponent
PasswordField Caja de texto para introducir una contraseña.	TextField		Ídem TextField

Tabla 9.43: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>Subscenario Describe uno de los subespacios geométricos pertenecientes a un escenario en el que se puede realizar una cierta actividad virtual.</p>	VirtualRealityObject	<p>containsObjects: especifica los objetos geométricos que pertenecen al subescenario. isConnectedToSubscenarios: identifica los posibles subescenarios a los que se puede acceder a partir de este.</p>	Ídem VirtualRealityObject
<p>GeometricObject Describe un objeto perteneciente a un escenario en el espacio geométrico de un entorno virtual.</p>	VirtualRealityObject	<p>belongsToSubscenario: especifica el subescenario al que pertenece el objeto geométrico. isManipulable: especifica si el objeto de un cierto subescenario se puede o no manejar</p>	Ídem VirtualRealityObject
<p>SimpleObject Describe un objeto geométrico sencillo, no divisible en otros objetos geométricos.</p>	GeometricObject		<p>idObject descriptorObject objectPosition isManipulable</p>
<p>CompoundObject Describe un objeto geométrico que está formado por más de un objeto simple.</p>	GeometricObject	isComposedOfObjects: especifica los objetos simples geométricos de los que está construido.	Ídem SimpleObject
<p>Relation Relación entre elementos de la ontología.</p>	StructuralKnowledge	<p>cardinality: especifica la cardinalidad de la relación. domain: especifica el dominio de la relación. range: especifica el rango de la relación. symetrical: especifica si la relación es simétrica. transitive: especifica si la relación es transitiva. reflexive: especifica si la relación es reflexiva. relationName: especifica el nombre de la relación.</p>	Ídem StructuralKnowledge
<p>PartOf Relación para establecer que un objeto forma parte de otro objeto.</p>	Relation		Ídem IsSonOf

Tabla 9.44: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>IsSonOf Establece una relación jerárquica ascendente entre objetos. Por ejemplo, entre un subdirectorio de un determinado directorio padre y este.</p>	Relation		<p>descriptorObject idObject domain range cardinality reflexive symmetrical transitive</p>
<p>UsedFor Relación para establecer para qué se usa un objeto.</p>	Relation		Ídem IsSonOf
<p>IsFatherOf Establece una relación jerárquica descendente entre objetos. Por ejemplo, entre un directorio y uno de los archivos o subdirectorios que contiene.</p>	Relation		Ídem IsSonOf
<p>Aggregation Relación que establece la agregación de un objeto a otro.</p>	Relation		Ídem IsSonOf
<p>Activation Relación que establece la habilitación o no de un objeto en un instante de navegación.</p>	Relation.		Ídem IsSonOf
<p>Activated Relación que establece si un objeto está habilitado en un instante de la navegación.</p>	Activation		Ídem IsSonOf

Tabla 9.45: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
Inhibited Relación que establece si un objeto no está habilitado en un instante de la navegación.	Activation		Ídem IsSonOf
Selection Relación que establece la selección o no de un objeto de la aplicación.	Relation		Ídem IsSonOf
Selected Relación que establece la selección de un objeto de la aplicación.	Selection		Ídem IsSonOf
NotSelected Relación que establece que un objeto de la aplicación no está seleccionado.	Selection		Ídem IsSonOf
NavigateTo Relación que establece la conexión de un objeto con otro de la aplicación.	Relation		Ídem IsSonOf
IsExecutedWith Relación para establecer con qué es ejecutado un objeto.	Relation		Ídem IsSonOf
IsOfClass Relación para establecer la clase a la que pertenece un objeto.	Relation		Ídem IsSonOf
RequiredObject Relación para establecer que objeto requiere otro objeto.	Relation		Ídem IsSonOf

Tabla 9.46: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
AreRelated Relación que establece si dos objetos están relacionados.	Relation		Ídem Relation
Exist Relación que establece si un elemento existe.	Relation		Ídem IsSonOf
InstanceOf Relación que establece si un elemento es una instancia.	Selection		Ídem IsSonOf
IsApplicableTo Relación que establece si un elemento es aplicable a otro.	Relation		Ídem IsSonOf
RequiresPrecond Relación que establece si un elemento requiere una precondition.	Relation		Ídem IsSonOf
SubclassOf Relación que establece si un elemento es subclase de otro.	Relation		Ídem IsSonOf
Position Describe la situación de una persona u objeto en el espacio geométrico.	Concept		Ídem Concept
AbsolutePosition Describe la situación de un objeto en un espacio bidimensional mediante coordenadas.	Position Variable	coordinateX : especifica la coordenada respecto al eje X. coordinateY : especifica la coordenada respecto al eje Y. coordinateZ : especifica la coordenada respecto al eje Z.	Ídem Concept representedConcept variableValue

Tabla 9.47: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>AreaPosition Describe la situación de una persona u objeto en el espacio geométrico referida a un cierto subescenario (área).</p>	Position	positionArea: especifica el subescenario respecto al cual se referencia la posición.	Ídem Concept representedConcept variableValue
<p>ObjectRelativePosition Describe la situación del objeto en el espacio bidimensional tomando como referencia un determinado objeto.</p>	Position	positionObject: especifica el objeto respecto al cual se referencia la posición.	Ídem Concept
<p>Process Conjunto de fases de un fenómeno natural o de una operación artificial.</p>	StructuralKnowledge		Ídem Concept
<p>Property Conocimiento que establece el atributo o propiedad de una persona o cosa.</p>	StructuralKnowledge	<p>isFunctional: especifica si la propiedad es funcional. isInverseFunctional: especifica si la propiedad es inversamente funcional. isSymmetrical: especifica si la propiedad es simétrica. belongsTo: especifica el concepto al que pertenece. valueType: especifica los tipos de valores que admite. propName: nombre de la propiedad. valueByDefault: especifica el valor por defecto que toma la propiedad en caso de no asignarle otro valor. value: valor asociado a la propiedad.</p>	Ídem Concept
<p>RelatedToPunctualAction Se refiere a las propiedades relacionadas con una acción puntual.</p>	Property		Ídem Property
<p>IsDangerous Se refiere a las propiedades relacionadas con una acción puntual peligrosa.</p>	RelatedToPunctualAction		Ídem Property

Tabla 9.48: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
IsRelevantArgOrder Se refiere a las propiedades relacionadas con una acción puntual cuyo orden de argumentos es relevante.	RelatedToPunctual Action	precedingArg: indica cuál es el argumento precedente.	Ídem Property
RelatedToQuestion Se refiere a las propiedades relacionadas con una pregunta.	Property		Ídem Property
QuestionType Propiedades relacionadas con un tipo de pregunta.	RelatedToQuestion	involvedElement: indica el elemento involucrado en la pregunta.	Ídem RelatedToQuestion
IsInPlan indica si la pregunta es acerca de si una acción se encuentra en el plan.	QuestionType		Ídem QuestionType
NeedObject indica si la pregunta es acerca de si una acción necesita un objeto.	QuestionType		Ídem QuestionType
WhatIs indica si la pregunta es acerca de qué es un determinado elemento.	QuestionType		Ídem QuestionType
WhatIsFor indica si la pregunta es acerca de para qué sirve un determinado objeto.	QuestionType		Ídem QuestionType
WhereIs indica si la pregunta es acerca de dónde se encuentra un objeto.	QuestionType		Ídem QuestionType

Tabla 9.49: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
Proposition Conocimiento que expresa una enunciación de una verdad demostrada o que se pretende demostrar.	StructuralKnowledge		Ídem Concept
Definition Proposición que expone clara y exactamente las características genéricas que diferencian una cosa.	Proposition		Ídem Concept
FormalDefinition Definición que se expresa con precisión.	Definition		Ídem Concept
InformalDefinition Definición que se expresa sin completa precisión.	Definition		Ídem Concept
PropositionExactSciences Proposición expresada en matemáticas y en lógica.	Proposition		Ídem Concept
Axiom Proposición admitida sin demostración.	PropositionExactSciences		Ídem Concept
Conjecture Proposición observada por observaciones o acontecimientos.	PropositionExactSciences		Ídem Concept

Tabla 9.50: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
Corollary Proposición deducida de lo demostrado antes (no necesita una prueba particular).	PropositionExactSciences		Ídem Concept
FormalFact Proposición que especifica con exactitud una acción o cosa que sucede.	PropositionExactSciences		Ídem Concept
Lemma Proposición que se debe demostrar antes de establecer un teorema.	PropositionExactSciences	isPreviousTo: indica si el lema es previo a un teorema.	Ídem Concept
Theorem Proposición que afirma una verdad demostrable.	PropositionExactSciences	isDemonstratedByMeansOf: indica si el teorema es demostrado a partir de reglas. isDemonstratedFrom: indica si el teorema es demostrado a partir de otro.	Ídem Concept
PropositionNaturalSciences Proposición expresada en las ciencias que estudian la naturaleza.	Proposition		Ídem Concept
EmpiricalFact Proposición que expresa una cosa o una acción que sucede expuesta a través de la experiencia.	PropositionNaturalSciences		Ídem Concept
Hypothesis Proposición que expresa una suposición posible o imposible para extraer una consecuencia.	PropositionNaturalSciences		Ídem Concept

Tabla 9.51: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
Law Proposición que expresa una relación entre ciertas magnitudes que intervienen en un fenómeno.	Proposition NaturalSciences	consistsOf: indica las reglas en las que consiste la ley.	Ídem Concept
Principle Una de las primeras proposiciones por las que se empieza a estudiar las ciencias o las artes.	PropositionNaturalSciences		Ídem Concept
Theory Proposición que describe un conjunto de leyes para relacionar un determinado orden de fenómenos.	Proposition	composedOf: indica las leyes que componen la teoría.	Ídem Concept
Variable Representa una variable cuyo contenido puede ser un conocimiento estructural.	StructuralKnowledge	variableValue: valor asociado a la variable. representedConcept: concepto representado en la variable.	Ídem Concept

Tabla 9.52: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>ProceduralKnowledge Objeto de conocimiento basado en la especificación de las fases o pasos sucesivos de una cierta operación.</p>	KnowledgeObject		<p>idObject descriptorObject</p>
<p>Plan Describe los pasos o elementos del plan necesarios para resolver una cierta actividad educativa. Cada uno de estos pasos pueden realizarse a través de la ejecución de una cierta acción o de la ejecución ordenada o no de un conjunto de acciones.</p>	ProceduralKnowledge	<p>consistsOfBlocks: especifica los bloques de acciones y/o acciones simples (PlanElement) de las que consta el plan. costOfPlan: representa el coste asociado a la ejecución del plan. Se obtendrá a través de una determinada función. belongsToActivity: indica la actividad a la que pertenece el plan.</p>	Ídem ProceduralKnowledge
<p>PlanElement Describe un elemento de un plan.</p>	ProceduralKnowledge	relativePositionInPlan: posición que ocupa la acción dentro del plan de la actividad.	Ídem ProceduralKnowledge
<p>CompoundAction Describe un elemento de un plan educativo formado por más de una acción y/o conjunto de acciones.</p>	PlanElement	consistsOfElementPlan: especifica el conjunto de elementos de tipo PlanElement .	<p>idObject descriptorObject relativePositionInPlan</p>
<p>SequenceBlock Describe una acción compuesta cuyos elementos del plan deben realizarse estrictamente en un cierto orden.</p>	CompoundAction		<p>idObject descriptorObject relativePositionInPlan consistsOfElementPlan</p>

Tabla 9.53: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>UnorderedBlock</p> <p>Describe una acción compuesta cuyos elementos del plan pueden realizarse en cualquier orden.</p>	CompoundAction		Ídem sequenceBlock
<p>ActionApplication</p> <p>Describe un elemento de un plan educativo simple, es decir, la aplicación de una acción concreta.</p>	PlanElement	<p>associatedAction: especifica la acción puntual (PunctualAction) asociada.</p> <p>initialTime y finalTime: establecen el intervalo de tiempo de la aplicación de la acción.</p>	Ídem CompoundAction
<p>PunctualAction</p> <p>Describe cualquier tipo de operación realizada por el estudiante en el entorno específico de su aprendizaje.</p>	ProceduralKnowledge	<p>operatorName: operador con el que realiza la acción.</p> <p>preconditions: condiciones que se deben cumplir para que se pueda ejecutar el operador asociado a la acción.</p> <p>consequences: efecto de la ejecución del operador.</p> <p>achievedGoals: especifica las metas que se alcanzan al ejecutar una acción.</p> <p>role: especifica quién puede realizar la acción.</p> <p>executionWay: propiedad opcional que establece (normalmente, a través de una función) el modo en el que se realizó la acción.</p> <p>qualityFunction: propiedad opcional que establece (normalmente, a través de una función) la calidad con que se realizó la acción.</p> <p>usesObjectsAsTool: propiedad que establece, si fuera necesario, el objeto que se debe usar como herramienta para realizar la acción.</p>	Ídem ProceduralKnowledge

Tabla 9.54: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
AccordingToInvolvedCharacters Describe una acción de acuerdo al número de participantes en su realización.	PunctualAction		descriptorObject idObject operatorName preconditions consequences usesObjectAsTool executionWay qualityFunction role achievedGoals
AccordingToInteractionWithObject Describe una acción de acuerdo a la existencia o no de contacto del individuo con algún objeto al realizarla.	PunctualAction		Ídem AccordingToInvolvedCharacters
AccordingToFulfilmentLevel Describe una acción según la posibilidad de diagnosticar la calidad en la obtención de la meta de la acción o no.	PunctualAction		Ídem AccordingToInvolvedCharacters
AccordingToCommunicationType Describe una acción de acuerdo al modo de comunicación, verbal o no verbal existente entre personas durante la acción.	PunctualAction		Ídem AccordingToInvolvedCharacters
AccordingToBasicFunction Describe una acción de acuerdo al tipo de función al que se refiere.	PunctualAction		Ídem AccordingToInvolvedCharacters

Tabla 9.55: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
Create Describe una acción de creación.	AccordingToBasicFunction		Ídem AccordingToBasicFunction
Update Describe una acción de actualización.	AccordingToBasicFunction		Ídem AccordingToBasicFunction
Read Describe una acción de consulta.	AccordingToBasicFunction		Ídem AccordingToBasicFunction
Delete Describe una acción de borrado.	AccordingToBasicFunction		Ídem AccordingToBasicFunction
Document Describe una acción de documentación.	Create o Update		Ídem AccordingToBasicFunction
Program Describe una acción de programación.	Create o Update		Ídem AccordingToBasicFunction
Write Describe una acción de escritura.	Create o Update		Ídem AccordingToBasicFunction
CreatePlan Describe una acción de creación de un plan.	Create o Update		Ídem AccordingToBasicFunction
Consult Describe una acción de consulta.	Read		Ídem AccordingToBasicFunction

Tabla 9.56: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
Evaluate Describe una acción de evaluación.	Read		Ídem AccordingToBasicFunction
CodeDocument Describe una acción de documentación de código.	Document		Ídem Document
DiaryDocument Describe una acción de documentación de un diario.	Document		Ídem Document
FillOut Describe una acción de rellenado.	Write		Ídem Write
Verbal Describe una acción en la que existe comunicación hablada entre varias personas.	AccordingToCommunicationType		Ídem AccordingToCommunicationType
Written Describe una acción en la que existe comunicación escrita.	AccordingToCommunicationType		Ídem AccordingToCommunicationType
Order Describe una acción verbal, por ejemplo, cuando el tutor proporciona una pista o una instrucción al estudiante en la realización de una actividad.	Verbal o Written	order: especifica la orden proporcionada en este tipo de acción. orderObjects: especifica los objetos de conocimiento involucrados en la orden.	Ídem AccordingToInvolvedCharacters

Tabla 9.57: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
Request Describe una acción verbal de petición	Verbal o Written	requestedObjects: especifica los objetos de conocimiento involucrados en la petición.	Ídem AccordingToInvolvedCharacters
Ask Describe la acción verbal de preguntar. Por ejemplo, cuando un estudiante plantea una pregunta acerca de la siguiente acción a realizar en una actividad.	Verbal o Written	question: especifica la pregunta proporcionada en este tipo de acción. questionObjects: especifica los objetos de conocimiento involucrados en la pregunta. questionType: especifica el tipo de la pregunta.	Ídem AccordingToCommunicationType
Answer Describe la acción verbal de responder.	Verbal o Written	answer: especifica la respuesta proporcionada en este tipo de acción.	Ídem AccordingToCommunicationType
NotVerbal Describe una acción en la que no existe comunicación hablada entre varias personas (por ejemplo, acciones gesticulares como saludar).	AccordingToCommunicationType		Ídem AccordingToCommunicationType
Gesture Describe una acción en la que se realiza un gesto, por ejemplo, facial o con las manos.	NotVerbal		Ídem AccordingToCommunicationType
GestureFacial Describe una acción en la que se realiza un gesto con la cara. Puede ser una acción del tipo mirar (individual) o mostrar una emoción, afirmar, negar, etc., (individuales o colectivas).	Gesture		Ídem AccordingToCommunicationType
Assert Describe una acción en la que se realiza un gesto de afirmación.	GestureFacial		Ídem GestureFacial
Look Describe una acción en la que se realiza una mirada.	GestureFacial		Ídem GestureFacial

Tabla 9.58: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
Refuse Describe una acción en la que se realiza un gesto de negación.	GestureFacial		Ídem GestureFacial
ShowEmotion Describe una acción en la que se realiza un gesto de mostrar una emoción.	GestureFacial		Ídem GestureFacial
ShowFear Describe una acción en la que se realiza un gesto de mostrar miedo.	ShowEmotion		Ídem ShowEmotion
ShowRage Describe una acción en la que se realiza un gesto de mostrar rabia.	ShowEmotion		Ídem ShowEmotion
GestureWithHands Describe una acción colectiva, en la que se realiza un gesto con las manos como saludar, apuntar, etc.	GestureCommunication		Ídem AccordingToCommunicationType
ConfirmWithHand Describe una acción en la que se realiza un gesto de confirmación con las manos.	GestureWithHands		Ídem GestureWithHands
DenyWithHand Describe una acción en la que se realiza un gesto de negación con las manos.	GestureWithHands		Ídem GestureWithHands
PointAt Describe una acción en la que se realiza un gesto de señalización con las manos.	GestureWithHands		Ídem GestureWithHands

Tabla 9.59: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
WaveTo Describe una acción en la que se realiza un gesto de saludo con las manos.	GestureWithHands		Ídem GestureWithHands
InteractionWithObject Describe una acción que implica el contacto del individuo que realiza la acción con algún objeto.	AccordingToInteractionWithObject	isAppliedToObjects: especifica los objetos con los que interactúa el individuo en esta acción.	Ídem AccordingToInteractionWithObject
ModifiesObjectState Describe una acción que implica una alteración del estado del objeto que se está manipulando.	InteractionWithObject		Ídem AccordingToInteractionWithObject
NotModifiesObjectPosition Describe una acción que no implica la modificación de la posición del objeto que se está manipulando.	ModifiesObjectState		Ídem ModifiesObjectState
Press Describe la acción de pulsar un botón. Por ejemplo, pulsar el botón izquierdo del ratón para realizar la selección de un objeto gráfico.	NotModifiesObjectPosition		Ídem ModifiesObjectState
Press2DButton Describe la acción de pulsar un botón en 2D.	Press		Ídem Press
Open Describe la acción de apertura de un objeto, por ejemplo, una puerta.	NotModifiesObjectPosition		Ídem ModifiesObjectState
Close Describe la acción de cerrar un objeto, por ejemplo una puerta.	NotModifiesObjectPosition		Ídem ModifiesObjectState
Remove Describe la acción de quitar un objeto, por ejemplo un anillo.	NotModifiesObjectPosition		Ídem ModifiesObjectState

Tabla 9.60: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
Rinse Describe la acción de enjuagar un objeto, por ejemplo un vaso.	NotModifiesObjectPosition		Ídem ModifiesObjectState
Shake Describe la acción de agitar un objeto.	NotModifiesObjectPosition		Ídem ModifiesObjectState
Wait Describe la acción de espera por un objeto.	NotModifiesObjectPosition		Ídem ModifiesObjectState
WaitUntilWarm Describe la acción de espera hasta que un objeto se temple.	Wait		Ídem ModifiesObjectState
ModifiesObjectPosition Describe una acción que implica la modificación de la posición del objeto que se está manipulando.	ModifiesPosition ModifiesObjectState		Ídem ModifiesObjectState originPos, destinationPos
Move2DObject Describe una acción que implica la modificación de la posición del objeto en un espacio bidimensional. Por ejemplo, empujar o arrastrar un objeto.	ModifiesObjectPosition		Ídem ModifiesObjectPosition
DragObject Describe una acción que implica la modificación de la posición del objeto que se está arrastrando. Por ejemplo, el arrastrar el ratón de una posición inicial a una final en la GUI.	ModifiesObjectPosition		Ídem ModifiesObjectPosition
PushObject Describe una acción que implica la modificación de la posición del objeto que se está empujando.	ModifiesObjectPosition		Ídem ModifiesObjectPosition

Tabla 9.61: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
MoveMouse Describe una acción que implica la modificación de la posición del ratón.	ModifiesObjectPosition		Ídem ModifiesObjectPosition
Move3DObject Describe la acción de desplazamiento del estudiante con el objeto con el que interacciona en el espacio 3D.	ModifiesObjectPosition		Ídem ModifiesObjectPosition
ModifiesRelationWithObject Describe una acción que implica la modificación de la relación entre el estudiante y un objeto o entre los objetos que se están manipulando.	InteractionWithObject ActionWithTotalLevelFulfilment		Ídem ModifiesObjectPosition
ModifiesRelationAmongObjects Describe una acción que implica la relación entre objetos (por ejemplo, echar o insertar un objeto en otro objeto contenedor).	ModifiesRelationWithObject		Ídem ModifiesObjectState
ObjectInsideOther Describe una acción que implica introducir un objeto en otro (por ejemplo, echar o insertar un objeto en otro).	ModifiesRelationAmongOthers		Ídem ModifiesObjectState
PutIn Describe una acción que implica introducir un objeto en el interior de otro.	ObjectInsideOther		Ídem ModifiesObjectState
ThrowObject Describe una acción que implica lanzar un objeto.	ObjectInsideOther		Ídem ModifiesObjectState

Tabla 9.62: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
PutAll Describe una acción que implica colocar todos los objetos en un lugar.	PutIn		Ídem ModifiesObjectState
PutOn Describe una acción que implica ponerse un objeto.	PutIn		Ídem ModifiesObjectState
PutSlowly Describe una acción que implica poner un objeto lentamente en un lugar.	PutIn		Ídem ModifiesObjectState
GetOutObjectOfOther Describe una acción que implica extraer un objeto de otro.	ModifiesRelationAmongOthers		Ídem ModifiesObjectState
ModifiesRelationStudentObject Describe una acción que implica la modificación de la relación entre el estudiante y el objeto que se está manipulando.	ModifiesRelation WithObject	ActionPos: especifica la posición del objeto involucrado en la acción.	Ídem ModifiesObjectState
PickUpObject Describe una acción que implica coger un objeto de una determinada posición.	ModifiesRelationStudentObject		Ídem ModifiesObjectState actionPos
DropObject Describe una acción que implica dejar un objeto en una determina posición.	ModifiesRelationStudentObject		Ídem ModifiesObjectState actionPos
WithoutEffectOnObject Describe una acción de interacción con un objeto sin efecto sobre él.	InteractionWithObject ActionWithTotalLevelFulfilment		Ídem ModifiesObjectState actionPos

Tabla 9.63: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
CrashIntoObject Describe una acción de interacción con un objeto con el que un estudiante choca pero sin efecto sobre el objeto.	WithoutEffectOnObject		Ídem ModifiesObjectState actionPos
NotInteractionWithObject Describe una acción que no implica el contacto del individuo que realiza la acción con objetos.	AccordingToInteraction WithObject		Ídem AccordingToInteraction WithObject
ModifiesStudentPosition Describe una acción que no implica interacción con objeto, pero sí modificación de la posición del estudiante.	NotInteractionWithObject Individual ModifiesPosition		Ídem ModifiesStudentPosition
Move Describe una acción sin interacción con objeto y en la que el estudiante se desplaza.	ModifiesStudentPosition		Ídem ModifiesStudentPosition
DragOneself Describe una acción sin interacción con objeto y en la que el estudiante se arrastra.	ModifiesStudentPosition		Ídem ModifiesStudentPosition
MovementInPosition Describe una acción sin interacción con objeto y con movimiento del estudiante sin modificar su posición actual (por ejemplo, agacharse, levantarse, saltar, etc.).	NotInteractionWithObject ActionWithTotal LevelFulfilment Individual		Ídem NotInteractionWithObject

Tabla 9.64: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
Duck Describe una acción de agacharse.	MovementInPosition		Ídem MovementInPosition
Jump Describe una acción de saltar.	MovementInPosition		Ídem MovementInPosition
StandUp Describe una acción de levantarse.	MovementInPosition		Ídem MovementInPosition
Individual Describe una acción en la que participa solo un personaje.	AccordingToInvolvedCharacters		Ídem AccordingToInvolvedCharacters
Collective Describe una acción en la que participan varios personajes.	AccordingToInvolvedCharacters		Ídem AccordingToInvolvedCharacters
Collaborative Describe una acción colectiva en la que existe coordinación entre los personajes involucrados en ella. Por ejemplo, dar un objeto a otra persona, transportar un objeto entre varias personas, etc.	Collective		Ídem AccordingToInvolvedCharacters
CollaborativeModifiesObjectPosition Describe una acción colaborativa en la que hay interacción con un objeto al menos y se modifica su posición.	Collaborative		Ídem ModifiesObjectPosition
TransportObjectAmongSeveral Describe una acción colaborativa en la que varias personas transportan un objeto.	CollaborativeModifiesObjectPosition		Ídem ModifiesObjectPosition

Tabla 9.65: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>GiveObjectToOther</p> <p>Describe una acción colaborativa en la que un individuo entrega un objeto a otro.</p>	CollaborativeModifiesObjectPosition		Ídem ModifiesObjectPosition
<p>Communication</p> <p>Describe una acción colectiva en la que existe comunicación entre los personajes involucrados en ella (por ejemplo, gesticular con las manos, o acciones verbales como dar una orden, preguntar, responder, etc.).</p>	<p>Collective</p> <p>ActionWithTotal</p> <p>LevelFulfilment</p>		Ídem AccordingToInvolvedCharacters
<p>ActionWithTotalLevelFulfilment</p> <p>Describe una acción cuya ejecución implicará un diagnóstico en la obtención de sus metas como alcanzadas o no alcanzadas.</p>	AccordingToFulfilmentLevel		Ídem AccordingWithTotalLevelFulfilment
<p>ActionWithPartialLevelFulfilment</p> <p>Describe una acción cuya ejecución implicará un diagnóstico de alguna de sus metas con un cierto grado de calidad que dependerá del seguimiento o evaluación de determinados parámetros.</p>	AccordingToFulfilmentLevel		Ídem AccordingToFulfilmentLevel

Tabla 9.66: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>ConditionOnState</p> <p>Describe una de las condiciones asociadas al estado de ejecución de una acción. Esta condición puede ser una condición que deba cumplirse para que se ejecute una acción o una condición consecuencia de la ejecución de una acción.</p>	ProceduralKnowledge	entityProp: especifica la entidad sobre la que se establece la condición asociada.	Ídem ProceduralKnowledge
<p>IsOfType</p> <p>Describe como condición asociada al estado de ejecución de la acción el tipo de la entidad asociada a esta condición.</p>	ConditionOnState	conditionTypeProp: especifica el tipo establecido en la precondición.	idObject descriptorObject entity
<p>ToBeInPosition</p> <p>Describe como condición asociada al estado de ejecución de la acción la posición en la que debe estar la entidad asociada a esta condición.</p>	ConditionOnState	position: establece la posición para la entidad asociada a la condición.	Ídem IsOfType
<p>ToBeInAbsolutePosition</p> <p>Describe como condición de la acción la posición absoluta en la que debe estar la entidad asociada a esta condición.</p>	ToBeInPosition		Ídem IsOfType
<p>ToBeInArea</p> <p>Describe como condición de la acción el área en la que debe estar la entidad asociada a esta condición.</p>	ToBeInPosition		Ídem IsOfType

Tabla 9.67: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>ToBeInObjectRelativePosition Describe como condición de la acción la posición relativa a un objeto en la que debe estar la entidad asociada a esta condición.</p>	ToBeInPosition		Ídem ToBeInAbsolutePosition
<p>ExistEntity Describe como condición asociada al estado de ejecución de la acción que la entidad asociada a esta condición exista.</p>	ConditionOnState		Ídem IsOfType
<p>ExistInstancesOfClass Describe como condición asociada al estado de ejecución de la acción que existan instancias de la clase a la que pertenece la entidad asociada a esta condición.</p>	ConditionOnState		Ídem IsOfType
<p>PropertyName Describe como condición asociada al estado de ejecución de la acción que la entidad asociada a esta condición tenga una determinada propiedad.</p>	ConditionOnState	propertyId: especifica el nombre de la propiedad establecido en la condición.	Ídem IsOfType

Tabla 9.68: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>PropertyValue</p> <p>Describe como condición asociada al estado de ejecución de la acción que la entidad asociada a esta condición tenga una propiedad con un determinado valor.</p>	ConditionOnState	<p>propertyName: especifica el nombre de la propiedad establecida en la precondición.</p> <p>status: especifica si el estado de la propiedad es el esperado en la condición.</p> <p>propertyValueProp: especifica el valor que debe tener la propiedad de esta precondición para que se pueda ejecutar el operador de la acción asociada.</p>	Ídem IsOfType
<p>PunctualActionElement</p> <p>Describe uno de los elementos de tipo condición de la acción. Este elemento puede ser una precondición o una post-condición.</p>	ProceduralKnowledge	condOnState: especifica una condición concreta asociada a la ejecución.	Ídem ProceduralKnowledge
<p>Precondition</p> <p>Describe una de las condiciones que se debe cumplir para que se ejecute el operador asociado a una acción.</p>	PunctualActionElement		idObject descriptorObject condOnState
<p>Postcondition</p> <p>Describe una de las consecuencias de ejecutar el operador asociado a una acción.</p>	PunctualActionElement		Ídem Precondition
<p>Add</p> <p>Una de las consecuencias de ejecutar el operador asociado a una acción es añadir o modificar una propiedad, una relación o una posición.</p>	Postcondition		Ídem Precondition

Tabla 9.69: Descripción de la ontología **KnowledgeObject** (cont.). Ontología extendida a partir de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
Delete Una de las consecuencias de ejecutar el operador asociado a una acción es eliminar una propiedad, una relación o una instancia.	Postcondition		Ídem Precondition
Procedure Describe una secuencia de acciones.	ProceduralKnowledge	includesSequenceOfActions: especifica los múltiples elementos de tipo ActionApplication de que consta el procedimiento.	Ídem ProceduralKnowledge
ArrangeObjects Describe un procedimiento de ordenación de objetos.	Procedure		Ídem Procedure
GroupObjects Describe un procedimiento de agrupación de objetos.	Procedure		Ídem Procedure
LookForObjects Describe un procedimiento de búsqueda de objetos.	Procedure		Ídem Procedure
Rule Describe un conjunto de operaciones que deben llevarse a cabo para realizar una cierta inferencia correcta.	ProceduralKnowledge	ruleName: nombre de la regla.	Ídem ProceduralKnowledge
Heuristic	Rule		Ídem Precondition

Tabla 9.70: Descripción de la ontología **StudentInformation**. Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
StudentInformation Representa el concepto raíz que engloba toda la información que se va a manejar acerca de un estudiante. Para ello, este concepto, a través de sus propiedades, se apoya en otros conceptos definidos en las ontologías previas: «StudentProfile» «StudentTrace» y «StudentState».	owl:Thing	hasProfile: relaciona al estudiante con su perfil. hasState: relaciona al estudiante con sus estados. hasTrace: relaciona al estudiante con sus trazas. hasLearnerRole: especifica el rol del estudiante en una actividad determinada.	

Tabla 9.71: Descripción de la ontología **Recommendation**.

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
Recommendation Elemento principal de la ontología. Es posible crear instancias de recomendaciones de competencias, actividades, criterios de rúbrica, indicadores de desempeño de las competencias y acciones.	owl:Thing	recommendationID : especifica el identificador de la recomendación. description : describe la recomendación. priority : describe la prioridad de la recomendación. recommendationType : indica el tipo de recomendación.	
PerformanceIndicatorRecommendation Recomendaciones de los indicadores de desempeño.	Recommendation	refersToPerformanceIndicator : contiene el indicador de desempeño de la competencia al que se refiere.	Ídem Recommendation
CompetenceRecommendation Recomendaciones de competencias.	Recommendation	refersToCompetence : contiene la competencia a la que se refiere.	Ídem Recommendation
ActionRecommendation Recomendaciones de acciones.	Recommendation	refersToAction : contiene la acción a la que se refiere.	Ídem Recommendation
ActivityRecommendation Recomendaciones de actividades.	Recommendation	refersToActivity : contiene la actividad a la que se refiere.	Ídem Recommendation
RubricCriterionRecommendation Recomendaciones de criterios de las rúbricas.	Recommendation	refersToRubricCriterion : contiene el criterio de la rúbrica al que se refiere.	Ídem Recommendation

Tabla 9.72: Descripción de la ontología **StudentState**. Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
StudentState Establece el estado del estudiante.	owl:Thing	stateOfStudent: especifica el estudiante al que se refiere el estado. hasStateRelated: especifica el estado del estudiante.	
StudentStateRelated Datos obtenidos dinámicamente durante la actividad de aprendizaje o tras su finalización, y que establecen el estado del estudiante y de sus conocimientos.	owl:Thing	belongsToStudentState: especifica el estado del estudiante al que se refiere el estado relacionado.	
PerformanceState Estado de la ejecución del estudiante durante la realización de una cierta actividad pedagógica.	StudentStateRelated		belongsToStudentState
ConditionState Estado de una condición (precondición o post-condición) asociada a una ejecución concreta de una determinada acción.	PerformanceState	refersToCondition: especifica la condición a la que se refiere este estado.	belongsToStudentState
PreconditionState Estado de una precondición asociada a una ejecución de una determinada acción.	ConditionState	isMet: especifica si al intentar aplicar el estudiante una cierta acción, se cumple o no la precondición asociada.	belongsToStudentState refersToCondition
PostconditionState Estado de una post-condición asociada a una ejecución de una determinada acción.	ConditionState	goalQuality: especifica la valoración cualitativa con la que se ha alcanzado la meta o consecuencia. La ejecución de algunas acciones, como por ejemplo la de movimiento del estudiante, pueden dar lugar a la obtención de una meta con una calidad no máxima.	Ídem PreconditionState

Tabla 9.73: Descripción de la ontología **StudentState** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>ActionExecutionState Especifica la información obtenida sobre la acción ejecutada por el estudiante en un instante determinado.</p>	<p>PerformanceState</p>	<p>obtainedFromActionTrace: especifica la traza de la acción a partir de la que se obtiene información sobre su estado. wasApplied: especifica si la acción fue ejecutada por el estudiante o no, en función del cumplimiento o no de sus precondiciones. consistsOfPrecondState: especifica el estado de las precondiciones asociadas al intentar ejecutar o al ejecutar la acción asociada. consistsOfConseqState: especifica el estado de las consecuencias asociadas a una acción ejecutada. isOfActivityExecutionState: especifica el estado de ejecución de la actividad a la que pertenece este estado de ejecución de acción. refersToAction: especifica la acción a la que se refiere la traza.</p>	<p>Ídem PerformanceState</p>
<p>ActivityExecutionState Especifica el estado de la ejecución actual de una actividad obtenido a partir de ciertos datos tras finalizar dicha actividad.</p>	<p>PerformanceState</p>	<p>consistsOfActionExecState: estados de ejecución de las acciones realizadas en la actividad actual. associatedActivityTrace: traza de actividad asociada a este estado. obtainedOfActionState: especifica el estado final de las acciones a partir del que se obtendrá el estado de la ejecución de la actividad correspondiente. mistakeRate: porcentaje de fallos o de acciones que no coinciden con la planificada durante la ejecución de la actividad. successRate: porcentaje de éxitos o de acciones que coinciden con la planificada durante la ejecución actual de la actividad. numberOfProvidedExamples: número de ejemplos proporcionados al estudiante durante la ejecución de la actividad. numberOfVainAttempts: número de intentos del estudiante antes de realizar las acciones planificadas en la ejecución de la actividad.</p>	<p>Ídem PerformanceState</p>

Tabla 9.74: Descripción de la ontología **StudentState** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>ActivityExecutionState Especifica el estado de la ejecución actual de una actividad obtenido a partir de ciertos datos tras finalizar dicha actividad.</p>	<p>PerformanceState</p>	<p>numberOfProvidedProblems: número de problemas proporcionados al estudiante para que ejecute correctamente una actividad. numberOfReplannings: número de veces que el estudiante realizó una acción equivocada pero que, a partir de ella, aún es posible llegar a la meta de la actividad con un nuevo plan. numberOfCorrectAnswers: número de veces que el estudiante realizó una acción que coincidía con la siguiente acción del plan de la actividad. numberOfIncorrectAnswers: número de veces que el estudiante realizó una acción que no coincidía con la siguiente acción del plan de la actividad. numberOfBasicQuestions, numberOfGeneralQuestions, numberOfAdvancedQuestions: número de preguntas básicas, generales o avanzadas respectivamente, que el estudiante ha formulado durante la ejecución de la actividad. numberOfHints: número de pistas proporcionadas por el módulo de tutoría al estudiante durante la ejecución de la actividad. devotedTime: tiempo que ha requerido el estudiante para realizar la ejecución actual de la actividad. executionFactor: valor que sirve para evaluar cuantitativamente la ejecución actual de la actividad por el estudiante. Se obtiene a partir de la evaluación de las acciones ejecutadas por el estudiante durante la actividad. costActivityExecution: especifica el número de acciones realizadas en la ejecución de la actividad. assessmentActivityExecution: especifica una valoración cualitativa del conocimiento que posee el estudiante de la actividad basada exclusivamente en la ejecución actual. nextActionPlan: especifica cuál es la siguiente acción del plan que corresponde ejecutar.</p>	<p>Ídem PerformanceState</p>
<p>SessionState Especifica el estado de la sesión actual en la que se encuentra un estudiante.</p>	<p>PerformanceState</p>	<p>duration: establece la duración de la sesión actual, si está limitada o, por el contrario, si la sesión es indefinida. achievementDegree: porcentaje de sesión realizado hasta el momento. started: especifica si el estudiante ya ha iniciado la sesión. isRelatedToSessionTrace: establece la traza asociada a la sesión.</p>	<p>Ídem PerformanceState</p>

Tabla 9.75: Descripción de la ontología **StudentState** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>PerformanceCriterionState</p> <p>Especifica el estado del indicador de desempeño actual en el que se encuentra un estudiante.</p>	PerformanceState	<p>referToPerformanceIndicator: indica el criterio de desempeño al que se refiere el estado.</p> <p>isOfObjective: contiene el objetivo al que se refiere el estado.</p> <p>attempt: contiene el número de intentos.</p> <p>isOfCompetence: contiene la competencia a la que se refiere el estado.</p> <p>currentPerformanceLevel: especifica el nivel de desempeño mostrado por el estudiante para ese criterio de desempeño en el objetivo o competencia especificado.</p>	Ídem PerformanceState
<p>RubricCriterionState</p> <p>Especifica el estado del nivel de desempeño actual de un criterio de la rúbrica obtenido por un estudiante.</p>	PerformanceState	<p>referToCriterion: indica el criterio al que se refiere el estado.</p> <p>isFromRubric: indica la rúbrica que comprende el criterio.</p> <p>isFromRubricState: indica el estado de la rúbrica que comprende el criterio.</p> <p>associatedRubricCriterionTrace: indica la traza del criterio asociada.</p> <p>currentCriterionLevel: especifica el nivel de desempeño mostrado por el estudiante para ese criterio de la rúbrica.</p> <p>score: especifica la puntuación obtenida en el criterio.</p> <p>allAchievedCompetences: especifica si se han adquirido todas las competencias asociadas al criterio.</p> <p>anyAchievedCompetence: especifica si no se ha adquirido ninguna competencia asociada al criterio.</p>	Ídem PerformanceState
<p>PedagogicalState</p> <p>Especifica el estado de aprendizaje del estudiante relativo a la realización de un cierto plan de estudios.</p>	StudentStateRelated	<p>completed: especifica si se ha realizado o no un cierto plan de estudios.</p> <p>numberOfTimes: número de veces que se ha realizado un cierto plan de estudios.</p> <p>averageGrade: valoración media asociada a la realización de un cierto plan de estudios.</p>	Ídem StudentStateRelated

Tabla 9.76: Descripción de la ontología **StudentState** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>ActivityState Especifica el estado pedagógico actual de una cierta actividad relativo a un estudiante. Este estado viene dado por un conjunto de datos generales asociados a la actividad obtenidos de las sucesivas ejecuciones de la misma por el estudiante.</p>	PedagogicalState	<p>belongsToActivity: nombre de la actividad a la que está asociada este estado.</p> <p>basicQuestionAverage, generalQuestionAverage, advancedQuestionAverage: valor medio de preguntas básicas, generales o avanzadas respectivamente, que el estudiante ha formulado durante las ejecuciones de la actividad.</p> <p>replanningAverage: valor medio de replanificaciones realizadas durante las sucesivas ejecuciones de la actividad por el estudiante.</p> <p>hintAverage: valor medio de pistas ofrecidas por el módulo de tutoría al estudiante durante las diversas ejecuciones de la actividad.</p> <p>factorActivityKnowledge: evaluación del conocimiento que el estudiante posee de una actividad. Se obtiene de las diversas ejecuciones realizadas por el estudiante de la actividad.</p> <p>obtainedFromExecutions: estados de ejecución de la actividad a partir de los que se obtiene el estado de esta actividad.</p> <p>stateExperienceActivity: estado de experiencia de la actividad alcanzado por el estudiante hasta la actualidad.</p> <p>interruptedByTutor: indica si la actividad ha sido interrumpida por el tutor.</p> <p>completedActivity: indica si la actividad ha sido completada.</p>	<p>stateOfStudent completed numberOfTimes averageGrade</p>
<p>CourseState Especifica el estado pedagógico actual de un curso perteneciente a un plan de estudios.</p>	PedagogicalState	<p>belongsToCourse: nombre del curso al que está asociado este estado.</p> <p>isComposedOfPhases: fases de las que está compuesta este curso.</p>	Ídem ActivityState
<p>UnitOfLearningState Especifica el estado pedagógico actual de una unidad de aprendizaje.</p>	PedagogicalState	<p>belongsToUnitOfLearning: nombre de la unidad de aprendizaje a la que está asociada este estado.</p>	Ídem ActivityState

Tabla 9.77: Descripción de la ontología **StudentState** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
PhaseState Especifica el estado pedagógico actual del estudiante respecto a una cierta fase de un curso.	PedagogicalState	belongsToPhase: nombre de la fase a la que está asociada este estado. isComposedOfActivities: actividades de las que está compuesta la fase.	Ídem ActivityState
SyllabusState Especifica el estado pedagógico actual del estudiante respecto a un cierto plan de estudios.	PedagogicalState	belongsToCurriculum: nombre del plan de estudios al que está asociado este estado. isComposedOfCourses: cursos de los que está compuesto el plan de estudios.	Ídem ActivityState
CapacityState Especifica la valoración de ciertas capacidades del estudiante. Se obtiene tras la ejecución de la actividad de un plan de estudios.	StudentStateRelated		Ídem StudentStateRelated
MemoryAssessment Especifica la valoración de la capacidad de memoria del estudiante.	CapacityState	memoryLevel: establece una valoración cualitativa de la capacidad de memoria del estudiante tras la ejecución de una actividad (muy pobre, pobre, normal, buena, muy buena, excelente, etc.).	Ídem StudentStateRelated
ReasoningAssessment Especifica la valoración de la capacidad de razonamiento del estudiante.	CapacityState	reasoningLevel: establece una valoración cualitativa de la capacidad de razonamiento que posee el estudiante tras la ejecución de una actividad (muy baja, baja, normal, alta, muy alta, ,etc.).	Ídem StudentStateRelated
LearningSpeedAssessment Especifica la valoración de la velocidad de aprendizaje del estudiante.	CapacityState	learningSpeed: establece una valoración cualitativa de la velocidad de aprendizaje mostrada por el estudiante tras la ejecución de una actividad (muy lenta, lenta, normal, alta, muy alta, excelente).	Ídem StudentStateRelated

Tabla 9.78: Descripción de la ontología **StudentState** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>EmotionalState</p> <p>Especifica una valoración dinámica del estado emocional del estudiante que varía continuamente durante la ejecución de la actividad.</p>	StudentStateRelated	<p>emotionalStateObtained: establece una valoración del estado emocional (nerviosismo, alegría, etc.) que refleja el estudiante. Este estado se obtiene a partir del chequeo de una o más variables durante un cierto intervalo de tiempo (traza emocional).</p> <p>intensityObtained: establece la intensidad del estado emocional. Se obtiene la realización de una actividad a partir de la traza emocional del estudiante durante un cierto intervalo de tiempo.</p> <p>comesFromEmotionalTrace: es la traza emocional (traza de una o más variables emocionales) del estudiante. Se obtiene durante un cierto intervalo de tiempo para valorar su estado emocional.</p>	Ídem StudentStateRelated
<p>ExperienceState</p> <p>Especifica una valoración del grado de experiencia adquirido por el estudiante al finalizar una actividad.</p>	StudentStateRelated	<p>experienceLevel: valoración cualitativa del grado de experiencia adquirido por un estudiante tras la realización de una actividad (novato, principiante, intermedio, avanzado, etc.).</p>	Ídem StudentStateRelated
<p>ObjectiveState</p> <p>Establece dinámicamente si el estudiante ha alcanzado o no un objetivo durante el trascurso de una cierta actividad educativa.</p>	StudentStateRelated	<p>valuedObjective: objetivo de aprendizaje valorado por el estudiante.</p> <p>achieved: establece la valoración del objetivo (alcanzado, no alcanzado o desconocido).</p> <p>isAssumed: establece si el estado de objetivo es asumido como estado inicial.</p> <p>inferBy: establece el motivo (tipo de contradicción), si lo hubiera, para inferir el estado. Esta propiedad facilita la tarea de resolución de contradicciones del método de diagnóstico.</p> <p>associatedObjectiveTrace: establece la traza del objetivo a partir de la que se obtiene su estado.</p>	Ídem StudentStateRelated

Tabla 9.79: Descripción de la ontología **StudentState** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
DidacticObjectiveState Especifica, para un estudiante, la valoración obtenida de un objetivo didáctico durante la realización de una cierta actividad.	ObjectiveState		stateOfStudent valuedObjective associatedObjectiveTrace achieved isAssumed inferBy
SpecificObjectiveState Especifica para un estudiante la valoración obtenida de un objetivo específico durante la realización de una actividad.	ObjectiveState	levelCurrentReliability: establece el número de veces que, hasta el instante actual, el estudiante ha alcanzado (o no) el objetivo específico. Un objetivo específico puede ser alcanzado tras la realización de varias actividades distintas, o varias veces en la misma ejecución de una actividad.	Ídem DidacticObjectiveState
KnowledgeObjectState Especifica dinámicamente para un estudiante, la valoración obtenida de un objeto de conocimiento, estructural o procedimental durante la realización de una actividad educativa.	StudentStateRelated	valuedObject: establece el objeto de conocimiento al que pertenece este estado. objectKnowledgeAssessment: establece una valoración cualitativa de la bondad en la adquisición de un objeto de conocimiento.	Ídem StudentStateRelated
StructuralKnowledgeState Especifica dinámicamente, para un estudiante, la valoración obtenida de un objeto de conocimiento estructural durante la realización de una actividad educativa.	KnowledgeObjectState		stateOfStudent valuedObject objectKnowledgeAssessment

Tabla 9.80: Descripción de la ontología **StudentState** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>ProceduralKnowledgeState Especifica dinámicamente, para un estudiante, la valoración obtenida de un objeto de conocimiento procedimental durante la realización de una actividad educativa.</p>	<p>KnowledgeObject State</p>	<p>numberAppliedWell: número de veces que se aplicó bien el conocimiento procedimental. numberAppliedBad: número de veces que se aplicó mal el conocimiento procedimental. applicationTime: intervalo de tiempo durante el que se aplicó el conocimiento procedimental.</p>	<p>Ídem StructuralKnowledgeState</p>
<p>CompetenceState Establece dinámicamente si el estudiante ha alcanzado o no una competencia durante el transcurso de una cierta actividad educativa.</p>	<p>StudentStateRelated</p>	<p>valuedCompetence: competencia valorada por el estudiante. achieved: establece la valoración de la competencia (alcanzada, no alcanzada o desconocida). isAssumed: establece si el estado de la competencia es asumido como estado inicial. inferBy: establece el motivo (tipo de contradicción), si lo hubiera, para inferir el estado. Esta propiedad facilita la tarea de resolución de contradicciones del método de diagnóstico. associatedCompetenceTrace: establece la traza de la competencia a partir de la que se obtiene su estado. numberOffHints: número de pistas recibidas relacionadas con la competencia. levelCurrentReliability: establece el nivel de fiabilidad adquirido por el estudiante en una competencia determinada. performanceCriteriaState: establece el estado de un criterio de desempeño para la competencia.</p>	<p>Ídem StudentStateRelated</p>
<p>ActionsState Especifica para un estudiante la valoración obtenida de las acciones realizadas tras finalizar el desarrollo de una actividad educativa.</p>	<p>ProceduralKnowledge State</p>	<p>belongsToActivityTrace: establece la traza de ejecución de la actividad a la que pertenecen las acciones valoradas. consistsOf: establece los estados de cada una de las acciones que forman parte de esta valoración. performanceFactor: establece una evaluación cuantitativa de las acciones realizadas durante una actividad. Se obtiene al finalizar la actividad y a partir de la valoración o estado obtenido para cada una de las acciones.</p>	<p>stateOfStudent valuedObject objectKnowledgeAssessment numberAppliedWell numberAppliedBad applicationTime</p>

Tabla 9.81: Descripción de la ontología **StudentState** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>ActionState</p> <p>Establece dinámicamente para un estudiante la valoración obtenida de una acción realizada en una actividad de aprendizaje.</p>	<p>ProceduralKnowledgeState</p>	<p>numberAppliedNotInPlan: número de veces que el operador asociado a la acción aplicada no está en el plan de la actividad.</p> <p>numberOfCorrects: número de veces que se aplicó la acción y coinciden tanto el operador como los argumentos con la siguiente en el plan de la actividad.</p> <p>numberOpNotArgs: número de veces que se aplicó la acción coincidiendo su operador con el siguiente en el plan de la actividad pero no sus argumentos.</p> <p>numberNotSeq: número de veces que se aplicó la acción coincidiendo su operador y sus argumentos no con la siguiente en el plan de la actividad pero sí con otra.</p> <p>numberNotSeqOpNotArgs: número de veces que se aplicó la acción, no coincide con la siguiente en el plan, sí coincide su operador con el de otra acción perteneciente al plan pero no sus argumentos.</p> <p>numberNotMetPrecond: número de veces que no se aplicó el operador asociado a la acción porque no se cumplía alguna de sus precondiciones.</p> <p>numberNotAppliedForObject: número de veces que no se aplicó el operador asociado a la acción porque no se cumple la siguiente precondición específica: el (los) objeto (s) al que se intentaba aplicar la acción no es correcto, acorde al entorno de la actividad.</p>	<p>Ídem ActionsState</p>
<p>RubricState</p> <p>Especifica el estado de una rúbrica para un estudiante concreto.</p>	<p>StudentStateRelated</p>	<p>refersToRubric: especifica la rúbrica a la que pertenece el estado.</p> <p>belongsToActivity: especifica la actividad a la que pertenece la rúbrica.</p> <p>score: especifica la puntuación obtenida en la rúbrica.</p>	<p>Ídem StudentStateRelated</p>

Tabla 9.82: Descripción de la ontología **StudentState** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>StrechState</p> <p>Datos obtenidos dinámicamente durante el seguimiento (en tiempo de ejecución) y la evaluación (finalización) del desplazamiento del estudiante en un tramo de su trayectoria.</p>	<p>PerformanceState</p>	<p>containsStrech: especifica el tramo al que pertenecen los datos obtenidos dinámicamente.</p> <p>isRelatedToStrechTrace: especifica la traza del tramo correspondiente.</p> <p>studentStrechDistance: especifica la longitud del trayecto realizado por el estudiante en un tramo (entre sus dos puntos extremos).</p> <p>distanceFactor: valor de la comparación de la longitud del trayecto realizado por el estudiante con respecto a la longitud del tramo óptimo².</p> <p>studentStrechTime: especifica el tiempo que ha tardado el estudiante en realizar el tramo.</p> <p>timeFactor: valor de comparación del tiempo que ha tardado en realizar el tramo el estudiante con respecto al tiempo que se ha supuesto razonable para realizar el tramo óptimo³.</p> <p>averageDistance: factor que, mediante un algoritmo, realiza una comparación parcial de los puntos que componen el tramo realizado por el estudiante con respecto a los puntos calculados del tramo óptimo, según la velocidad seguida por el estudiante en el tramo.</p>	<p>Ídem PerformanceState</p>

³El factor distancia viene definido por la siguiente fórmula:

$$FactorDistancia = \frac{DistanciaTramoAlumno}{DistanciaTramoOptima}$$

³El factor tiempo viene definido por la siguiente fórmula:

$$FactorTiempo = \frac{TiempoTramoAlumno}{TiempoTramoOptima}$$

Tabla 9.83: Descripción de la ontología **StudentState** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>TrajectoryState</p> <p>Datos obtenidos dinámicamente durante el seguimiento (en tiempo de ejecución) y la evaluación (finalización) del desplazamiento del estudiante durante el desarrollo de una cierta actividad de aprendizaje.</p>	<p>PerformanceState</p>	<p>isRelatedToTrajectoryTrace: especifica la traza de la trayectoria a la que pertenecen los datos obtenidos dinámicamente.</p> <p>accumulatedAverageDistance: representa la separación real que existe entre los tramos de la trayectoria del estudiante y la trayectoria óptima. Este factor se obtiene como el total de las distancias medias de cada uno de los tramos de la trayectoria.</p> <p>trajectoryFactor: especifica un valor para evaluar cuantitativamente la trayectoria al finalizar la actividad. Este factor se obtiene a partir de la distancia media acumulada (DMA), el factor distancia (FD), y el factor tiempo (FT), que se han ido acumulando en los tramos realizados durante la trayectoria⁴.</p> <p>movementAssessment: especifica una valoración cualitativa asociada a la trayectoria realizada por el estudiante y dependiente del tipo de actividad ejecutada y del entorno virtual. Esta evaluación se realizará tras un estudio de los resultados obtenidos en pruebas sucesivas.</p>	<p>Ídem PerformanceState</p>
<p>RecommendationState</p> <p>Recomendaciones ofrecidas al estudiante.</p>	<p>StudentStateRelated</p>	<p>status: estado en el que se encuentra la recomendación.</p> <p>notifiedTime: especifica el instante en el que se realiza la recomendación.</p>	<p>Ídem StudentStateRelated</p>
<p>CompetenceRecommendationState</p> <p>Recomendaciones ofrecidas al estudiante acerca de las competencias.</p>	<p>RecommendationState</p>	<p>belongsToActivity: especifica la actividad a la que se refiere la recomendación.</p> <p>refersToCompetence: especifica la competencia asociada.</p> <p>associatedCompRecTrace: especifica la traza asociada.</p> <p>refersToCompetenceRecommendation: especifica la recomendación de competencias asociada.</p>	<p>Ídem RecommendationState</p>

Tabla 9.84: Descripción de la ontología **StudentState** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>ActivityRecommendationState Estado de recomendaciones ofrecidas al estudiante acerca de las actividades.</p>	<p>Recommendation State</p>	<p>belongsToActivity: especifica la actividad a la que se refiere la recomendación. associatedActivityRecommendationTrace: especifica la traza asociada de recomendación de la actividad. refersToActivityRecommendation: especifica la recomendación de actividad asociada.</p>	<p>Ídem RecommendationState</p>
<p>RubricCriterion RecommendationState Estado de recomendaciones ofrecidas al estudiante acerca de los criterios.</p>	<p>Recommendation State</p>	<p>referToCriterion: especifica el criterio asociado. associatedCriterionRecommendationTrace: especifica la traza asociada de recomendación del criterio. refersToCriterionRecommendation: especifica la recomendación del criterio asociado.</p>	<p>Ídem RecommendationState</p>
<p>PerformanceIndicator RecommendationState Estado de recomendaciones ofrecidas al estudiante acerca de los indicadores de desempeño.</p>	<p>Recommendation State</p>	<p>referToPerformanceIndicator: especifica el indicador de desempeño asociada. associatedPerfIndRecommendationTrace: especifica la traza asociada de recomendación del indicador de desempeño. refersToPerformanceIndicatorRecommendation: especifica la recomendación de indicador de desempeño asociada.</p>	<p>Ídem RecommendationState</p>
<p>Action RecommendationState Estado de recomendaciones ofrecidas al estudiante acerca de las acciones.</p>	<p>Recommendation State</p>	<p>refersToAction: especifica la acción asociada. associatedActionRecommendationTrace: especifica la traza de recomendación de acción asociada. refersToActionRecommendation: especifica la recomendación de acción asociada.</p>	<p>Ídem RecommendationState</p>

Tabla 9.85: Descripción de la ontología **StudentTrace**. Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>StudentTrace Relaciona el estudiante con los aspectos de la traza o registro temporal de su ejecución durante una actividad pedagógica.</p>	owl:Thing	hasStudentTraceRelated: relaciona traza y estudiante.	
<p>StudentTraceRelated Aspectos de la traza o registro temporal de la ejecución de un estudiante durante una actividad pedagógica.</p>	owl:Thing	<p>belongsToStudent: especifica el estudiante al que se refiere la traza. initialTime: especifica el tiempo en el que comienza a registrarse la traza. finalTime: especifica el tiempo en el que termina el registro de la traza.</p>	
<p>ActionTrace Describe el registro temporal de una cierta acción realizada durante el aprendizaje de un estudiante.</p>	StudentTraceRelated	<p>associatedSpecificAction: especifica la acción concreta que el estudiante ha ejecutado en esta traza. associatedActionState: especifica el estado de ejecución concreto de la acción correspondiente. positionInSequence: especifica la posición de la acción respecto a la sesión.</p>	<p>belongsToStudent initialTime finalTime</p>
<p>StudentActionTrace Describe el registro temporal de la acción del estudiante, cuándo y qué tipo de acción ha realizado.</p>	ActionTrace		<p>belongsToStudent initialTime finalTime associatedSpecificAction associatedActionState positionInSequence</p>
<p>MovementActionTrace Describe el registro temporal del tipo de acción de desplazamiento realizada por el estudiante durante su trayectoria.</p>	StudentActionTrace	associatedTrajectory: especifica la traza de la trayectoria del estudiante a la que pertenece esta traza de movimiento.	Ídem StudentActionTrace
<p>TutorActionTrace Describe el registro temporal del tipo de acción que ha realizado el tutor durante el aprendizaje del estudiante.</p>	ActionTrace		Ídem StudentActionTrace

Tabla 9.86: Descripción de la ontología **StudentTrace** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>ProcedureTrace</p> <p>Describe el registro temporal de una secuencia de acciones (procedimiento) llevada a cabo por un estudiante durante su aprendizaje.</p>	StudentTraceRelated	<p>actionTraceSequence: especifica la secuencia de trazas de acción de las que consta la traza de procedimiento asociada.</p>	Ídem StudentTraceRelated
<p>ActivityTrace</p> <p>Describe el registro temporal de una cierta actividad realizada por el estudiante durante su aprendizaje.</p>	StudentTraceRelated	<p>consistsOfProcedureTraces: especifica las trazas de procedimiento de las que consta una actividad.</p> <p>idActivity: identificador de la actividad asociada.</p> <p>belongsToSession: especifica la traza de sesión a la que está vinculada la traza de actividad.</p> <p>refersToActivity: referencia la actividad.</p> <p>associatedActivityState: especifica el estado de ejecución concreto de la actividad correspondiente.</p> <p>activityAttempt: especifica el número de intento.</p>	Ídem StudentTraceRelated
<p>SessionTrace</p> <p>Describe el registro temporal de una sesión de aprendizaje de un estudiante.</p>	StudentTraceRelated	<p>consistsOfActivityTraces: especifica las trazas de actividad que constituyen la traza de la sesión.</p> <p>idSession: identificador de la sesión asociada a la traza.</p> <p>associatedSessionState: especifica el estado de ejecución concreto de la sesión correspondiente.</p>	Ídem StudentTraceRelated
<p>VariableTrace</p> <p>Describe el registro temporal de alguno de los aspectos que, durante el aprendizaje del estudiante, están continuamente variando. Por ejemplo la mirada.</p>	StudentTraceRelated	<p>tracedVariable: concepto asociado a la variable trazada.</p>	Ídem StudentTraceRelated

Tabla 9.87: Descripción de la ontología **StudentTrace** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>PositionTrace Describe el registro temporal de la posición del estudiante en un cierto intervalo de tiempo. Durante el aprendizaje, este parámetro variará.</p>	VariableTrace		Ídem VariableTrace
<p>EmotionalVariableTrace Describe el registro temporal de alguna variable que debe ser chequeada con una determinada frecuencia para obtener el valor de un aspecto del estado emocional del estudiante (por ejemplo, su nivel de estrés).</p>	VariableTrace		Ídem VariableTrace
<p>EmotionalTrace Especifica el registro temporal de una cierta emoción.</p>	StudentTraceRelated	<p>associatedEmotionalState: especifica el estado de una cierta emoción medido en el estudiante durante su aprendizaje. containsEmotionalVariableTraces: especifica una o más trazas de variables emocionales que es necesario registrar para obtener una medida de algún aspecto emocional del estudiante como, por ejemplo, de su nivel de estrés, distracción, etc.</p>	Ídem StudentTraceRelated
<p>ObjectiveTrace Especifica el registro temporal de un cierto estado de objetivo durante el aprendizaje de un estudiante.</p>	StudentTraceRelated	<p>isOfActionTrace: especifica la traza de acción que ha permitido alcanzar esta traza de objetivo. associatedObjectiveState: especifica el estado de adquisición (alcanzado o no) de un cierto objetivo asociado al instante de la traza.</p>	Ídem StudentTraceRelated

Tabla 9.88: Descripción de la ontología **StudentTrace** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>ObjectiveHistoryTrace</p> <p>Especifica el registro temporal de los sucesivos estados por los que pasa un cierto objetivo durante el aprendizaje de un estudiante. Esta información es útil durante la fase de diagnóstico pedagógico del estudiante.</p>	StudentTraceRelated	<p>isConstitutedByObjectiveTraces: especifica una o más trazas de las que consta la traza del histórico de un determinado objetivo.</p>	Ídem StudentTraceRelated
<p>StrechTrace</p> <p>Describe el registro temporal de uno de los tramos de los que consta la trayectoria del estudiante durante una actividad de aprendizaje.</p>	StudentTraceRelated	<p>associatedStrechState: especifica el estado del tramo asociado a esta traza.</p> <p>belongsToStrech: especifica el tramo al que corresponde esta traza.</p>	<p>belongsToStudent</p> <p>initialTime</p> <p>finalTime</p>
<p>TrajectoryTrace</p> <p>Especifica la traza de la trayectoria seguida por el estudiante durante el aprendizaje de una cierta actividad.</p>	StudentTraceRelated	<p>consistsOfPosition: especifica las dos trazas de posición de las que consta la traza de la trayectoria del estudiante.</p> <p>consistsOfStrechTraces: especifica las trazas de los tramos de los que consta la trayectoria seguida por el estudiante.</p> <p>associatedTrajectoryState: especifica el estado (valoración) de la trayectoria obtenida tras finalizar la traza.</p> <p>isComparedWith: especifica la trayectoria óptima con la que se compara la trayectoria del estudiante.</p>	Ídem StrechTrace

Tabla 9.89: Descripción de la extensión de la ontología **StudentTrace** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
RubricTrace Traza del estudiante referente a una rúbrica.	StudentTraceRelated	belongsToRubric : especifica la rúbrica a la que se refiere la traza. associatedRubricState : especifica el estado de ejecución concreto de la rúbrica asociado a esta traza.	Ídem StudentTraceRelated
CriterionTrace Traza del estudiante referente a un criterio de la rúbrica.	StudentTraceRelated	belongsToRubric : especifica la rúbrica a la que se refiere la traza. belongsToCriterion : especifica el criterio al que se refiere la traza. associatedCriterionState : especifica el estado de ejecución concreto de la rúbrica asociado a esta traza.	Ídem StudentTraceRelated
PerformanceCriterionTrace Traza del estudiante referente a un criterio de desempeño.	StudentTraceRelated	belongsToObjective : especifica el objetivo al que se refiere la traza. belongsToCompetence : especifica la competencia a la que se refiere la traza. associatedPerformanceCriterionState : especifica el estado de ejecución concreto asociado a esta traza. belongsToPerformanceCriterion : especifica el indicador de desempeño.	Ídem StudentTraceRelated

Tabla 9.90: Descripción de la extensión de la ontología **StudentTrace** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
CompetenceTrace Traza del estudiante referente a una competencia.	StudentTraceRelated	belongsToCompetence: especifica la competencia a la que se refiere la traza. assocCompetenceState: especifica el estado de ejecución concreto de la competencia asociado a esta traza.	Ídem StudentTraceRelated
CompetenceHistoryTrace Traza histórica del estudiante referente a una competencia.	StudentTraceRelated	isConstitutedByCompetenceTraces: especifica una o más trazas de las que consta la traza del histórico de una determinada competencia.	Ídem StudentTraceRelated
AccesibilityTrace Traza del estudiante referente a la accesibilidad.	ProfileTrace	belongsToAccesibility: especifica la accesibilidad a la que se refiere la traza.	Ídem ProfileTrace
InterestTrace Traza del estudiante referente a sus intereses.	ProfileTrace	belongsToInterest: especifica el interés al que se refiere la traza.	Ídem ProfileTrace
RecommendationTrace Traza de recomendaciones ofrecidas al estudiante.	StudentTraceRelated		Ídem StudentTraceRelated
RecommendationHistoryTrace Traza histórica de recomendaciones ofrecidas al estudiante.	StudentTraceRelated	isConstitutedByRecommendationTraces: especifica una o más trazas de las que consta la traza del histórico de una determinada recomendación.	Ídem StudentTraceRelated
CompetenceRecommendationTrace Traza de recomendaciones ofrecidas al estudiante acerca de las competencias.	RecommendationTrace	refersToCompetence: especifica la competencia asociada. refersToObjective: especifica el objetivo asociado. refersToCompetenceRecommendation: especifica la recomendación de competencia asociada. assocCompRecState: especifica el estado asociado a esta traza.	Ídem RecommendationTrace

Tabla 9.91: Descripción de la extensión de la ontología **StudentTrace** (cont.). Ontología adaptada de (Clemente, 2011).

CLASS	SUPER-CLASS	DEFINED PROPERTIES	INHERIT PROPERTIES
<p>ActivityRecommendationTrace Traza de recomendaciones ofrecidas al estudiante acerca de las actividades.</p>	<p>RecommendationTrace</p>	<p>refersToActivity: especifica la actividad asociada. refersToActivityRecommendation: especifica la recomendación de actividad asociada. assocActRecState: especifica el estado de recomendación de actividad asociado a esta traza.</p>	<p>Ídem RecommendationTrace</p>
<p>ActionRecommendationTrace Traza de recomendaciones ofrecidas al estudiante acerca de las acciones.</p>	<p>RecommendationTrace</p>	<p>refersToAction: especifica la acción asociada. refersToActionRecommendation: especifica la recomendación de acción asociada. assocActionRecState: especifica el estado de recomendación de acción asociado a esta traza.</p>	<p>Ídem RecommendationTrace</p>
<p>PerformanceIndicatorRecommendationTrace Traza de recomendaciones ofrecidas al estudiante acerca de los indicadores de desempeño.</p>	<p>RecommendationTrace</p>	<p>refersToPerformanceIndicator: especifica el indicador de desempeño asociado. refersToPerIndRecommendation: especifica la recomendación de indicador de desempeño asociada. assocPerIndState: especifica el estado de recomendación de indicador de desempeño asociado a esta traza.</p>	<p>Ídem RecommendationTrace</p>
<p>RubricCriterionRecommendationTrace Traza de recomendaciones ofrecidas al estudiante acerca de los criterios.</p>	<p>RecommendationTrace</p>	<p>refersToRubricCriterion: especifica el criterio asociado. refersToRubricCriterionRecommendation: especifica la recomendación de criterio asociada. assocRubricCriterionState: especifica el estado de recomendación de la rúbrica asociado a esta traza.</p>	<p>Ídem RecommendationTrace</p>

10

Apéndice B: Encuesta de la herramienta de recomendación

Este apartado contiene la encuesta de satisfacción elaborada para la evaluación de la satisfacción de los estudiantes y profesores con el sistema de recomendación.

Debido a que el sistema de recomendación propuesto únicamente se ha validado con estudiantes no reales, esta encuesta no contempla todavía ningún resultado. En un futuro a corto plazo se pretende evaluar el prototipo desarrollado con casos de prueba completamente reales teniendo en cuenta la opiniones de instructores y estudiantes relativas a los siguientes criterios:

- *Facilidad de uso*: grado de complejidad en el manejo de la herramienta sin ayuda. Este criterio pretende comprobar si la herramienta es sencilla o, por el contrario, los usuarios la consideran difícil.
- *Adaptación al cambio*: capacidad de la herramienta para representar información diferente a la expuesta hasta ese momento. Por ejemplo, cómo reaccionará el sistema ante el cambio de estado de adquisición de una competencia.
- *Adecuación*: este criterio mide, por un lado, el grado de personalización que alcanza la herramienta respecto al usuario y, por otro lado, el grado de adaptación de la herramienta con respecto a la información disponible.
- *Capacidad de innovación*: se refiere a la habilidad del sistema de recomendación para hacer recomendaciones novedosas.
- *Fiabilidad*: indica el nivel de confianza del sistema en la obtención de recomendaciones.
- *Robustez*: capacidad del sistema para recuperarse ante situaciones adversas.
- *Tiempo de espera*: mide el tiempo que tarda el sistema en ofrecer las recomendaciones a los usuarios.

ENCUESTA DE SATISFACCIÓN A ESTUDIANTES Y PROFESORES SOBRE EL SISTEMA DE RECOMENDACIÓN DE COMPETENCIAS

Objetivos de la encuesta

Esta encuesta, opcional y anónima, pretende recoger información acerca de la aplicación web desarrollada para la recomendación basada en competencias (en adelante, sistema de recomendación) empleada en diversos escenarios (laboratorio de química, actividad del laboratorio de sistemas operativos, curso de primeros auxilios, etc.).

Participantes de la encuesta

En esta encuesta podrán participar tanto los estudiantes como los profesores involucrados en las actividades previamente mencionadas y que hayan empleado, al menos una vez, el sistema de recomendación.

Estructura de la encuesta

La encuesta queda estructurada en cuatro apartados de acuerdo con el tipo de información requerida y con el tipo de respuesta solicitada. El primer apartado engloba preguntas relacionadas con la experiencia del usuario con este tipo de herramientas, el segundo apartado considera una batería de preguntas acerca de las características del programa, el tercer apartado reúne información de la experiencia específica del usuario con este programa y el último apartado pretende servir como valoración global de la herramienta mediante una serie de preguntas abiertas donde el usuario puede extenderse.

Instrucciones de la encuesta

Si bien la participación en la encuesta es opcional, todas las preguntas, a excepción de las del último apartado, son de respuesta obligatoria. Esto significa que si decide finalmente rellenar la encuesta, deberá completarla. Lea detenidamente las preguntas y responda con sinceridad.

Características de la encuesta

La encuesta consta de 27 preguntas distribuidas en las siguientes categorías:

- Experiencia del usuario con sistemas de recomendación -> 3 preguntas
- Características del programa -> 8 preguntas
- Experiencia del usuario con el sistema específico -> 12 preguntas
- Valoración global -> 4 preguntas

El tiempo estimado para rellenar completamente la encuesta es de 10 minutos. En caso de no rellenar las preguntas abiertas, se estima una duración inferior a 5 minutos.

ENCUESTA DE SATISFACCIÓN A ESTUDIANTES Y PROFESORES SOBRE EL SISTEMA DE RECOMENDACIÓN DE COMPETENCIAS

A. Experiencia del usuario con sistemas de recomendación

1. Indique su rol en la actividad a la que hace referencia este documento
 Profesor **Estudiante**
2. ¿Ha utilizado anteriormente otra herramienta de recomendación académica?
 SI **NO**
3. ¿Ha seguido recomendaciones recibidas a través de alguna aplicación web?
 SI **NO**

B. Características del programa

A continuación puntúe de 1 a 5 las siguientes variables, siendo:

1 – Muy deficiente, 2 – Deficiente, 3 – Neutral, 4 – Satisfactorio y 5 – Muy satisfactorio

- | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| a. Facilidad de uso
(¿Es sencillo dominar todas las funcionalidades de la aplicación?) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| b. Adaptación al cambio
(¿Se adapta el sistema de recomendación si el estudiante ha olvidado o adquirido un conocimiento?) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| c. Adecuación
(¿Son las recomendaciones apropiadas para el estudiante y la situación?) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| d. Capacidad de innovación
(¿Recibe el estudiante siempre las mismas recomendaciones?) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| e. Fiabilidad
(¿El sistema ofrece recomendaciones oportunas desde el principio hasta el final de la actividad?) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| f. Robustez
(¿El sistema se recupera de recomendaciones erróneas en caso de que las hubiera?) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| g. Tiempo de espera
(¿Cuánto tiempo debe esperar el usuario desde que solicita una consulta hasta que recibe los resultados?) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| h. Accesibilidad
(¿El sistema ofrece facilidades para manejar la aplicación con independencia de las limitaciones del usuario?) | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

C. Experiencia del usuario con el sistema específico

Puntúe las siguientes proposiciones de acuerdo a su experiencia en la actividad.

	NUNCA	A VECES	SIEMPRE
a. Acceso a la herramienta			
i. Antes de comenzar la actividad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ii. Durante la actividad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
iii. Después de finalizar la actividad	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	NUNCA	A VECES	SIEMPRE
b. Uso del buscador	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	NUNCA	A VECES	SIEMPRE
c. Acceso a las diferentes vistas			
i. Acciones	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ii. Competencias	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
iii. Indicadores	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
iv. Actividades	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
v. Rúbricas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
vi. Recomendaciones	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

	NUNCA	A VECES	SIEMPRE
d. Seguimiento de las recomendaciones recibidas por el sistema (solo alumnos)			
i. Si coinciden con las del instructor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ii. Si no coinciden con las del instructor	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



D. Valoración global

¿Qué es lo que menos le gusta del sistema de recomendación específico?

¿Qué es lo que más le gusta del sistema de recomendación específico?

¿Qué sugeriría para mejorar su funcionamiento?

¿Qué mejoras de accesibilidad/usabilidad incorporaría a la herramienta?

- Aimeur, E., Onana, F. S. M., and Saleman, A. (2007). Help: A recommender system to locate expertise in organizational memories. In *Proceedings of the IEEE/ACS International Conference on Computer Systems and Applications*, volume 1, pages 866–874, Amman, Jordan.
- Albert, D., Hockemeyer, C., Kickmeier-Rust, M. D., Nussbaumer, A., and Steiner, C. M. (2012). *E-Learning Based on Metadata, Ontologies and Competence-Based Knowledge Space Theory*, chapter 3, pages 24–36. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Ali, M., Hoang Son, L., Thanh, N. D., and Van Minh, N. (2017). A Neutrosophic Recommender System for Medical Diagnosis Based on Algebraic Neutrosophic Measures. *Applied Soft Computing*, 71(1):1054 – 1071.
- Allen, M. W. (2012). *Leaving Addie for Sam: An Agile Model for Developing the Best Learning Experiences*. ASSN FOR TALENT DEVELOPMENT, IL, USA.
- Amorim, R. R., Lama, M., Sánchez, E., Riera, A., and Vila, X. (2006). A Learning Design Ontology based on the IMS Specification. *Journal of Educational Technology & Society*, 9(1):38–57.
- Anderson, J. R. (2000). *Learning and Memory: An Integrated Approach 2nd Edition*. Wiley, MI, USA.
- Anderson, L. W. and Krathwohl, D. R. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom’s Taxonomy of Educational Objectives*. Longman, New York, NY, USA.
- Andrade, H. G. (1997). Understanding rubrics. *Educational leadership*, 54(4):14–17.
- ANECA (2009). Guía de apoyo para la redacción, puesta en práctica y evaluación de los resultados del aprendizaje. Technical report, Agencia Nacional de Evaluación de la Calidad y Acreditación (ANECA).
- Armas Romero, A., Cuenca Grau, B., and Horrocks, I. (2012). *MORe: Modular Combination of OWL Reasoners for Ontology Classification*, chapter 1, pages 1–16. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Avancini, H. and Straccia, U. (2005). User recommendation for collaborative and personalised digital archives. *International Journal of Web Based Communities*, 1(2):163–175.
- Bakhshinategh, B., Spanakis, G., Zaiane, O., and Elatia, S. (2017). A course recommender system based on graduating attributes. In *Proceedings of the 9th International Conference on Computer Supported Education*, volume 1, pages 347–354, Porto, Portugal.
- Baneres, D. and Conesa, J. (2017). A life-long learning recommender system to promote employability. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 12(06):77–93.

- Barros, B. and Verdejo, M. F. (2016). Computer-Based Interaction Analysis with degree Revisited. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 26(1):113–123.
- Bechhofer, S., van Harmelen, F., Hendler, J., Horrocks, I., McGuinness, D. L., Patel-Schneider, P. F., and Stein, L. A. (2004). Owl web ontology language reference. Technical report, W3C.
- Beckett, D. and McBride, B. (2004). Rdf/xml syntax specification. Technical report, W3C.
- Bernaras, A., Laresgoiti, I., and Corera, J. (1996). Building and reusing ontologies for electrical network applications. In *Proceedings of the Twelfth European Conference on Artificial Intelligence*, pages 298–302, Chichester, UK.
- Berners-Lee, T., Hendler, J., and Lassila, O. (2001). The semantic web. *Scientific American*, 284(5):34–43.
- Biébow, B., Szulman, S., and Clément, A. J. B. (1999). Terminae: A linguistics-based tool for the building of a domain ontology. In *Proceedings of the 11th European Knowledge Acquisition Workshop*, pages 49–66, Dagstuhl Castle, Germany.
- Blomqvist, E., Hammar, K., and Presutti, V. (2016). *Engineering Ontologies with Patterns - The eXtreme Design Methodology*, chapter 2, pages 23–50. IOSPress, Berlin, Germany.
- Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals: Cognitive Domain*. David McKay, New York, NY, USA.
- Bobadilla, J., Ortega, F., Hernando, A., and Gutiérrez, A. (2013). Recommender systems survey. *Knowledge-Based Systems*, 46(1):109–132.
- Bobillo, F., Delgado, M., and Gómez-Romero, J. (2012). Delorean: A reasoner for fuzzy owl 2. *Expert Systems with Applications*, 39(1):258 – 272.
- Boley, H., Tabet, S., and Wagner, G. (2001). Design rationale of ruleml: A markup language for semantic web rules. In *Proceedings of the First International Conference on Semantic Web Working*, pages 381–401, California, USA.
- Boyatzis, R. E. (1982). *The competent manager: A model for effective performance*. John Wiley & Sons, New York, NY, USA.
- Brachman, R. J. and Schmolze, J. G. (1985). An overview of the kl-one knowledge representation system*. *Cognitive Science*, 9(2):171–216.
- Bremgartner, V. (2011). An adaptive strategy to help students in e-Learning systems using competency-based ontology and agents. In *Proceedings of the 11th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications*, pages 978–983, Cordoba, Spain.
- Brickley, D. and Guha, R. V. (2004). Rdf vocabulary description language 1.0: Rdf schema. Technical report, W3C.
- Brickley, D. and Miller, L. (2014). *FOAF Vocabulary Specification 0.99*.
- Brut, M., Asandului, L., and Grigoras, G. (2009). A Rule-Based Approach for Developing a Competency-Oriented User Model for E-Learning Systems. In *Proceedings of the Fourth International Conference on Internet and Web Applications and Services*, pages 555–560, Venice, Italy.
- Burke, R. (2002). Hybrid recommender systems: Survey and experiments. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 12(4):331–370.

- Caeiro, M., Llamas, M., and Anido, L. (2014). PoEML: Modeling learning units through perspectives. *Computer Standards & Interfaces*, 36(2):380–396.
- Capuano, N., Gaeta, M., Ritrovato, P., and Salerno, S. (2014). Elicitation of latent learning needs through learning goals recommendation. *Computer Human Behavior*, 30(1):663–673.
- Carroll, J. J. and De Roo, J. (2004). Owl web ontology language test cases. Technical report, W3C.
- Carroll, J. J. and Klyne, G. (2004). Resource description framework (rdf): Concepts and abstract syntax. Technical report, W3C.
- Cazella, S. C., Behar, P. A., Schneider, D., da Silva, K. K., and Freitas, R. (2014). *Developing a Learning Objects Recommender System Based on Competences to Education: Experience Report*, chapter 21, pages 217–226. Springer, Cham, Germany.
- Cerans, K. and Romane, A. (2015). Obis: Ontology-based information system framework. In *Proceedings of the CAiSE 2015 Forum at the 27th International Conference on Advanced Information Systems Engineering*, volume 1367, pages 65–72, Stockholm, Sweden.
- Champiri, Z. D., Shahamiri, S. R., and Salim, S. S. B. (2015). A systematic review of scholar context-aware recommender systems. *Expert Systems with Applications*, 42(3):1743–1758.
- Chapparo, C. and Ranka, J. (2010). *Perceive, Recall, Plan and Perform (PRPP): Occupation-Centred Task Analysis and Intervention System*, chapter 9, pages 183–202. Wiley-Blackwell, Chichester, United Kingdom.
- Chavarriaga, O., Florian-Gaviria, B., and Solarte, O. (2014). *A Recommender System for Students Based on Social Knowledge and Assessment Data of Competences*, chapter 5, pages 56–69. Springer, Cham, Germany.
- Chow, T., Ko, E., Li, C., and Zhou, C. (2012). The systematic development of rubrics in assessing engineering learning outcomes. In *Proceedings of IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE) 2012*, pages 1–5, Hong Kong, China.
- Churches, A. (2008). Bloom’s Taxonomy Blooms Digitally. <http://www.techlearning.com/article/8670>.
- Claypool, M., Gokhale, A., Miranda, T., Murnikov, P., Netes, D., and Sartin, M. (1999). Combining content-based and collaborative filters in an online newspaper. In *Proceedings of ACM SIGIR workshop on recommender systems*, pages 1–8, Berkeley, CA, USA.
- Clemente, J. (2011). *Una propuesta de modelado del estudiante basada en ontologías y diagnóstico pedagógico-cognitivo nomonótono*. Ph.d thesis, Universidad Politécnica de Madrid.
- Clemente, J., Ramírez, J., and de Antonio, A. (2011). A proposal for student modeling based on ontologies and diagnosis rules. *Expert Systems with Applications*, 38(7):8066–8078.
- Clemente, J., Ramirez, J., and de Antonio, A. (2014). Applying a student modeling with non-monotonic diagnosis to Intelligent Virtual Environment for Training/Instruction. *Expert Systems with Applications*, 41(2):508–520.
- Cockett, A. and Jackson, C. (2018). The use of assessment rubrics to enhance feedback in higher education: An integrative literature review. *Nurse Education Today*, 69:8–13.

- Colomo-Palacios, R., Gonzalez-Carrasco, I., Lopez-Cuadrado, J. L., and Garcia-Crespo, A. (2012). Resyster: A hybrid recommender system for scrum team roles based on fuzzy and rough sets. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, 22(4):801–816.
- Committee, I., of Electrical, I., Engineers, E., and Board, I. (1990). *IEEE Standard glossary of computer networking terminology*. Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, NY, USA.
- Connolly, D., Van Harmelen, F., Horrocks, I., McGuinness, D. L., Patel-Schneider, P. F., and Stein, L. A. (2001). Daml+oil. Technical report, W3C.
- Cooper, A. and Ostyn, C. (2002). Ims reusable definition of competency or educational objective. Technical Report 1.0, IMS Global Learning Consortium.
- Coronado Altamirano, G. (2017). *Desarrollo de una herramienta para la anotación semántica automática de documentos pdf basado en ontologías*. Ph.d thesis, Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Damiani, E., Ceravolo, P., Frati, F., Bellandi, V., Maier, R., Seeber, I., and Waldhart, G. (2015). Applying recommender systems in collaboration environments. *Computer Human Behavior*, 51(PB):1124–1133.
- Dascalu, M.-I., Bodea, C.-N., Mihailescu, M. N., Tanase, E. A., and Ordoñez de Pablos, P. (2016). Educational recommender systems and their application in lifelong learning. *Behaviour & Information Technology*, 35(4):290–297.
- De Gemmis, M., Iaquinta, L., Lops, P., Musto, C., Narducci, F., and Semeraro, G. (2009). Preference learning in recommender systems. In *Proceedings of the European Conference on Machine Learning and Principles and Practice of knowledge Discovery in Databases*, pages 41–55, Bled, Slovenia.
- De Nicola, A. and Missikoff, M. (2016). A lightweight methodology for rapid ontology engineering. *Communications of the ACM*, 59(3):79–86.
- del Mar Roldán-García, M. and Aldana-Montes, J. F. (2012). Evaluating dbowl: A non-materializing owl reasoner based on relational database technology. In *Proceedings of the 1st International Workshop on OWL Reasoner Evaluation*, pages 28–39, Manchester, England.
- Delgado, M. and Fonseca-Mora, M. (2010). The use of co-operative work and rubrics to develop competences. *Education for Chemical Engineers*, 5(3):33–39.
- Dolog, P. (2004). Identifying relevant fragments of learner profile on the semantic web. In *Proceedings of the Workshop on Semantic Web for eLearning (SWEL'2004)*, Hiroshima, Japan.
- Dolog, P. and Nejd, W. (2003). Challenges and benefits of the semantic web for user modelling. In *Proceedings of the AH workshop at 12th World Wide Web Conference*, pages 88–98, Budapest, Hungary.
- Drachsler, H., Hummel, H., van den Berg, B., Eshuis, J., Waterink, W., Nadolski, R., Berlanga, A., Boers, N., and Koper, R. (2009). Effects of the ISIS Recommender System for navigation support in self-organised Learning Networks. *Journal of Educational Technology & Society*, 12(3):115–128.
- Drachsler, H., Rutledge, L., van Rosmalen, P., Hummel, H., Pecceu, D., Arts, T., Hutten, E., and Koper, R. (2010). Remashed - an usability study of a recommender system for mash-ups for learning. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 5(SI1):7–11.

- Drachsler, H., Verbert, K., Santos, O. C., and Manouselis, N. (2015). *Panorama of Recommender Systems to Support Learning*, chapter 11, pages 421–451. Springer, Boston, MA, USA.
- Drisko, J. W. (2014). Competencies and their assessment. *Journal of Social Work Education*, 50(3):414–426.
- Dunbar, N. E., Brooks, C. F., and Kubicka-Miller, T. (2006). Oral communication skills in higher education: Using a performance-based evaluation rubric to assess communication skills. *Innovative Higher Education*, 31(2):115–128.
- Duran, D., Chanchi, G., Arciniegas, J. L., and Baldassarri, S. (2016). A semantic recommender system for idtv based on educational competencies. In *Proceedings of the 5th Iberoamerican Conference on Applications and Usability of Interactive TV*, volume 1, pages 47–61, La Habana, Cuba.
- Dutta, B., Chatterjee, U., and P. Madalli, D. (2015). Yamo: Yet another methodology for large-scale faceted ontology construction. *Journal of Knowledge Management*, 19(1):6–24.
- Ekwaro-Osire, S. and Orono, P. O. (2007). Design notebooks as indicators of student participation in team activities. In *Proceedings of the 37th Annual Frontiers In Education Conference - Global Engineering: Knowledge Without Borders, Opportunities Without Passports*, pages 18–23, Milwaukee, WI, USA.
- Embo, M., Helsloot, K., Michels, N., and Valeke, M. (2017). A delphi study to validate competency-based criteria to assess undergraduate midwifery students’ competencies in the maternity ward. *Midwifery*, 53(1):1–8.
- Emin, V. and Pernin, J.-P. (2015). Isis and Scenedit. In *The Art & Science of Learning Design*, pages 211–226. SensePublishers, Rotterdam, the Netherlands.
- Emmenegger, S., Hinkelmann, K., Laurenzi, E., Thönssen, B., Witschel, H. F., and Zhang, C. (2016). Workplace learning - providing recommendations of experts and learning resources in a context-sensitive and personalized manner: An approach for ontology supported workplace. In *Proceedings of the 4th International Conference on Model-Driven Engineering and Software Development*, volume 1, pages 753–763, Rome, Italy.
- Espinoza, M., Montiel-Ponsoda, E., and Gómez-Pérez, A. (2009). Ontology localization. In *Proceedings of the Fifth International Conference on Knowledge Capture*, pages 33–40, Redondo Beach, CA, USA.
- Evans, J. J., Garcia, E., Smith, M., Epps, A. V., Fosmire, M., and Matei, S. (2015). An assessment architecture for competency-based learning: Version 1.0. In *Proceedings of the IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, pages 1–7, El Paso, TX, USA.
- Farquhar, A., Fikes, R., and Rice, J. (1997). The ontolingua server: a tool for collaborative ontology construction. *International Journal of Human-Computer Studies*, 46(6):707 – 727.
- Felder, R. M. and Soloman, B. A. (1996). Index of Learning Styles Questionnaire. <http://www.engr.ncsu.edu/learningstyles/ilsweb.html>.
- Fensel, D., van Harmelen, F., Horrocks, I., McGuinness, D. L., and Patel-Schneider, P. F. (2001). Oil: an ontology infrastructure for the semantic web. *IEEE Intelligent Systems*, 16(2):38–45.
- Fernández-López, M., Gómez-Pérez, A., and Juristo, N. (1997). Methontology: From ontological art towards ontological engineering. In *Proceedings of the Ontological Engineering AAAI-97 Spring Symposium Series*, pages 33–40, Palo Alto, CA, USA.

- Florian, B. and Fabregat, R. (2011). Usability study of tel recommender system and e-assessment tools united. In *Proceedings of the 14th International Conference on Human-Computer Interaction*, volume 1, pages 138–142, Orlando, FL, USA.
- Fuhr, N. and Norbert (1999). A decision-theoretic approach to database selection in networked IR. *ACM Transactions on Information Systems*, 17(3):229–249.
- Fürnkranz, J., Gamberger, D., and Lavrac, N. (2012). *Foundations of rule learning*. Springer, New York, NY, USA.
- Gatica-Lara, F. and Jesús Uribarren-Berrueta, T. d. N. (2013). ¿Cómo elaborar una rúbrica? *Investigación en Educación Médica*, 2(5):61–65.
- Genesereth, M. R., Fikes, R. E., et al. (1992). Knowledge interchange format version 3.0 reference manual. Technical report, Computer Science Department, Stanford University, USA.
- Glimm, B., Horrocks, I., Motik, B., Stoilos, G., and Wang, Z. (2014). Hermit: An owl 2 reasoner. *Journal of Automated Reasoning*, 53(3):245–269.
- Global Learning Consortium, I. (2002). *IMS Learner Information Packaging Information Model Specification*, version 1.0 final specification edition.
- Gómez-Pérez, A., Fernández-López, M., and De Vicente, A. (1996). Towards a method to conceptualize domain ontologies. In *Proceedings of the Workshop on Ontological Engineering*, pages 41–51, Chichester, UK.
- González, J. and Wagenaar, R. (2005). Tuning educational structures in europe: Universities’ contribution to the bologna process. Technical report, University of Deusto and University of Groningen.
- Goodwin, C. and Bobadies, M. L. (2005). Work in progress- rubric for assessing student-led teams: students speak out. In *Proceedings of the 35th Frontiers in Education Annual Conference*, pages 4–14, Indianapolis, IN, USA.
- Grant, J. and Beckett, D. (2004). Rdf test cases. Technical report, W3C.
- Graser, F., Malberg, H., Zaunseder, S., Beckert, S., Kster, D., Schmitt, J., and Klinik, S. A. (2016). Application of recommender system methods for therapy decision support. In *Proceedings of the 18th International Conference on e-Health Networking, Applications and Services*, volume 1, pages 1–6, Munich, Germany.
- Greer, J. E. and McCalla, G. I., editors (2013). *Student Modelling: The Key to Individualized Knowledge-Based Instruction*. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Gregor, D., Toral, S., Ariza, T., Barrero, F., Gregor, R., Rodas, J., and Arzamendia, M. (2016). A methodology for structured ontology construction applied to intelligent transportation systems. *Computer Standards & Interfaces*, 47:108 – 119.
- Gruninger, M. and Fox, M. S. (1995). Methodology for the design and evaluation of ontologies. In *Proceedings of the Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing*, pages 1–10, Montreal, Canada.
- Guan, C., Fu, Y., Lu, X., Chen, E., Li, X., and Xiong, H. (2017). Efficient karaoke song recommendation via multiple kernel learning approximation. *Neurocomputing*, 254(1):22–32.
- Guglietta, L. (2016). Diseño y validación de rúbricas para evaluar el desempeño de estudiantes en Educación Superior.

- Haarslev, V., Hidde, K., Möller, R., and Wessel, M. (2012). The racerpro knowledge representation and reasoning system. *Semantic web*, 3(3):267–277.
- Harrow, A. (1972). *A taxonomy of the psychomotor domain: A guide for developing behavioral objectives*. David McKay, New York, NY, USA.
- Hayes, P. and McBride, B. (2004). Rdf semantics. Technical report, W3C.
- Heflin, J. (2004). Owl web ontology language use cases and requirements. Technical report, W3C.
- Horrocks, I., Patel-Schneider, P. F., Boley, H., Tabet, S., Grosz, B., Dean, M., et al. (2004). Swrl: A semantic web rule language combining owl and ruleml. Technical report, W3C.
- Hsu, Y.-C. and Ching, Y.-H. (2015). A review of models and frameworks for designing mobile learning experiences and environments. *Canadian Journal of Learning and Technology*, 41(3):39–61.
- Huang, Y.-M., Huang, T.-C., Wang, K.-T., and Hwang, W.-Y. (2009). A Markov-based Recommendation Model for Exploring the Transfer of Learning on the Web. *Educational Technology & Society*, 12(2):144–162.
- Idrissi, M. K., Hnida, M., and Bennani, S. (2017). *Competency-Based Assessment: From Conceptual Model to Operational Tool*, chapter 4, pages 57–78. Igi global, Hershey, PA, USA.
- IEEE (2002). *IEEE P1484.2.1/D8, 2001-11-25 Draft Standard for Learning Technology. Public and Private Information (PAPI) for Learners (PAPI Learner). Core Features*.
- IEEE-Learning-Technology-Standards-Committee (2008). Ieee standard for learning technology-data model for reusable competency definitions. Technical report, IEEE.
- IMS-Global (2002). Ims reusable definition of competency or educational objective - information model. Technical report, IMS Global Learning Consortium.
- Isaias, P., Casaca, C., and Pifano, S. (2010). Recommender systems for human resources task assignment. In *Proceedings of the 24th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, volume 1, pages 214–221, Perth, WA, Australia.
- Islam, N., Siddiqui, M. S., and Shaikh, Z. A. (2010). Tode : A dot net based tool for ontology development and editing. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Engineering and Technology*, volume 6, pages 229–233, Chengdu, China.
- Janssen, J., Tattersall, C., Waterink, W., van den Berg, B., van Es, R., Bolman, C., and Koper, R. (2007). Self-organising navigational support in lifelong learning: How predecessors can lead the way. *Computers & Education*, 49(3):781–793.
- Juárez Vives, P. (2013). *Capacidad comunicativa*, chapter 7, pages 57–67. Octaedro, Barcelona, Spain.
- Karp, P. D., Chaudhri, V. K., and Thomere, J. (1999). Xol: An xml-based ontology exchange language. version 0.3. Technical report, Pangea Systems Inc and Artificial Intelligence Center.
- Kazakov, Y., Krötzsch, M., and Simančík, F. (2014). The incredible elk. *Journal of Automated Reasoning*, 53(1):1–61.
- Kelly, A. (2006). The evolution of key skills: Towards a tawney paradigm. *Journal of Vocational Education & Training*, 53(1):21–36.

- Kemppainen, A., Amato-Henderson, S., and Hein, G. (2010). Work in progress; refining a technical communication rubric for first-year engineering instructors. In *Proceedings of the IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, pages 1–2, Washington DC, USA.
- Khan, M. M., Ibrahim, R., and Ghani, I. (2017). Cross Domain Recommender Systems. *ACM Computing Surveys*, 50(3):1–34.
- Khobreh, M., Ansari, F., Dornhofer, M., and Fathi, M. (2013). An ontology-based recommender system to support nursing education and training. In *Proceedings of the German Conference on Learning, Knowledge, Adaptation*, volume 1, pages 237–244, Bamberg, Germany.
- Khribi, M. K., Jemni, M., and Nasraoui, O. (2009). Automatic Recommendations for E-Learning Personalization Based on Web Usage Mining Techniques and Information Retrieval. *Educational Technology & Society*, 12(4):30–42.
- Kifer, M. (2008). Rule interchange format: The framework. In *Proceedings of the Second International Conference on Web Reasoning and Rule Systems*, pages 1–11, Karlsruhe, Germany.
- Kifer, M., Lausen, G., and Wu, J. (1995). Logical foundations of object-oriented and frame-based languages. *Journal of the ACM*, 42(4):741–843.
- Klasnja-Milicevic, A., Ivanovic, M., and Nanopoulos, A. (2015). Recommender systems in e-learning environments: a survey of the state-of-the-art and possible extensions. *Artificial Intelligence Review*, 44(4):571–604.
- Klasnja-Milicevic, A., Vesin, B., Ivanovic, M., Budimac, Z., and Jain, L. C. (2017). *Recommender Systems in E-Learning Environments*, chapter 6, pages 51–75. Springer, Cham, Germany.
- Koch, M. and Landes, D. (2014). A recommender system for didactical approaches in software engineering education. In *Proceedings of the DeLFI Workshops*, volume 1227, pages 140–143, Freiburg, Germany.
- Koch, N., Kraus, A., and Hennicker, R. (2001). The authoring process of the uml-based web engineering approach. In *Proceedings of the first International Workshop on Web-Oriented Software Technology*, volume 1, pages 1–29, Valencia, Spain.
- Koch, N., Zhang, G., Knapp, A., and Baumeister, H. (2008). *ML-Based Web Engineering: An Approach based on Standards*, chapter 7, pages 157–191. Springer, Cham, Germany.
- Koper, R. and Manderveld, J. (2004). Educational modelling language: modelling reusable, interoperable, rich and personalised units of learning. *British Journal of Educational Technology*, 35(5):537–551.
- Koper, R. and Olivier, B. (2004). Representing the eLearning Design of Units of Learning. *Educational Technology & Society*, 7(3):97–111.
- Koutrika, G., Ikeda, R., Bercovitz, B., and Garcia-Molina, H. (2008). Flexible recommendations over rich data. In *Proceedings of the 2008 ACM Conference on Recommender Systems*, pages 203–210, Lausanne, Switzerland.
- Kozaki, K., Kitamura, Y., Ikeda, M., and Mizoguchi, R. (2002). Hozo: an environment for building/using ontologies based on a fundamental consideration of “role” and “relationship”. In *Proceedings of the international Conference on Knowledge Engineering and Knowledge Management*, pages 213–218, Guadalajara, Spain.

- Krathwohl, D. R., Bloom, B. S., and Masia, B. B. (1964). *Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals: handbook II: affective domain*. David McKay, New York, NY, USA.
- Larkin, T. L. (2014). Making the case for alternative assessment: A writing-based rubric for self-reflection and improved learning. In *Proceedings of the International Conference on Interactive Collaborative Learning (ICL)*, pages 901–907, Dubai, United Arab Emirates.
- Lemire, D., Boley, H., McGrath, S., and Ball, M. (2005). Collaborative filtering and inference rules for context-aware learning object recommendation. *Interactive Technology and Smart Education*, 2(3):179–188.
- Lenat, D. B. and Guha, R. V. (1990). *Building large knowledge-based systems : representation and inference in the Cyc project*. Addison-Wesley, Boston, MA, USA.
- Leutner, D., Fleischer, J., Grünkorn, J., and Klieme, E. (2017). *Competency-Based Assessment: From Conceptual Model to Operational Tool*, chapter 1, pages 1–8. Springer, Cham, Germany.
- Luke, S. and Hefin, J. (2000). Shoe 1.01. proposed specification. Technical report, university of Maryland, USA.
- MacGregor, R. M. (1991). Inside the loom description classifier. *SIGART Bull.*, 2(3):88–92.
- Machado, L., Filho, O., and Ribeiro, J. a. (2009). Uwe-r: An extension to a web engineering methodology for rich internet applications. *WSEAS Trans. Info. Sci. and App.*, 6(4):601–610.
- Magnisalis, I., Demetriadis, S., and Karakostas, A. (2011). Adaptive and Intelligent Systems for Collaborative Learning Support: A Review of the Field. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 4(1):5–20.
- Manola, F., Miller, E., and McBride, B. (2004). Rdf primer. Technical report, W3C.
- Manouselis, N., Drachsler, H., Verbert, K., and Duval, E. (2013). *Survey and Analysis of TEL Recommender Systems*, chapter 3, pages 37–61. Springer, New York, NY, USA.
- Mao, K., Shou, L., Fan, J., Chen, G., and Kankanhalli, M. S. (2015). Competence-based song recommendation: Matching songs to one singing skill. *IEEE Transactions on Multimedia*, 17(3):396–408.
- Martel, C., Vignollet, L., Ferraris, C., and Dur, G. (2006). Ldl: a language to model collaborative learning activities. In *Proceedings of the World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications*, pages 838–844, Orlando, FL, USA.
- Marzano, R. J. (2001). *Designing a New Taxonomy of Educational Objectives. Experts in Assessment*. Corwin Press, Thousand Oaks, CA, USA.
- Marzano, R. J. and Kendall, J. S. (2006). *The new taxonomy of educational objectives*. Corwin Press, Thousand Oaks, CA, USA.
- Matheus, C. J., Baclawski, K., and Kokar, M. M. (2006). Basevisor: A triples-based inference engine outfitted to process ruleml and r-entailment rules. In *Proceedings of the second International Conference on Rules and Rule Markup Languages for the Semantic Web (RuleML'06)*, pages 67–74, Athens, GE, USA.
- McClelland, D. C. (1973). Testing for competence rather than for intelligence. *American Psychologist*, 28(1):1–14.

- McGuinness, D. L. and van Harmelen, F. (2004). Owl web ontology language overview. Technical report, W3C.
- Mendez, J. (2012). jcel: A modular rule-based reasoner. In *Proceedings of the 1st International Workshop on OWL Reasoner Evaluation*, pages 130–135, Manchester, England.
- Merino, E. C. (2011). una propuesta de evaluación para el trabajo en grupo mediante rúbrica. *Escuela Abierta*, 14(1):67–81.
- Mladenic, D. (1999). Text-learning and related intelligent agents: a survey. *IEEE Intelligent Systems and their Applications*, 14(4):44–54.
- Montuschi, P., Lamberti, F., Gatteschi, V., and Demartini, C. (2015). A semantic recommender system for adaptive learning. *IT Professional*, 17(5):50–58.
- Noy, N. F., McGuinness, D. L., et al. (2001). Ontology development 101: A guide to creating your first ontology. https://protege.stanford.edu/publications/ontology_development/ontology101.pdf.
- O’Connor, M. and Das, A. (2009). Sqwrl: A query language for owl. In *Proceedings of the Sixth International Conference on OWL: Experiences and Directions - Volume 529*, pages 208–215, Chantilly, USA.
- Otter, S. (1992). Learning outcomes in higher education. a development project report. Technical report, Department of Employment, London, England.
- Panagiotopoulos, I., Kalou, A., Pierrakeas, C., and Kameas, A. (2012). An ontology-based model for student representation in intelligent tutoring systems for distance learning. In *IFIP Advances in Information and Communication Technology*, pages 296–305. Springer, Halkidiki, Greece.
- Panulla, B. and Kohler, M. (2010). An Ontology for Open Rubric Exchange on the Web. In *Proceedings of the seventh Open Ed Conference*, pages 347–360, Barcelona, Spain.
- Paquette, G. (2007). An ontology and a software framework for competency modeling and management. *Journal of Educational Technology & Society*, 10(3):1–21.
- Paquette, G. (2010). *Visual Knowledge Modeling for Semantic Web Technologies: Models and Ontologies*. Information Science Reference, Hershey, NY, USA.
- Paquette, G. (2016). *Competency-Based Personalization Process for Smart Learning Environments*, chapter 1, pages 1–36. Springer, Cham, Germany.
- Paquette, G., Mariño, O., Rogozan, D., and Léonard, M. (2015). Competency-based personalization for massive online learning. *Smart Learning Environments*, 2(1):38–57.
- Parratt, J. A., Fahy, K. M., Hutchinson, M., Lohmann, G., Hastie, C. R., Chaseling, M., and O’Brien, K. (2016). Expert validation of a teamwork assessment rubric: A modified delphi study. *Nurse Education Today*, 36(Supplement C):77 – 85.
- Patel-Schneider, P. F., Hayes, P., and Horrocks, I. (2004). Owl web ontology language semantics and abstract syntax. Technical report, W3C.
- Pérez, A. G. (2002). A survey on ontology tools. ontoweb deliverable 1.3. Technical report, Universidad Politécnica de Madrid.

- Piedra, N., Chicaiza, J., López, J., Romero, A., and Tovar, E. (2010). Measuring collaboration and creativity skills through rubrics: Experience from utpl collaborative social networks course. In *Proceedings of the first IEEE EDUCON Conference*, pages 1511–1516, Madrid, Spain.
- Pinto, H. S., Staab, S., and Tempich, C. (2004). Diligent: Towards a fine-grained methodology for distributed, loosely-controlled and evolving engineering of ontologies. In *Proceedings of the Sixteenth European Conference on Artificial Intelligence*, pages 393–397, Valencia, Spain.
- Rafaeli, S., Barak, M., Dan-Gur, Y., and Toch, E. (2004). QSIA – a Web-based environment for learning, assessing and knowledge sharing in communities. *Computers & Education*, 43(3):273–289.
- Rattanasawad, T., Saikaew, K. R., Buranarach, M., and Supnithi, T. (2013). A review and comparison of rule languages and rule-based inference engines for the semantic web. In *Proceedings of the Seventeenth International Computer Science and Engineering Conference*, pages 1–6, Nakorn Pathom, Thailand.
- Recker, M. M. and Walker, A. (2003). Supporting "Word-of-Mouth" Social Networks Through Collaborative Information Filtering. *Journal of Interactive Learning Research*, 14(1):79–98.
- Reddy, Y. M. and Andrade, H. (2010). A review of rubric use in higher education. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 35(4):435–448.
- Reynolds, C. R., Livingston, R. B., and Willson, V. (2009). *Measurement and Assessment in Education*. Pearson, Boston, MA, USA.
- Ricci, F., Rokach, L., and Shapira, B. (2011). Introduction to Recommender Systems Handbook. In *Recommender Systems Handbook*, pages 1–35. Springer, Boston, MA, USA.
- Rickard, P. L. and Stiles, R. L. (1985). Comprehensive adult student assessment system (casas) design for effective assessment in correctional educational programs. *Journal of Correctional Education*, 32(2):51–53.
- Rodríguez-Echeverría, R., Sánchez, F., Conejero, J. M., and Pedrero, J. (2005). Modelando Procesos de Negocio Web desde una Perspectiva Orientada a Aspectos. *IEEE América Latina*, 04(22):1666–1680.
- Rodriguez, P. A., Ovalle, D. A., and Duque, N. D. (2015). A student-centered hybrid recommender system to provide relevant learning objects from repositories. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Learning and Collaboration Technologies*, volume 1, pages 291–300, Los Angeles, CA, USA.
- Rodríguez-Artacho, M., Felisa, M., and Maillo, V. (2004). Modeling Educational Content: The Cognitive Approach of the PALO Language. *Educational Technology & Society*, 7(3):124–137.
- Roegiers, X. (2016). A conceptual framework for competencies assessment. Technical Report 4, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Rokeach, M. (1973). *The nature of human values*. Free Press, New York, NY, USA.
- Romiszowski, A. (1983). *Designing Instructional Systems: Decision Making in Course Planning and Curriculum Design*. Routledge, Dunfermline, United Kingdom.
- Ruiz Iniesta, A. (2014). *Estrategias de recomendación basadas en conocimiento para la localización personalizada de recursos en repositorios educativos*. Ph.d thesis, Universidad Complutense de Madrid.

- Santos, O. C. and Boticario, J. G. (2008). Users' experience with a recommender system in an open source standard-based learning management system. In *Proceedings of the 4th Symposium of the Workgroup Human-Computer Interaction and Usability Engineering of the Austrian Computer Society on HCI and Usability for Education and Work*, volume 1, pages 185–204, Graz, Austria.
- Sawadogo, D., Champagnat, R., and Estrailier, P. (2014). User Profile Modelling for Digital Resource Management Systems. In *Proceedings of the 22nd Conference on User Modeling, Adaptation and Personalization*, pages 16–23, Aalborg, Denmark.
- Schreiber, G. T. and Akkermans, H. (2000). *Knowledge Engineering and Management: The Common KADS Methodology*. MIT Press, Cambridge, MA, USA.
- Schreiber, L. M., Paul, G. D., and Shibley, L. R. (2012). The development and test of the public speaking competence rubric. *Communication Education*, 61(3):205–233.
- Schrock, K. (2013). Kathy Schrock's Guide to Everything. <http://www.schrockguide.net/samr.html>.
- Serrano, J., Romero, F., and Olivas, J. (2013). Hiperion: A fuzzy approach for recommending educational activities based on the acquisition of competences. *Information Sciences*, 248(1):114–129.
- Sessa, S., Kong, W., Zhang, D., Cosentino, S., Manawadu, U., Kawasaki, M., Thomas, G. T., Suzuki, T., Tsumura, R., and Takanishi, A. (2015). Objective evaluation of oral presentation skills using inertial measurement units. In *Proceedings of the 37th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, pages 3117–3120, Milan, Italy.
- Sielis, G. A., Mettouris, C., Papadopoulos, G. A., Tzanavari, A., Dols, R. M., and Siebers, Q. (2011). A context aware recommender system for creativity support tools. *Journal of Universal Computer Science*, 17(12):1743–1763.
- Sintek, M. and Decker, S. (2002). Triple—a query, inference, and transformation language for the semantic web. In *Proceedings of the First International Semantic Web Conference on The Semantic Web*, pages 364–378, Sardinia, Italy.
- Sirin, E., Parsia, B., Grau, B. C., Kalyanpur, A., and Katz, Y. (2007). Pellet: A practical owl-dl reasoner. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, 5(2):51–53.
- Smith, M. K., Welty, C., and McGuinness, D. L. (2004). Owl web ontology language guide. Technical report, W3C.
- Solanki, S. and Batra, S. (2015). Recommender system using collaborative filtering and demographic characteristics of users. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*, 3(7):4735–4741.
- Spencer, L. M. and Spencer, P. S. M. (1993). *Competence at Work models for superior performance*. John Wiley & Sons, New York, NY, USA.
- Staab, S., Studer, R., Schnurr, H. P., and Sure, Y. (2001). Knowledge processes and ontologies. *IEEE Intelligent Systems*, 16(1):26–34.
- Steigmiller, A., Liebig, T., and Glimm, B. (2014). Konclude: System description. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, 27(1):78–85.

- Studer, R., Benjamins, V. R., Fensel, D., et al. (1998). Knowledge engineering: principles and methods. *Data and knowledge engineering*, 25(1):161–198.
- Su, X. and Khoshgoftaar, T. M. (2009). A survey of collaborative filtering techniques. *Advances in Artificial Intelligence*, 2009(1):4:1–4:19.
- Suárez-Figueroa, M. C. (2010). *NeOn Methodology for building ontology networks: specification, scheduling and reuse*. Ph.d thesis, universidad politécnica de Madrid.
- Suárez-Figueroa, M. C., de Cea, G. A., Buil, C., Caracciolo, C., Dzbor, M., Gómez-Pérez, A., Herrero, G., Lewen, H., Montiel-Ponsoda, E., and Presutti, V. (2007). Neon deliverable d5. 3.1. neon development process and ontology life cycle. Technical report, NeOn Project. <http://www.neon-project.org>.
- Sundeen, T. H. (2014). Instructional rubrics: Effects of presentation options on writing quality. *Assessing Writing*, 21(Supplement C):74–88.
- Swartout, B., Patil, R., Knight, K., and Russ, T. (1996). Toward distributed use of large-scale ontologies. In *Proceedings of the Tenth Knowledge Acquisition for Knowledge-Based Systems Workshop*, pages 138–148, Banff, Canada.
- Tachikawa, Y., Maruyama, H., Nakamura, T., and Takashima, A. (2013). A method for evaluating project management competency acquired from role-play training. In *Proceedings of the 2013 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON)*, pages 162–170, Berlin, Germany.
- Tarus, J. K., Niu, Z., and Mustafa, G. (2017). Knowledge-based recommendation: a review of ontology-based recommender systems for e-learning. *Artificial Intelligence Review*, 50(1):21–48.
- Thomas, P. B. (2000). The competency-based preprofessional curriculum: A key component of vision success. *Journal of Accountancy*, 190(4):128–131.
- Thomas, S. (2005). The engineering-technical writing connection: a rubric for effective communication. In *Proceedings of the International Professional Communication Conference*, pages 517–523, Limerick, Ireland.
- Torre, I. and Torsani, S. (2016). A recommender system as a support and training tool. In *Proceedings of the 12th International Conference on Signal-Image Technology Internet-Based Systems*, volume 1, pages 773–780, Naples, Italy.
- Torres, J., Resendiz, J., Aedo, I., and Doderio, J. M. (2014). A model-driven development approach for learning design using the lpcel editor. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*, 26(1):17–27.
- Tsai, K. H., Chiu, T. K., Lee, M. C., and Wang, T. I. (2006). A Learning Objects Recommendation Model based on the Preference and Ontological Approaches. In *Proceedings of the Sixth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, pages 36–40, Kerkrade, The Netherlands.
- Tsarkov, D. and Horrocks, I. (2006). FaCT++ Description Logic Reasoner: System Description BT. In *Automated Reasoning*, pages 292–297. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Ullman, J. D., Leskovec, J., and Rajaraman, A. (2011). Mining of massive datasets. <http://www.mmms.org/>.

- Uschold, M. and King, M. (1995). Towards a Methodology for Building Ontologies. In *Proceedings of the Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing*, pages 1–15, Montreal, Canada.
- Valentin, C. D., Emrich, A., Lahann, J., Werth, D., and Loos, P. (2015). Adaptive social media skills trainer for vocational education and training: Concept and implementation of a recommender system. In *Proceedings of the 48th Hawaii International Conference on System Sciences*, volume 1, pages 1951–1960, Kauai, HI, USA.
- Van der Merwe, R. and Potgieter, T. (2002). Assessment in the workplace : a competency-based approach. *Journal of Industrial Psychology*, 28(1):60–66.
- Vance, K., Kulturel-Konak, S., and Konak, A. (2014). Assessing teamwork skills and knowledge. In *Proceedings of the 2014 IEEE Integrated STEM Education Conference*, pages 1–6, Princeton, NJ, USA.
- Verbert, K., Manouselis, N., Ochoa, X., Wolpers, M., Drachsler, H., Bosnic, I., and Duval, E. (2012). Context-Aware Recommender Systems for Learning: A Survey and Future Challenges. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 5(4):318–335.
- Vesin, B., Ivanovic, M., and Budimac, Z. (2009). Learning management system for programming in java. *Annales Universitatis Scientiarum De Rolando Eotvos Nominatae*, 31(1):75–92. Sectio Computatorica.
- Vesin, B., Ivanović, M., Klačnja-Milićević, A., and Budimac, Z. (2012). Protus 2.0: Ontology-based semantic recommendation in programming tutoring system. *Expert Systems with Applications*, 39(15):12229–12246.
- Vila Merino, B. and Badia Miró, M. (2013). *Trabajo en equipo*, chapter 4, pages 32–37. Octaedro, Barcelona, Spain.
- Wagner, G., Giurca, A., and Lukichev, S. (2006). A general markup framework for integrity and derivation rules. In *Proceedings of the Fourth International Workshop on Principles and Practices of Semantic Web Reasoning*, pages 18–43, Dagstuhl, Germany.
- Wang, N. (2016). *Towards a Competency Recommender System from Collaborative Traces*. Ph.d thesis, Information, Knowledge, Interaction Heudiasyc Laboratory.
- Woolf, B. P. (2010). *Building intelligent interactive tutors: Student-centered strategies for revolutionizing e-learning*. Morgan Kaufmann, Boston, MA, USA.
- Yago, H., Clemente, J., Rodriguez, D., and de Cordoba, P. F. (2018). On-smmle: Ontology network-based student model for multiple learning environments. *Data & Knowledge Engineering*, 115(1):48 – 67.
- Yago Corral, H. and Clemente Parraga, J. (2014). Stsim: Semantic-web based tool to student instruction monitoring. In *Proceedings of the 6th International Conference on Computer Supported Education*, pages 276–284, Barcelona, Spain.
- Zieky, M. J. and Perie, M. (2006). A primer on setting cut scores on tests of educational achievement. Technical report, ETS.
- Zlatkin-Troitschanskaia, O., Shavelson, R. J., and Kuhn, C. (2015). The international state of research on measurement of competency in higher education. *Studies in Higher Education*, 40(3):393–411.

