



UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Dpto. de Teoría de la Señal, Comunicaciones e Ingeniería Telemática

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación

Tesis Doctoral

Gridcole, un sistema maleable basado en servicios grid para el apoyo del aprendizaje colaborativo guiado

AUTOR

Miguel Luis Bote Lorenzo

Ingeniero de Telecomunicación

DIRECTORES

Ioannis Dimitriadis Damoulis

Dr. Ingeniero de Telecomunicación

Eduardo Gómez Sánchez

Dr. Ingeniero de Telecomunicación

Septiembre de 2005

Agradecimientos

Son muchas las personas que, de una manera u otra, han contribuido a la realización de esta tesis. Es por ello que considero necesario emplear esta página para expresarles mi más sincero agradecimiento.

Quiero comenzar mostrando toda mi gratitud y reconocimiento al Dr. Ioannis Dimitriadis y al Dr. Eduardo Gómez, directores excepcionales de esta tesis, por su dedicación, interés y apoyo durante estos años de trabajo. Este agradecimiento se hace extensivo al Dr. Juan Ignacio Asensio, cuyas ideas y sugerencias también han servido para superar muchas de las dificultades que surgieron durante el desarrollo de la tesis. A ellos tres les debo no sólo el haber podido completar este trabajo, sino también el haber comprendido qué significan las Ítacas.

También quiero dar las gracias a todos los miembros del grupo de investigación GSIC/EMIC por su colaboración generosa que ha servido para mejorar notablemente este trabajo. En este punto quiero mencionar especialmente a Guillermo Vega, quien ha aportado numerosas ideas y me ha brindado su ayuda en todo momento. De igual forma, Iván Jorrín me ha ayudado a entender muchos conceptos del “lado oscuro” y ha contribuido con sus conocimientos y su trabajo en el proceso de evaluación educativa de la propuesta. El trabajo hecho por Davinia Hernández también me sirvió para encontrar una pieza que estaba buscando para el puzzle de Gridcole.

Durante este tiempo he tenido la suerte de contar con la ayuda de algunas personas que han hecho un trabajo estupendo en el contexto de proyectos fin de carrera o becas de investigación relacionados con esta tesis. Éste es el caso de Luis Miguel Vaquero, Raquel Alonso, Susana Martín y Juan Ángel Lorenzo. Les agradezco enormemente los importantes esfuerzos que han dedicado a demostrar que la idea de utilizar el grid para el apoyo del aprendizaje colaborativo puede hacerse realidad.

Desde luego, tampoco puedo olvidar la inestimable ayuda que me han prestado muchas personas en el plano personal. A mis amigos, entre los cuales incluyo a muchos de mis compañeros de trabajo, les agradezco que se hayan empeñado siempre en demostrarme que en la vida hay más cosas que hacer además de una tesis. A mi familia le agradezco su apoyo incondicional sin el cual yo nunca hubiera podido llegar hasta aquí. Por último, a Ana le agradezco de manera especialmente sentida su apoyo, su cariño y su comprensión, los cuales han sido mi principal estímulo durante todos estos años.

Resumen

Los sistemas de aprendizaje colaborativo maleables son muy valorados por la comunidad CSCL (*Computer Supported Collaborative Learning* – Aprendizaje Colaborativo Apoyado por Ordenador) por la posibilidad que ofrecen a sus usuarios de modificar el conjunto de herramientas integradas por el sistema para prestar apoyo a una situación de aprendizaje colaborativo dada. Desafortunadamente, los sistemas de este tipo que es posible encontrar en la literatura presentan dos limitaciones importantes. Por un lado, los sistemas maleables actuales no permiten la integración de herramientas que hacen uso de capacidades de supercomputación o de recursos de *hardware* específicos a pesar de que este tipo de herramientas es necesario para apoyar la realización de numerosas situaciones. Por otro, dichos sistemas no permiten la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo de manera guiada aún cuando el guiado de actividades puede contribuir al aumento de la efectividad del aprendizaje colaborativo.

En esta tesis se propone un nuevo sistema de aprendizaje colaborativo maleable, denominado Gridcole (*Grid-based Collaborative Learning Environment* – Entorno de Aprendizaje Colaborativo basado en el Grid), que supera dichas limitaciones. Gridcole permite a los educadores definir el conjunto de herramientas basadas en servicios grid que debe integrar el sistema para apoyar la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo descritas mediante el lenguaje de modelado educativo IMS-LD. Éstas son herramientas compartidas por distintas organizaciones administrativas en el contexto de un grid computacional que, en caso de necesitarlo, pueden hacer uso de capacidades de supercomputación o de recursos de *hardware* específicos. Además, Gridcole es capaz de interpretar las descripciones de las situaciones de aprendizaje colaborativo con el objetivo de guiar a los participantes durante la realización de las mismas.

La evaluación de Gridcole se hace a partir de tres situaciones de aprendizaje colaborativo distintas que responden a las necesidades pedagógicas de diferentes contextos educativos reales y para cuyo apoyo es necesario disponer de un sistema maleable que no presente las limitaciones antes mencionadas. Dicha evaluación incluye la comprobación de que el sistema propuesto puede ser empleado para apoyar la realización de las tres situaciones. También incluye el análisis de las valoraciones hechas por los participantes de dos experiencias reales en las que el prototipo de Gridcole fue empleado para realizar una de las tres situaciones. Los resultados de este proceso de evaluación muestran que Gridcole es un sistema que ofrece las posibilidades de integración de herramientas y de guiado que se le suponen, así como que puede facilitar la realización de un amplio rango de situaciones de aprendizaje colaborativo.

Abstract

Tailorable collaborative learning systems are highly appreciated by CSCL (Computer Supported Collaborative Learning) practitioners since they enable users to modify the set of tools integrated by the system in order to support the realization of a given collaborative learning situation. Unfortunately, two important drawbacks may be found in the systems of this kind that have been proposed in the literature. First, current tailorable systems do not enable the integration of tools that employ supercomputing capabilities or specific hardware resources. However, this type of tools is required in order to support the realization of many situations. Second, these systems do not provide guidance to users during the realization of collaborative learning situations. Nevertheless, activity guidance may well increase the effectiveness of collaborative learning.

This work proposes a new tailorable collaborative learning system called Gridcole (Grid-based Collaborative Learning Environment) that overcomes these drawbacks. Gridcole allows educators to define the set of grid service based tools that must be integrated by the system in order to support the realization of collaborative learning situations described with the IMS-LD educational modelling language. Those tools are shared by different organizations within the context of a computational grid so that, should it be needed, tools can use supercomputing capabilities or specific hardware resources. Furthermore, Gridcole can interpret the descriptions of the collaborative learning situations in order to provide guidance to participants during the realization of the situation.

Gridcole evaluation is based on three different collaborative learning situations that have been designed to fulfil the pedagogical needs of three different real educational contexts. Significantly, these situations can only be supported by tailorable systems that do not show the aforementioned limitations. The evaluation includes the verification that the proposed system can be employed in order to support the realization of the three situations. It also includes the analysis of the judgements made by the participants of two experiments with real users in which the prototype of the system was employed to realize one of the three situations. The results of this evaluation process show that Gridcole does provide the desired properties concerning tool integration and activity guidance. They also show that the proposed system can be helpful for the realization of a wide range of collaborative learning situations.

Índice general

Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Objetivos de la tesis y contribuciones	6
1.2 Metodología de investigación	9
1.3 Estructura del documento.....	10
Capítulo 2: Sistemas de aprendizaje colaborativo maleables.....	13
2.1 Introducción	13
2.2 Aprendizaje colaborativo	14
2.2.1 Definición de aprendizaje colaborativo.....	15
2.2.2 Mecanismos del aprendizaje colaborativo	15
2.2.3 Elementos necesarios para que tenga lugar el aprendizaje colaborativo.....	17
2.2.4 Situaciones de aprendizaje colaborativo	18
2.2.5 Propiedades de las situaciones de aprendizaje	18
2.2.6 Estructuras para la creación de situaciones de aprendizaje colaborativo	19
2.2.7 Guiones colaborativos para la formalización de situaciones.....	21
2.3 CSCL.....	24
2.3.1 El CSCL como paradigma de investigación.....	24
2.3.2 Relación entre el CSCL y el CSCW.....	25
2.4 Herramientas de aprendizaje colaborativo	25
2.4.1 Relación con el <i>groupware</i>	26
2.4.2 Clasificación y dificultades de desarrollo	27
2.4.3 Ejemplos de herramientas de aprendizaje colaborativo	27
2.5 Sistemas de aprendizaje colaborativo.....	29
2.5.1 Características deseables de los sistemas de aprendizaje colaborativo	30
2.5.2 Necesidad de supercomputación y recursos de <i>hardware</i> específicos	31

2.5.3 Aumento de la efectividad mediante interpretación de guiones colaborativos	31
2.5.4 Ejemplos de sistemas de aprendizaje colaborativo	32
2.6 La maleabilidad en los sistemas de aprendizaje colaborativo	36
2.6.1 Definición de maleabilidad	36
2.6.2 Tipos de maleabilidad	37
2.6.3 El esfuerzo de comprensión en la maleabilidad	38
2.6.4 Tipos de maleabilidad adecuados para los sistemas de aprendizaje colaborativo.....	40
2.7 Limitaciones de los sistemas de aprendizaje colaborativo maleables	41
2.7.1 Sistemas de aprendizaje colaborativo maleables en la literatura.....	41
2.7.2 Limitaciones de los sistemas encontrados en la literatura.....	44
2.8 Conclusiones	45
Capítulo 3: El grid para la integración de herramientas en un sistema de aprendizaje colaborativo	47
3.1 Introducción	47
3.2 El concepto de grid.....	48
3.2.1 La evolución del grid.....	48
3.2.2 Evolución del concepto de grid.....	50
3.2.3 Definición de grid.....	52
3.3 El grid para la compartición de recursos	52
3.3.1 Compartición de recursos de computación	53
3.3.2 Compartición de recursos de <i>hardware</i> específicos	53
3.3.3 Compartición de aplicaciones	54
3.3.4 La computación grid en relación con la computación p2p.....	54
3.3.5 El papel del grid en la arquitectura de los sistemas computacionales	55
3.4 La arquitectura del grid	56
3.4.1 Capas de la arquitectura del grid	56
3.4.2 Implementación de la arquitectura del grid	58
3.5 La arquitectura orientada a servicios.....	59

3.5.1 Definición de servicio	59
3.5.2 Tipos de servicios.....	60
3.5.3 Modelo básico de interacciones en la arquitectura orientada a servicios	60
3.5.4 Relación con la ingeniería de <i>software</i> basada en componentes.....	61
3.5.5 Los servicios web	61
3.6 El grid basado en servicios.....	63
3.6.1 Motivación de la adopción del modelo SOA	64
3.6.2 OGSA.....	64
3.6.3 OGSF y WSRF.....	65
3.6.4 Globus Toolkit 3 y Globus Toolkit 4	66
3.7 El grid para la integración de herramientas en un sistema de aprendizaje colaborativo ...	68
3.7.1 Uso del grid en un sistema de aprendizaje colaborativo maleable.....	69
3.7.2 Discusión.....	70
3.8 Trabajos relacionados.....	72
3.8.1 Uso del grid en un contexto educativo	72
3.8.2 Uso de servicios en un contexto educativo	74
3.9 Conclusiones	75
Capítulo 4: IMS-LD para el guiado de actividades en un sistema de aprendizaje colaborativo	77
4.1 Introducción	77
4.2 Lenguajes de modelado educativo	78
4.2.1 Definiciones	78
4.2.2 Requisitos que debe satisfacer un lenguaje de modelado educativo	79
4.2.3 Modelo básico de un lenguaje de modelado educativo.....	81
4.2.4 Lenguajes de modelado educativo existentes.....	82
4.2.5 Selección de un lenguaje para la descripción de guiones colaborativos	83
4.3 La especificación IMS-LD	83
4.3.1 Visión general de la especificación IMS-LD	83

4.3.2 Estructura básica de los documentos de diseño de aprendizaje	84
4.3.3 Niveles de la especificación IMS-LD	86
4.3.4 Descripción formal de recursos en un diseño de aprendizaje.....	87
4.3.5 Referencias a recursos concretos en un diseño de aprendizaje	88
4.3.6 Herramientas de autoría de diseños de aprendizaje basados en IMS-LD.....	88
4.4 IMS-LD para la descripción de guiones colaborativos	90
4.4.1 Secuencias de fases	90
4.4.2 Tareas de una fase	91
4.4.3 Formación de grupos.....	94
4.4.4 Distribución.....	95
4.4.5 Modos de interacción	96
4.4.6 Temporización.....	97
4.5 Interpretación de diseños de aprendizaje basados en IMS-LD	97
4.5.1 Relación con los motores de flujo de trabajo	98
4.5.2 Modelo de referencia para el diseño de un motor de flujo de aprendizaje.....	98
4.5.3 Ejemplos de motores de flujo de aprendizaje para la interpretación de IMS-LD	99
4.6 IMS-LD y motores de flujo para el guiado de actividades.....	101
4.6.1 Guiado de actividades en un sistema de aprendizaje colaborativo.....	101
4.6.2 Trabajos relacionados.....	102
4.7 Conclusiones	104
Capítulo 5: Sistema maleable basado en servicios grid para el apoyo del aprendizaje colaborativo guiado.....	107
5.1 Introducción	107
5.2 Visión general del sistema.....	109
5.2.1 Funcionalidades básicas	109
5.2.2 Visión general del funcionamiento.....	109
5.2.3 Características principales.....	111
5.3 Arquitectura lógica del sistema	112

5.3.1 Subsistema de acceso	114
5.3.2 Subsistema de administración	114
5.3.3 Subsistema de definición de situaciones	115
5.3.4 Subsistema de gestión de situaciones	116
5.3.5 Subsistema de realización de situaciones	116
5.4 Funcionamiento del sistema	117
5.4.1 Definición de situaciones	117
5.4.2 Gestión de situaciones	119
5.4.3 Realización de situaciones	121
5.5 Modelo de herramientas asumido por el sistema	124
5.5.1 Implementación de los servicios	124
5.5.2 Implementación de los clientes de los servicios	125
5.5.3 Distribución de los clientes de los servicios	126
5.6 Información sobre herramientas proporcionada por proveedores	128
5.6.1 Descripción de herramientas	129
5.6.2 Información de integración de herramientas	129
5.7 Información sobre herramientas proporcionada por educadores	130
5.7.1 Unidades de aprendizaje incompletas	130
5.7.2 Unidades de aprendizaje completas	131
5.8 Implementación del sistema	133
5.9 Prototipo del sistema	135
5.9.1 Prototipo	136
5.9.2 Otros esfuerzos de desarrollo	138
5.10 Conclusiones	139
Capítulo 6: Evaluación del sistema de aprendizaje colaborativo Gridcole.....	143
6.1 Introducción	143
6.2 Situaciones consideradas en el proceso de evaluación	145
6.2.1 Situación I: Arquitectura de Ordenadores	145

6.2.2 Situación II: Teletráfico y Gestión	148
6.2.3 Situación III: Sistemas de Telecomunicación IV	151
6.2.4 Características de los sistemas maleables necesarias para la realización	153
6.3 Validación de las propiedades del sistema	154
6.3.1 Realización de la situación I	155
6.3.2 Realización de la situación II	159
6.3.3 Realización de la situación III	162
6.3.4 Propiedades del sistema	165
6.4 Evaluación educativa	165
6.4.1 Experiencias consideradas	166
6.4.2 Diseño del proceso de evaluación	167
6.4.3 Resultados de la evaluación	168
6.4.4 Adecuación del sistema para la realización de situaciones de aprendizaje	173
6.5 Conclusiones	173
Capítulo 7: Conclusiones y trabajo futuro	175
7.1 Conclusiones	175
7.2 Trabajo futuro	180
Apéndice A: Manifiestos de situaciones de aprendizaje colaborativo	183
A.1 Situación I	183
A.2 Situación II	192
A.3 Situación III	199
Apéndice B: Esquema de categorías y encuestas	205
B.1 Esquema de categorías	205
B.2 Encuestas	206
B.2.1 Encuesta inicial	206
B.2.2 Encuesta final	209
Referencias	219

Capítulo 1

Introducción

El aprendizaje colaborativo [Dil99a] es un proceso en el que la adquisición de conocimientos y habilidades se lleva a cabo mediante la interacción entre los participantes del mismo. Este tipo de aprendizaje tiene lugar en el seno de un grupo cuyos miembros comparten sus ideas con los demás a la vez que reflexionan y discuten sobre las ideas propias y del resto de compañeros. De acuerdo con autores como [Joh94] [Sol01], la realización de actividades colaborativas es de gran utilidad tanto para motivar como para aumentar la efectividad del aprendizaje.

El Aprendizaje Colaborativo Apoyado por Ordenador (CSCL – *Computer Supported Collaborative Learning*) [Kos96a] es uno de los principales campos de estudio dedicado a la investigación de tecnología educativa que se centra en el uso de las tecnologías de información y comunicaciones (TIC) como herramientas de mediación para facilitar el aprendizaje colaborativo. El CSCL es un área de investigación y práctica interdisciplinar en la que participan activamente, entre otros, educadores, psicólogos, pedagogos y tecnólogos. Fruto de la intensa actividad investigadora llevada a cabo en dicho dominio durante los últimos años, son numerosos los sistemas de aprendizaje colaborativo apoyado por ordenador (de aquí en adelante simplemente llamados sistemas de aprendizaje colaborativo o sistemas CSCL) desarrollados hasta el momento.

Un sistema de aprendizaje colaborativo es una aplicación que integra un conjunto de herramientas *software* de apoyo para la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo. Una situación de aprendizaje colaborativo se define como un escenario creado con la intención de que los alumnos construyan conocimiento a través de la realización de una serie de actividades de aprendizaje colaborativo y de aprendizaje individual [Osu99]. De esta manera, es importante reparar en el hecho que los sistemas CSCL no sólo integran herramientas colaborativas, sino también herramientas no colaborativas que son imprescindibles para el apoyo tanto de las actividades de aprendizaje individual incluidas en una situación como de las

tareas individuales que a menudo forman parte de las mismas actividades de aprendizaje colaborativo [Dil02].

Algunas de las herramientas integradas en los sistemas de aprendizaje colaborativo son habitualmente herramientas específicas que ofrecen una utilidad determinada a la vez que persiguen un objetivo pedagógico concreto [Bet03b]. Este es el caso de las herramientas de comunicación estructurada [Del03] que pretenden fomentar la argumentación en las discusiones entre participantes de una actividad. Otro claro ejemplo son las herramientas de generación de mapas conceptuales [Gou04] cuyo objetivo es facilitar la adquisición de nuevos conocimientos relacionados con los conceptos ya conocidos por los aprendices.

Muchos sistemas de aprendizaje colaborativo también ofrecen herramientas específicas que proporcionan una funcionalidad relacionada con el dominio de conocimiento en el que se enmarca la situación de aprendizaje colaborativo desarrollada. Un buen ejemplo de este caso es C-CHENE [Bak96], el cual es un sistema de aprendizaje colaborativo cuyo objetivo es facilitar el aprendizaje de conceptos relacionados con la energía en física. Para ello este sistema proporciona una serie de herramientas adecuadas entre las que se incluyen un editor colaborativo de cadenas de energía. COVIS [Ram95] es otro sistema CSCL, en este caso para el estudio de fenómenos climatológicos, que incluye, entre otras, una herramienta para la visualización del efecto invernadero.

Los sistemas de aprendizaje colaborativo también suelen incluir herramientas genéricas. Las herramientas genéricas son aquellas cuya funcionalidad no está directamente relacionada con ningún objetivo pedagógico ni con ningún dominio de conocimiento en concreto. Este tipo de herramientas suele ser útil en muchos escenarios de aprendizaje colaborativo diferentes, por lo que son incluidas en numerosos sistemas CSCL [Bet03b]. Entre ellas es posible mencionar ejemplos como los editores de texto, los foros de discusión, o los *chats*.

Una de las características más deseadas en los sistemas de aprendizaje en general, y en los de aprendizaje colaborativo en particular, es la versatilidad entendida como la posibilidad de utilizar un mismo sistema para facilitar la realización de un abanico de escenarios de aprendizaje tan amplio como sea posible [Dim04b]. Así, para que un sistema CSCL pueda ser considerado versátil, éste debe permitir modificar el conjunto de herramientas genéricas y específicas ofrecido por el sistema para apoyar una situación de aprendizaje colaborativo dada. Los sistemas que ofrecen esta posibilidad son denominados sistemas de aprendizaje colaborativo maleables [Bou00] [Bet03b]. Algunos ejemplos de este tipo de sistemas que es posible encontrar en la literatura son DARE [Bou00] [Bou01], Symba [Bet03a] [Bet03b] y CURE [Haa03].

Desafortunadamente, la versatilidad de los sistemas maleables antes mencionados se ve limitada en la medida en que **ninguno de ellos contempla la posibilidad de integrar herramientas que hagan uso de capacidades de supercomputación o de recursos de *hardware* específicos**. Por este motivo, dichos sistemas no pueden ser empleados para la realización de actividades de aprendizaje colaborativo en las que este tipo de herramientas es necesario.

Las herramientas que hacen uso de capacidades de supercomputación son imprescindibles para el apoyo de actividades en numerosos escenarios de aprendizaje colaborativo [Rou97] [Jen03] [Ard04b] [All04] [Bot04c] [Bar05], y especialmente en áreas como las ciencias naturales, la ingeniería o la medicina [Ram95] [Wes02] [Pan03]. Típicamente estas herramientas implementan algoritmos que procesan grandes volúmenes de datos que deben ser ejecutados de forma paralela de manera que sea posible ofrecer resultados al usuario en un período razonable de tiempo. Para ello es imprescindible disponer de un número elevado de máquinas con las que poder soportar la carga computacional generada por este tipo de herramientas.

Este tipo de capacidades sería necesario, por ejemplo, en una herramienta que permitiera a los estudiantes de cirugía aprender a operar de forma colaborativa. Esta herramienta se encargaría de hacer los cálculos necesarios para conseguir representaciones gráficas de alta calidad de un modelo complejo de cuerpo humano que los estudiantes podrían manipular de forma colaborativa en tiempo real.

Un ejemplo real de uso de supercomputación en una herramienta CSCL es COVASE [Jen03]. La utilización de recursos de supercomputación permite a esta herramienta crear un entorno de realidad virtual en el que los alumnos, representados por avatares, pueden interactuar de forma colaborativa con complejos modelos tridimensionales relacionados con el análisis de elementos finitos o la dinámica de fluidos. Asimismo, el sistema CSCL antes mencionado, COVIS, permite a los estudiantes la visualización de mapas de predicciones climatológicas generados utilizando recursos de supercomputación.

También son muchos los escenarios de aprendizaje colaborativo [Ram95] [Des99] [Mar02] [Bag03] [Bal04] [All04] [Bot04e] [Bar05] para cuyo apoyo son necesarias herramientas que hacen uso de recursos de *hardware* específicos. Estos recursos pueden ser, por ejemplo, ordenadores con características muy concretas, sensores, dispositivos electrónicos, instrumentos científicos o dispositivos de visualización. En muchas ocasiones se trata de recursos de los que no es posible disponer de forma local ya sea por razones económicas, logísticas, de seguridad o de cualquier otra naturaleza.

El uso de herramientas de este tipo sería necesario, por ejemplo, en un escenario como el de un curso de arquitectura de ordenadores en el que los estudiantes deben colaborar para decidir cuál es la mejor máquina para las necesidades expresadas por un cliente dado. Para apoyar de forma efectiva este escenario mediante un sistema CSCL, éste podría contar no sólo con herramientas colaborativas que fomentaran el debate y la discusión, sino también con una herramienta de *benchmarking* (comparación de rendimiento) que permitiera evaluar el rendimiento de distintos ordenadores. Esta herramienta necesitaría disponer de *hardware* específico que consistiría en un conjunto de máquinas reales con distintas características (arquitectura, procesador, memoria, etc.) que los alumnos tendrían que estudiar.

En la literatura también es posible encontrar ejemplos reales como el laboratorio de electrónica de PEARL [Mar02], que permite a los alumnos la realización de experimentos empleando la instrumentación de un laboratorio remoto dentro de un contexto de aprendizaje colaborativo. En este caso, el *hardware* específico utilizado incluye, entre otros elementos, un generador de señales, un osciloscopio y un microcontrolador. Del mismo modo, Roboteach [Des99] es un sistema que pretende facilitar el aprendizaje de conceptos relacionados con la robótica aplicando técnicas colaborativas. Este sistema incluye una herramienta que permite a sus usuarios controlar micro-robots.

Para abordar el problema de la integración en sistemas CSCL de herramientas que hagan uso de capacidades de supercomputación o de *hardware* específico es posible recurrir a la computación grid o computación en malla [Fos98c] [Ber03] [Fos04b]. El grid computacional es una infraestructura distribuida de gran escala que permite compartir todo tipo de recursos de *hardware* y *software* entre múltiples organizaciones administrativas [Bot04a].

Entre los usos más habituales del grid se encuentra, precisamente, la supercomputación [Fos98a]. El grid permite a las aplicaciones disponer de los recursos necesarios para utilizarlos de forma conjunta con el objetivo de reducir el tiempo de finalización de cualquier tarea computacional. Otro de los usos característicos del grid es la computación bajo demanda [Fos98a]. En este caso, el grid también permite a las aplicaciones acceder de forma transparente a aquellos recursos de los que no pueden disponer localmente y que son compartidos en el grid. Éstos pueden ser recursos muy variados que pueden comprender desde aplicaciones *hardware* o conjuntos de datos hasta cualquier tipo de dispositivo *hardware*, incluyendo ordenadores e instrumentación científica. De este modo, es inmediato pensar en la posibilidad de que las herramientas ofrecidas por los sistemas de aprendizaje colaborativo maleables también puedan utilizar el grid para hacer uso de capacidades de supercomputación o de *hardware* específico siempre que sea necesario.

Hasta el momento el grid ha sido empleado típicamente en ámbitos científicos. Sin embargo, diversos autores [Fox03] [Sma04] [Fer05] consideran que la educación es un dominio de aplicación que será muy importante para el grid en un futuro cercano. En este sentido, son ya varios los trabajos que es posible encontrar en la literatura [Wes02] [Bag03] [Pan03] [Rek03] [Ard04b] [Bar05] que proponen el uso del grid computacional en el contexto de diferentes sistemas de aprendizaje para acceder a capacidades de supercomputación o recursos de *hardware* específicos. Aunque dichos sistemas no son maleables y, en su mayor parte, no permiten la realización de actividades de aprendizaje colaborativo, la existencia de estas propuestas también sugiere la adecuación del uso del grid para abordar el problema de los sistemas maleables aquí planteado.

Otro inconveniente importante de los sistemas CSCL maleables antes mencionados es que éstos **no ofrecen la posibilidad de realizar situaciones de aprendizaje colaborativo de forma guiada**. De acuerdo con [Dil02], la colaboración libre no da lugar al aprendizaje de manera sistemática, por lo que es posible aumentar la efectividad del aprendizaje colaborativo mediante el guiado de los alumnos a través de la secuencia de actividades adecuada para que éstos alcancen unos objetivos de aprendizaje determinados.

El proceso de guiado de una situación de aprendizaje colaborativo en un sistema CSCL debe hacerse de acuerdo con un guión (*script*) colaborativo bien definido. Un guión colaborativo es un conjunto de instrucciones que prescribe, entre otras cosas, la secuencia de actividades que deben realizar los alumnos, los grupos que deben formarse para cada actividad, cómo debe llevarse a cabo la colaboración y cuál debe ser la temporización [Dil02] para lograr los objetivos de aprendizaje deseados en el contexto de una situación de aprendizaje colaborativo. La interpretación de un guión colaborativo por parte de un sistema CSCL implica que éste debe hacerse cargo de gestionar la secuencia de actividades que deben realizar los participantes de un escenario colaborativo, así como de proporcionar al alumno el conjunto de herramientas adecuado para la realización de cada actividad. Universanté [Ber01] es un ejemplo de sistema CSCL para el apoyo de un escenario de aprendizaje colaborativo estructurado de acuerdo con un guión colaborativo utilizado para la enseñanza de estrategias que es posible seguir para abordar algunos problemas de salud habituales.

La aproximación más sencilla a la hora de incluir la posibilidad de guiado en un sistema CSCL es, como en el caso de Universanté, hacer que el sistema interprete exclusivamente un solo guión colaborativo. Pero para que un sistema de aprendizaje colaborativo guiado sea lo más versátil posible, éste debe permitir la interpretación de múltiples guiones definidos por sus usuarios. Ofrecer esta facilidad en un sistema CSCL maleable supone, por tanto, combinar la flexibilidad de que el usuario pueda definir sus propios guiones colaborativos con la posibilidad de integrar las herramientas adecuadas para apoyar las actividades definidas en dicho guión.

Para abordar el problema del guiado de situaciones de aprendizaje colaborativo es necesario disponer de un lenguaje de especificación formal que permita, por una parte, al usuario definir los guiones colaborativos, y por otra, al sistema interpretarlos. Con este propósito cabe la posibilidad de recurrir a la especificación de IMS-LD (*IMS Learning Design – Diseño de Aprendizaje IMS*) [IMS03a], que proporciona un lenguaje de modelado educativo con el que es posible la descripción formal de procesos de enseñanza y aprendizaje incluyendo el aprendizaje colaborativo [Cae03] [Her04]. En estas descripciones, IMS-LD permite definir la secuencia de actividades que debe hacer, de forma individual o en grupo, un conjunto de alumnos, así como los recursos (ej. documentos y herramientas) que deben emplear para su realización. Posteriormente, es posible emplear un motor de flujo (*workflow engine*) [Van03a] para la interpretación de dicha secuencia de actividades. Estos hechos apoyan la idea de que IMS-LD puede ser un lenguaje de especificación formal adecuado tanto para la descripción de guiones colaborativos como para su interpretación en un sistema CSCL maleable.

1.1 Objetivos de la tesis y contribuciones

En la sección anterior se han descrito dos problemas importantes de los sistemas de aprendizaje colaborativo maleables. De acuerdo con ello, en este trabajo se persigue el siguiente objetivo:

La propuesta y evaluación de un nuevo sistema de aprendizaje colaborativo maleable que permita, por un lado, la integración de herramientas que hacen uso de capacidades de supercomputación y de recursos de *hardware* específicos, y por otro, la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo de manera guiada.

Para lograr este propósito es posible plantear una serie de objetivos parciales que llevan a su consecución. Dichos objetivos parciales, así como las contribuciones originales de esta tesis derivadas de los mismos, los cuales aparecen recogidos de manera esquemática en la Figura 1.1, se describen a continuación:

- *Estudiar la posibilidad de utilizar el grid computacional para permitir el uso de capacidades de supercomputación y de recursos de hardware específicos en herramientas integrables en un sistema de aprendizaje colaborativo maleable.*

Para alcanzar este objetivo se estudiará el grid computacional desde dos puntos de vista. Por una parte, se revisará cuáles son las características más importantes del grid de acuerdo con la literatura. Esto permitirá establecer la posibilidad de que el grid computacional sea utilizado para acceder a capacidades de supercomputación o a recursos de *hardware* específicos por parte de herramientas que, a su vez, pueden ser empleadas para apoyar determinadas situaciones de aprendizaje colaborativo. Por otra parte, se examinará el

modelo de Computación Orientada a Servicios (SOC – *Service Oriented Computing*) [Pap03a] en el que se basa la tecnología con la que en la actualidad se desarrollan habitualmente las aplicaciones en un contexto grid. De esta manera, será posible determinar la posibilidad de integrar aplicaciones que hacen uso de los recursos del grid en el contexto de un sistema de aprendizaje colaborativo maleable.

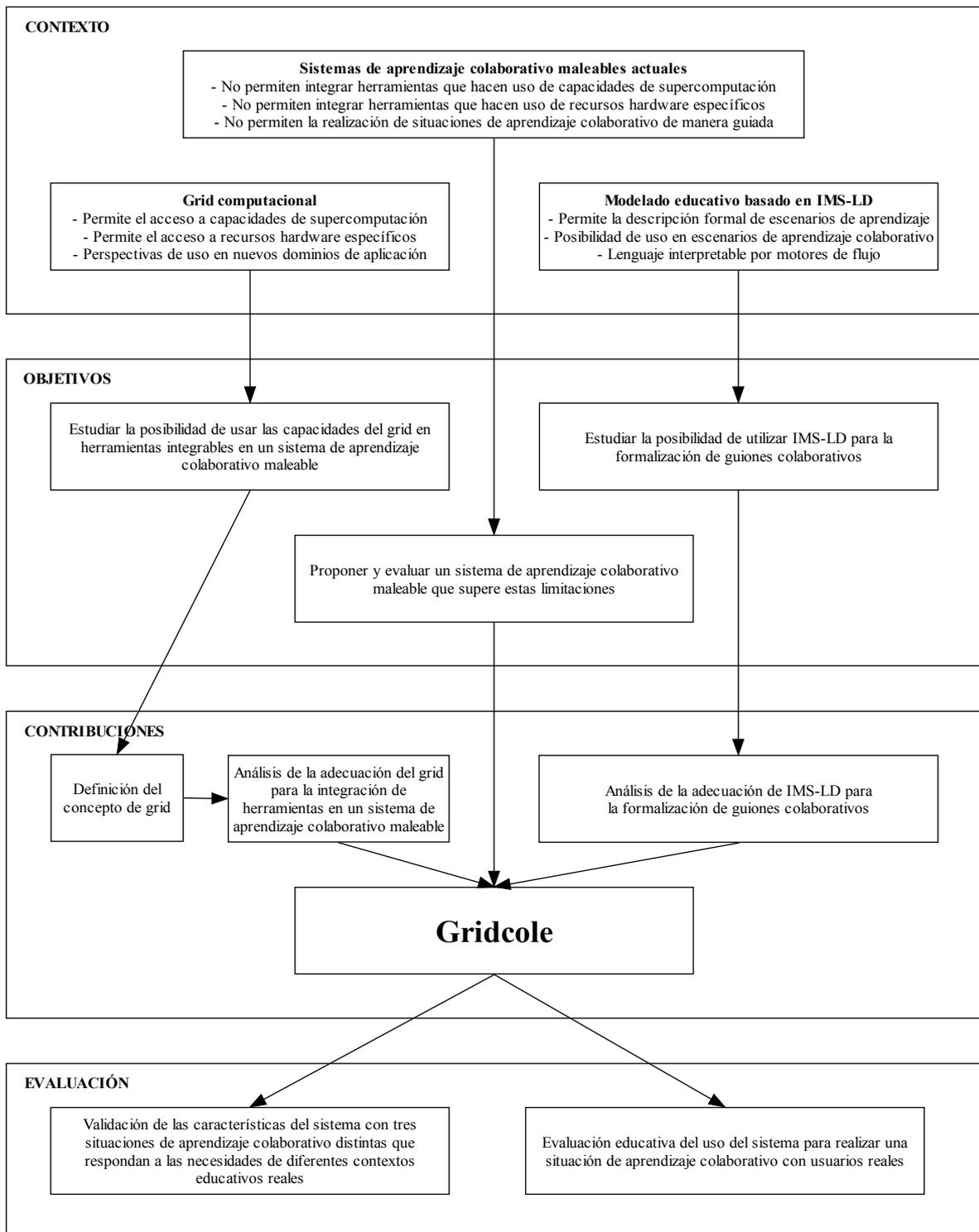


Figura 1.1: Esquema general de la tesis en que recoge el contexto de la misma, los objetivos marcados, las contribuciones originales y la evaluación llevada a cabo.

Las contribuciones de la tesis en este punto son las siguientes. En primer lugar, **la propuesta de una nueva definición del concepto de grid** a partir de sus características. Dicha propuesta ha sido publicada en [Bot03a] [Bot04a]. En segundo lugar, el **análisis de la adecuación del grid computacional para abordar el problema de la integración de herramientas que hacen uso de capacidades de supercomputación o de recursos de hardware específicos en el contexto de los sistemas de aprendizaje colaborativo maleables**. Este análisis ha sido publicado en [Bot04e] [Vaq05].

- *Estudiar la posibilidad de utilizar IMS-LD para la especificación formal de guiones colaborativos ejecutables en el contexto de un sistema de aprendizaje para facilitar la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo de manera guiada.*

Para abordar este punto será necesario introducir la sintaxis de los guiones colaborativos definida en [Dil02]. De este modo, será posible llevar a cabo un estudio pormenorizado con el objetivo de detectar las posibles limitaciones que IMS-LD puede presentar a la hora de describir cada uno de los distintos elementos que conforman dicha sintaxis. Además, se discutirá la posibilidad de emplear motores de flujo capaces de interpretar guiones colaborativos basados en IMS-LD para dotar a un sistema de aprendizaje colaborativo de facilidades de guiado.

La contribución de la tesis en este punto es el **análisis de la adecuación de IMS-LD para la especificación de guiones colaborativos**. Dicha contribución está aún pendiente de publicación.

- *Proponer un nuevo sistema de aprendizaje colaborativo maleable en el que sea posible la integración de herramientas basadas en el grid que hagan uso de capacidades de supercomputación o de recursos de hardware específicos, así como la realización de situaciones de manera guiada a partir de guiones colaborativos descritos con IMS-LD.*

Para lograr este objetivo, se partirá de las propuestas anteriores para plantear la arquitectura de un nuevo sistema que supere las limitaciones detectadas en los sistemas de aprendizaje colaborativo maleables. Por una parte, se buscará que el sistema permita la integración de herramientas desarrolladas como servicios grid de manera que puedan hacer uso de los recursos de un grid para prestar apoyo efectivo a todo tipo de situaciones de aprendizaje colaborativo. Por otra parte, se perseguirá que el sistema integre un motor de flujo que permita la interpretación de guiones basados en IMS-LD para facilitar la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo guiadas.

La principal contribución de esta tesis es la propuesta de un **nuevo sistema de aprendizaje colaborativo maleable, denominado Gridcole (*Grid-based Collaborative Learning Environment* – Entorno de Aprendizaje Colaborativo basado en Grid), que permite la**

integración de herramientas basadas en servicios grid así como la interpretación de guiones colaborativos descritos con IMS-LD. Esta propuesta ha sido publicada en [Bot04b] [Bot04d] [Bot05].

- *Evaluar el sistema de aprendizaje colaborativo maleable propuesto.*

Una vez formalizada la propuesta de este nuevo sistema, ésta será evaluada desde dos puntos de vista. En primer lugar, se intentará mostrar que el mismo cuenta realmente con las características que se le suponen: maleabilidad, posibilidad de integración de herramientas que hagan uso de capacidades de supercomputación o de recursos de *hardware* específicos, y posibilidad de ejecución de guiones colaborativos. En segundo, se intentará obtener evidencias de que la propuesta, como sistema de aprendizaje colaborativo que es, realmente facilita la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo.

Para ello, se plantearán tres situaciones de aprendizaje colaborativo distintas que respondan a las necesidades de diferentes contextos educativos reales para cuyo apoyo sea imprescindible un sistema con las características antes mencionadas. De esta forma, para comprobar que el sistema cuenta con las características que se le suponen se mostrará cómo éste puede ser empleado para realizar las tres situaciones planteadas. En cambio, para hacer ver que el sistema facilita la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo se pondrá en marcha un proceso de evaluación educativa en el que usuarios reales utilizarán el sistema para llevar a cabo una de las tres situaciones planteadas.

1.2 Metodología de investigación

Para la consecución de los objetivos perseguidos por esta tesis se ha seguido la metodología de investigación definida por el denominado método de ingeniería [Adr93]. Dicho método establece que el proceso de investigación debe seguir un total de cuatro etapas que se describen a continuación:

- **Observar las soluciones existentes.** La primera etapa del método de ingeniería tiene como objetivo detectar los problemas que se van a abordar en el trabajo de investigación a partir del estudio de las propuestas existentes. Por este motivo, se ha llevado a cabo una amplia exploración de la literatura existente relacionada con el aprendizaje colaborativo, el aprendizaje electrónico, y el CSCL que ha permitido identificar en los sistemas maleables de aprendizaje colaborativo los dos problemas que ya han sido descritos en la introducción de este capítulo: el inconveniente de no poder integrar herramientas que hagan uso de capacidades de supercomputación o de recursos de *hardware* específicos y la imposibilidad de ejecutar guiones colaborativos.

- **Proponer una mejor solución.** En la segunda etapa del método de ingeniería se debe hacer una propuesta de solución que supere las limitaciones detectadas en las soluciones existentes. Para ello, antes es necesario proponer y estudiar posibles aproximaciones que permitan resolver dichas limitaciones. El estudio de la literatura ha permitido determinar que tanto el grid computacional como el lenguaje de modelado educativo IMS-LD han sido utilizados para abordar problemas semejantes a los aquí planteados pero en un contexto distinto al de los sistemas de aprendizaje colaborativo maleables. De acuerdo con esto, se hará un estudio de la posibilidad de emplear ambas aproximaciones para resolver las limitaciones detectadas en el caso de los sistemas CSCL maleables.
- **Desarrollar la nueva solución.** En esta etapa se debe desarrollar la solución propuesta en la etapa anterior. A partir del estudio llevado a cabo en la etapa anterior se planteará la arquitectura de un nuevo sistema que pueda superar las limitaciones de las soluciones existentes. También se desarrollará un prototipo del sistema de acuerdo con la arquitectura planteada.
- **Evaluar la nueva solución.** En la última etapa del método de ingeniería es necesario mostrar que la solución desarrollada supera los problemas que fueron detectados en la primera etapa de esta metodología. Para ello se mostrará que el sistema propuesto puede ser empleado en la realización de situaciones de aprendizaje para cuyo apoyo es imprescindible un sistema maleable de aprendizaje colaborativo que no presente las limitaciones de las soluciones existentes.

Es importante hacer notar que, de acuerdo con el método de ingeniería, esta metodología ha sido aplicada de manera cíclica con el objetivo de poder refinar progresivamente las soluciones que se presentan en esta tesis.

1.3 Estructura del documento

Después de esta introducción, el capítulo 2 se centra en el estudio de los sistemas de aprendizaje colaborativo maleables. Para ello, tras un breve repaso de las ideas más importantes en las que se apoya el CSCL como área de investigación del uso de la tecnología para el apoyo del aprendizaje colaborativo, se estudiará el concepto de sistema de aprendizaje colaborativo. A continuación, se analizará la maleabilidad como una de las características más deseables en dichos sistemas y se revisarán los sistemas CSCL maleables que es posible encontrar en la literatura. Esta revisión servirá para comprobar que dichos sistemas presentan las dos limitaciones que son objeto de estudio en esta tesis.

En el capítulo 3 se estudia la posibilidad de utilizar el grid computacional para abordar el problema de la integración de herramientas que hacen uso de capacidades de supercomputación

o de recursos de *hardware* específicos en el contexto de un sistema de aprendizaje colaborativo maleable. Con este objetivo, se comenzará revisando el concepto de grid computacional así como el modelo de arquitectura orientada a servicios que en la actualidad suele emplearse para implementar dicha infraestructura. Este estudio permitirá analizar la adecuación del grid como infraestructura para que las herramientas susceptibles de ser integradas en un sistema CSCL maleable puedan acceder a capacidades de supercomputación y a recursos de *hardware* específicos. Finalmente, se revisarán los trabajos que es posible encontrar en la literatura relacionados con el uso del grid y de los servicios en el contexto de los sistemas de apoyo al aprendizaje.

En el capítulo 4 se investiga la posibilidad de utilizar IMS-LD para abordar el problema del guiado en los sistemas de aprendizaje colaborativo maleables. Para ello se estudiará la especificación IMS-LD como lenguaje para la formalización de situaciones de aprendizaje. Esto hará posible llevar a cabo un análisis detallado de la adecuación de IMS-LD para la formalización de guiones colaborativos en el que se identificarán algunas limitaciones y se discutirán posibles soluciones a las mismas. Además, se introducirá el uso de motores de flujo para la interpretación de situaciones de aprendizaje descritas con IMS-LD y se discutirá la posibilidad de emplear un motor de flujo para dotar a un sistema de aprendizaje colaborativo de facilidades de guiado. También se revisarán algunos ejemplos de sistemas que es posible encontrar en la literatura en los cuales se utilizan motores de flujo para guiar a los participantes de una situación de aprendizaje.

El capítulo 5 propone un nuevo sistema de aprendizaje colaborativo maleable en el que se combinan las ideas desarrolladas en los capítulos anteriores para superar las limitaciones detectadas en los sistemas actuales. De esta manera, se comenzará dando una visión general del sistema en la que se presentan las funcionalidades básicas del mismo, se muestra su funcionamiento y se discuten sus principales características. A continuación, se estudiará con detalle la arquitectura del mismo y se mostrará cómo el funcionamiento de los elementos que forman parte de dicha arquitectura permiten ofrecer las distintas funcionalidades básicas. También se introducirá el modelo al que deben ajustarse las herramientas susceptibles de ser integradas en el sistema, así como la información de la que dicho sistema necesita disponer para que esto sea posible. Por último, se discutirá la implementación del sistema y se presentará el prototipo del mismo que ha sido desarrollado.

En el capítulo 6 se lleva a cabo la evaluación del sistema propuesto. Para ello se presentarán tres situaciones de aprendizaje colaborativo distintas que responden a las necesidades pedagógicas de diferentes contextos educativos reales. Éstas son situaciones que sólo pueden ser realizadas en un sistema de aprendizaje colaborativo maleable si éste permite, por un lado, la integración de herramientas que hacen uso de capacidades de supercomputación

o de *hardware* específico y, por otro, la interpretación de guiones colaborativos con el objetivo de guiar a los participantes de las situaciones. Así pues, se comprobará que el sistema propuesto puede ser utilizado para apoyar la realización de las tres situaciones de aprendizaje colaborativo para mostrar que el sistema cuenta con las características de maleabilidad, posibilidad de integración y guiado que se le suponen. También se presentarán los resultados del proceso de evaluación educativa que se ha llevado a cabo para verificar que el sistema puede facilitar la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo.

Finalmente, el capítulo 7 presenta las principales conclusiones extraídas de la tesis, haciendo un breve repaso de las aportaciones de la misma, junto con una discusión de las posibles líneas de trabajo futuro.

Capítulo 2

Sistemas de aprendizaje colaborativo maleables

El propósito de este capítulo es definir el marco teórico sobre el que se desarrolla el trabajo de investigación de la tesis. De este modo, la sección 2.2 comienza definiendo los conceptos más importantes del aprendizaje colaborativo. A continuación, en la sección 2.3, se presenta el CSCL como paradigma dedicado a la investigación del uso de la tecnología para el apoyo del aprendizaje colaborativo. Por este motivo, la comunidad CSCL dedica importantes esfuerzos a la concepción, diseño y desarrollo tanto de herramientas como de sistemas de aprendizaje colaborativo, los cuales son introducidos en las secciones 2.4 y 2.5 respectivamente. La sección 2.6 estudia la maleabilidad como una de las características más deseables en dichos sistemas. Finalmente, en la sección 2.7 se identifican las dos limitaciones de los sistemas de aprendizaje colaborativo maleables encontrados en la literatura que serán abordadas en esta tesis doctoral.

2.1 Introducción

La introducción de la informática y la telemática en el ámbito de la educación ha dado lugar a la aparición del término e-aprendizaje (*e-learning*, aprendizaje electrónico) [Ade02] para hacer referencia en general a aquellas aproximaciones educativas en las que se usa la tecnología con el objetivo de permitir y mejorar el aprendizaje. Sin embargo, de acuerdo con [Kos96b], es posible distinguir cuatro grandes paradigmas dentro del e-aprendizaje.

En el primero de ellos, la instrucción asistida por ordenador (*Computer-Assisted Instruction* – CAI), el aprendizaje se concibe como un proceso pasivo de absorción de información en el que el papel del educador se reduce a adquirir él mismo el conocimiento que posteriormente debe transmitir, encontrar métodos eficientes de compartir dicho conocimiento con sus alumnos, y asegurarse de que éstos han aprendido. De acuerdo con esto, las aplicaciones CAI asisten de forma individualizada al alumno en la realización de secuencias de tareas que conducen a éste a la consecución de determinados objetivos de aprendizaje.

El paradigma de los sistemas de tutores inteligentes (*Intelligent Tutoring Systems* – ITS), en cambio, se basa en la idea de que la educación del alumno puede ser mejorada si se le proporciona un tutor personal. Por ello propugna el desarrollo de sistemas basados en

inteligencia artificial que puedan desempeñar dicho papel de tutor personal. En este sentido, el uso de la tecnología en el paradigma ITS no difiere demasiado de la aproximación seguida en la CAI: en ambos casos las aplicaciones apoyan el aprendizaje proponiendo problemas y ofreciendo realimentación. La principal diferencia radica en el hecho de que las aplicaciones ITS intentan hacer esto de una forma más interactiva procurando fomentar un conjunto de habilidades más amplio.

El paradigma de logo-como-latín (*logo-as-latin*) considera que el alumno adquiere el nuevo conocimiento relacionándolo con el que ya posee a través de un proceso de asimilación y de acomodación del mismo. De acuerdo con esto, el logo-como-latín postula que los estudiantes pueden construir nuevo conocimiento, aparte del relacionado con el lenguaje utilizado, mediante la programación de aplicaciones que posteriormente puedan ejecutar ellos mismos. Así, en este paradigma se concede a la tecnología un papel distinto que en los casos del CAI y el ITS: la tecnología pasa de hacer las veces de tutor del alumno a ser el “discípulo” del alumno.

Finalmente, en el aprendizaje colaborativo apoyado por ordenador (*Computer Supported Collaborative Learning* – CSCL), que es el paradigma en el que se enmarca esta tesis doctoral, se considera que la adquisición de conocimientos y habilidades se produce también a través de las interacciones que se dan en los procesos de colaboración durante el aprendizaje. Por ello, las aplicaciones CSCL usan la tecnología principalmente con el objetivo de apoyar el aprendizaje colaborativo.

2.2 Aprendizaje colaborativo

El aprendizaje es un proceso a través del cual una persona puede adquirir nuevos conocimientos y habilidades [Cab93]. De acuerdo con [Joh88], es posible distinguir tres tipos de aprendizaje: el individual, el competitivo y el colaborativo¹. El aprendizaje individual es aquel en el que los estudiantes trabajan independientemente de cara a conseguir un objetivo específico sin que la posibilidad de alcanzarlo dependa de lo que hagan otros estudiantes. En el aprendizaje competitivo los estudiantes tienen que rivalizar con otros para la consecución de un objetivo de forma que, el hecho de que unos lo alcancen significa que otros no lo harán. En cambio, en el aprendizaje colaborativo los estudiantes comparten un objetivo común que puede ser alcanzado por todos a través del trabajo en grupo.

¹ El término “*cooperative*” que aparece originalmente en el trabajo referenciado ha sido traducido aquí como “colaborativo” y no como “cooperativo” por los motivos que se dan a conocer en la siguiente subsección.

A pesar de que en las aulas se emplean principalmente técnicas de aprendizaje individual y competitivo [Joh88], el aprendizaje colaborativo presenta ventajas importantes respecto a estos dos tipos de aprendizaje [Joh94]. En el aprendizaje colaborativo, los esfuerzos realizados por los estudiantes en el proceso de aprendizaje son más efectivos, especialmente en el razonamiento de alto nivel, la generación de nuevas ideas y soluciones, y la transferencia de conocimiento. Igualmente, es posible observar que este tipo de aprendizaje sirve para mejorar las relaciones entre los alumnos salvando diferencias de capacidad intelectual, género o clase social. Además, el aprendizaje colaborativo produce niveles de autoestima mayores que el aprendizaje individual o el competitivo.

2.2.1 Definición de aprendizaje colaborativo

El concepto de aprendizaje colaborativo puede ser definido en un sentido amplio como una situación en la que *dos o más* personas *aprenden* o intentan aprender algo *juntos* [Dil99b]. De acuerdo con el autor de esta definición, cada uno de los términos destacados en cursiva puede ser interpretado de distintas formas. “Dos o más” puede significar desde una pareja, un grupo pequeño de 3 a 5 componentes o una clase de 20 a 30 alumnos, hasta una comunidad formada por varios cientos de miembros o una sociedad con varios miles de personas. “Aprender algo” puede ser interpretado como seguir un curso, estudiar el material de una asignatura, realizar actividades de aprendizaje como la resolución de problemas, etc. Finalmente, por “juntos” se pueden entender distintas formas de interacción, sea cara a cara o a través del ordenador, de manera síncrona o asíncrona, realizando un esfuerzo conjunto o dividiendo el trabajo de forma sistemática.

Conviene mencionar que en esta definición no se tiene en cuenta la distinción que algunos autores [Ros95] [Pan97] hacen de los términos “colaborativo” y “cooperativo”, según los cuales en la colaboración todos los miembros del grupo realizan conjuntamente todas las tareas, mientras que en la cooperación los participantes se reparten las distintas tareas que deben ser llevadas a cabo. Sin embargo, esta distinción no es tan clara para otros autores [Jer99] [Geo01] [Bet03a] que, para evitar cualquier tipo de ambigüedad, prefieren utilizar la expresión “aprendizaje colectivo” para referirse al aprendizaje colaborativo en el sentido más general. No obstante, y de acuerdo con la definición antes expuesta, en este trabajo se utilizará a partir de ahora el término “aprendizaje colaborativo” en el sentido amplio del mismo.

2.2.2 Mecanismos del aprendizaje colaborativo

La adquisición de nuevos conocimientos mediante la colaboración no se produce de forma casual, sino a través de una serie de mecanismos que se activan como consecuencia de las

interacciones entre los miembros de un grupo. Estos mecanismos se describen a continuación [Di195]:

- **El desacuerdo.** El aprendizaje colaborativo busca generar situaciones de desacuerdo entre los participantes de forma que éstos se ven obligados a buscar una solución. Esto da lugar a discusiones entre los alumnos que facilitan el aprendizaje.
- **La propuesta de alternativas.** Las personas tienden a buscar argumentos para apoyar las hipótesis que defienden y no argumentos que puedan contradecirlas y, por lo tanto, que obliguen al individuo a buscar una hipótesis distinta que sea válida. Cuando se colabora, los argumentos en contra de la hipótesis de un individuo son típicamente sugeridos por el resto de miembros del grupo. De este modo, se fomenta la propuesta de nuevas hipótesis.
- **La (auto)explicación.** Cuando un alumno entiende una serie de conceptos y se los explica a otro que aún no los comprende, dicha explicación no sólo sirve para aprender al estudiante que recibe la ayuda. También sirve para que el que la proporciona ordene sus ideas haciendo explícito su conocimiento. En el aprendizaje colaborativo, las explicaciones entre miembros de un grupo se dan habitualmente de forma espontánea.
- **La interiorización.** En la colaboración suele darse un proceso de transmisión de conceptos por parte de las personas con mayores conocimientos. Dichos conceptos son progresivamente integrados en la estructura de conocimientos de la persona que los recibe. Una vez integrados (interiorizados), éstos pueden emplearlos para sus propios razonamientos.
- **La apropiación.** La apropiación es un mecanismo de realimentación que se da en la colaboración: si dos personas A y B interactúan, cuando A realiza la primera acción y B la segunda, la acción de B indica a A cómo su primera acción fue interpretada por B. En otras palabras, la acción de B proporciona a A información acerca de cómo B entiende la acción de A. Esta información permite a A a su vez reinterpretar su propia acción y, por tanto, aprender.
- **La carga cognitiva compartida.** En el aprendizaje colaborativo los miembros de un mismo grupo distribuyen la carga cognitiva que supone la realización de la tarea considerada. Esta división no se refiere al reparto de subtareas que pueden ser realizadas de forma independiente, sino más bien al reparto de los distintos niveles conceptuales desde los cuales es posible considerar una misma tarea. Un ejemplo sencillo de este caso sería el de dos personas que colaboran para evitar el problema de la deforestación y, mientras uno se centra en los árboles (nivel bajo), otro lo hace en los bosques (nivel alto). Esta división de carga supone un aumento de la eficiencia en el aprendizaje.

- **La regulación mutua.** Los miembros de un grupo se ven a menudo en la necesidad de justificar por qué están actuando de una determinada manera. Dicha justificación sirve para hacer explícito el conocimiento acerca de las estrategias seguidas por los participantes durante el proceso de realización de las distintas tareas consideradas. Esto ocasiona un efecto de regulación mutua entre los miembros que da lugar a la elaboración de un plan de actuación común a todo el grupo.
- **El afianzamiento social.** El afianzamiento social es el mecanismo por el cual el individuo vigila que sus compañeros entiendan sus ideas al menos en un grado suficiente como para que sea posible colaborar de forma efectiva en la realización de una tarea determinada. En caso de que se produzca algún tipo de malentendido, dicho individuo intentará resolverlo. A través de este mecanismo, el grupo de colaboradores construye un conocimiento compartido del problema.

2.2.3 Elementos necesarios para que tenga lugar el aprendizaje colaborativo

Desafortunadamente, estos mecanismos de aprendizaje no siempre se activan en la colaboración. De acuerdo con [Joh94], existen cinco elementos imprescindibles que se deben dar en la colaboración para que el aprendizaje tenga lugar de manera efectiva. Éstos son los siguientes:

- **Interdependencia positiva.** Todos los miembros del grupo deben sentirse vinculados con los demás hasta el punto de creer que no pueden lograr sus objetivos sin los otros, y viceversa, de forma que todos deban coordinar sus esfuerzos para lograr el objetivo perseguido.
- **Responsabilidad personal.** Cada participante debe sentirse comprometido con la realización de su parte del trabajo sin obstaculizar el trabajo de los demás.
- **Interacciones estimulantes.** Cada uno de los participantes debe estimular y facilitar el esfuerzo de los demás de cara a la consecución del objetivo común.
- **Uso adecuado de las habilidades sociales.** Para poder coordinar sus esfuerzos hacia el objetivo perseguido, los estudiantes deben conocerse y confiar unos en otros, comunicarse de forma precisa y sin ambigüedades, aceptarse y apoyarse entre ellos, y resolver los conflictos de forma constructiva.
- **Reflexión de grupo.** Los participantes deben reflexionar conjuntamente y de forma periódica así como planificar el modo de mejorar su proceso de trabajo. Este proceso de trabajo debe ser entendido como la secuencia de acciones que deben llevarse a cabo para lograr los objetivos definidos.

2.2.4 Situaciones de aprendizaje colaborativo

Para lograr que los alumnos se beneficien de las bondades del aprendizaje colaborativo antes es necesario diseñar cuidadosamente una situación de aprendizaje colaborativo. Una situación de aprendizaje colaborativo es un escenario creado con la intención de que los alumnos construyan conocimiento a través de la realización de una serie de actividades de aprendizaje colaborativo y de aprendizaje individual [Osu99]. En esta definición se hace alusión a dos ideas importantes que merece la pena resaltar.

Por una parte, se determina la existencia de una **distinción clara de los conceptos de situación y actividad de aprendizaje**. De acuerdo con [Osu99], una actividad presenta una mayor granularidad porque busca un único objetivo educativo, mientras que la situación busca un objetivo global que puede ser alcanzado a través de la realización del conjunto de actividades de aprendizaje que ésta incluye. Por otra parte, se establece la **importancia de las actividades de aprendizaje individual en el aprendizaje colaborativo**. Según [Osu99] [Dil02], para la consecución de los objetivos globales de aprendizaje colaborativo es necesario alternar las actividades de aprendizaje colaborativas con las individuales.

En el proceso de diseño y puesta en marcha de una situación de aprendizaje colaborativo, es posible distinguir una serie de roles diferentes. Dichos roles se describen a continuación:

- **El diseñador** es el responsable de la concepción y diseño de la situación de aprendizaje colaborativo de acuerdo con los objetivos pedagógicos perseguidos.
- **El alumno** es quien debe realizar las actividades definidas en la situación para alcanzar dichos objetivos.
- **El profesor** debe encargarse de hacer las veces de mediador entre los alumnos así como de estimular a los mismos durante la realización de las distintas actividades de aprendizaje colaborativo.
- **El evaluador** es el responsable de estudiar el desarrollo de la situación así como de evaluar su efectividad para lograr que los alumnos alcancen los objetivos deseados.

2.2.5 Propiedades de las situaciones de aprendizaje

Para diseñar una situación de aprendizaje colaborativo efectiva no basta con determinar una secuencia de actividades para que éstas sean realizadas sin más por los alumnos. En cambio, durante el proceso de diseño es necesario tener en cuenta las siguientes propiedades de las situaciones de aprendizaje [Osu99]:

- **Propiedades en relación con la configuración social.** Son aquellas propiedades relacionadas con la naturaleza social de la situación de aprendizaje. De esta manera, aquí se incluye la *descripción de los miembros* que integran la situación, como el alumno, profesor, grupo, personas externas al proceso, etc. La configuración social debe tener en cuenta la *igualdad de los miembros*, en el sentido de que debe minimizar las jerarquías con el objetivo de lograr la unidad social del grupo.
- **Propiedades en relación con los objetivos.** Los objetivos marcan la estructura de la situación de aprendizaje así como la secuencia de actividades que deben ser realizadas. Concretamente, es posible pensar en dos tipos de objetivos bien diferenciados: el *objetivo del grupo* como unidad funcional y los *objetivos personales* que corresponden a cada uno de los miembros del grupo.
- **Propiedades en relación con la estructura de la situación.** La situación puede ser dividida en múltiples partes, donde cada parte puede tener su objetivo propio. Sin embargo, esta división no debe implicar desintegración. Para ello es necesario asegurar la conexión adecuada de las distintas partes.
- **Propiedades en relación con el espacio físico.** Estas propiedades definen las condiciones que se deben dar en el contexto en relación con la significatividad que tienen las distintas actividades para el estudiante. De este modo, el espacio físico debe asegurar la *participación activa* del alumno para lograr los factores de atención y retención adecuados.
- **Propiedades en relación con la forma de interacción.** La forma de interacción engloba aquellas propiedades relacionadas con el lenguaje utilizado por el alumno para expresar su idea en el momento de interactuar con otros compañeros. De esta manera, es posible incluir elementos que faciliten el diálogo entre los miembros del grupo y que mantengan una relación con los objetivos de aprendizaje de la situación.

2.2.6 Estructuras para la creación de situaciones de aprendizaje colaborativo

El diseño de situaciones de aprendizaje colaborativo es una tarea difícil que requiere de cierta experiencia, especialmente si el diseño se hace partiendo de cero. Una posibilidad más sencilla es aplicar una estructura de aprendizaje colaborativo. Las estructuras son situaciones de aprendizaje colaborativo genéricas fácilmente adaptables a las necesidades de múltiples entornos, disciplinas y contenidos. Por este motivo, algunos autores [Her04] emplean el término patrón de flujo de aprendizaje colaborativo (CLFP – *Collaborative Learning Flow Pattern*) para referirse a las estructuras de aprendizaje colaborativo. En [Nat97] [Osu99] es posible encontrar la descripción de numerosas estructuras. Algunas de ellas son las siguientes:

- **Resolución de problemas en voz alta por parejas (TAPPS – *Think Aloud Pair Problem Solving*)**. Esta estructura tiene como objetivo fomentar la habilidad del alumno para resolver problemas mediante la verbalización de sus pensamientos durante el proceso de solución del mismo. Para ponerla en marcha, los estudiantes deben agruparse en parejas a las que se asigna una serie de problemas. Durante la realización de esta actividad, los miembros de cada grupo deben turnarse a la hora de encargarse de resolver un problema o de escuchar al que lo está haciendo. El alumno que resuelve un problema debe leerlo en voz alta y describir a su compañero la secuencia de razonamientos que conducen a la solución del mismo. El alumno que escucha, en cambio, debe seguir dicha secuencia y hacer preguntas a su pareja en caso de que no se explique con claridad.
- **Rompecabezas (*jigsaw*)**. El profesor divide la clase en varios grupos que deben resolver un mismo problema. A continuación, se asigna a cada alumno dentro del grupo la tarea de estudiar la información relativa a una porción de dicho problema. De este modo, los miembros de un mismo grupo se convierten en “expertos” de las distintas partes del problema. Seguidamente, se forman “grupos de expertos” en los que los alumnos discuten y profundizan en el subproblema del que son especialistas. Finalmente, los alumnos vuelven a sus grupos originales para poner en común sus conocimientos y encontrar una solución al problema global. Esta técnica requiere una fuerte implicación por parte de los participantes pero, sin embargo, fomenta el intercambio comunicativo y la interdependencia positiva [Aro97].
- **Pirámide (*pyramid*)**. El profesor plantea un problema común a toda la clase que los alumnos resuelven de manera individual. A continuación, cada estudiante se junta con un compañero para discutir las soluciones que propusieron individualmente antes de plantear una solución común. Una vez hecho esto, cada pareja de alumnos forma grupo con otra pareja y repiten el proceso anterior. Y así sucesivamente hasta que se forman dos grandes grupos en la clase que se unen para discutir las soluciones planteadas en cada uno de ellos con el objetivo de proponer una solución final. La correcta realización de la estructura de pirámide facilita la generación de múltiples ideas para la solución del problema que ha sido planteado.
- **Mesa redonda (*round table*) o lluvia de ideas (*brainstorming*)**. La estructura de mesa redonda es muy útil para generar una gran cantidad de ideas en un corto periodo de tiempo. Las explicaciones, las evaluaciones y las preguntas no están permitidas mientras dure el proceso de generación de ideas. Para comenzar, el profesor debe plantear una o varias preguntas que tengan un gran número de respuestas posibles. Cada grupo dispone de una hoja de papel que va circulando entre los miembros del grupo para que éstos anoten sus

respuestas a la vez que las dicen en voz alta. Este proceso se repite hasta que los alumnos hayan agotado todas sus ideas. A continuación, los grupos disponen del tiempo suficiente para revisar y clarificar sus ideas. En caso de que sea necesario, los grupos pueden presentar en voz alta las ideas que han generado al resto de la clase.

- **Piensa, discute, comparte (*think-pair-share*).** Ésta es una estructura relativamente sencilla adecuada tanto para profesores como para alumnos que son nuevos en el aprendizaje colaborativo. El profesor propone una cuestión abierta y da a los alumnos un minuto para que reflexionen individualmente acerca de la misma. Seguidamente, los estudiantes se emparejan para discutir sus ideas con un compañero durante varios minutos. De este modo, todos los alumnos tienen la oportunidad de discutir sus ideas. Esto es muy importante dado que les permite comenzar a construir su conocimiento así como averiguar qué es lo que saben y qué es lo que no. Después de varios minutos, el profesor puede preguntar a los estudiantes. Éstos estarán más dispuestos a responder tras haber tenido la oportunidad de discutir sus ideas con un compañero porque, si la respuesta es incorrecta, el apuro es en cierto modo compartido. Además, las respuestas recibidas son habitualmente más concisas dado que los alumnos han podido reflexionar previamente sobre sus ideas.
- **Controversias académicas (*academic controversies*).** Para comenzar el profesor debe presentar a los alumnos un tópico con dos puntos de vista claramente diferenciados (ej. “la energía nuclear debería utilizarse más o menos”). En ese momento, los estudiantes se agrupan por parejas. Cada miembro de una misma pareja adopta una postura diferente y, en función del tiempo disponible, estudia la documentación al respecto. Si el educador lo considera oportuno, los estudiantes de distintos grupos que comparten una misma postura pueden discutir sus ideas. Cada alumno debe resaltar los principales argumentos que defienden su postura y recogerlos en una pequeña presentación. A continuación, cada estudiante presenta a su compañero dichos argumentos mientras este último toma notas sin plantear ningún tipo de cuestiones o debatir. Tras una breve discusión los alumnos intercambian la postura defendida y deben preparar y hacer una nueva presentación. Finalmente, los alumnos abandonan su rol y generan conjuntamente un informe en el que se aborda la cuestión planteada inicialmente utilizando las ideas generadas durante las fases anteriores.

2.2.7 Guiones colaborativos para la formalización de situaciones

Las situaciones de aprendizaje colaborativo pueden ser formalizadas a través de la generación de guiones colaborativos. Un guión colaborativo (*collaboration script*) es un conjunto de instrucciones que prescribe, entre otras cosas, la secuencia de actividades que han

de realizar los alumnos, los grupos que deben formarse para cada actividad, cómo tiene que llevarse a cabo la colaboración y cuál ha de ser la temporización [Dil02] para lograr los objetivos de aprendizaje deseados.

Los guiones colaborativos son una especie de contrato detallado y explícito al que deben adherirse tanto el grupo de alumnos como el profesor. De este modo se logra que la colaboración tenga lugar de forma estructurada y no libremente. De acuerdo con Dillenbourg [Dil02], la colaboración libre no produce aprendizaje sistemáticamente. En cambio, la estructuración mejora la efectividad del aprendizaje colaborativo.

La realización de una situación de aprendizaje colaborativo de acuerdo con las instrucciones de un guión supone, por tanto, un cierto nivel de coerción sobre los participantes [Dil02]. Dicho grado de coerción depende de cómo la situación de aprendizaje se ha descrito formalmente en el guión colaborativo. La coerción es necesaria en el aprendizaje por motivos de eficiencia, pero si ésta se da en exceso el resultado puede ser la pérdida de motivación [Dil02]. Por ello, es importante elegir el nivel de coerción apropiado para cada situación a la hora de describir un guión.

Un guión colaborativo describe una secuencia de fases. Aunque no tenga por qué serlo, se recomienda que dicha secuencia sea lineal de forma que el guión resulte lo más sencillo posible. Cada una de las fases del guión, a su vez, debe ser definida por los siguientes cinco atributos [Dil02]:

- **Definición de tarea.** Este atributo describe qué es lo que los estudiantes deben hacer en la fase correspondiente. Dicha asignación de tarea se define a través de tres elementos: entrada, actividad y salida. La *entrada* hace referencia al material que es necesario proporcionar a los alumnos para la realización de la tarea (ej. un texto con un conjunto de conceptos). El elemento *actividad* proporciona la descripción de la tarea que debe ser realizada (ej. discutir las definiciones de un conjunto de conceptos). Las actividades de un guión pueden ser tanto colaborativas como individuales. Además, una fase puede incluir múltiples actividades pero, para lograr que los guiones resulten más sencillos, cada fase debería estar claramente asociada con una actividad principal. La *salida* se corresponde con el producto que debe haberse generado al final de la actividad (ej. definiciones de conceptos). Es necesario tener en cuenta que en muchas ocasiones la salida de una fase se convierte en la entrada de la siguiente.
- **Definición de grupo.** Este atributo indica el número de componentes con los que deben contar los grupos a la hora de abordar una tarea. Conviene hacer notar el hecho de que el tamaño de los grupos puede variar entre fases. Además, los guiones deben incluir los

criterios para la formación de los grupos, es decir, cómo los miembros de un grupo son elegidos. La formación de grupos se puede hacer de acuerdo con criterios tanto extrínsecos como intrínsecos al guión. Estos criterios no sólo determinan el parecido entre los miembros de un mismo grupo, sino también la diferencia entre los grupos. Los *criterios extrínsecos* se refieren a la formación de grupos de acuerdo con características de los alumnos que existen de forma previa a la situación de aprendizaje colaborativo (ej. el nivel de conocimientos). En este caso, el guión debe tener en cuenta el perfil de los miembros del grupo (ej. alumno de nivel alto de conocimientos con alumno de nivel bajo). Los *criterios intrínsecos* son los que distribuyen a los alumnos en grupos de acuerdo con su comportamiento o con los productos de salida de las fases anteriores (ej. alumnos que han leído el capítulo 1).

- **Distribución.** La distribución del proceso global que representa una situación de aprendizaje colaborativo es la esencia del guión. Concretamente, el guión debe especificar *qué* es lo que se distribuye. De este modo, el guión debe definir si lo que *se distribuyen* son los *elementos de entrada* de la actividad o las *actividades*. En la estructura de *jigsaw* vista en la sección anterior, por ejemplo, se hace una distribución de los elementos de entrada, ya que a cada miembro del grupo se le da distinta información. En la estructura de resolución de problemas en voz alta por parejas, en cambio, se hace una distribución de actividades de forma que un alumno se encarga de solucionar el problema mientras el compañero lo supervisa. Ambos tipos de distribución están muy relacionados dado que la distribución de elementos de entrada también puede inducir una distribución de actividades y viceversa. Por otra parte, el guión debe especificar si la *distribución* se hace de forma *intragrupal* o *intergrupal*. En los dos ejemplos anteriores la distribución se hacía entre los miembros de un mismo grupo. En la distribución intergrupal, en cambio, el reparto se hace entre los distintos grupos. Es necesario mencionar el hecho de que es habitual que un mismo guión colaborativo incluya distintos tipos de reparto.
- **Modo de interacción.** Las distintas fases de un guión se distinguen también en el modo de interacción que se da en las actividades incluidas. Aunque existe un número muy elevado de modos de interacción, es posible diferenciar las actividades de *interacción síncrona* y las de *interacción asíncrona*. Un ejemplo de interacción síncrona es la discusión entre los miembros de un grupo de *jigsaw*. En cambio, la interacción asíncrona tiene lugar, por ejemplo, cuando un grupo genera un problema para que otro grupo lo resuelva al día siguiente. También se puede distinguir entre actividades de *interacción intragrupal* y actividades de *interacción intergrupal*. La interacción entre miembros de un mismo grupo se da también en el ejemplo de la discusión de miembros de un grupo de *jigsaw*. La interacción intergrupal, en cambio, tiene lugar cuando se produce la reunión de expertos de

la estructura de *jigsaw*. De este modo, un guión colaborativo debe permitir especificar el tipo de interacción que se debe dar en cada actividad.

- **Temporización.** Los guiones son secuencias en las que una fase termina antes de que la siguiente fase comience. La temporización de una fase se puede describir por su duración (ej. 10 minutos), como una fecha límite (ej. antes del 30 de junio de 2005), como una condición que debe cumplirse para que una actividad se considere finalizada (ej. responder a todas las preguntas), o como una combinación de una condición con un límite temporal o una duración (ej. responder a todas las preguntas en 10 minutos). Esta temporización también debe poder especificarse en el guión colaborativo.

2.3 CSCL

Tal y como se indicaba en la definición expuesta anteriormente, el aprendizaje colaborativo puede ser apoyado mediante el uso del ordenador. Es precisamente este aspecto en el que se centra la investigación que se desarrolla dentro del dominio del CSCL.

2.3.1 El CSCL como paradigma de investigación

El origen del CSCL como área de investigación es relativamente reciente. Según Koschmann éste se sitúa en 1989 [Kos96b], año en el que por primera vez se celebró en Italia un seminario con el nombre de “*Computer Supported Collaborative Learning*” bajo el auspicio del programa especial de tecnología educativa avanzada de la OTAN. A este evento le sucedieron dos talleres de investigación sobre CSCL que en 1991 y 1992 tuvieron lugar en EEUU. El proceso de crecimiento y maduración de esta área dio lugar a la aparición en 1995 de la primera conferencia internacional con carácter bianual [Sch95] [Hal97] [Hoa99] [Sta02] [Was03] [Kos05]. En el año 2001 también se celebró una conferencia sobre CSCL de ámbito europeo [Dil01].

Formalmente, es posible definir el CSCL como un campo de estudio dedicado a la investigación de tecnología educativa que se centra en el uso de las tecnologías de la información y comunicaciones (TIC) como herramientas de mediación para la aplicación de técnicas colaborativas de aprendizaje similares a las descritas anteriormente [Was98]. El CSCL se encuentra en la intersección de aspectos de la práctica educativa, cuestiones psicológicas referidas a la naturaleza del aprendizaje y las facilidades que ofrecen las TIC [Osu99]. Por ello, éste es un campo complejo, con muchas perspectivas posibles y claramente interdisciplinar del que forman parte miembros de comunidades muy diversas incluyendo tecnólogos, educadores, alumnos, psicólogos y pedagogos.

2.3.2 Relación entre el CSCL y el CSCW

Es necesario mencionar la estrecha relación existente entre el CSCL y el Trabajo Cooperativo Apoyado por Ordenador (CSCW – *Computer Supported Cooperative Work*) [Ell91] [Gru92]. Al ser este último un campo mejor establecido, el CSCL ha sido considerado desde su surgimiento como el “hermano menor” del CSCW [Lip02]. A pesar de que estos dos dominios de investigación tienen mucho en común, también son importantes las diferencias existentes entre ambos, tanto en el objetivo perseguido por cada uno de ellos, como en los métodos empleados para alcanzar dichos objetivos.

De este modo, ambos campos investigan el soporte a la colaboración de grupos de usuarios. Sin embargo, mientras el CSCW tiene como objetivo aumentar la productividad del trabajo en grupo a través de la colaboración, el CSCL busca incrementar la efectividad del aprendizaje en grupo también a través de la colaboración. Para lograr dichos objetivos, en el primero se intenta reducir el esfuerzo mental de los participantes, cuando en el segundo se persigue aumentarlo.

En cualquier lugar, son muchos los problemas compartidos entre ambas disciplinas, destacando el carácter multidisciplinar del trabajo y la complejidad del desarrollo de sistemas distribuidos para la colaboración. A estas dificultades el CSCL añade las derivadas de trabajar en un contexto tan particular como es el educativo.

2.4 Herramientas de aprendizaje colaborativo

Un aspecto del CSCL al que se le dedican importantes esfuerzos de investigación es la concepción, diseño y desarrollo de herramientas de aprendizaje colaborativo. Las herramientas de aprendizaje colaborativo son aquellas que proporcionan apoyo adecuado a los participantes durante la realización de una actividad de aprendizaje colaborativo. Para ello, es necesario que estas herramientas ofrezcan a sus usuarios una serie de funciones de alto nivel durante el proceso de colaboración. De acuerdo con [Dim03a], dichas funciones son las que se describen a continuación:

- En primer lugar, la herramienta debe proporcionar los **medios apropiados para que el diálogo y la acción** puedan tener lugar, siendo ésta una condición esencial para que el aprendizaje colaborativo pueda ocurrir.
- También es imprescindible que la herramienta mantenga una serie de **mecanismos de conciencia de grupo** (*awareness*) de forma que todos los participantes puedan ser conscientes de las acciones que el resto de sus compañeros realizan dentro del entorno compartido.

- Otra funcionalidad importante se refieren a la **asistencia al educador**, cuyo papel en el aprendizaje colaborativo es especialmente importante en la educación primaria y secundaria.
- Finalmente, aquellas herramientas que requieren la utilización de cualquier tipo de **material de apoyo**, deben proporcionar la funcionalidad adecuada para la **gestión** del mismo.

2.4.1 Relación con el *groupware*

El término *groupware* (*software* de grupo) [Ell91] se utiliza para designar aquellas aplicaciones informáticas que proporcionan asistencia adecuada a un grupo de usuarios durante la realización de un proyecto o tarea común, y que proporcionan una interfaz a un entorno compartido. De acuerdo con esta definición, las herramientas de aprendizaje colaborativo pueden ser incluidas dentro del concepto de *groupware*. Sin embargo, las herramientas de aprendizaje colaborativo no deben ser confundidas con las herramientas simplemente colaborativas, las cuales son también consideradas como *groupware*. Según [Dim03a], las herramientas de aprendizaje colaborativo cuentan con dos características claramente distintivas:

- **Promueven el aprendizaje.** El propósito de las herramientas no es simplemente permitir la ejecución de una tarea, sino fomentar el aprendizaje durante la realización de la misma. Para ello se busca la activación de los mecanismos de aprendizaje colaborativo expuestos anteriormente.
- **Apoyan la colaboración.** Las herramientas no sólo permiten la colaboración entre participantes durante la realización de una actividad específica, sino que además la facilitan. La colaboración no es entendida como el simple intercambio de información o materiales que concierne a la comunicación.

En otras palabras, las herramientas colaborativas son aquellas que simplemente permiten la colaboración pero que no han sido construidas con el propósito inicial de facilitar la adquisición de conocimientos y habilidades. Sin embargo, esto no quiere decir que no puedan ser utilizadas en una situación de aprendizaje colaborativo. Es más, las herramientas colaborativas son habitualmente empleadas en el apoyo de situaciones de aprendizaje colaborativo [Osu99] [Lip02] [Dim03a] [Bet03b]. Algunos ejemplos típicos de herramientas colaborativas son las pizarras electrónicas, los sistemas de audioconferencia y de multiconferencia, los grupos de noticias, los *chats*, los servicios de mensajería, los editores de texto colaborativo, los sistemas de reparto de tareas colaborativos, etc.

2.4.2 Clasificación y dificultades de desarrollo

Las herramientas de aprendizaje colaborativo pueden ser clasificadas en función de muchas otras variables. Así, por ejemplo, atendiendo al momento en que se produce la colaboración, se distinguen herramientas síncronas o asíncronas [Ell91]. De acuerdo con el número de participantes esperado en la colaboración se puede hablar de herramientas para una pareja, para grupos pequeños, para grupos grandes (veinte a cuarenta personas), o para comunidades (número indeterminado de personas) [Mar03a]. En función del tipo de tarea de aprendizaje colaborativo que permiten realizar, se pueden diferenciar de herramientas orientadas a la acción, a la producción de texto o a la argumentación [Dim03a].

El proceso de concepción, diseño y desarrollo de herramientas de aprendizaje colaborativo es realmente complejo. Parte de esta complejidad se debe a las dificultades técnicas inherentes a este tipo de herramientas ya sean derivadas del carácter distribuido de las mismas, referidas a la interacción hombre-máquina o a la interacción hombre-hombre a través de las máquinas, o relacionadas con la gestión de la coordinación entre los participantes de una actividad colaborativa y el mantenimiento de mecanismos de conciencia de grupo de los mismos. Además, a esto hay que añadirle los problemas derivados del mencionado carácter interdisciplinar del CSCL, que implica la participación en dicho proceso y el entendimiento mutuo de los miembros procedentes de las distintas comunidades que forman parte del dominio. Para abordar esta última cuestión es posible recurrir a los métodos de análisis y diseño participativo [Mul93] [Chi97], según los cuales todos los actores implicados en el proceso deben trabajar juntos durante un periodo extenso de tiempo durante el cual intercambian ideas e identifican los requisitos reales de la herramienta.

2.4.3 Ejemplos de herramientas de aprendizaje colaborativo

Knowledge Forum (Foro de Conocimiento) [Sca94] es un ejemplo de herramienta de aprendizaje colaborativo que sirve para la creación de “comunidades de construcción de conocimiento”. Concretamente, se trata de una herramienta de colaboración asíncrona que permite a cada comunidad de usuarios crear su propio espacio en el que almacenar ideas, conectarlas, reorganizarlas o destacar unas sobre otras. Las ideas pueden ser introducidas en forma de nota de texto o de imagen. Para facilitar a los usuarios el seguimiento de los cambios que se dan en la comunidad, la propia herramienta se encarga de notificar cualquier modificación que se produzca. Además, tal y como se muestra en la Figura 2.1, *Knowledge Forum* también permite a los usuarios acceder a distintas representaciones visuales de la comunidad de conocimiento a la que pertenecen.

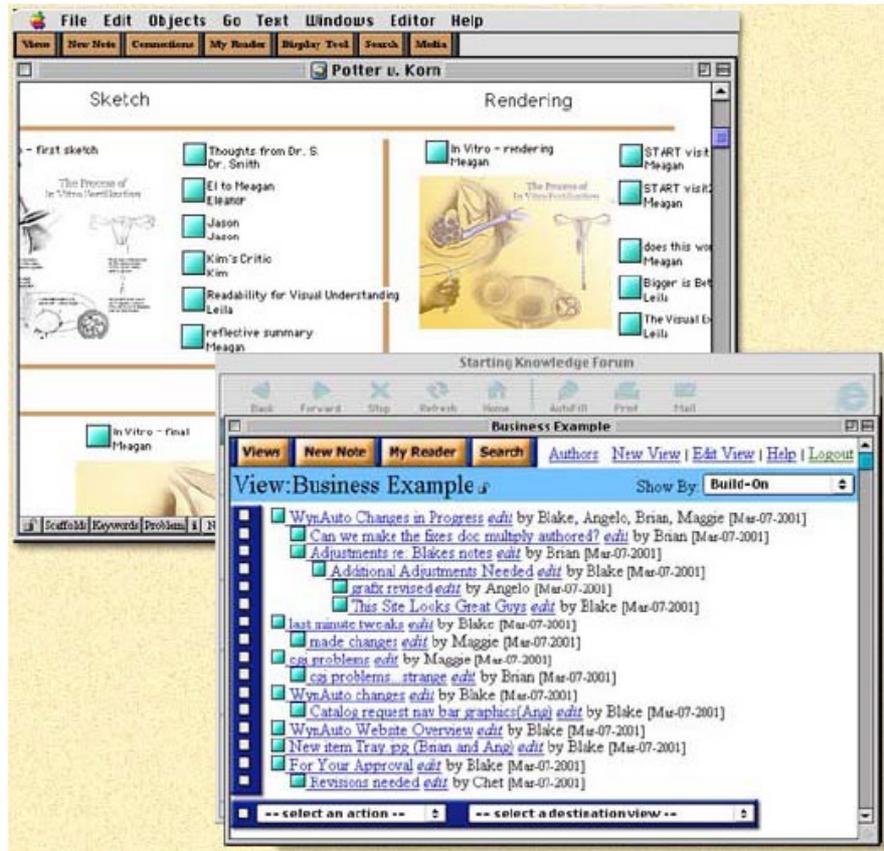


Figura 2.1: Interfaz de la herramienta de aprendizaje colaborativo *Knowledge-Forum*. Figura tomada de [Dim03a].

Otro ejemplo interesante de herramienta de aprendizaje colaborativo es *Belvedere* [Sut97], la cual proporciona un entorno compartido para la construcción de “diagramas de investigación” en los que el alumno debe relacionar datos e hipótesis utilizando evidencias probatorias. Para lograr este objetivo, el entorno ofrece un conjunto de tipos de figuras y componentes que representan elementos de argumentos (“principio”, “teoría”, “hipótesis”, etc.) que son enlazados a través de relaciones que representan operaciones entre argumentos (“apoya”, “justifica”, “explica”, etc.). Además, la herramienta incluye dos agentes inteligentes. El primer agente ofrece a los alumnos consejos generales acerca de la estructura de los diagramas de investigación desde el punto de vista de la argumentación científica. El segundo agente hace comparaciones entre los diagramas generados por los estudiantes y un diagrama proporcionado por un experto en la materia. De este modo, el agente puede proporcionar realimentación a los estudiantes acerca de la corrección de sus diagramas o aportar nueva información a los alumnos que les sirva como reto para seguir avanzando. En la Figura 2.2 se puede apreciar un ejemplo de diagrama de investigación construido con *Belvedere* así como un consejo proporcionado por los agentes.

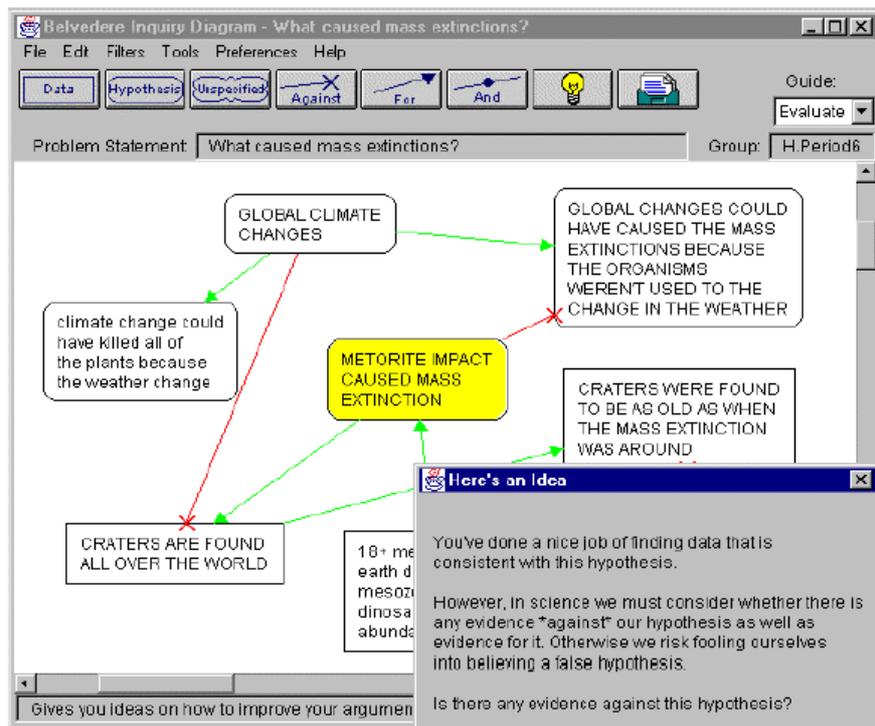


Figura 2.2: Interfaz de la herramienta de aprendizaje colaborativo *Belvedere*. Figura tomada de [Dim03a].

2.5 Sistemas de aprendizaje colaborativo

Otra de las prioridades de investigación de la comunidad CSCL son los sistemas de aprendizaje colaborativo. Un sistema de aprendizaje colaborativo es aquel que ofrece apoyo adecuado a los participantes de una situación de aprendizaje colaborativo. Para ello, los sistemas deben integrar las herramientas apropiadas para el apoyo la realización de las actividades de aprendizaje definidas dentro de una situación dada. De acuerdo con esto, entre los sistemas y las herramientas se establece una relación de granularidad paralela a la existente entre situaciones y actividades.

Teniendo en cuenta que las actividades incluidas en una situación pueden ser de naturaleza tanto colaborativa como individual, los sistemas de aprendizaje colaborativo integran no sólo herramientas de aprendizaje colaborativo o simplemente colaborativas. También integran herramientas no colaborativas para el apoyo de las actividades que los alumnos deben realizar de forma individual. Además, como ya se vio en el capítulo anterior, las herramientas integradas pueden ser de tipo específico, es decir, herramientas que proporcionan una utilidad determinada a la vez que persiguen un objetivo pedagógico concreto o una funcionalidad relacionada con el dominio de conocimiento en el que se sitúa la actividad de aprendizaje colaborativo desarrollada, o de tipo genérico en caso contrario.

2.5.1 Características deseables de los sistemas de aprendizaje colaborativo

Los sistemas de aprendizaje colaborativo son utilizados en un contexto con características muy particulares como es el caso de la educación. De este hecho se derivan las siguientes características que es deseable que presenten dichos sistemas:

- **Versatilidad.** Los educadores requieren sistemas versátiles que puedan ser personalizados y adaptados para proporcionar un apoyo adecuado en el mayor número posible de situaciones de aprendizaje colaborativo [Dim02] [Dim04b]. Sin embargo, la mayor parte de los sistemas desarrollados hasta el momento son sistemas monolíticos que incluyen unas pocas herramientas con las que es posible apoyar un abanico generalmente muy reducido de situaciones. Idealmente, los educadores deberían poder añadir nuevas herramientas a los sistemas de aprendizaje colaborativo para así poder prestar apoyo a nuevas situaciones de aprendizaje.
- **Fomento de la reutilización de herramientas.** El desarrollo de herramientas para el apoyo de actividades de aprendizaje es un proceso muy laborioso y especialmente, como ya se ha expuesto, en el caso de las herramientas de aprendizaje colaborativo dado el papel del análisis y diseño participativo que implica que las herramientas deben soportar la funcionalidad requerida por una importante diversidad de actores (profesores, estudiantes, pedagogos, psicólogos, etc.) [Mar03a]. Así pues, el esfuerzo invertido en su desarrollo sólo se justifica si dichas herramientas se pueden emplear en un número suficientemente grande de situaciones de aprendizaje. Es por ello que los sistemas de aprendizaje colaborativo deben fomentar la reutilización de las herramientas.
- **Arquitectura abierta.** Las herramientas de aprendizaje suelen ser aplicaciones dependientes de tecnologías particulares e incompatibles entre sí, por lo que los profesores encuentran grandes dificultades para integrar varias de ellas en sus clases con el objetivo de poder disponer del apoyo adecuado para una situación de aprendizaje colaborativo concreta [Dim02]. Ante esta realidad, los sistemas de aprendizaje colaborativo deberían adoptar arquitecturas abiertas que faciliten el desarrollo y la integración de nuevas herramientas de aprendizaje.

Estas tres características están claramente relacionadas entre sí. En este sentido, la versatilidad sólo es posible si existen herramientas reutilizables para dar apoyo en distintos escenarios de aprendizaje colaborativo. Además, la versatilidad de un sistema se ve claramente favorecida por la posibilidad de emplear arquitecturas abiertas que faciliten la integración de herramientas reutilizables.

2.5.2 Necesidad de supercomputación y recursos de *hardware* específicos

El apoyo efectivo de determinadas situaciones de aprendizaje colaborativo implica la necesidad de que los sistemas integren algunas herramientas tanto colaborativas como no colaborativas para cuyo funcionamiento es imprescindible el uso de recursos no convencionales. Concretamente, estas herramientas suelen ser de dos tipos:

- **Herramientas que requieren el uso de capacidades de supercomputación.** En algunas situaciones de aprendizaje, como las consideradas en [Ram95] [Rou97] [Wes02] [Jen03] [Pan03] [Ard04b] [All04] [Bot04c] [Bar05], son necesarias herramientas que requieren una gran capacidad de computación. Esto implica habitualmente la necesidad de disponer de un número elevado de máquinas dedicadas exclusivamente a soportar la carga computacional generada por este tipo de algoritmos.
- **Herramientas que requieren acceso a recursos de *hardware* específicos.** En otras situaciones de aprendizaje, como las que se consideran en [Ram95] [Des99] [Mar02] [Bag03] [Bal04] [All04] [Bot04e] [Bar05], es necesario utilizar herramientas que hacen uso de dispositivos u ordenadores con características muy concretas. En numerosas ocasiones éstos son recursos de *hardware* de los que, por razones económicas, logísticas, de seguridad o de cualquier otra índole, no es posible disponer de forma local.

El carácter extraordinario de los recursos empleados por estas herramientas supone una gran dificultad para la integración de las mismas en los sistemas de aprendizaje colaborativo. Principalmente, esta dificultad se deriva del hecho de que dichos recursos poco convencionales no se encuentran disponibles habitualmente en el contexto de ejecución de las herramientas integradas por los sistemas.

2.5.3 Aumento de la efectividad mediante interpretación de guiones colaborativos

La efectividad del apoyo proporcionado por un sistema de aprendizaje colaborativo no sólo depende de las herramientas que éste integra. El propio sistema puede contribuir a aumentar dicha efectividad facilitando a los alumnos el seguimiento de las instrucciones incluidas en el guión colaborativo que describe la situación de aprendizaje considerada.

En este sentido, algunos sistemas [Ber01] [Bet03a] proporcionan a los usuarios dichas instrucciones de forma explícita presentándola a través de su interfaz de manera más o menos estructurada. Tal y como se vio anteriormente, los guiones colaborativos no sólo incluyen información acerca de qué debe hacerse en cada una de las actividades de aprendizaje, sino también numerosas instrucciones acerca de qué grupos se deben formar, cómo se deben formar, cómo se deben distribuir los elementos de entrada y las actividades, la temporización de las

actividades, etc. Exceptuando el caso de los guiones colaborativos extremadamente simples, es habitual que dichas instrucciones sean mal entendidas, aplicadas incorrectamente, olvidadas o completamente ignoradas [Dil02].

Para intentar evitar este problema, es posible hacer que los sistemas de aprendizaje interpreten los guiones colaborativos para que de este modo se encarguen de guiar a los alumnos a través de la secuencia de actividades que deben realizar para alcanzar los objetivos de aprendizaje deseados [Van03a] [Bot04e]. Concretamente, y de acuerdo con la información contenida en los guiones colaborativos, este proceso de guiado puede incluir la realización de las siguientes tareas por parte del sistema de aprendizaje colaborativo:

- **Gestión de fases.** El sistema debe conocer en todo momento la fase en la que se encuentra la situación de aprendizaje, comprobar el cumplimiento de las condiciones de finalización de cada fase, así como determinar la secuencia de fases que deben seguir los participantes.
- **Gestión de grupos.** Además, el sistema debe ser capaz de determinar el grupo al que pertenece cada participante en cada fase de la situación de aprendizaje.
- **Gestión de roles.** Igualmente, el sistema debe poder establecer el rol que corresponde a cada usuario en cada una de las fases.
- **Gestión de actividades.** Para cada fase, y en función del grupo al que pertenezca y el rol que desempeñe, el sistema debe determinar la actividad o secuencia de actividades que debe ser realizada por cada participante.
- **Gestión de herramientas.** El sistema debe proporcionar a cada participante las herramientas adecuadas para el apoyo de la actividad de aprendizaje que esté realizando en cada momento.
- **Gestión de entradas/salidas.** El sistema también debe encargarse de proporcionar a cada participante el material necesario para la realización de la actividad que le corresponde hacer en cada momento así como recoger el material que sea generado durante la misma.

2.5.4 Ejemplos de sistemas de aprendizaje colaborativo

C-CHENE [Bak96] es un ejemplo de sistema de aprendizaje colaborativo muy simple. Éste tiene como objetivo facilitar la resolución de problemas y el aprendizaje de conceptos relacionados con la energía en física. Para ello, el sistema permite a parejas de estudiantes (típicamente alumnos de 16 ó 17 años) construir juntos cadenas de energía empleando una herramienta de edición gráfica colaborativa. También ofrece una herramienta de *chat* con la que los alumnos pueden comunicarse utilizándolo de la forma habitual o empleando alguna de las frases e inicios de frase proporcionados por dicha herramienta con el objetivo de aumentar la

eficiencia de la comunicación. Estas frases son del tipo “¿por qué?”, “¿qué deberíamos hacer ahora?”, mientras que algunos de los inicios de frase propuestos son “propongo que...”, “creo que...”. Las interfaces correspondientes a ambas herramientas se observan en la Figura 2.3.

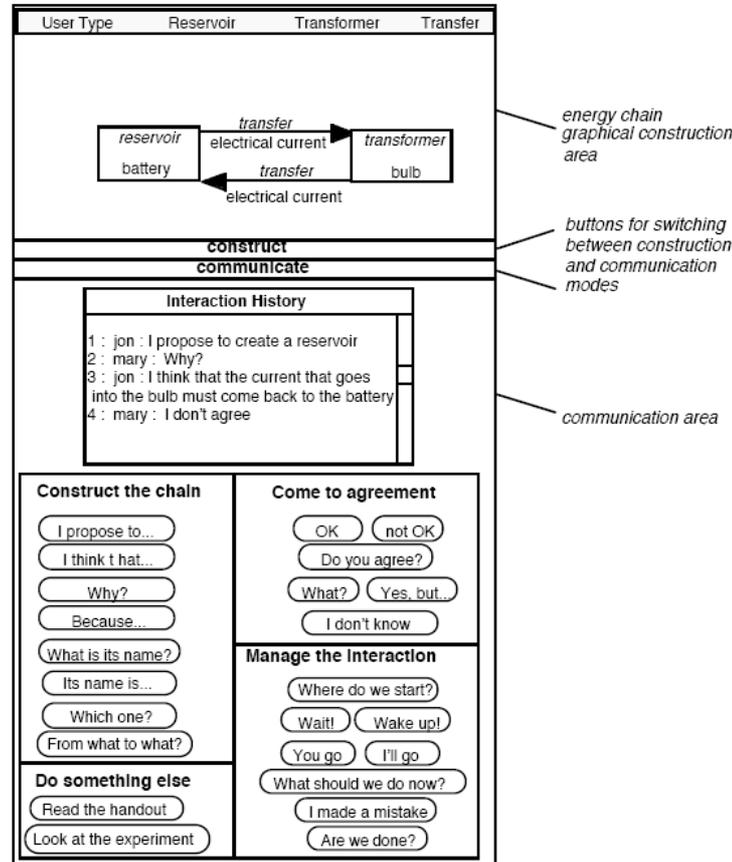


Figura 2.3: Interfaz del sistema de aprendizaje colaborativo C-CHENE. En la parte superior se aprecia el editor colaborativo de cadenas de energía, mientras que en la inferior se puede ver el *chat* estructurado.

Figura tomada de [Bak96].

Un ejemplo de sistema de aprendizaje colaborativo que hace uso de capacidades de supercomputación es CoVis [Ram95]. Se trata de un sistema que explora cuestiones de escalabilidad en situaciones en las que alumnos de instituto trabajan en colaboración con grandes comunidades remotas de estudiantes, profesores y científicos a través de la realización de actividades de investigación para el estudio de fenómenos climatológicos. Con este objetivo, CoVis proporciona un amplio abanico de herramientas de colaboración y comunicación entre las que se incluyen herramientas de videoconferencia, herramientas de acceso a recursos en Internet, herramientas científicas de visualización y un cuaderno científico colaborativo multimedia.

El cuaderno científico colaborativo es el elemento central del sistema CoVis. Este cuaderno ofrece a los alumnos un entorno compartido para introducir sus actividades, planes,

observaciones, preguntas, comentarios e hipótesis a medida que trabajan en un proyecto. Estos elementos están organizados en páginas enlazadas convenientemente con el objetivo de estructurar el proceso de investigación de los alumnos. Por ejemplo, una página con registros de una serie de actividades de visualización puede estar enlazada con una página que contiene las cuestiones que han surgido durante la realización de dichas actividades. La página de cuestiones, a su vez, puede estar enlazada con otra página en la que se encuentran las hipótesis hechas acerca de dichas cuestiones.

Entre las herramientas de visualización se encuentra una que permite a los alumnos examinar las condiciones meteorológicas del momento a lo largo y ancho de todo Estados Unidos. Para ello la herramienta les proporciona imágenes de satélite tanto en el espectro visible como en el de infrarrojos, mapas meteorológicos personalizados mostrando hasta 14 variables distintas en 5 alturas diferentes para cualquier región de Estados Unidos y con distintos factores de zoom, etc. Asimismo, esta herramienta permite la visualización de mapas reales de predicción climatológica recibidos del Servicio Nacional Meteorológico de los EEUU, donde éstos son obtenidos utilizando recursos de supercomputación. En este caso los recursos de supercomputación son empleados de forma indirecta, puesto que la herramienta no permite controlar la simulación, sino simplemente obtener los resultados de la misma. La Figura 2.4 muestra distintas capturas de pantalla de esta herramienta.

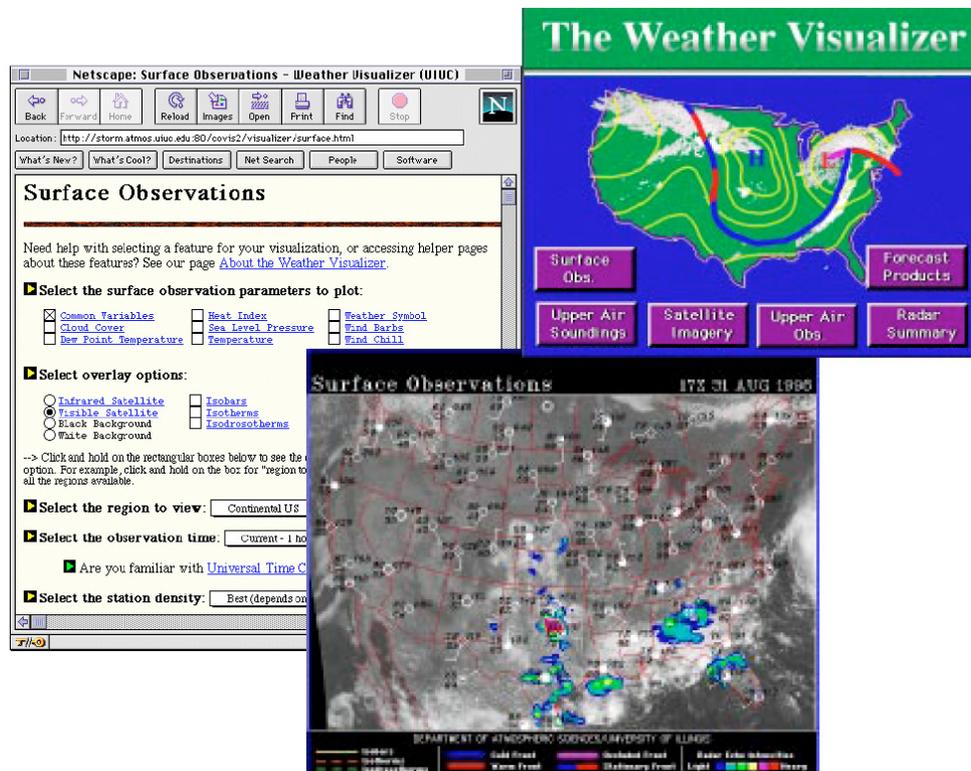


Figura 2.4: Capturas de pantalla de la herramienta de visualización del clima proporcionada por Covis.

El laboratorio remoto de PEARL (*Practical Experimentation by Accesible Remote Learning* – Experimentación Práctica mediante Aprendizaje Remoto Accesible) [Mar02] es un buen ejemplo de sistema de aprendizaje colaborativo que hace uso de recursos de *hardware* específicos. Éste es un sistema diseñado para el apoyo de situaciones de aprendizaje colaborativo relacionadas con la electrónica. Con este objetivo, el sistema ofrece herramientas que permiten controlar recursos de *hardware* específicos tales como un osciloscopio y un generador de señales. Además, el sistema incluye una herramienta de videoconferencia y un *chat* para facilitar la realización de experimentos de forma colaborativa. En la Figura 2.5 se muestra la herramienta de control del osciloscopio ofrecida por el laboratorio electrónico de PEARL.

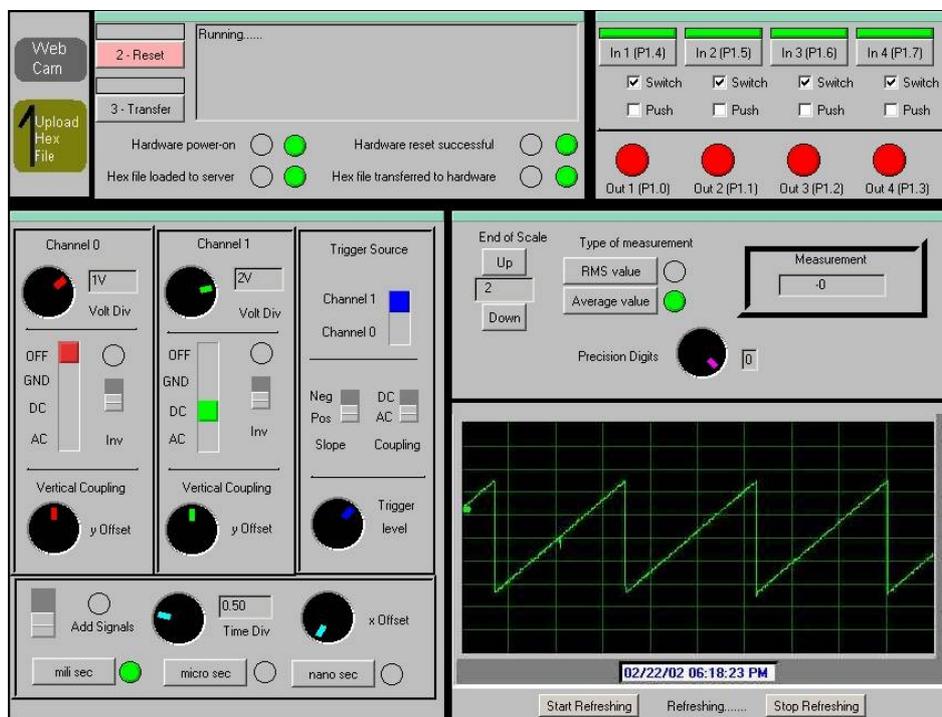


Figura 2.5: Interfaz de la herramienta de control del osciloscopio en el laboratorio remoto de PEARL.

Figura tomada de [Mar02].

Finalmente, Arguegraph [Dil02] es un ejemplo de sistema de aprendizaje colaborativo muy sencillo que guía a los alumnos en una situación simple. Con dicha situación se pretende lograr que los alumnos relacionen las decisiones tomadas en el diseño de *software* educativo con las distintas tecnologías que se pueden utilizar para su implementación. La situación se realiza de acuerdo con un guión de 5 fases apoyadas por algunas herramientas básicas como un *chat* y una herramienta de respuesta de cuestionarios. La Figura 2.6 muestra una imagen de la interfaz del sistema Arguegraph.

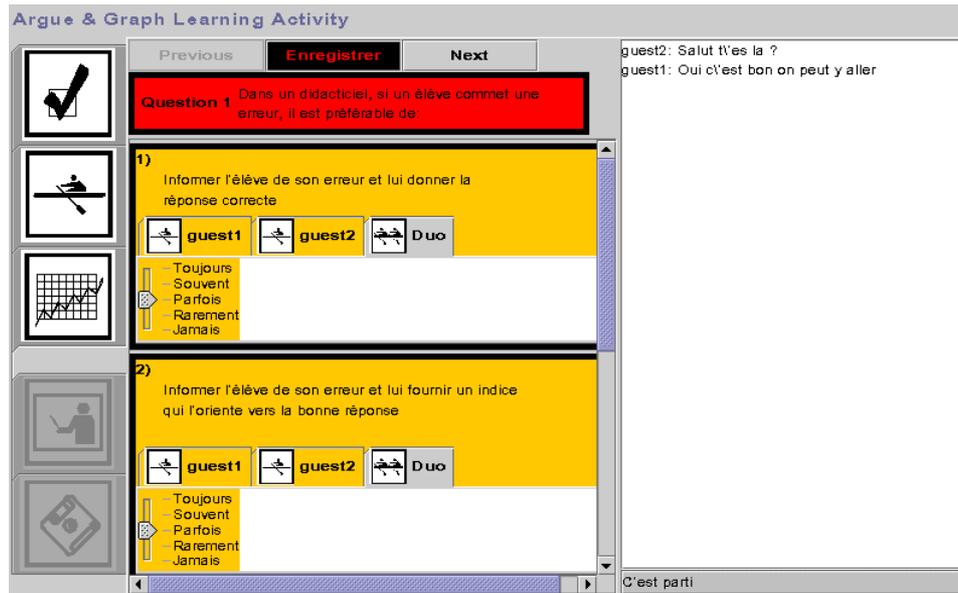


Figura 2.6: Interfaz del sistema de aprendizaje colaborativo Arguegraph. Figura tomada de [Chak03]

2.6 La maleabilidad en los sistemas de aprendizaje colaborativo

Todos los ejemplos de sistemas vistos en la sección anterior tienen una limitación en común: no permiten la integración de nuevas herramientas para así poder utilizar el mismo sistema para apoyar nuevas situaciones de aprendizaje colaborativo. Los sistemas de aprendizaje colaborativo que ofrecen esta posibilidad son denominados maleables. Sin embargo, la maleabilidad no es una propiedad aplicable únicamente a los sistemas de aprendizaje colaborativo, sino a cualquier aplicación informática.

2.6.1 Definición de maleabilidad

La maleabilidad² (*tailorability*) es un concepto con características particulares [Bou00]. No se corresponde exactamente con la posibilidad de desarrollar una aplicación ni de utilizarla, sino que es una mezcla de las dos cosas: una aplicación maleable es a la vez utilizable y modificable por sus propios usuarios.

Formalmente, la maleabilidad se define como la posibilidad de adaptar una aplicación informática a las necesidades y prácticas del usuario en el contexto de su uso, y no en el contexto de su desarrollo [Mor00]. Las aplicaciones maleables son, por tanto, aquellas que

² El término inglés “*tailorability*” no tiene traducción directa al español. Sin embargo, ya ha sido trasladado al francés como “*malléabilité*” en algunos trabajos como [Bou00] [Bet03b]. Dado que este término se traduce al español como “maleabilidad”, se ha decidido utilizar este último vocablo para referirse al término original.

proporcionan a los usuarios los medios adecuados para que puedan modificar tanto la apariencia como la funcionalidad de la misma de acuerdo con sus necesidades [Mor95]. De este modo, los sistemas de aprendizaje colaborativo que permiten a sus usuarios, sean éstos profesores o alumnos, la modificación del conjunto de herramientas ofrecidas para apoyar una situación de aprendizaje, son considerados sistemas maleables [Bou01] [Bet03a] [Haa03].

La maleabilidad no debe ser confundida con otros conceptos cercanos como son la adaptabilidad, la adaptatividad y la flexibilidad [Bet03b]. La adaptabilidad se refiere a la posibilidad de que el usuario modifique la interfaz de una aplicación de acuerdo con sus necesidades, mientras que la adaptatividad alude a la capacidad de que la interfaz sea modificada sin intervención explícita por parte del usuario. La flexibilidad, en cambio, designa los medios ofrecidos al usuario para personalizar su interfaz teniendo en cuenta sus estrategias de trabajo. La maleabilidad va más allá de la posibilidad de cambiar la interfaz de la aplicación permitiendo, además, modificar la funcionalidad de la misma.

El hecho de que una aplicación sea maleable no implica necesariamente la posibilidad de redefinir su funcionalidad durante la ejecución de la misma [Bou00]. En algunas ocasiones es necesario reinicializar la aplicación o incluso recompilar partes de ésta para que las modificaciones tengan efecto. Sin embargo, podría considerarse que la maleabilidad “en caliente” es una propiedad deseable en cualquier aplicación informática, incluyendo los sistemas de aprendizaje colaborativo.

2.6.2 Tipos de maleabilidad

Las modificaciones en la funcionalidad de un sistema maleable se pueden hacer de diferentes formas. De acuerdo con [Mor95], existen tres tipos diferentes de maleabilidad, los cuales se describen a continuación:

- **La personalización.** Esta es la forma más sencilla de maleabilidad que habitualmente se encuentra en las aplicaciones. La personalización permite al usuario modificar la apariencia de la interfaz de la aplicación o configurar las funcionalidades que ésta ofrece. Sin embargo, no permite añadir nuevas funcionalidades a la aplicación. Por este motivo, la personalización no requiere la adición de nuevo código a la aplicación, sino que basta con ofrecer al usuario “formularios de personalización” donde éste puede indicar los cambios deseados. Un ejemplo de aplicación personalizable puede ser un gestor de correo en el que el usuario indica parámetros como el tipo de fuente con el que quiere que se muestre el texto de los correos, la dirección de su servidor de correo, o la frecuencia con la que el gestor debe comprobar la llegada de correo nuevo.

- **La integración.** A diferencia de la personalización, la integración permite añadir nueva funcionalidad a una aplicación mediante el enlazado de componentes ya existentes. Los componentes³ son piezas de código modulares con una funcionalidad bien definida que pueden implementar desde comandos de bajo nivel hasta herramientas de alto nivel. En la maleabilidad por integración tampoco es necesario que el usuario programe. De esta manera, en la denominada *integración dura* el componente se incrusta en la aplicación, típicamente mediante una operación de “copiado y pegado” avanzada, de forma que el primero se ejecuta en el contexto de la segunda. Un ejemplo de integración dura son los navegadores que permiten la descarga de *plug-ins* para ampliar su funcionalidad. En cambio, en la *integración blanda* el componente se enlaza con la aplicación, generalmente a través de una macro o un *script* (guión), de forma que dicho componente se ejecute fuera de la propia aplicación. El sistema DARE [Bou00], el cual permite añadir nuevas funcionalidades mediante el enlazado de *applets*, es un buen ejemplo de maleabilidad por integración blanda.
- **La extensión.** En la extensión de una aplicación se añaden nuevas funcionalidades a la misma a través de la modificación de su implementación. El interés de esta forma de maleabilidad se debe al hecho de que permite la realización de cambios radicales en la aplicación que no fueron previstos por sus diseñadores. Además de tener en cuenta que las posibilidades de extensión de una aplicación dependen mucho del lenguaje escogido para su programación, es necesario hacer notar que la maleabilidad por extensión requiere que los usuarios tengan los suficientes conocimientos de programación como para poder añadir nuevo código a la aplicación de forma que ésta responda a sus necesidades. Éste es un requisito que difícilmente puede ser asumido en muchos dominios de aplicación.

2.6.3 El esfuerzo de comprensión en la maleabilidad

Los diferentes tipos de maleabilidad suponen distintos niveles de esfuerzo y dificultad tanto para el usuario de la aplicación como para el diseñador de la misma [Mor95]. Para expresar esto, Morch hace referencia al *esfuerzo de comprensión* que es necesario realizar para comprender el diseño de una aplicación. En las aplicaciones no maleables, el usuario no tiene ninguna necesidad de entender dicho diseño, puesto que se limitará a utilizar las funciones que la aplicación le ofrece. De este modo, todo el esfuerzo de comprensión es realizado por el

³ Nótese que en esta subsección el término “componente” se utiliza en un sentido genérico para denotar una pieza de código sin hacer referencia al paradigma que se pueda seguir en la implementación de dicho código (objetos, componentes, servicios, etc.)

diseñador de la aplicación durante el proceso de concepción de la misma. En las aplicaciones maleables, en cambio, el usuario se ve obligado a comprender total o parcialmente el diseño de la aplicación para poder adaptarla a sus necesidades. De este modo, tanto el usuario como el diseñador se verán obligados a realizar parte del esfuerzo de comprensión. La relación entre el esfuerzo que realiza cada uno de ellos en función del tipo de maleabilidad se muestra en la Figura 2.7.

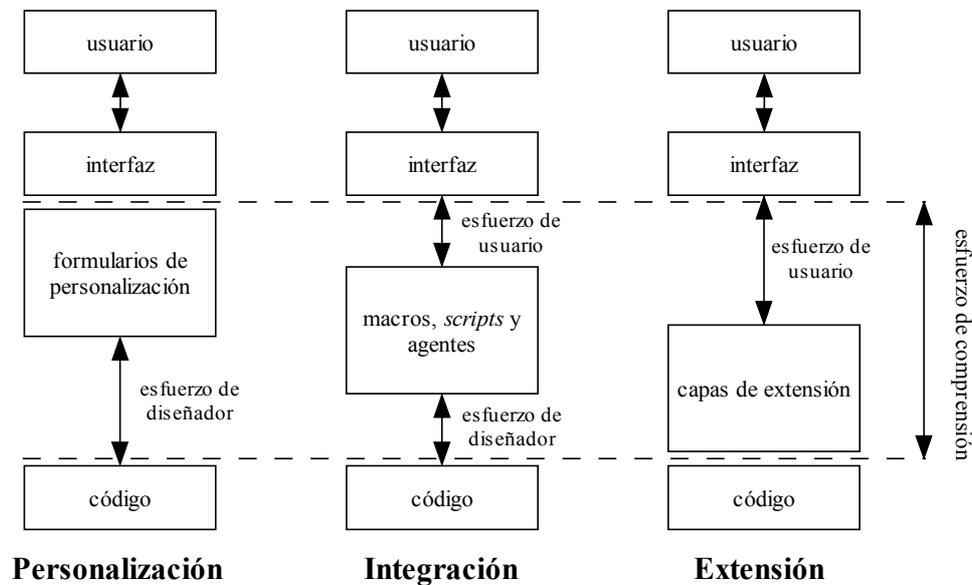


Figura 2.7: Relación entre el esfuerzo realizado por el usuario y el diseñador para salvar la distancia de diseño en los tres tipos de maleabilidad. Figura tomada y adaptada de [Mor95].

La personalización es el mecanismo de maleabilidad más simple dado que se limita a la especificación de algunas de las propiedades de la aplicación considerada. El esfuerzo que debe realizar el usuario, por tanto, se limita a la comprensión de dichas propiedades. De este modo, el diseñador debe hacer la mayor parte del esfuerzo para tener en cuenta las necesidades que pueda tener el usuario cuando utilice la aplicación.

La integración, en cambio, requiere un mayor esfuerzo por parte del usuario puesto que no solamente debe comprender la funcionalidad del componente que quiere añadir, sino también cómo va a interactuar ese componente con el resto de la aplicación. Además, el usuario debe tener los conocimientos suficientes como para hacer la integración, ya sea de tipo duro o blando. Así, en la maleabilidad por integración el usuario y el diseñador comparten el esfuerzo de comprensión.

Sin duda alguna, la mayor dificultad para el usuario se da en la maleabilidad por extensión. En este caso, el usuario debe comprender totalmente el diseño de la aplicación para así poder añadir nuevo código de acuerdo con sus necesidades. De este modo, debe ser él quien realice la mayor parte del esfuerzo de comprensión.

2.6.4 Tipos de maleabilidad adecuados para los sistemas de aprendizaje colaborativo

No todos los tipos de maleabilidad son adecuados para satisfacer la necesidad de versatilidad de los sistemas de aprendizaje colaborativo. Por ello, es necesario hacer un análisis teniendo cuenta dos aspectos de las distintas clases de maleabilidad que han sido expuestos en las subsecciones anteriores: la posibilidad de añadir nuevas herramientas y la dificultad que esta operación puede entrañar para el usuario de un sistema de aprendizaje colaborativo. La Tabla 2.1 resume estas características para cada uno de los tipos de maleabilidad.

	Personalización	Integración	Extensión
Posibilidad de añadir herramientas	No	Sí	Sí
Dificultad para el usuario	Baja	Media	Alta

Tabla 2.1: Resumen de características de los distintos tipos de maleabilidad.

En el caso de la personalización sólo es posible modificar la apariencia del sistema o configurar funcionalidades ya existentes. Este tipo de maleabilidad, por tanto, no permite añadir nuevas herramientas en un sistema de aprendizaje colaborativo. De este modo, la personalización debe ser desechada como opción a la hora de crear un sistema versátil.

En cambio, sí que es posible extender un sistema para añadir las funcionalidades correspondientes a nuevas herramientas. No obstante, este proceso requiere por parte del usuario, como ya se ha visto, un importante esfuerzo de comprensión del diseño de la aplicación así como conocimientos avanzados de programación. Dado que los usuarios de los sistemas de aprendizaje colaborativo son principalmente profesores y alumnos de los que no es posible esperar que dispongan de la formación técnica suficiente como para abordar la tarea de modificar el código de un sistema, el uso de la maleabilidad por extensión debe ser también descartado.

La maleabilidad por integración también permite añadir al sistema nuevas herramientas. Sin embargo, en este caso no es necesario que el usuario programe las herramientas, sino que éstas son proporcionadas por terceros como componentes. Lo que sí debe hacer el usuario es enlazar estos componentes con el resto del sistema. Para poder asegurar que un profesor o un alumno puede realizar esta tarea, es necesario que el propio sistema la facilite en la mayor medida posible. Para lograr esto en el caso de la integración dura se podría utilizar, por ejemplo, un sistema de “copiado y pegado” avanzado en el que el usuario se limitara a indicar al sistema la localización del fichero con el código de la nueva herramienta. En la integración blanda sería posible pensar en la utilización de *scripts* cuyo lenguaje fuera lo suficientemente sencillo como para que pudiera editarlo un usuario directamente. La integración de herramientas es, por tanto,

una opción viable para conseguir sistemas de aprendizaje colaborativo versátiles siempre y cuando dicha operación no entrañe un grado de dificultad tan alto como para que no pueda ser realizada por los propios usuarios del sistema.

A partir de este momento el término maleable se empleará para referirse a sistemas de aprendizaje colaborativo que permiten a sus usuarios la integración de herramientas. Este hecho no obsta para que dichos sistemas permitan, adicionalmente, la maleabilidad por personalización.

2.7 Limitaciones de los sistemas de aprendizaje colaborativo maleables

No son muchos los ejemplos de sistemas de aprendizaje colaborativo maleables que es posible encontrar en la literatura. Sin embargo, y a pesar de la ventaja que supone el hecho de que hagan posible la maleabilidad por integración, estos pocos sistemas tienen en común algunas limitaciones importantes.

2.7.1 Sistemas de aprendizaje colaborativo maleables en la literatura

DARE (*Distributed Activities in a Reflexive Environment* – Actividades Distribuidas en un Entorno Reflexivo) [Bou00] [Bou01] es un sistema de aprendizaje colaborativo maleable basado en la Teoría de la Actividad [Nar96]. DARE permite la creación de entornos para el apoyo de actividades de aprendizaje colaborativo. Dicho entorno se ofrece a través de una interfaz como la mostrada en la Figura 2.8, la cual incluye información acerca del nombre y el rol propios así como del resto de compañeros que colaboran en la actividad, el estado de los miembros del grupo (conectado o desconectado) y la lista de herramientas que es posible utilizar para la realización de la actividad.

El sistema DARE permite a los usuarios que están autorizados para ello incluir nuevas herramientas en los entornos de soporte de actividad. Con este propósito, DARE ha sido construido como un sistema abierto que hace posible la integración de herramientas externas que se ofrezcan en la forma de un *applet* de Java. La integración puede hacerse de forma “gruesa” o “fina”. En la integración “gruesa” el usuario debe simplemente proporcionar la URL (*Universal Resource Locator* – Localizador de Recurso Universal) del *applet* correspondiente para que a continuación el sistema establezca automáticamente un enlace con la nueva herramienta. La integración “fina” utiliza los mecanismos de introspección de los *applets* para obtener la lista de métodos ofrecidos por la herramienta. A partir de esa lista, el usuario puede crear nuevas funcionalidades de la herramienta definidas como secuencias de invocaciones de dichos métodos. Sin embargo, tal y como se reconoce en [Bou01], la integración “fina” reviste una complejidad tal que no puede ser realizada por educadores o estudiantes.



Figura 2.8: Interfaz correspondiente a un entorno de soporte de actividad en DARE. Figura tomada de [Bou01].

Symba [Bet03a] [Bet03b] es otro ejemplo de sistema de aprendizaje colaborativo maleable también basado en la Teoría de la Actividad. Symba permite a los propios alumnos describir un plan para cada actividad (denominadas “etapas” en este sistema) de una situación de aprendizaje colaborativo dada por el profesor. Dicho plan se define como la secuencia de tareas que los mismos alumnos realizarán más tarde en la actividad correspondiente. Para cada una de esas tareas, los estudiantes pueden especificar aspectos como su objetivo, la naturaleza individual o colaborativa de la misma, las fechas de inicio y final de tarea, las personas involucradas, las herramientas que se utilizarán como apoyo o los documentos que se deben utilizar y generar. La Figura 2.9 muestra un ejemplo de definición de una tarea en el sistema Symba. Una vez terminado el proceso de especificación de todas las tareas, los alumnos deben realizar las distintas actividades de aprendizaje de acuerdo con su propia planificación.

Durante la fase de especificación de un plan, los estudiantes sólo pueden elegir entre las herramientas disponibles en el sistema para apoyar una tarea. De este modo, es posible afirmar que Symba permite la maleabilidad por personalización. Adicionalmente, también es posible añadir nuevas herramientas al sistema. Sin embargo, para ello es imprescindible generar el código necesario para que el sistema pueda ofrecer la nueva herramienta a sus usuarios. Esto hace que, en principio, dicha operación quede fuera del alcance de los propios usuarios del sistema.

Etape : Proposition de points de vue

Tâche : Elaboration d'une critique

Objectif : L'objectif est de rédiger un document en 2 parties :
- critique (positive/négative) des cartes proposées par chacun des autres membres du groupe

Tâche individuelle Tâche collective

Acteur(s) : Tout le groupe

Outil(s) : Gestion de fichiers

Date de début : 31 Octobre

Date de fin : 5 Novembre

Ressource(s) : Concepts_Relations.doc

Production : Critique_FOAD.doc

Description de la tâche :

Chacun des acteurs (Tout le groupe) doit élaborer une critique à partir de Concepts_Relations.doc et le résultat sera mis dans le fichier Critique_FOAD.doc. L'outil prévu pour élaborer une critique est le Gestion de fichiers

Cliquez sur Valider pour enregistrer les caractéristiques de la tâche ? Valider

Figura 2.9: Definición de la tarea "Elaboración de un documento de crítica" en el sistema Symba. Figura tomada de [Bet03b].

Otro ejemplo de sistema de aprendizaje colaborativo que es posible encontrar en la literatura es CURE (*Collaborative Universal Remote Education – Educación Colaborativa Remota Universal*) [Haa03] [Haa04]. CURE es un sistema que permite a los alumnos navegar por una estructura de páginas *web* (denominadas “habitaciones”) de forma que en cada una de ellas pueden encontrar enlaces que apuntan a las herramientas que apoyan una actividad así como los documentos de contenido necesarios para la realización de la misma. De este modo, sería posible asignar una habitación para cada una de las actividades que comprende una situación de aprendizaje colaborativo. En la Figura 2.10 se muestra un ejemplo de la vista de una habitación para un usuario en el sistema CURE.

Las herramientas que pueden utilizar los usuarios de CURE son de dos tipos. Por un lado, herramientas que incluye el sistema para facilitar la comunicación entre los usuarios que se encuentran en el contexto de una misma habitación (ej. correo electrónico, *chat*). Por otro, herramientas añadidas por el educador de manera que estén disponibles para los usuarios en una habitación determinada. Para ello basta con que el educador cargue en el sistema el ejecutable correspondiente a la herramienta en cuestión de manera que, posteriormente, los usuarios pueden descargarlo para lanzarlo en su propia máquina. Esto hace que la tarea de añadir nuevas herramientas al sistema sea tan sencilla como subir el fichero correspondiente. Sin embargo, esto también impone limitaciones al tipo de herramientas que los usuarios pueden emplear en CURE.



Figura 2.10: Vista de una de las habitaciones de CURE para un usuario del sistema. Figura tomada de [Haa04].

2.7.2 Limitaciones de los sistemas encontrados en la literatura

Los sistemas de aprendizaje colaborativo maleables descritos en la subsección anterior tienen dos limitaciones importantes en común:

- **No permiten la integración de herramientas que requieran el uso de capacidades de supercomputación o el acceso a recursos de *hardware* específicos.** Ninguno de los sistemas define un contexto apropiado para la integración y ejecución de herramientas que necesiten utilizar cualquier tipo de recursos de carácter extraordinario para su funcionamiento. De este modo, y a pesar de su condición de maleables, dichos sistemas no pueden ser utilizados fácilmente a la hora de apoyar situaciones de aprendizaje colaborativo en las que sea necesario emplear este tipo de herramientas.
- **No ofrecen la posibilidad de guiado de los alumnos a través de las actividades que comprende una situación de aprendizaje colaborativo.** Ninguno de los sistemas permite la interpretación de guiones colaborativos. Este hecho supone renunciar al importante beneficio que, en términos de aumento de eficiencia del aprendizaje colaborativo, puede suponer el guiado de los participantes a través de la secuencia de actividades que deben realizar para alcanzar los objetivos definidos en una situación determinada.

2.8 Conclusiones

El aprendizaje colaborativo es un proceso en el que se produce la construcción de conocimiento nuevo a través de la interacción entre los miembros de un grupo. En muchas situaciones, esta aproximación pedagógica resulta más efectiva que otros tipos de aprendizaje como el individual o el competitivo. Sin embargo, también es cierto que su puesta en práctica puede resultar más complicada.

Antes de dicha puesta en práctica, es necesario diseñar cuidadosamente una situación de aprendizaje colaborativo. Una situación consiste en una secuencia de actividades de aprendizaje de naturaleza tanto individual como colaborativa cuya realización conduce a la consecución de determinados objetivos pedagógicos bien definidos. Las situaciones pueden ser descritas formalmente en un guión de aprendizaje colaborativo. En dicha descripción es necesario incluir información acerca de, entre otras cosas, cuáles son las fases de las que consta la situación, qué grupos deben formar los alumnos en cada fase, qué actividades deben hacer los miembros de cada grupo y cuál es la temporización tanto de las fases como de las actividades.

Los guiones colaborativos pueden emplearse como un medio para estructurar la colaboración y, de este modo, aumentar la eficiencia del aprendizaje colaborativo. Con este objetivo, los guiones proporcionan un contrato detallado y explícito al que han de adherirse tanto el grupo de alumnos como el profesor. El uso de guiones introduce, por tanto, un cierto nivel de coerción en la realización de situaciones de aprendizaje. Ejercer un cierto grado de coerción sobre los alumnos es imprescindible por razones de eficiencia. Sin embargo, es necesario asegurarse de que dicha coerción no es excesiva para evitar posibles problemas como la desmotivación del alumno. Por ello, es importante diseñar los guiones de aprendizaje colaborativo con el grado de coerción adecuado para cada situación.

La comunidad CSCL dedica importantes esfuerzos a la investigación de herramientas y sistemas de aprendizaje colaborativo. Entre estos dos tipos de aplicaciones existe una diferencia importante que tiene que ver con la granularidad de los procesos de colaboración que apoyan cada una de ellas. Así, mientras las herramientas tienen como objetivo apoyar la realización de una actividad de aprendizaje colaborativo concreta, los sistemas pretenden prestar apoyo en la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo. Para lograr dicho objetivo, los sistemas integran herramientas de tipo tanto colaborativo como no colaborativo para el apoyo de actividades de aprendizaje incluidas en las situaciones. Habitualmente éstas son herramientas para cuya ejecución se utilizan recursos convencionales. Sin embargo, existen numerosas situaciones de aprendizaje que solamente pueden ser apoyadas de manera efectiva mediante herramientas que necesitan recursos extraordinarios para su funcionamiento. Típicamente, se trata de

herramientas que hacen uso de capacidades de supercomputación o de recursos de *hardware* específicos.

El apoyo prestado por un sistema de aprendizaje colaborativo no debe reducirse a integrar las herramientas adecuadas para una situación dada. Además, el sistema debe facilitar a los alumnos el proceso de seguimiento de las instrucciones incluidas en el guión que describe dicha situación. Con este propósito, algunos sistemas proporcionan a los usuarios dichas instrucciones de forma explícita a través de la interfaz. Sin embargo, esta aproximación lleva en muchas ocasiones a que las instrucciones sean malinterpretadas o simplemente ignoradas por los alumnos. Una aproximación más eficiente consiste en que sea el propio sistema el encargado de guiar a los participantes de una situación a través de la secuencia de actividades que conduce a los objetivos pedagógicos deseados. Esta posibilidad de guiado automático implica que el sistema debe poder interpretar el guión colaborativo correspondiente para, de este modo, encargarse de tareas como la gestión de fases, grupos, roles, actividades y herramientas que involucra la realización de una situación.

Una característica muy deseable en los sistemas de aprendizaje colaborativo es la maleabilidad. Los sistemas maleables son aquellos que permiten a sus usuarios añadir nuevas herramientas de forma que sea posible utilizar el mismo sistema para prestar apoyo a nuevas situaciones de aprendizaje colaborativo. Para que esta operación pueda ser realizada por educadores y estudiantes es necesario evitar en la medida de lo posible que dicho proceso requiera conocimientos o habilidades técnicas elevadas. De acuerdo con esto, la maleabilidad en los sistemas de aprendizaje colaborativo debe llevarse a cabo por integración. La maleabilidad por integración permite a los usuarios enlazar el sistema con herramientas ya programadas por terceros.

Desafortunadamente, no son muchos los sistemas de aprendizaje colaborativo maleables que se pueden encontrar en la literatura. Además, en éstos es posible distinguir dos limitaciones importantes. Por un lado, no permiten la integración de herramientas que hagan uso de capacidades de supercomputación o accedan a recursos de *hardware* específicos. Por otro, no ofrecen la posibilidad de guiar a los alumnos a través de las secuencias de actividades incluidas en un guión. Ambas limitaciones son abordadas en profundidad en los capítulos siguientes.

Capítulo 3

El grid para la integración de herramientas en un sistema de aprendizaje colaborativo

Uno de los problemas de los sistemas de aprendizaje colaborativo maleables que fue detectado en el capítulo 2 se refiere al hecho de que éstos no permiten la integración de herramientas que hagan uso de capacidades de supercomputación o de recursos de *hardware* específicos. En este capítulo se estudia la posibilidad de abordar dicha limitación empleando para ello el grid computacional basado en servicios. De este modo, en la sección 3.2 se define el concepto de grid computacional teniendo en cuenta la importante evolución que el mismo ha sufrido durante la última década. La sección 3.3 introduce la compartición de recursos como problema principal abordado por la computación grid. Esta comparación es posible gracias a la arquitectura de capas del grid, la cual se presenta en la sección 3.4. En la actualidad, dicha arquitectura suele ser implementada utilizando el modelo de arquitectura orientada a servicios. Por este motivo, en la sección 3.5 se presentan los conceptos básicos del mismo mientras que en la sección 3.6 se introduce su aplicación en el contexto del grid computacional. La sección 3.7, en cambio, propone y discute el uso del grid basado en servicios para la integración de herramientas de apoyo al aprendizaje en el contexto de un sistema de aprendizaje colaborativo maleable sin que dicho apoyo se vea limitado por las eventuales necesidades de uso de capacidades de supercomputación o de acceso a recursos de *hardware* específicos. Finalmente, la sección 3.8 discute algunos de los trabajos más relevantes relacionados con esta propuesta que es posible encontrar en la literatura.

El estudio del concepto de grid, junto con la propuesta de una nueva definición del mismo, es una contribución original de esta tesis que ha sido publicada en [Bot03a] [Bot04a]. También lo es la propuesta y discusión del uso del grid basado en servicios para la integración de herramientas en un sistema de aprendizaje colaborativo maleable, recogidos en [Bot04e] [Vaq05].

3.1 Introducción

Tal y como se ha visto en el capítulo anterior, el apoyo efectivo de determinadas situaciones de aprendizaje colaborativo implica en algunas ocasiones la necesidad de utilizar herramientas que emplean recursos no convencionales de los que no se dispone habitualmente en el contexto de ejecución de un sistema de aprendizaje. Éste es el caso de las herramientas que hacen uso de capacidades de supercomputación o que acceden a recursos de *hardware* específicos.

Precisamente este problema de acceso a recursos no convencionales es una de las principales cuestiones abordadas por la computación grid (*grid computing* – computación en

mall) [Fos98c] [Ber03] [Fos04b]. La computación grid es un paradigma computacional que promueve la compartición de todo tipo de recursos de *software* y *hardware* entre múltiples organizaciones administrativas [Fos01]. El entorno que proporciona la infraestructura adecuada para que se produzca dicha compartición de recursos de acuerdo con este paradigma se denomina grid computacional (*computational grid* – malla computacional).

Las aplicaciones que se ejecutan en un entorno de computación grid, además de poder utilizar los recursos de la organización a la que pertenecen, pueden hacer uso de los recursos ofrecidos por el resto de organizaciones. Dichos recursos pueden ser utilizados por las aplicaciones con cualquier propósito. De esta manera, las aplicaciones pueden utilizar los ordenadores compartidos por varias organizaciones para agregar la capacidad computacional de los mismos con el objetivo de abordar cualquier problema que necesite el uso de capacidades de supercomputación. Igualmente, las aplicaciones pueden acceder a recursos de *hardware* específicos pertenecientes a otras organizaciones. Estas ideas sugieren el hecho de que el grid computacional puede ser un entorno de ejecución adecuado para herramientas que van a ser utilizadas en el contexto de un sistema de aprendizaje colaborativo. De este modo, las herramientas no se verían limitadas en cuanto al uso de recursos no convencionales en aquellas ocasiones en que éstos son necesarios.

3.2 El concepto de grid

La computación grid es un paradigma que se halla en constante evolución desde su nacimiento. Así, el grid fue inicialmente concebido como una infraestructura que permitiría el uso agregado de recursos computacionales con el objetivo de poder abordar grandes problemas de supercomputación. Sin embargo, en la actualidad el grid es una infraestructura que tiene como objetivo facilitar la posibilidad de que múltiples organizaciones administrativas puedan compartir todo tipo de recursos de *software* y *hardware* [Fos01]. De esta manera, el uso de capacidades de supercomputación ahora representa sólo uno de los múltiples usos que es posible dar a los recursos que el grid pone a disposición de las aplicaciones [DeR03].

3.2.1 La evolución del grid

El origen del grid computacional puede situarse a principios de la década de los 90 [DeR03], momento en el que diversos proyectos de investigación desplegaron bancos de pruebas (*testbeds*) como CASA [Lys92] que interconectaban supercomputadores geográficamente distribuidos. Estos bancos de pruebas eran sistemas homogéneos que contenían un solo tipo de recurso (supercomputadores) compartidos por distintas organizaciones con el objetivo de facilitar el tratamiento de grandes problemas científicos y de ingeniería cuya

demanda computacional no podía ser cubierta empleando supercomputadores de forma individual.

Curiosamente, el término grid no existía en aquella época. En su lugar se utilizaban otros términos como *metasistema* y *metaordenador* para hacer referencia a los “recursos computacionales disponibles de manera transparente para el usuario a través de un entorno de red” [Sma92] con los que contaban los bancos de pruebas. El término grid no empezó a utilizarse hasta 1997 para resaltar la analogía existente entre el grid computacional y la red de distribución eléctrica [Ste97]: al igual que un usuario de la red eléctrica consume electricidad sin que éste sepa ni dónde ni cómo se genera, el grid pretendía proporcionar a sus usuarios la posibilidad de uso de recursos computacionales sin que éstos debieran preocuparse acerca de dónde se encuentran o cómo acceder a ellos.

La evolución del concepto de grid computacional pronto dejó atrás esta idea de homogeneidad de los recursos albergados por el grid. De este modo, el grid pasó a ser una infraestructura heterogénea formada no sólo por supercomputadores, sino por todo tipo de recursos de *hardware* y *software* que pueden ser desde sensores, instrumentos científicos, dispositivos de visualización, agendas digitales, ordenadores y supercomputadores hasta datos, ficheros y componentes *software* [Fos97]. Además, el grid comenzó a utilizarse para dar soporte no sólo a las aplicaciones de supercomputación para las cuales fue concebido originalmente, sino también para aplicaciones de computación de alto rendimiento, aplicaciones de computación bajo demanda, aplicaciones de computación intensiva de datos, y aplicaciones de computación colaborativa [Fos98a]. Desafortunadamente, las carencias de la tecnología disponibles a finales de los 90 para la construcción de infraestructuras grid impedían el aprovechamiento real en otro tipo de aplicaciones de los recursos, en especial los de carácter no computacional, compartidos por las distintas organizaciones [Fos04a].

El proceso de evolución del grid en la actualidad se centra precisamente en este último aspecto. Concretamente, se están haciendo importantes esfuerzos en el desarrollo de nuevas tecnologías para la construcción de infraestructuras grid basadas en la aplicación del modelo de computación orientada a servicios [Fos02a]. De esta manera se pretende, entre otras cosas, reducir la dificultad que entraña la búsqueda de recursos compartidos en un grid así como facilitar la integración de todo tipo de recursos de forma que las aplicaciones puedan aprovechar al máximo la naturaleza heterogénea del grid [Fos04c]. La comunidad investigadora del grid prevé que estos nuevos avances supondrán un fuerte impulso que sacará el uso del grid del ámbito estrictamente científico para extenderlo a otros campos como el empresarial [Fos02a] o el educativo [Fox03] [Sma04].

3.2.2 Evolución del concepto de grid

El proceso de maduración de la computación grid descrito en la subsección anterior se ha visto reflejado, lógicamente, en la evolución de las distintas definiciones que se han dado del concepto de grid computacional a lo largo de los años. Este hecho puede apreciarse claramente en la Tabla 3.1. En ella se muestra un total de diez definiciones del grid computacional tomadas de algunas de las fuentes más importantes de la literatura que abarcan las distintas etapas del proceso de maduración del mismo. Además, se identifican un total de diez características del grid computacional que aparecen de forma explícita o implícita en dos o más de las definiciones consideradas.

En dicha tabla es posible comprobar cómo, a medida que ha evolucionado el concepto de grid, las definiciones han tendido a incluir un mayor número de características. Tanto es así, que las tres definiciones más recientes recogen, en conjunto, todas las características. Dichas características se describen a continuación:

- **Gran escala:** un grid debe ser capaz de manejar desde sólo unos pocos recursos hasta varios millones.
- **Distribución geográfica:** los recursos de un grid pueden encontrarse en lugares muy distantes entre sí.
- **Heterogeneidad:** un grid alberga tanto recursos de *software* como *hardware* que pueden ser muy variados y comprender desde datos, archivos, componentes *software* o programas, a sensores, instrumentos científicos, dispositivos de visualización, ordenadores, superordenadores y redes.
- **Compartición de recursos:** los recursos de un grid pueden pertenecer a muchas organizaciones que permiten a los usuarios de otras organizaciones utilizarlos.
- **Múltiples administraciones:** cada organización puede establecer distintas políticas de seguridad y administración de acuerdo con las cuales es posible acceder a sus recursos y utilizarlos.
- **Coordinación de recursos:** los recursos de un grid deben poder coordinarse para ofrecer funcionalidades agregadas.
- **Acceso transparente:** el usuario debe poder acceder a los recursos sin que éste tenga necesidad de conocer detalles acerca de su ubicación, implantación o implementación.
- **Acceso de calidad:** la provisión de servicios en un grid debe llevarse a cabo de acuerdo con ciertos requisitos de calidad de servicio.

	Gran escala	Distribución geográfica	Heterogeneidad	Compartición de recursos	Múltiples administraciones	Coordinación de recursos	Acceso transparente	Acceso de calidad	Acceso consistente	Acceso garantizado
"The computing resources transparently available to the user via this networked environment have been called a metacomputer" [Sma92]							E			
"A metasystem is a system composed of heterogeneous hosts (both parallel processors and conventional architectures), possibly controlled by separate organizational entities, and connected by an irregular interconnection network" [Gri94]			E	I	E					
"Metasystem is a wide-area environment in which users operate transparently, consisting in workstations, PCs, graphics-rendering engines, supercomputers and nontraditional computing devices such as televisions" [Gri97]		E	I				E			
"Networked virtual supercomputers, or metacomputers, are execution environments in which high-speed networks are used to connect supercomputers, databases, scientific instruments, and advanced display devices, perhaps located at geographically distributed sites" [Fos97]		E	I							
"The National Computational Science Alliance calls its prototype infrastructure the National Technology Grid, a name derived from the notion of the electrical power grid that transformed the U.S., and indeed the world, during the past century" [Ste97]										
"Computational grids are large-scale high-performance distributed computing environments that provide dependable, consistent, and pervasive access to high-end computational resources" [Fos98b]	E							E	E	E
"A computational grid is a hardware and software infrastructure that provides dependable, consistent, pervasive, and inexpensive access to high-end computational capabilities" [Ber98]								E	E	E
"The real and specific problem that underlies the Grid concept is coordinated resource sharing and problem solving in dynamic, multi-institutional virtual organizations" [Fos01]				E		E				E
"A distributed network computing (NC) system is a virtual computer formed by a networked set of heterogeneous machines that agree to share their local resources with each other. A Grid is a very large scale, generalized distributed NC system that can scale to Internet-size environments with machines distributed across multiple organizations and administrative domains" [Kra02]	E	I	E	E	E		I			
"Grid technologies and infrastructures support the sharing and coordinated use of diverse resources in dynamic, distributed virtual organizations - that is, the creation, from geographically distributed components operated by distinct organizations with differing policies, of virtual computing systems that are sufficiently integrated to deliver the desired QoS" [Fos02a]		E	E	E	E	E	I	E		E
"A Grid is a system that coordinates resources that are not subject to a centralized control using standard, open, general-purpose protocols and interfaces to deliver nontrivial qualities of service" [Gri02]					E	E		E	E	

Tabla 3.1: Revisión de las características más importantes de la computación grid encontradas de forma explícita (E) o implícita (I) en diez definiciones extraídas de algunas de las fuentes más importantes de la literatura grid. Las definiciones se muestran por orden cronológico. La definición que acuñó el término de grid se muestra destacada en negrita.

- **Acceso consistente:** un grid debe ser construido con servicios, protocolos e interfaces estándares para, de este modo, ocultar la heterogeneidad de los recursos a la vez que permitir la escalabilidad del grid.
- **Acceso garantizado:** un grid computacional debe garantizar el acceso a los recursos disponibles. Esto no significa que los recursos deban estar disponibles siempre y en todas partes, sino que el grid debe ser capaz de adaptarse a un entorno en el cual los fallos no serán la excepción, sino la regla, con el objetivo de obtener el máximo rendimiento de los recursos disponibles.

3.2.3 Definición de grid

Una de las consecuencias derivadas del proceso de evolución de la computación grid es que la comunidad investigadora no ha logrado acordar una definición única que permita establecer de manera precisa qué es un grid computacional. Este problema, que ya ha sido detectado en la literatura [Fos01] [Fos02b] [Gri02] [Nem03] [Bot04a], podría ser abordado empleando la lista de características antes descritas. En este sentido, y teniendo en cuenta que todas estas características se encuentran recogidas en las definiciones más recientes, parece adecuado construir una definición que incluya la totalidad de las mismas. De esta manera, es posible obtener la siguiente nueva definición del concepto de grid [Bot04a]:

El grid es una infraestructura de hardware y software de gran escala y geográficamente distribuida compuesta por recursos heterogéneos interconectados que son compartidos por múltiples organizaciones administrativas y coordinados para proporcionar soporte transparente, de calidad, consistente y garantizado a un amplio abanico de aplicaciones.

3.3 El grid para la compartición de recursos

El problema real y específico que aborda la computación grid no es otro que la compartición de recursos entre múltiples organizaciones de manera que éstos puedan ser empleados de forma coordinada con cualquier propósito [Fos01]. Esta compartición se lleva a cabo en un entorno controlado en el que los proveedores definen claramente qué es lo que se comparte, con quién se comparte y bajo qué condiciones se comparte. Al conjunto de organizaciones y/o usuarios que comparten recursos entre ellos de acuerdo con determinadas normas preestablecidas y bien definidas se le denomina organización virtual (*virtual organization*) [Fos04a]. El entorno controlado en el que se da dicha compartición es el grid computacional.

De este modo, es posible afirmar que el grid es una infraestructura concebida para hacer posible dicha compartición de recursos así como el uso de los mismos por parte de las

aplicaciones. Las características del grid vistas en la sección anterior así lo confirman. En este sentido, es posible apreciar cómo la gran escala de la infraestructura y su amplia distribución geográfica combinadas con la naturaleza heterogénea permite a las aplicaciones de diferentes dominios disponer de una amplia variedad de recursos de *hardware* y *software* que pueden ser utilizados para abordar todo tipo de problemas. El hecho de que sea posible acceder a estos recursos de manera transparente y de acuerdo a ciertos niveles de calidad junto con la garantía de disponibilidad de dichos recursos facilita el uso integrado de los mismos por parte de las aplicaciones.

3.3.1 Compartición de recursos de computación

El grid es una infraestructura que tradicionalmente ha sido empleada para permitir la compartición de recursos computacionales. Dada su gran escala, el grid facilita a las aplicaciones la posibilidad de disponer de un elevado número de recursos computacionales que pueden ser empleados de manera agregada para abordar problemas de supercomputación [Fos98a]. Para ello, las aplicaciones descomponen el trabajo que debe ser realizado en un gran número de pequeñas tareas independientes o ligeramente desacopladas. Estas tareas son procesadas en paralelo en los recursos computacionales del grid consiguiendo así reducir significativamente el tiempo de finalización del trabajo global.

En la literatura es posible encontrar numerosos ejemplos [Mes98] [DeF98] [Lev04] en los que las aplicaciones emplean los recursos computacionales compartidos en el grid para abordar problemas de supercomputación. Uno de ellos es e-Diamond [Bra03], un proyecto que tiene como principal objetivo mejorar la fiabilidad de los diagnósticos basados en mamografías. Este proyecto ha puesto en marcha un grid en el que varios centros médicos británicos comparten, principalmente, recursos de almacenamiento y de computación. Los recursos de almacenamiento son empleados para disponer de una amplia base de datos de mamografías. Los recursos computacionales, en cambio, se emplean para comparar la mamografía sometida a estudio con un número muy elevado de mamografías que presenten patrones similares. De esta manera, los centros médicos pueden disponer de diagnósticos contrastados de las mamografías en un corto plazo de tiempo.

3.3.2 Compartición de recursos de *hardware* específicos

En el grid también es posible compartir recursos de *hardware* específicos, siendo éstos dispositivos u ordenadores con características muy concretas. De este modo, las aplicaciones pueden emplear el grid para acceder a este tipo de recursos en aquellas ocasiones en las que no pueden disponer de ellos de forma local por motivos logísticos, económicos, de peligrosidad, o de cualquier otra índole.

Al igual que en el caso de la supercomputación, también es posible encontrar en la literatura ejemplos [Joh98] [Man03] en los que las aplicaciones usan el grid para acceder a recursos de *hardware* de los que no disponen localmente. Uno de los más representativos es el que se da en el contexto de NEES (*Network for Earthquake Engineering Simulation* – Red para la Simulación de la Ingeniería Sísmica) [Kes04]. NEES es un proyecto de investigación que tiene como meta principal avanzar en el estudio de la ingeniería sísmica así como encontrar métodos que permitan reducir el riesgo que los terremotos representan para la vida y la propiedad. Para lograr estos objetivos es imprescindible utilizar una serie de equipos *hardware* de simulación sísmica muy específicos. El precio y el volumen de estos equipos hacen que no todos los investigadores tengan acceso a ellos de forma local. Por este motivo, el proyecto NEES ha creado un grid que permite el acceso a distintos equipos *hardware* de simulación sísmica compartidos.

3.3.3 Compartición de aplicaciones

Además de recursos computacionales y recursos de *hardware* específicos, las organizaciones también pueden utilizar el grid para compartir aplicaciones [GGF04]. De esta manera, las funcionalidades ofrecidas por estas aplicaciones pueden ser aprovechadas tanto por usuarios como por otras aplicaciones en el contexto del grid computacional.

El empleo del grid para la compartición de aplicaciones no está tan extendido como en el caso de los recursos de computación o los recursos de *hardware* específicos. Sin embargo, también es posible encontrar ejemplos de este uso del grid en la literatura. Éste es el caso de la plataforma GRASP (*Grid-based Application Service Provisioning* – Aprovechamiento de Servicios de Aplicación basado en el Grid) [Dim03b], concebida para facilitar el acceso de los usuarios a todo tipo de aplicaciones desarrolladas y compartidas por terceros en un contexto en el que se concede especial importancia a aspectos como la seguridad, la calidad de servicio y la coordinación entre aplicaciones [Dim04a].

3.3.4 La computación grid en relación con la computación p2p

La computación p2p (*peer-to-peer* – de igual a igual) [Ora01] es otro paradigma que, al igual que la computación grid, promueve la compartición de recursos. Sin embargo, existen algunas diferencias importantes entre ambas aproximaciones:

- La compartición en entornos p2p se lleva a cabo con un grado de descentralización mayor que en el caso del grid computacional [Crow04]. Esto permite una mayor escalabilidad en el caso de los entornos p2p.
- Los entornos p2p suelen emplearse para la compartición de recursos homogéneos [Crow04]. En cambio, como se ha visto anteriormente, el grid facilita la compartición de recursos

heterogéneos. De este modo, las aplicaciones habitualmente disponen de recursos más variados en el caso del grid computacional.

- Los proveedores de un entorno p2p suelen compartir sus recursos de manera intermitente mientras que en el caso del grid la compartición se hace de manera más continua [Crow04]. De acuerdo con esto, es posible afirmar que en general la disponibilidad de los recursos en el grid es mayor en comparación con los entornos p2p.
- El grid computacional, tal y como se verá más adelante, incluye una serie de servicios sofisticados que no suelen estar presentes en los entornos p2p [Hef04]. El hecho de que estos servicios estén disponibles facilita el desarrollo de aplicaciones en el contexto grid.
- El grid concede una mayor importancia que p2p a las políticas de seguridad de compartición de recursos, con lo que el nivel de confianza que se establece entre los usuarios y los proveedores de un grid es mayor que en el caso de p2p [Hef04]. De este modo, el grid consigue disminuir las reticencias de los proveedores a la hora de compartir sus recursos con otras organizaciones.

A pesar de estas diferencias, en la actualidad es posible percibir cierta convergencia en algunos aspectos de ambos paradigmas. Así, por ejemplo, [Crow04] afirma que mientras que los investigadores de p2p consideran el interés de facilitar la compartición de recursos heterogéneos, los investigadores de grid intentan aumentar el grado de descentralización de dicha infraestructura.

3.3.5 El papel del grid en la arquitectura de los sistemas computacionales

El papel del grid como infraestructura que permite el acceso a un amplio repositorio de recursos compartidos también puede ser situado en el contexto de la arquitectura de los sistemas computacionales de acuerdo con [Ros04]. Dicha arquitectura, mostrada en la Figura 3.1, está formada por el conjunto de capas que se describen a continuación [Ros04]:

- La **capa de plataforma** proporciona todo el *hardware* empleado en el sistema de computación. Este *hardware*, de naturaleza heterogénea, puede incluir elementos como ordenadores, asistentes personales digitales (PDA – *Personal Digital Assistant*), teléfonos, sensores, equipamiento, relojes, robots, satélites, coches, etc.
- La **capa de red** se encarga de conectar las múltiples plataformas que pueden ofrecer recursos en un sistema de computación.
- La **capa de grid** convierte las redes de plataformas en un conjunto de repositorios de recursos compartidos. De este modo, el grid se encarga de facilitar el acceso a los recursos

del sistema de forma transparente e independiente de las posibles barreras geográficas y organizacionales.

- En la **capa de entorno** se organizan los recursos de acuerdo con distintos dominios de interés que pueden ser expresados en diferentes términos como la disciplina en que son usados típicamente, su funcionalidad, etc. Para ello se modela el conocimiento referente a los recursos disponibles en relación con los dominios considerados.
- La **capa de interfaz** permite el acceso a los recursos del sistema a la vez que facilita la interacción con los mismos.
- La **capa de organización** se encarga de prestar el apoyo adecuado a los grupos de personas que colaboran en la consecución de un objetivo bien definido a través del sistema.



Figura 3.1: Arquitectura de capas de los sistemas computacionales. Figura adaptada de [Ros04].

3.4 La arquitectura del grid

La arquitectura del grid puede ser vista como un conjunto de capas apiladas sobre los recursos compartidos por las organizaciones que facilitan el uso de los mismos a las aplicaciones. De esta manera, cada una de las capas se apoya en las funcionalidades ofrecidas por la capa inmediatamente inferior.

3.4.1 Capas de la arquitectura del grid

Tal y como se muestra en la Figura 3.2, en la arquitectura del grid computacional es posible distinguir cinco capas diferentes. Éstas son las siguientes:

- La **capa de recursos** representa los recursos heterogéneos y geográficamente distribuidos que son compartidos por las múltiples organizaciones que forman parte de un grid. Estos recursos podrían ser, por ejemplo, ordenadores, dispositivos de almacenamiento, dispositivos electrónicos o aplicaciones.

- La **capa de servicios⁴ locales** se encarga de esconder la heterogeneidad de los recursos de la capa inferior de modo que las capas superiores puedan acceder a ellos de forma transparente. Es por este motivo que los recursos deben ser ofrecidos a través de interfaces bien definidas que permitan acceder a ellos de manera uniforme.
- La **capa de servicios básicos** proporciona numerosos servicios utilizados habitualmente por una gran parte de las aplicaciones grid. Para ello, los servicios básicos hacen uso de los servicios locales. A continuación se muestran algunos ejemplos de estos servicios básicos [Fos04a]:
 - Los servicios de información permiten averiguar la existencia de recursos que se ajusten a unas características determinadas.
 - Los servicios de seguridad se encargan de verificar la identidad de los usuarios y de los recursos.
 - Los servicios de intermediación negocian en nombre de la aplicación el acceso a un recurso de acuerdo con unas determinadas condiciones.
 - Los servicios de monitorización se encargan de mantener información acerca del estado de los recursos.
 - Los servicios de contabilidad facilitan la posibilidad de gestionar pagos correspondientes al uso de recursos.
- La **capa de servicios específicos** ofrece servicios desarrollados de forma específica para determinados dominios de aplicación. Los servicios específicos utilizan a su vez tanto los servicios básicos como los servicios locales. Algunos ejemplos de este tipo de servicios son los siguientes [Fos04a]:
 - Los servicios de planificación (*scheduling services*) empleados habitualmente por las aplicaciones con necesidades de supercomputación para determinar cuál es el reparto de carga computacional que debe hacerse entre los recursos disponibles de acuerdo con los objetivos de la aplicación (típicamente minimizar el tiempo de finalización de los cálculos).

⁴ Nótese que el término “servicio” se utiliza en esta sección para referirse a las funcionalidades que cada capa de la arquitectura ofrece a las capas superiores, independientemente de la tecnología con la que éstas sean implementadas. De esta manera, no deberá ser confundido con el uso de dicho término en esta subsección con el que se hará en el contexto del modelo de computación orientada a servicios.

- Los servicios de réplica de datos (*data replication services*) permiten a las aplicaciones de tratamiento masivo de datos maximizar el rendimiento del acceso a los datos de acuerdo a métricas como el tiempo de respuesta, la fiabilidad y el coste.
- Los servicios de laboratorio (*collaboratory services*) facilitan a las aplicaciones colaborativas la posibilidad de transmitir información entre múltiples usuarios de manera tanto síncrona como asíncrona.
- La **capa de aplicaciones** hace referencia a todas aquellas aplicaciones que operan en el grid, utilizando para ello los servicios ofrecidos por las capas inferiores.

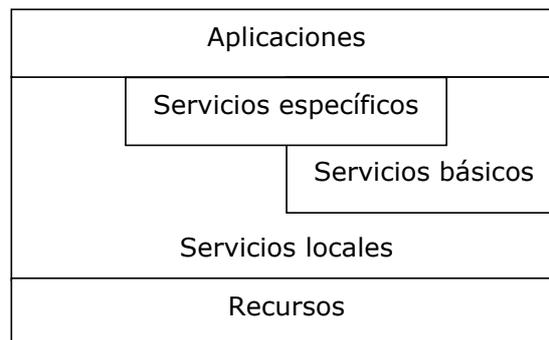


Figura 3.2: Arquitectura del grid computacional.

3.4.2 Implementación de la arquitectura del grid

La realización del concepto de computación grid para facilitar la compartición de recursos entre múltiples organizaciones implica la necesidad de implementar las distintas capas de la arquitectura del grid que ha sido vista anteriormente. Durante buena parte de la década de los 90 esta tarea se llevaba a cabo partiendo de cero cada vez que se desplegaba una nueva infraestructura grid [Fos04a].

Una vez superada la primera mitad de los 90 surgieron los primeros paquetes de herramientas (*toolkits*) que incluían implementaciones de parte de dicha arquitectura de acuerdo con la visión que se tenía del grid en el momento: la compartición de recursos computacionales. Con ello se lograba reducir el enorme esfuerzo que suponía hasta el momento la puesta en marcha de un grid. Algunos ejemplos de aquellos primeros paquetes son Globus Toolkit 2 (GT2) [Fos97], Legion [Gri97] y Condor-G [Fre01].

En la actualidad existen otros paquetes con los que se facilita el despliegue de infraestructuras grid que, de acuerdo al concepto actual, permiten la compartición de todo tipo de recursos de *hardware* y *software*. Este es el caso, por ejemplo, de Globus Toolkit 3 (GT3) [Glo04a], Globus Toolkit 4 (GT4) [Glo05], IBM Grid Toolbox v3 [IBM04], OGSI.NET [Was04] y WSRF.NET [Hum05]. Estos paquetes proporcionan una implementación de parte de

la arquitectura grid basándose en el modelo de arquitectura orientada a servicios. Dicho modelo se estudia a continuación.

3.5 La arquitectura orientada a servicios

La arquitectura orientada a servicios (SOA – *Service Oriented Architecture*) [Pap03a] [Pap03b] es un nuevo paradigma de diseño, desarrollo y ejecución de aplicaciones distribuidas que utiliza los servicios como elemento básico para la composición de dichas aplicaciones.

3.5.1 Definición de servicio

Un servicio es un elemento de *software* instalado, configurado, ejecutado y mantenido por una organización proveedora que ofrece su funcionalidad a los potenciales usuarios del servicio [Szy03]. Los servicios de distintos proveedores pueden ser fácilmente utilizados de forma integrada por otros proveedores para, a su vez, ofrecer nuevos servicios denominados servicios compuestos. Esta posibilidad se deriva del conjunto de características que distinguen a los servicios:

- **Descripción propia** [Pap03a]. Los servicios cuentan con una descripción propia que puede incluir:
 - La descripción de la funcionalidad ofrecida por el servicio, para lo cual es posible emplear, por ejemplo, un conjunto de términos que hayan sido previamente definidos en una taxonomía adecuada.
 - La descripción de la interfaz del servicio, en la que es posible encontrar la signatura de las operaciones que éste ofrece, incluyendo información acerca de los tipos de datos de entrada y salida de las mismas así como de las posibles excepciones.
 - La descripción de la calidad de un servicio en función de multitud de parámetros funcionales y no funcionales relacionados con el coste, el rendimiento, la seguridad, la disponibilidad, etc.
- **Independencia de lenguaje y plataforma** [Pap03a]. La descripción de la interfaz de un servicio es independiente tanto del lenguaje como de la plataforma empleados para su desarrollo.
- **Bajo grado de acoplamiento** [Vin02b]. La funcionalidad ofrecida por un servicio típicamente se encuentra desacoplada de la funcionalidad de otros servicios.
- **Granularidad gruesa** [Vin02a] [Chu03]. Los servicios son elementos de *software* que habitualmente ofrecen funcionalidades complejas.

3.5.2 Tipos de servicios

De acuerdo con [OAS03], es posible distinguir los siguientes dos tipos de servicios:

- Los **servicios orientados a datos**, cuyo uso es el más extendido, son servicios en los que la organización proveedora no ofrece la lógica de presentación del mismo. Este tipo de servicios está concebido principalmente para ser integrados con otros servicios y, en ocasiones, para interactuar de manera sencilla con el usuario. Sin embargo, para que esto sea posible, en muchas ocasiones es necesario que sea el propio usuario o una organización intermediaria la que desarrolle el cliente que permita dicha interacción.
- Los **servicios orientados a presentación** son aquellos en los que el proveedor proporciona, además del propio servicio, un cliente en el que se incluye la lógica de presentación del mismo. Estos servicios, además de poder ser integrados con otros servicios, ya sean éstos orientados a datos u orientados a presentación, generalmente están pensados para permitir interacciones de mayor complejidad con el usuario.

3.5.3 Modelo básico de interacciones en la arquitectura orientada a servicios

Además del concepto de servicio, la arquitectura orientada a servicios define también un modelo básico de interacciones que facilita al cliente la posibilidad de entrar en contacto con los servicios que ofrecen una funcionalidad adecuada para sus necesidades. Dicho modelo, el cual se resume de forma gráfica en la Figura 3.3, define las siguientes interacciones:

- Los proveedores se ponen en contacto con un servicio de directorio o registro en el que publican la descripción de los servicios que ofrecen.
- Posteriormente, estos directorios son consultados por clientes en busca de servicios adecuados a sus necesidades.
- Una vez localizado un servicio, el cliente puede utilizar la descripción de su interfaz para saber cómo debe comunicarse con el servicio y así poder interactuar con él.

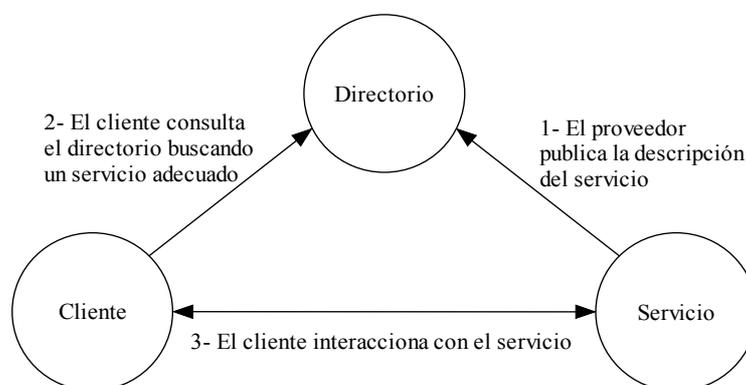


Figura 3.3: Modelo básico de interacciones en la arquitectura orientada a servicios.

3.5.4 Relación con la ingeniería de *software* basada en componentes

La ingeniería de *software* basada en componentes (CBSE – *Component Based Software Engineering*) [Hei01] representa, al igual que la arquitectura orientada a servicios, un paradigma de diseño, desarrollo y ejecución de aplicaciones distribuidas. En el caso la CBSE, la unidad básica para la composición de aplicaciones se denomina componente. Las principales diferencias que es posible apreciar entre los servicios y los componentes son las siguientes:

- Los servicios son elementos de *software* de granularidad más gruesa que la de los componentes [Vin02a] [Chu03] [Szy03].
- A diferencia de las implementaciones existentes del modelo de servicios, las implementaciones del modelo de componentes tienen un punto débil en la comunicación a través de Internet [Chu03]. Esto hace que los componentes suelen emplearse para integrar aplicaciones distribuidas en un ámbito más reducido (ej. en la *intranet* de una empresa) que en el caso de los servicios.
- La arquitectura orientada a servicios establece que debe ser el proveedor el que se encargue de instalar, configurar y ejecutar el servicio [Szy03] [Zha04]. De esta forma se facilita la posibilidad de que una organización ajena al proveedor pueda utilizar la funcionalidad de los servicios sin tener que preocuparse de estas tareas. En el modelo de componentes, en cambio, dichas tareas deben ser realizadas por parte de la organización que va a hacer uso de los componentes

De acuerdo con esto, es posible decir que servicios y componentes no compiten directamente en el diseño de aplicaciones distribuidas. Más bien al contrario, ambas pueden ser consideradas como aproximaciones complementarias. De esta manera, cabe la posibilidad de utilizar componentes a la hora de integrar un servicio [Kri04].

3.5.5 Los servicios web

Un servicio web [Cur02] [Chu03] es una implementación concreta, y sin lugar a dudas también la más extendida, del concepto de servicio definido por la arquitectura orientada a servicios. Los servicios web se caracterizan por ser identificables de forma unívoca mediante un URI (*Uniform Resource Identifier* – Identificador de Recurso Uniforme), así como por utilizar estándares abiertos de formatos de datos y protocolos empleados habitualmente en la Internet.

De este modo, la interacción con los servicios web típicamente se lleva a cabo utilizando mensajes SOAP (*Simple Object Access Protocol* – Protocolo Simple de Acceso a Objetos) [W3C03] que pueden ser transportados por protocolos típicos de Internet como HTTP (*Hypertext Transfer Protocol* – Protocolo de Transferencia de Hipertexto). Los mensajes SOAP tienen una estructura muy simple: constan de un elemento XML (*Extensible Markup Language*

– Lenguaje Extensible de Etiquetado) con dos elementos hijo, uno que contiene la cabecera y otro que contiene el cuerpo del mensaje. Los contenidos de la cabecera y del cuerpo son arbitrarios, aunque deben ser estructurados utilizando XML. La estructura de los mensajes SOAP se muestra en la Figura 3.4.

```
<SOAP:Envelope xmlns:SOAP="http://schemas.xmlsoap.org/soap/envelope/">
  <SOAP:Header>
    <!-- contenido de la cabecera del mensaje -->
  </SOAP:Header>
  <SOAP:Body>
    <!-- contenido del cuerpo del mensaje-->
  </SOAP:Body>
</SOAP:Envelope>
```

Figura 3.4: Estructura de un mensaje SOAP.

La descripción de servicios web se lleva a cabo utilizando WSDL (*Web Service Definition Language* – Lenguaje de Definición de Servicios Web) [W3C01]. Dicha descripción se hace en dos partes: una parte abstracta en la que se define el servicio a nivel de aplicación, y una parte concreta que especifica los detalles dependientes de protocolo que el cliente debe seguir para poder acceder al servicio. Esta separación en la descripción del servicio facilita la reutilización de la parte abstracta cuando se va a ofrecer un mismo servicio en el que los detalles del protocolo con el que se va acceder al mismo son distintos.

En la parte abstracta de la descripción se definen los mensajes que pueden ser intercambiados en términos de los tipos de datos que éstos contienen. Además, se definen las operaciones soportadas por el servicio especificando los tipos de mensaje de entrada y de salida de cada una de ellas. Estas operaciones se agrupan en interfaces denominadas *portTypes* en la terminología de WSDL. La Figura 3.5 muestra un ejemplo de uso de WSDL para declarar una interfaz que contiene una única operación con la que es posible hacer la suma de dos números enteros.

```
<message name="entradaSuma">
  <part name="sumando1" type="xsd:int"/>
  <part name="sumando2" type="xsd:int"/>
</message>

<message name="salidaSuma">
  <part name="resultado" type="xsd:int"/>
</message>

<portType name="SumaServicePortType">
  <operation name="Suma">
    <input message="tns:entradaSuma"/>
    <output message="tns:salidaSuma"/>
  </operation>
</portType>
```

Figura 3.5: Ejemplo de uso de WSDL para la declaración de la parte abstracta de la interfaz de un servicio.

En la parte concreta de la descripción se especifica qué protocolo de comunicación se va a usar (ej. SOAP sobre HTTP), cómo se van a codificar los mensajes intercambiados y cuál es la

dirección en la que se puede acceder al servicio. La Figura 3.6 muestra cómo es posible utilizar WSDL para declarar la parte concreta del servicio de suma utilizado como ejemplo.

```
<binding name="SumaServiceSoapBinding" type="tns:SumaServicePortType">
  <soap:binding transport="http://schemas.xmlsoap.org/soap/http"/>
  <operation name="Suma">
    <soap:operationstyle="rpc"
      soapAction="http://gsic.tel.uva.es/ejemplos/suma"/>
    <input>
      <soap:body use="encoded"
        namespace="http://gsic.tel.uva.es/ejemplos/suma"
        encodingstyle="http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding"/>
    </input>
    <output>
      <soap:body use="encoded"
        namespace="http://gsic.tel.uva.es/ejemplos/suma"
        encodingstyle="http://schemas.xmlsoap.org/soap/encoding"/>
    </output>
  </operation>
</binding>

<service name="sumaservice">
  <port name="sumaServicePort"
    binding="tns:SumaServiceSoapBinding">
    <soap:address location="http://gsic.tel.uva.es/sumaservice"/>
  </port>
</service>
```

Figura 3.6: Ejemplo de uso de WSDL para la declaración de la parte concreta de la interfaz de un servicio.

Otra especificación importante en el contexto de los servicios grid es UDDI (*Universal Description, Discovery and Integration* – Descripción, Descubrimiento e Integración Universales) [OAS04b]. UDDI define distintos aspectos del funcionamiento de los directorios en los que los proveedores pueden registrar los servicios web que ofrecen incluyendo una descripción de los mismos con el objetivo de que los clientes puedan encontrarlos en caso de que dichos servicios se ajusten a sus necesidades. También son especificaciones habitualmente empleadas en el contexto de los servicios web BPEL4WS (*Business Process Language for Web Services* – Lenguaje de Procesos de Negocio para Servicios Web) [BEA03] y WSFL (*Web Services Flow Language* – Lenguaje de Flujo para los Servicios Web) [IBM01]. Ambos son lenguajes empleados para la composición de servicios. La especificación WSRP (*Web Services for Remote Portlets* – Servicios Web para *Portlets* Remotos) [OAS03], en cambio, define cómo los proveedores de servicios orientados a presentación deben distribuir los clientes de sus servicios y cómo dichos clientes pueden ser instalados y utilizados en el contexto de un sistema distinto al del proveedor.

3.6 El grid basado en servicios

El modelo SOA se considera en la actualidad el más adecuado para la implementación de la arquitectura grid [Fos02a]. En los grids basados en servicios, las funcionalidades correspondientes a las capas de servicios locales, servicios básicos y servicios avanzados, deben

ser ofrecidas como servicios de acuerdo con la definición del modelo SOA. Una de las principales implicaciones de este hecho es que todos los recursos compartidos por las organizaciones que forman parte del grid deben ser expuestos como servicios.

3.6.1 Motivación de la adopción del modelo SOA

Actualmente se considera que SOA es el modelo más adecuado para la implementación de la arquitectura grid porque simplifica diversos aspectos de la manipulación y gestión de recursos en un contexto grid. Concretamente, estos aspectos son los siguientes [Fos04a]:

- **Virtualización de recursos.** Los recursos de un grid expuestos como servicios ofrecen una descripción de interfaz independiente del mismo que permiten aislar al usuario de detalles sobre su implementación o localización independientemente de que se trate de recursos de *software* o *hardware*.
- **Descubrimiento de recursos.** El modelo SOA facilita la búsqueda de recursos mediante la creación de registros que contienen información acerca de los recursos disponibles, los cuales pueden ser consultados por los usuarios con el objetivo de encontrar aquellos recursos que sean adecuados a sus necesidades.
- **Agregación de recursos.** El hecho de que los recursos dispongan de una interfaz bien definida facilita el uso agregado de los mismos puesto que el cliente sólo necesita conocer cuál es la interfaz de los servicios para poder invocarla.

3.6.2 OGSA

La Arquitectura Abierta de Servicios Grid (OGSA – *Open Grid Service Architecture*) [Fos02a] [Fos03] [Fos04c] es un marco conceptual desarrollado por el GGF (*Global Grid Forum* – Foro Global de Grid) [GGF00] que define el uso de los servicios en el contexto del grid computacional. Para ello, este marco introduce la noción de servicio grid como elemento que permite a los proveedores ofrecer todo tipo de recursos compartidos a través de una interfaz independiente de la implementación de los mismos.

Un servicio grid se define como un servicio web que proporciona un conjunto de interfaces bien definidas, y que se ajusta a unas determinadas convenciones [Tal02]. De esta manera, OGSA establece que los servicios grid deben disponer de interfaces adecuadas para atender a las siguientes cuestiones [Fos03]:

- **Creación dinámica de los servicios.** A diferencia de los servicios web, que son servicios persistentes, OGSA también permite la creación y destrucción de forma dinámica de servicios. Así, un servicio grid puede ser considerado como un servicio potencialmente transitorio. Para ello OGSA introduce la utilización del patrón factoría [Mon03] en el

contexto de los servicios grid. Una factoría es un servicio grid al que se le puede solicitar la creación de un nuevo ejemplar de un servicio grid transitorio dado.

- **Gestión del ciclo de vida de los servicios.** La introducción del concepto de servicio transitorio trae consigo el problema de la gestión del ciclo de vida de los servicios. De acuerdo con OGSA, la duración de la vida de un servicio debe ser negociada con la factoría del servicio en el momento de su creación. Posteriormente, el cliente puede solicitar una extensión de la duración de vida a la propia instancia del servicio.
- **Datos de servicio y descubrimiento de servicios.** Los servicios grid, al contrario que los servicios web, pueden tener estado. Dicho estado se mantiene en los denominados *datos de servicio* que, a su vez, son mantenidos por la propia instancia del servicio grid. Estos datos pueden ser incluidos en los directorios de servicios grid para facilitar el descubrimiento de servicios en función de su estado.
- **Notificación.** OGSA establece un mecanismo de notificaciones entre los proveedores y los clientes de un servicio que permite la comunicación de forma asíncrona de los cambios que se produzcan en el estado de dicho servicio.

Además, OGSA dispone que los servicios grid deben ajustarse a determinadas convenciones referidas a los siguientes dos aspectos [Fos03]:

- **Nombrado de servicios.** El hecho de que los servicios puedan tener estado y puedan ser creados y destruidos dinámicamente genera la necesidad de distinguir a unas instancias de otras. Para ello, a cada instancia de servicio grid debe asignársele una URI única que la distinga de cualquier otra instancia que haya existido, exista o pueda existir en el futuro. A dicho localizador se le denomina GSH (*Grid Service Handle* – Manejador de Servicio Grid).
- **Actualización de servicios.** OGSA permite que los servicios grid puedan ser actualizados durante la vida de los mismos para, por ejemplo, añadir la posibilidad de uso de nuevos protocolos. Por ello se define un elemento llamado GSR (*Grid Service Reference* – Referencia de Servicio Grid) que mantiene, entre otras cosas, información de la versión del servicio y del enlazado (*binding*) de protocolos. De este modo, la GSR de un servicio cambia cuando éste es actualizado, invalidando las GSRs anteriores.

3.6.3 OGSi y WSRF

OGSA es un marco conceptual que define la noción de servicio grid, pero no es una especificación técnica de los servicios grid. OGSi (*Open Grid Services Infrastructure* – Infraestructura Abierta de Servicios Grid) [GGF03] es la primera especificación de este tipo, la cual fue impulsada por el GGF. La versión 1.0 de OGSi, liberada en julio de 2003, define una

serie de interfaces con las que es posible implementar servicios grid de acuerdo con las características descritas en la subsección anterior. Para que esto sea factible, OGSi utiliza una extensión de la versión 1.1 de la especificación WSDL a la que se denomina GWSDL (Grid-WSDL).

Sin embargo, es necesario mencionar que la especificación de OGSi ha sido duramente criticada por los miembros tanto de la comunidad grid como de la comunidad de servicios web. Algunos de los motivos principales de estas críticas son los siguientes [Cza05]:

- OGSi extiende el estándar de los servicios web en una sola especificación. Dicha especificación tiene un tamaño considerable que dificulta su uso a aquellos que sólo están interesados en una parte de la misma.
- OGSi modela los recursos con estado como un servicio web que encapsula dicho estado. Se considera que este aspecto es propio de los modelos orientados a objeto y no de los modelos orientados a servicios.
- OGSi utiliza posibilidades de los esquemas XML que no son soportadas por las herramientas de servicios web. Esto supone que los desarrolladores de servicios grid se ven privados de la posibilidad de beneficiarse de las facilidades de desarrollo que ofrecen dichas herramientas.

Este hecho ha motivado que, en enero de 2004, se anunciara el comienzo de los trabajos encaminados a la elaboración de un conjunto de 6 nuevas especificaciones denominado WSRF (*Web Services Resource Framework* – Marco de Recursos basado en Servicios Web) [Glo04b] que pretende abordar los problemas detectados en OGSi. Los borradores de estas especificaciones fueron enviados a OASIS (*Organization for the Advancement of Structured Information Standards* – Organización para el Avance de los Estándares de Información Estructurada) [OAS04a] en marzo de 2004 con el objetivo de lograr su aprobación como estándares por parte de dicha organización.

WSRF se presenta como una evolución de OGSi que pretende mantener la compatibilidad, en la medida de lo posible, entre los servicios grid y los servicios web. Sin embargo, es importante subrayar que la introducción de WSRF no supone el abandono del OGSA, sino más bien todo lo contrario. De este modo, el objetivo de WSRF no es otro que volver a abordar la especificación del concepto de servicio grid definido por OGSA aunque, esta vez, desde un punto de vista conciliador con respecto a los estándares de servicios web.

3.6.4 Globus Toolkit 3 y Globus Toolkit 4

Globus Toolkit 3 (GT3) [Glo04a] es el paquete de herramientas considerado como el estándar *de facto* para la implementación de la arquitectura del grid orientado a servicios de

acuerdo con la especificación OGSi [Fos02a]. GT3 proporciona una serie de componentes que facilita la implementación de la capa de servicios locales del grid de acuerdo la arquitectura detallada en la Figura 3.7. Este conjunto de componentes, al que se denomina núcleo GT3 (*GT3 core*) consta de los siguientes elementos [Glo04a]:

- Un **contenedor de servicios grid** que controla el ciclo de vida de los servicios, la creación de nuevos ejemplares, el acceso a bases de datos, etc. Este contenedor extiende y encapsula interfaces usadas en los motores de servicios web (*web service engine*) estándares, por lo que ambos deben ser ubicados en un entorno de alojamiento (*hosting environment*) que implemente las funcionalidades típicas de un servidor web. En el contenedor es posible alojar tanto servicios desarrollados por las organizaciones para compartir un recurso como alguno de los servicios básicos proporcionados por GT3.
- Una **implementación de referencia de las interfaces** especificadas por OGSi. Esta implementación tiene como objetivo facilitar el desarrollo de nuevos servicios grid.
- Una **infraestructura de seguridad** que ofrece funcionalidades como protección de mensajes SOAP, autenticación y autorización basadas en el uso de credenciales X.509 [Hou99].
- Un conjunto de **servicios de nivel de sistema** que facilitan la administración del contenedor de servicios grid. Así, estos servicios ofrecen funciones para monitorizar el estado y la carga del contenedor de servicios o para desactivarlo.

GT3 también proporciona implementaciones de una serie de servicios básicos que pueden ser extendidos para crear nuevos servicios. Algunos de estos servicios básicos son los siguientes [Glo04a]:

- El **servicio de gestión de tarea** (*Managed Job Service*) permite el envío, monitorización y finalización de tareas realizadas en un recurso computacional remoto.
- El **servicio de indexación** (*Index Service*) permite a los proveedores registrar sus servicios junto con una descripción de los mismos con el objetivo de facilitar su descubrimiento de por parte de los usuarios. El servicio de indexación es, por tanto, un registro similar al UDDI utilizado en el contexto de servicios web que ofrece algunas características adicionales como la posibilidad de actualización de la información de estado de los servicios grid de manera dinámica.
- El **servicio de transferencia fiable de ficheros** (*Reliable File Transfer service*) permite hacer transferencias de ficheros de manera segura empleando un protocolo basado en FTP que permite, por ejemplo, reanudar las transferencias interrumpidas.

Desde abril de 2005 también está disponible la primera versión estable del paquete de herramientas Globus Toolkit 4 (GT4). Este paquete ofrece un conjunto de componentes y servicios básicos similares a los incluidos en GT3 que pretende ajustarse a la especificación WSRF. Sin embargo, es necesario mencionar que, dado que la especificación WSRF aún no está completa, esta versión inicial de GT4 se basa en los borradores disponibles de la misma. Este es el motivo por el que numerosos desarrolladores continúan trabajando con GT3, el cual sigue disfrutando del soporte prestado por la *Globus Alliance*, a la espera de disponer un paquete de herramientas que se ajuste a la especificación final de WSRF.

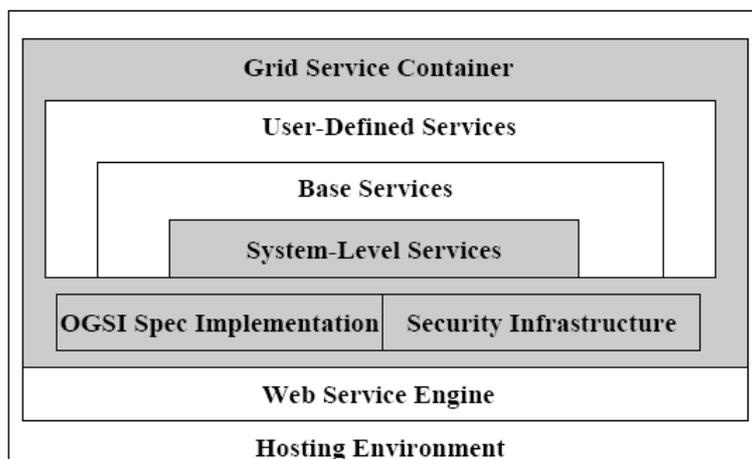


Figura 3.7: Arquitectura de la implementación de la capa de servicios locales empleando GT3. Los elementos proporcionados por GT3 se resaltan en color gris. Figura tomada de [Glo04a].

3.7 El grid para la integración de herramientas en un sistema de aprendizaje colaborativo

En las secciones anteriores se ha mostrado que el grid es una infraestructura que permite y fomenta la compartición de recursos heterogéneos entre múltiples organizaciones, incluyendo recursos computacionales, *hardware* específico y aplicaciones. También se ha visto que el modelo de servicios ha sido adoptado recientemente como referencia para la implementación de la arquitectura del grid computacional. De esta manera, se facilita tanto a los usuarios como a las aplicaciones la posibilidad de acceder a dichos recursos compartidos, siempre y cuando cuenten con los permisos adecuados, para utilizarlos con cualquier propósito.

En esta sección se propone y se discute el uso de los recursos compartidos del grid para apoyar la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo en el contexto de un sistema maleable sin que dicho apoyo se vea limitado por las eventuales necesidades de uso de capacidades de supercomputación o de acceso a recursos de *hardware* específicos. Esta aproximación será empleada en el capítulo 5 de la tesis como base para la propuesta de un nuevo sistema de aprendizaje colaborativo maleable.

3.7.1 Uso del grid en un sistema de aprendizaje colaborativo maleable

En un grid computacional, distintas organizaciones proveedoras podrían ofrecer todo tipo de herramientas potencialmente útiles a la hora de apoyar la realización de diferentes actividades de aprendizaje tanto de tipo colaborativo como individual. Estas organizaciones podrían ser, por ejemplo, instituciones educativas dispuestas a compartir sus propios recursos a cambio de poder acceder a los de los demás. También podrían ser empresas que ofrecen herramientas de apoyo al aprendizaje a las instituciones educativas a cambio de una determinada compensación económica.

De acuerdo con el marco conceptual definido por OGSA, dichas herramientas deberían ser expuestas como servicios grid. Además, estos servicios podrían ser registrados en los directorios habitualmente disponibles en el grid computacional. De esta manera se facilitaría su localización a aquellos educadores que necesitaran encontrar nuevas herramientas para dar apoyo a una situación de aprendizaje colaborativo dada.

Estas herramientas deberían ser desarrolladas por los propios proveedores o, de forma alternativa, integradas total o parcialmente a partir de servicios grid ofrecidos por otros proveedores. En particular, las herramientas podrían hacer uso de manera agregada de los recursos computacionales disponibles en el grid para abordar problemas de supercomputación. Igualmente, podrían acceder a aquellos recursos de *hardware* compartidos en el grid de los que el proveedor no disponga de forma local. Esto no implica, sin embargo, que las herramientas ofrecidas por los proveedores se reducirían a aquellas que hacen uso de recursos extraordinarios compartidos por terceros. En cambio, esto significa que el grid ofrecería todo tipo de herramientas de apoyo al aprendizaje que, en aquellas situaciones en que sea necesario, no serían limitadas en cuanto al uso de dichos recursos.

Teniendo en cuenta que la interacción con el usuario será, en la mayor parte de las ocasiones, un aspecto muy importante de las herramientas de apoyo al aprendizaje, los proveedores de dichas herramientas deberían proporcionar no sólo la implementación de la lógica de aplicación de las mismas de acuerdo con la especificación OGSI, sino también el cliente del servicio con la implementación de la lógica de presentación del mismo. Éstos podrían ser ofrecidos por los proveedores de acuerdo con especificaciones como WSRP, ya mencionada, o JNLP (*Java Network Launching Protocol* – Protocolo de Lanzamiento de Java en Red) [Sun01a]. Dichas especificaciones ya han sido utilizadas en diversas propuestas que es posible encontrar en la literatura [Pel03] [Sin04] [Bre04] [Gae05] para la distribución de clientes de servicios grid así como para su instalación y uso en el contexto de una máquina distinta a la del proveedor.

De este modo, las herramientas ofrecidas como servicios grid podrían ser fácilmente empleadas en el contexto de un sistema de aprendizaje colaborativo. Para ello bastaría con que el sistema ofreciera los distintos clientes que permiten a los usuarios utilizar las herramientas ofrecidas por los proveedores como servicios orientados a presentación. En el caso concreto de los sistemas maleables, los educadores deberían poder añadir al sistema nuevos clientes de servicio para así permitir el uso de nuevas herramientas en la realización de una situación de aprendizaje dada.

La Figura 3.8 ilustra de manera esquemática las ideas presentadas en esta subsección.

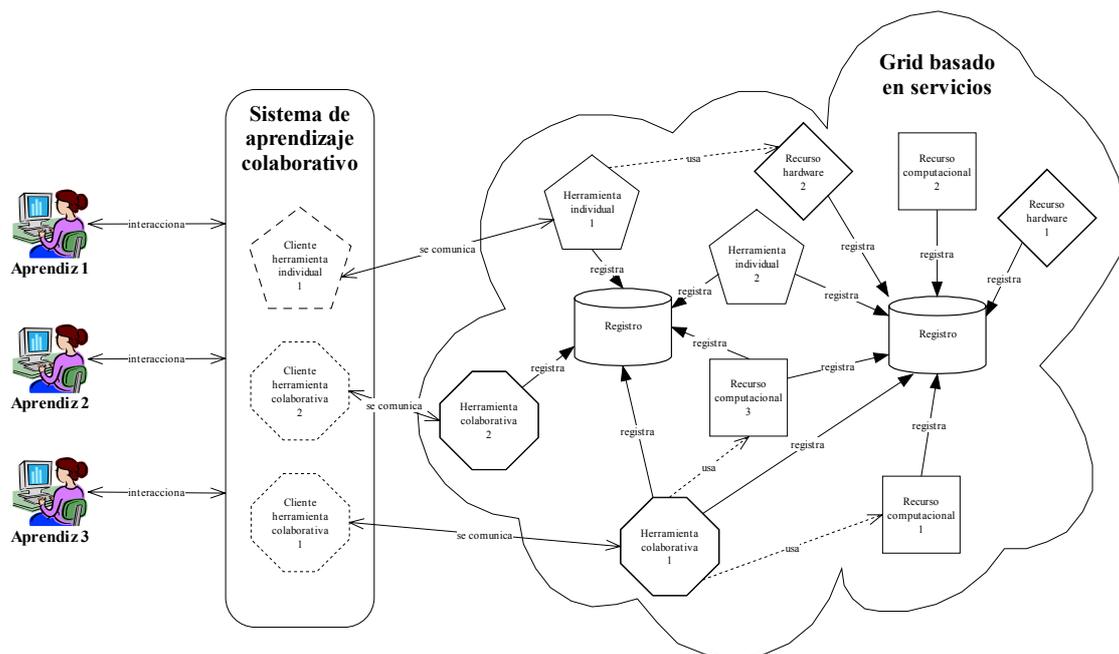


Figura 3.8: Representación esquemática del uso del grid en el contexto de un sistema de aprendizaje colaborativo maleable.

3.7.2 Discusión

La aproximación para la integración de herramientas en un sistema de aprendizaje colaborativo planteada en la subsección anterior propone ofrecer a los usuarios la posibilidad de acceder en el contexto del mismo a clientes que interactúan con servicios que son ejecutados fuera del propio sistema. Esta aproximación se ajusta al modelo de maleabilidad por integración blanda que fue introducido en el capítulo 2.

Una de las principales ventajas de dicha propuesta es que permite abordar las limitaciones de uso de capacidades de supercomputación y acceso a recursos de *hardware* específicos de los sistemas de aprendizaje colaborativo maleables. En este sentido, el grid facilitaría a las herramientas la posibilidad de emplear los recursos computacionales y de *hardware*

compartidos por otros proveedores que sean necesarios para el apoyo de aquellas actividades de aprendizaje que los requieran.

Además, dadas las características de gran escala y distribución geográfica del grid junto con la posibilidad de que en él participen múltiples organizaciones, el grid permitiría disponer de una amplia y variada oferta de herramientas para dar apoyo a la realización de numerosas actividades de aprendizaje diferentes. Esto, a su vez, se traduciría en la posibilidad de que los educadores pudieran integrar dichas herramientas en un sistema maleable para dar apoyo a un amplio abanico de situaciones de aprendizaje colaborativo.

La integración de herramientas expuestas como servicios grid permitiría abordar una de las principales dificultades de la integración de sistemas de aprendizaje colaborativo. Dicha dificultad se refiere al hecho de que la falta de interfaces estándares claramente definidos hace incompatibles elementos desarrollados con tecnologías distintas [Bou01]. En este sentido, ya se ha visto que OGSA, de acuerdo con el modelo SOA, promueve el uso de interfaces estándares que permitiría ofrecer cualquier herramienta como un servicio grid independientemente de la tecnología con la que se haya desarrollado o de la plataforma con la que se ofrezca el servicio. De esta manera, la maleabilidad basada en servicios grid facilitaría la integración de herramientas desarrolladas con distinta tecnología en un mismo sistema de aprendizaje colaborativo.

La tecnificación es otro problema que sufren los sistemas de aprendizaje en general. Dicho problema se refiere a la dificultad que educadores y estudiantes encuentran a la hora de utilizar estas aplicaciones por no contar con una serie de conocimientos y habilidades de tipo técnico [Spe01]. Esta dificultad se manifiesta, por ejemplo, en el momento del despliegue y puesta en marcha de una herramienta que será utilizada para apoyar una actividad de aprendizaje dada. Salvo en el caso de que la herramienta a desplegar sea realmente simple, esta tarea no puede ser realizada por un educador sin los conocimientos técnicos adecuados. De acuerdo con el modelo SOA, las tareas de despliegue, puesta en marcha, actualización y mantenimiento de un servicio deben ser realizadas por el proveedor del mismo. De esta manera, la integración de herramientas expuestas como servicios grid evitaría que el educador se viera obligado a realizar todas estas tareas para poder utilizar una nueva herramienta de apoyo al aprendizaje en el contexto de un sistema maleable.

La integración de herramientas basadas en servicios grid también serviría para fomentar la reutilización del *software* educativo. De acuerdo con [Ros99], un elemento fundamental para lograr este objetivo es que los elementos de *software* empleados en la construcción de aplicaciones educativas sean fácilmente comprensibles para los educadores. En el caso considerado en esta sección, los elementos utilizados para la construcción de aplicaciones son

servicios que ofrecen herramientas de apoyo al aprendizaje. De este modo, los servicios representan conceptos de alto nivel que pueden ser entendidos por los educadores con facilidad.

Es importante destacar el hecho de que esta reutilización de elementos de *software* de alto nivel hecha por los educadores sería, además, compatible con la reutilización por parte de los proveedores de otros elementos de bajo nivel que puedan ser integrados para formar las herramientas que después son compartidas en el grid. Estos elementos podrían ser no sólo servicios compartidos por otras organizaciones que ofrezcan funcionalidades de granularidad más fina que las herramientas, sino también componentes de *software* que implementen parte de la funcionalidad de la herramienta [Bot03b] [Bot03c] [Bot04c]. Esto haría posible, por ejemplo, la reutilización de los numerosos componentes de *software* que la comunidad CSCL ha diseñado y desarrollado con el objetivo de facilitar la integración de nuevas herramientas de aprendizaje colaborativo [Dim03c].

3.8 Trabajos relacionados

En la literatura es posible encontrar diversas propuestas relacionadas con el uso del grid basado en servicios en el contexto de los sistemas de aprendizaje colaborativo, tal y como se ha introducido en la sección anterior. Algunas de las más interesantes se presentan a continuación.

3.8.1 Uso del grid en un contexto educativo

La educación se considera que será una de las aplicaciones más importantes del grid en un futuro cercano [Fox03] [Sma04]. En este sentido, es imprescindible mencionar el importante esfuerzo investigador que se está llevando a cabo en EleGi (*European Learning Grid Infrastructure* – Infraestructura Grid Europea para el Aprendizaje) [ELe04], el cual es un proyecto financiado por el 6º Programa Marco de la Unión Europea que tiene como objetivo desarrollar nuevas tecnologías basadas en el grid para aumentar la efectividad del aprendizaje. Las primeras propuestas desarrolladas en el contexto de EleGi sugieren, al igual que se hace en este capítulo, la adecuación del grid computacional para permitir que las aplicaciones de apoyo al aprendizaje puedan hacer uso de capacidades de supercomputación o el acceso a recursos de *hardware* específicos. Este es el caso de los sistemas de aprendizaje Gimolus e Isilab respectivamente.

Gimolus [Wes02] es un sistema basado en grid para la enseñanza de ciencias medioambientales. Este sistema mantiene una amplia base de datos correspondientes a las características y la geometría de terrenos reales a la vez que permite a los estudiantes seleccionar distintos modelos parametrizables de representación del terreno para estudiar, por ejemplo, la erosión del suelo. El cálculo de la imagen correspondiente al terreno seleccionado y los parámetros definidos en este sistema es una tarea computacionalmente muy costosa. Dado

que Gimolus es un sistema interactivo, es imprescindible que éste haga uso de capacidades de supercomputación con el objetivo de poder mostrar al alumno las imágenes generadas en el menor tiempo posible. Para ello, en [Wes02] se propone como solución el uso agregado de los recursos computacionales de un grid.

Isilab [Bag03], en cambio, es un laboratorio remoto para la enseñanza de electrónica que incluye un generador de señales, un osciloscopio analógico, un osciloscopio digital, y una tabla de conexiones en la que se montan los circuitos que deben ser probados por los alumnos. Toda esta instrumentación se encuentra conectada a un servidor de laboratorio al que pueden acceder de manera remota los alumnos para realizar sus prácticas. En la actualidad Isilab está implementado utilizando protocolos e interfaces propietarias. Sin embargo, en [Bag03] se propone una implementación de Isilab basada en el grid en la que el sistema permitiría el acceso a todo tipo de dispositivos electrónicos compartidos en el grid como servicios expuestos a través de una interfaz estándar. La viabilidad de esta propuesta fue comprobada en [Bag05], donde se presenta la implementación de un servicio grid que permite el control remoto de un osciloscopio.

Es necesario resaltar el hecho de que estos dos sistemas, además de no permitir la colaboración, no presentan dos de las características buscadas en esta tesis para los sistemas de aprendizaje colaborativo. Por un lado, se trata de sistemas que no permiten al docente integrar nuevas herramientas para el apoyo de las actividades. Por otro, no se ofrece la posibilidad de guiado de los estudiantes a través de la interpretación de un guión de actividades.

En el caso concreto del uso del grid en un contexto de aprendizaje colaborativo es posible mencionar algunas de las aportaciones hechas en el seno del proyecto CRAC (Compartición de Recursos para Aprendizaje Colaborativo) [PCR02] en el cual se enmarca esta tesis. CRAC es un proyecto de investigación financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología español entre cuyos objetivos se encuentra el estudio de las características del grid que pueden ser aprovechadas por las aplicaciones de aprendizaje colaborativo, así como la propuesta y desarrollo del *middleware* que permita el despliegue de dichas aplicaciones en una infraestructura grid.

Una de las contribuciones más relevantes desarrolladas en el contexto de este proyecto es Ulabgrid [Ard04b]. Al igual que esta tesis, en dicho trabajo se considera que el grid es una infraestructura adecuada para la ejecución de aplicaciones de aprendizaje colaborativo que necesitan hacer uso de capacidades de supercomputación. Por ello, Ulabgrid propone un nuevo marco arquitectónico con el objetivo de facilitar el diseño y despliegue de aplicaciones de aprendizaje colaborativo en un grid de manera que los estudiantes de grado puedan hacer prácticas de laboratorio de manera remota empleando los recursos computacionales compartidos

del grid. Esta arquitectura ha sido ya empleada para desplegar un prototipo de simulador de vuelo colaborativo. De esta manera, se trata de un marco que no aborda la cuestión de la integración de herramientas en el contexto de los sistemas de aprendizaje colaborativo maleables.

Otro buen ejemplo de sistema de aprendizaje colaborativo basado en el grid, aunque en esta ocasión fuera del contexto del proyecto CRAC, es el laboratorio de aprendizaje QuarkNet [Bar05]. QuarkNet es un sistema que permite a sus usuarios conocer la naturaleza de los rayos cósmicos de acuerdo con la metodología de aprendizaje basada en proyectos llevados a cabo de manera colaborativa. Para que esto sea posible, Quarknet hace uso tanto de recursos de *hardware* específicos como de recursos de supercomputación. Los recursos de *hardware* específicos son sensores de rayos cósmicos instalados en diferentes institutos de los Estados Unidos que obtienen información acerca del momento y el lugar de llegada de los rayos cósmicos. El procesado de estos datos para estudiar distintos aspectos de los rayos cósmicos se lleva a cabo empleando recursos de supercomputación. Sin embargo, al igual que en el caso de los ejemplos anteriores, el laboratorio de aprendizaje QuarkNet no es un sistema maleable y no permite la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo de manera guiada.

3.8.2 Uso de servicios en un contexto educativo

También es posible encontrar en la literatura algunas propuestas de uso del modelo SOA para la integración de sistemas de aprendizaje. Dos de los trabajos más interesantes en este sentido se pueden encontrar en [Xu03] [Fri04]. Coincidiendo con las ideas de esta tesis, en dichos trabajos se defiende el uso del modelo SOA para la integración de aplicaciones en los sistemas de apoyo al aprendizaje. Sin embargo, en ninguno de los dos casos se considera que la compartición de estas aplicaciones deba hacerse en el contexto del grid computacional. De esta manera, los sistemas de aprendizaje basados exclusivamente en el modelo de servicios no pueden aprovechar las ventajas que proporciona el grid para el uso de capacidades de supercomputación o el acceso a recursos de *hardware* específicos.

Un ejemplo de sistema de aprendizaje basado en servicios es LearnServe [Vos03] [Vos05]. Se trata de un sistema que permite al aprendiz buscar y seleccionar contenidos de aprendizaje que después le son presentados de manera secuencial. Para ello, se utiliza un marco de integración de servicios en el que, de manera similar a lo propuesto en la sección anterior, los proveedores ofrecen material educativo a través de servicios web registrados en un directorio especial con el objetivo de facilitar su localización. En este caso los recursos compartidos e integrados por el sistema se limitan a contenidos educativos, sin abordar el problema de la integración de herramientas tratado en esta tesis.

3.9 Conclusiones

En el capítulo 2 de esta tesis se identificó como una de las limitaciones de los sistemas de aprendizaje colaborativo maleables el hecho de que éstos no permiten la integración de herramientas que hagan uso de capacidades de supercomputación o de recursos de *hardware* específicos. En este capítulo se ha estudiado la posibilidad de utilizar el grid computacional para abordar esta cuestión.

El concepto de grid computacional se encuentra en constante evolución desde su nacimiento. Por este motivo, se ha hecho un breve estudio de dicha evolución mostrando los cambios que se han producido en la definición de grid a lo largo del tiempo. De estas definiciones se ha extraído un conjunto de características que define el concepto de grid computacional en la actualidad. Estas características son la gran escala, la amplia distribución geográfica, la heterogeneidad de sus recursos compartidos por múltiples organizaciones, la coordinación de dichos recursos y el acceso transparente, de calidad, consistente y garantizado. Dicho conjunto de características ha permitido la formulación de una nueva definición del grid computacional.

El grid es en una infraestructura que pretende facilitar y fomentar la compartición de todo tipo de recursos de *software* y *hardware* pertenecientes a múltiples proveedores de manera que éstos puedan ser utilizados por las aplicaciones con cualquier propósito. Para lograr este objetivo, la comunidad investigadora ha adoptado recientemente el modelo SOA para la implementación de la arquitectura del grid. De esta manera, los recursos compartidos en un grid basado en servicios son siempre expuestos a través de una interfaz independiente de la implementación de los mismos de acuerdo con el marco conceptual definido por OGSA.

De acuerdo con esto, se ha propuesto una aproximación para utilizar el grid basado en servicios como marco de integración de herramientas en el contexto de un sistema de aprendizaje colaborativo maleable. La idea clave de esta aproximación es el uso del grid como un repositorio de herramientas potencialmente útiles para el apoyo de todo tipo de actividades de aprendizaje. Estas herramientas serían ofrecidas como servicios grid orientados a presentación por distintas organizaciones administrativas que pueden estar dispuestas a compartir sus recursos con diferentes motivaciones. Dicha motivaciones pueden ser, por ejemplo, la posibilidad de acceder a los recursos compartidos de otras organizaciones o la de obtener una compensación económica.

En la discusión de la propuesta se ha mostrado cómo se facilitaría que las herramientas pudieran hacer uso de capacidades de supercomputación así como acceder a recursos de *hardware* específicos cuando sea necesario. También se ha visto cómo serviría para abordar las dificultades detectadas en la literatura referentes a la integración de herramientas, la

tecnificación y la reutilización en los sistemas de aprendizaje. Esta aproximación a la integración de herramientas será aprovechada en el capítulo 5 para proponer un sistema de aprendizaje colaborativo maleable en el que se facilite la posibilidad de emplear herramientas que requieren el uso de capacidades de supercomputación o de recursos de *hardware* específico.

Finalmente, se han revisado algunos de los trabajos más relevantes de la literatura en los que se usa el grid o el modelo SOA en un contexto educativo. En esta revisión se ha comprobado que, aunque algunos de los sistemas propuestos en la literatura permiten la utilización de herramientas que hacen uso de recursos extraordinarios, ninguno de ellos ofrece las características de maleabilidad y posibilidad de guiado buscadas en esta tesis.

Capítulo 4

IMS-LD para el guiado de actividades en un sistema de aprendizaje colaborativo

En el capítulo 2 se planteó la limitación que supone para los sistemas de aprendizaje colaborativo maleables el hecho de que éstos no ofrezcan la posibilidad de guiar a los alumnos a través de la secuencia de actividades definidas en una situación. En este capítulo se estudia la posibilidad de abordar este problema mediante el empleo de lenguajes de modelado educativo para la formalización de los guiones colaborativos de manera que éstos puedan ser interpretados por los sistemas de aprendizaje. Con este objetivo, la sección 4.2 introduce los conceptos básicos de los lenguajes de modelado educativo y revisa las distintas propuestas existentes. Entre todas las alternativas posibles, IMS-LD parece el lenguaje más adecuado para la descripción de guiones colaborativos, por lo que la sección 4.3 presenta los aspectos más importantes de la especificación del mismo. A continuación, en la sección 4.4, se lleva a cabo un estudio pormenorizado de la posibilidad de utilizar IMS-LD para describir los distintos elementos que conforman la sintaxis de un guión colaborativo de acuerdo con lo expuesto en el capítulo 2. En la sección 4.5, en cambio, se introduce el uso de motores de flujo para la interpretación de situaciones de aprendizaje descritas con IMS-LD. Finalmente, la sección 4.6 describe cómo sería posible combinar el uso de IMS-LD junto con el de los motores de flujo para dotar a un sistema de aprendizaje colaborativo de facilidades de guiado. Además, se presentan algunos ejemplos de sistemas que es posible encontrar en la literatura en los que los motores de flujo son empleados para guiar a los alumnos.

El estudio del uso de IMS-LD para la descripción de guiones colaborativos en función de los distintos elementos que componen su sintaxis es una aportación original de esta tesis.

4.1 Introducción

El aprendizaje es un proceso activo y laborioso de construcción de conocimiento que los humanos realizan con cierta facilidad. Sin embargo, la mayor parte de las personas, si no todas, pueden aprender de una manera más efectiva y eficiente si se les proporciona cierto nivel de apoyo y guiado.

En este sentido, en la literatura es posible encontrar la descripción de numerosos procesos de enseñanza-aprendizaje que, desde distintas aproximaciones pedagógicas, especifican las actividades que los alumnos deben hacer, ya sea de forma individual o en grupo, para lograr que éstos aprendan eficazmente. Desafortunadamente, estas descripciones suelen hacerse empleando lenguaje natural, dificultándose así su utilización en el contexto de un sistema de aprendizaje electrónico. El objetivo de los lenguajes de modelado educativo (*Educational Modelling*

Language – EML) es precisamente permitir la formalización de estos procesos de enseñanza-aprendizaje de manera que puedan ser interpretados por un sistema de aprendizaje electrónico de manera automática, pero sin prescribir ninguna aproximación pedagógica en concreto [Raw02].

Como ya se ha visto en el capítulo 2, los guiones colaborativos definen una secuencia de actividades que permite a los alumnos alcanzar unos determinados objetivos pedagógicos. De este modo, los guiones también pueden ser considerados descripciones de procesos de enseñanza-aprendizaje que se basan en el aprendizaje colaborativo como aproximación pedagógica particular. Este hecho sugiere la posible adecuación del uso de los lenguajes de modelado educativo para la descripción y posterior interpretación automática de los guiones en los sistemas de aprendizaje colaborativo.

4.2 Lenguajes de modelado educativo

La investigación llevada a cabo en el dominio del aprendizaje colaborativo se ha basado durante mucho tiempo en el concepto de objeto aprendizaje (*learning object*) que, de acuerdo con [IEE02], es entendido como “cualquier elemento digital o no digital que puede ser utilizado, reutilizado o referenciado durante el aprendizaje apoyado por tecnología”. Esto dio lugar a un modelo extremadamente simplista de aprendizaje electrónico basado en la presentación de contenidos en el que se ignoraba la importancia de las interacciones entre docentes, estudiantes, recursos y entornos [Bri04].

Afortunadamente, esta tendencia ha cambiado recientemente con la aparición de un nuevo concepto, el de unidad de aprendizaje (*unit of learning*). En una unidad de aprendizaje no sólo se tienen en cuenta los contenidos que deben ser utilizados durante el proceso de aprendizaje, sino también las actividades que han de ser realizadas para que dicho aprendizaje tenga lugar. Sin embargo, junto con la aparición de este concepto, surgió también una nueva necesidad: la de describir formalmente las unidades de aprendizaje. Los lenguajes de modelado educativo abordan esta cuestión.

4.2.1 Definiciones

Un **lenguaje de modelado educativo** es un modelo de información semántica que puede ser representada formalmente para describir el contenido y el proceso de una unidad de aprendizaje desde una perspectiva pedagógica con el objetivo de permitir la reutilización y la interoperabilidad [Raw02]. En otras palabras, los lenguajes de modelado educativo pueden ser empleados para describir un proceso de enseñanza-aprendizaje empleando un nivel alto de abstracción [Bri04].

Una **unidad de aprendizaje**, en cambio, se define como un documento en el que se describen el proceso de enseñanza-aprendizaje así como los recursos necesarios para conseguir uno o más objetivos de aprendizaje interrelacionados [Raw02]. De acuerdo con esto, una unidad de aprendizaje no puede ser dividida en distintas partes sin perder parcialmente su significado y efectividad de cara al logro de dichos objetivos de aprendizaje. El concepto de unidad de aprendizaje a menudo se corresponde con otros conceptos como curso, módulo o lección.

Al proceso de enseñanza-aprendizaje descrito en una unidad de aprendizaje se le denomina también **diseño de aprendizaje** [Raw02]. Un diseño de aprendizaje define el método que permite a los alumnos alcanzar unos determinados objetivos a través de la realización de ciertas actividades de aprendizaje en un orden definido y en el contexto de un entorno de aprendizaje concreto [IMS03a]. En la literatura es posible encontrar la descripción de cientos de diseños de aprendizaje basados en distintas aproximaciones pedagógicas. Para que todos estos diseños puedan ser incluidos de manera efectiva en los sistemas de aprendizaje electrónico, es necesario disponer de un lenguaje que permita su descripción sin prescribir una aproximación pedagógica en concreto. Tal y como ya se ha mencionado, éste es uno de los objetivos de los lenguajes de modelado educativo.

Los recursos descritos en una unidad de aprendizaje pueden ser tanto objetos de aprendizaje como servicios [Raw02]. Un **objeto de aprendizaje** es cualquier entidad digital o no digital, reproducible y disponible en una dirección dada que puede ser utilizada para la realización de actividades en el contexto de un sistema de aprendizaje electrónico [IMS03a]. Ejemplos de objetos de aprendizaje son páginas web, libros de texto, herramientas *software* (ej. procesadores de texto, calculadoras, etc.), instrumentos (ej. microscopios, osciloscopios, etc.), o las preguntas de un test. Los **servicios**, en cambio, son aquellos recursos de los cuales no se puede conocer la dirección en la que estarán disponibles en el momento de realización de la unidad de aprendizaje [IMS03a]. En otras palabras, los servicios son recursos de los que es necesario crear un ejemplar en el momento en que son necesitados. Los *chats*, las audioconferencias y las videoconferencias son algunos ejemplos de servicios.

4.2.2 Requisitos que debe satisfacer un lenguaje de modelado educativo

De acuerdo con [Kop01] [IMS03a], un lenguaje de modelado educativo debe satisfacer los siguientes requisitos generales:

- **Formalización.** El lenguaje debe permitir describir un diseño de aprendizaje de manera formal de modo que sea posible su procesamiento automático.
- **Flexibilidad pedagógica.** El lenguaje debe hacer posible la descripción de diseños de aprendizaje basados en distintas teorías y modelos pedagógicos.

- **Objetos de aprendizaje caracterizados explícitamente.** El lenguaje debe expresar de manera explícita el significado de los distintos objetos de aprendizaje en el contexto de un diseño de aprendizaje. Además, debe proporcionar una estructura semántica del contenido o de la funcionalidad de los objetos de aprendizaje caracterizados, así como la posibilidad de incluir una referencia.
- **Compleitud.** El lenguaje debe permitir describir completamente el proceso de enseñanza-aprendizaje en una unidad de aprendizaje, incluyendo referencias a objetos de aprendizaje digitales y no digitales así como a los servicios que puedan ser necesarios durante el proceso.
- **Reproducibilidad.** El lenguaje debe hacer posible la descripción de un diseño de aprendizaje de manera abstracta para que de este modo pueda ser ejecutado en diferentes condiciones y con personas distintas.
- **Personalización.** El lenguaje debe posibilitar la personalización de los contenidos y las actividades de una unidad de aprendizaje de forma que éstos puedan ser adaptados en función de las preferencias, los conocimientos previos, las necesidades educativas y las circunstancias de los propios usuarios. Además, el control sobre el proceso de adaptación debe ser cedido, en función de lo que se considere oportuno, al estudiante, al educador, al ordenador y/o al diseñador.
- **Neutralidad respecto al medio.** La notación del lenguaje referida a contenidos debe ser neutral respecto al medio cuando sea posible, de manera que se puedan utilizar distintos formatos de publicación, como la web, papel, libros electrónicos, etc.
- **Interoperabilidad y sostenibilidad.** El lenguaje debe permitir establecer, siempre que sea posible, una división clara entre los estándares utilizados para la notación de unidades de aprendizaje y las técnicas empleadas para interpretar dicha notación.
- **Compatibilidad.** El lenguaje debe ser compatible con los estándares y las especificaciones disponibles.
- **Reutilización.** El lenguaje hacer posible la identificación, aislamiento, descontextualización e intercambio de recursos de aprendizaje útiles de manera que éstos puedan ser reutilizados en diferentes contextos.
- **Ciclo de vida.** El lenguaje deber hacer posible producir, modificar, conservar, distribuir y archivar las unidades de aprendizaje así como todos los recursos contenidos.

4.2.3 Modelo básico de un lenguaje de modelado educativo

Con el objetivo de permitir la comparación entre los distintos lenguajes de modelado existentes, el CEN/ISS WS-LT (*Comité Européen de Normalisation / Information Society Standardization System Workshop on Learning Technology – Taller de Trabajo en Tecnología Educativa de la Comisión Europea de Normalización y el Sistema de Estandarización para la Sociedad de la Información*) ha propuesto un modelo de referencia [Raw02], el cual se muestra en la Figura 4.1. En dicho modelo se aprecian los elementos que habitualmente es posible describir y relacionar empleando un lenguaje de modelado educativo. Entre éstos se distinguen con fondo gris los cinco elementos más importantes: persona (*person*), rol (*role*), actividad (*activity*), resultado (*outcome*) y recurso (*resources*).

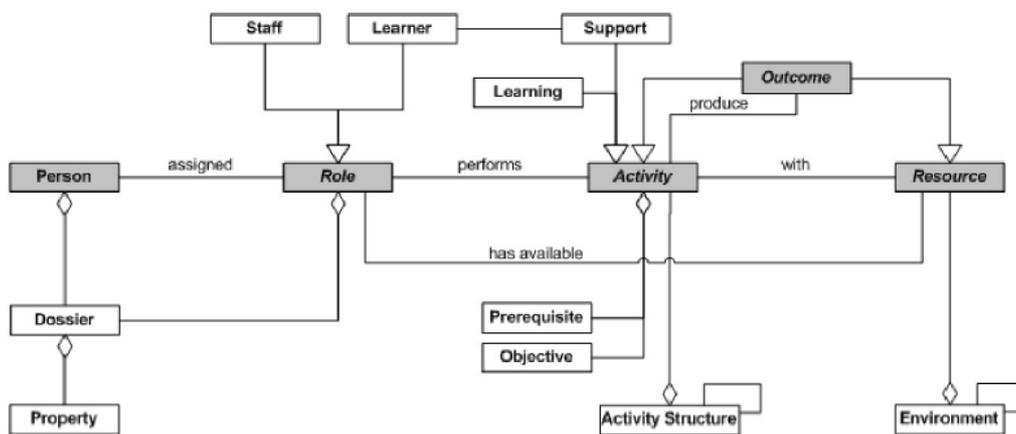


Figura 4.1: Modelo básico de un lenguaje de modelado educativo. Figura tomada de [Raw02].

De acuerdo con este modelo, una **persona** que participa en un proceso de enseñanza-aprendizaje recibe un **rol**, pudiendo ser éste el de aprendiz (*learner*) o educador (*staff*). Cada persona y cada rol puede tener asociado un historial (*dossier*) en el que se incluyen una serie de propiedades (*properties*) que juegan un papel importante en la monitorización, la personalización y la evaluación de dicho proceso.

En el aprendizaje las personas trabajan intentando conseguir determinados **resultados** a través de la realización de un conjunto de **actividades** diseñadas para lograr determinados objetivos (*objectives*) y presuponiendo ciertos prerequisites (*prerequisites*). Las actividades relacionadas pueden ser agrupadas en una estructura de actividades (*activity-structure*), las cuales pueden ser también incluidas, a su vez, dentro de otras estructuras.

Además, las actividades pueden ser de dos tipos: de aprendizaje o de apoyo. Las actividades de aprendizaje (*learning activities*) son aquellas con cuya realización se busca un determinado objetivo pedagógico. En las actividades de apoyo (*support activities*), en cambio, una persona realiza una tarea con la finalidad de facilitar que las personas con un rol determinado puedan hacer una o más actividades de aprendizaje.

La realización de una actividad puede ser apoyada con **recursos**. El conjunto de recursos que son necesarios para la realización de una actividad dada conforma un entorno (*environment*).

4.2.4 Lenguajes de modelado educativo existentes

La definición vista anteriormente deja fuera del concepto de lenguaje de modelado educativo a algunos lenguajes como LMML (*Learning Material Markup Language* – Lenguaje de Etiquetado de Material de Aprendizaje) [Süß02] o TeachML (*Teachware Markup Language* – Lenguaje de Etiquetado de Material de Enseñanza) [Tee02] que permiten la descripción y estructuración de contenidos para el aprendizaje, pero no del proceso de enseñanza-aprendizaje. A continuación se introducen brevemente los lenguajes más conocidos por la comunidad científica que sí permiten la descripción de ambos aspectos:

- **OUNL-EML** (*Open University of Netherlands Educational Modelling Language*, – Lenguaje de Modelado Educativo de la Universidad Abierta de Holanda) [Kop01] fue la propuesta que dio nombre a los lenguajes de modelado educativo. OUNL-EML permite la descripción de unidades de estudio, el equivalente en este lenguaje a una unidad de aprendizaje, como una secuencia de actividades o estructuras de actividades con referencias a la mayor parte de los elementos incluidos en el modelo básico de lenguaje de modelado educativo presentado anteriormente. Además, dichas descripciones pueden hacerse de acuerdo con las necesidades de determinadas aproximaciones pedagógicas. Este lenguaje fue abandonado por sus creadores, los cuales decidieron colaborar en el desarrollo de la especificación de un nuevo lenguaje basado en la última versión de OUNL-EML.
- **PALO** [Rod00] es un lenguaje de modelado educativo que permite la descripción de cursos estructurados en módulos. Cada módulo incluye una declaración de la estructura, de las actividades que los estudiantes y los educadores deben realizar, así como de la planificación de dichas actividades y del uso de los contenidos. PALO es un lenguaje pedagógicamente neutro. Sin embargo, solamente permite la definición de actividades de aprendizaje individuales [Raw02].
- **IMS-LD** (*IMS-Learning Design* – Diseño de Aprendizaje IMS) [IMS03a] es un lenguaje de modelado educativo basado en la versión 1.1 de OUNL-EML. A pesar de que ambas especificaciones son parecidas, existen bastantes diferencias. Este es el caso, por ejemplo, de la organización en tres niveles de IMS-LD para facilitar su utilización práctica. Además, IMS-LD ofrece la posibilidad de ser utilizado en combinación con otras especificaciones relacionadas con el proceso educativo como por ejemplo *IMS Learning Resource Meta-data* (IMS-LRM – Meta-Datos de Recursos de Aprendizaje IMS), *IMS Content Packaging* (IMS-CP – Empaquetado de Contenidos IMS), *IMS Question and Test Interoperability* (IMS-QTI

- Interoperabilidad de Tests y Cuestionarios IMS) o *IMS Learner Information Package* (IMS-LIP – Paquete de Información de Estudiante IMS).

4.2.5 Selección de un lenguaje para la descripción de guiones colaborativos

El hecho de que PALO solamente permita la descripción de actividades individuales es motivo suficiente como para descartar su uso en la formalización de guiones colaborativos. En cambio, esta posibilidad sí que existe en el caso de IMS-LD, cuya especificación afirma que “da soporte tanto al aprendizaje en grupo como al aprendizaje colaborativo” [IMS03a]. El hecho de que IMS-LD ya haya sido utilizado para describir algunos ejemplos de guiones colaborativos como los que es posible encontrar en [IMS03a] [Her03] apoya esta afirmación. También algunos trabajos de la literatura [Cae03] [Van03a] [Her04] confirman que IMS-LD permite, aunque con algunas limitaciones, la definición de actividades de aprendizaje colaborativo. A pesar de que cabe la posibilidad de que las conclusiones de estos trabajos sean igualmente aplicables a la versión 1.1 de OUNL-EML, resulta lógico inclinarse por el uso de IMS-LD al ser este último un lenguaje que fue creado con la intención de mejorar la especificación que fue utilizada como punto de partida.

4.3 La especificación IMS-LD

IMS-LD es una especificación desarrollada por el grupo IMS, el cual es una organización internacional que aglutina a distintas empresas e instituciones como IBM, Sun, Apple, Microsoft, Oracle y OUNL con el objetivo de promover el desarrollo de estándares para el aprendizaje electrónico. De acuerdo con sus creadores, la especificación de IMS-LD satisface la mayor parte de los requisitos referidos a los lenguajes de modelado educativo que fueron descritos en la sección anterior. Concretamente, y siempre según sus autores, IMS-LD cumple con los requisitos de completitud, flexibilidad pedagógica, personalización, formalización, reproducibilidad, compatibilidad y reutilización.

4.3.1 Visión general de la especificación IMS-LD

La especificación de IMS-LD tiene como principal objetivo facilitar la descripción de procesos de enseñanza-aprendizaje basados en distintas aproximaciones pedagógicas. Dicha descripción debe hacerse utilizando los elementos definidos en el modelo de información proporcionado por la misma especificación [IMS03a]. Los elementos más importantes que se emplean habitualmente en estas descripciones, están incluidos en el modelo conceptual de IMS-LD mostrado en la Figura 4.2. En ella también es posible observar cómo dicho modelo conceptual, además de recoger casi todos los elementos del modelo básico de lenguaje

educativo introducido anteriormente, incluye algunos elementos adicionales que serán vistos en la subsección siguiente.

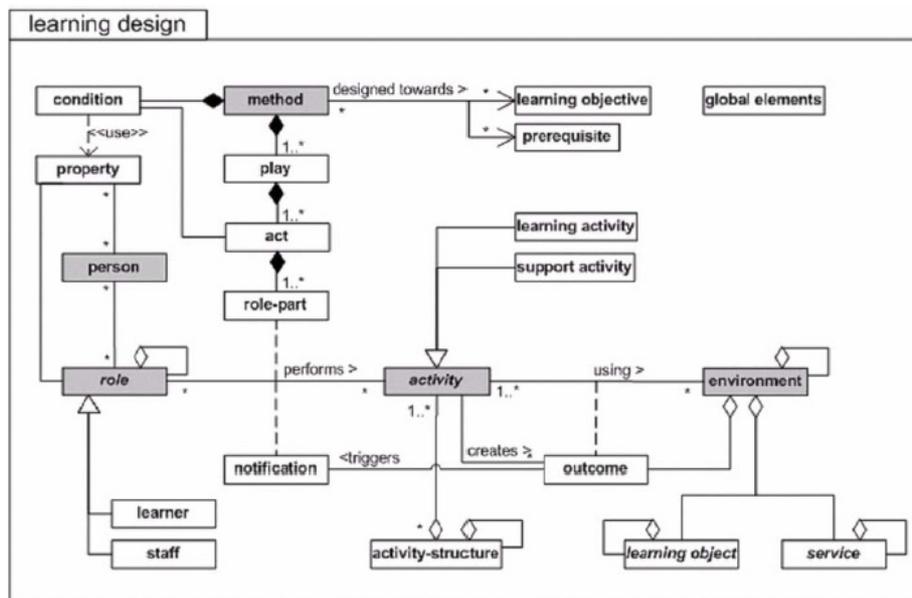


Figura 4.2: Modelo conceptual de IMS-LD. Figura tomada de [IMS03a].

Además, la especificación de IMS-LD establece una representación formal para cada uno de los elementos de su modelo de información basado en el lenguaje XML. El conjunto de etiquetas XML que es posible utilizar para representar los distintos elementos que definen un diseño de aprendizaje se recogen en una serie de esquemas XML que la organización IMS ha definido⁵. De este modo, el producto resultante de describir un proceso de enseñanza-aprendizaje con IMS-LD es un documento XML al que se denomina **documento de diseño de aprendizaje**.

4.3.2 Estructura básica de los documentos de diseño de aprendizaje

De acuerdo con la especificación de IMS-LD, la estructura básica de un documento de diseño de aprendizaje, tal y como se muestra en la Figura 3.4, está formada por los siguientes elementos:

- **Objetivos de aprendizaje (*learning-objectives*).** Este elemento describe los objetivos que se espera que alcancen los alumnos a través de la realización de las actividades descritas en el diseño. Dichos objetivos pueden especificarse en forma de texto libre para que sean comprendidos por humanos o de acuerdo con un lenguaje estructurado de acuerdo con un esquema predefinido para que puedan ser entendidos por máquinas.

⁵ Los esquemas correspondientes a la especificación de IMS-LD pueden ser obtenidos en <http://www.imsglobal.org/xsd>

- **Prerrequisitos (*prerequisites*).** Este elemento establece los prerrequisitos que se presuponen a los alumnos que participan en un diseño de aprendizaje. Al igual que los objetivos, los prerrequisitos pueden ser formulados en texto libre o con un lenguaje estructurado.
- **Roles (*roles*).** IMS-LD permite definir en los diseños de aprendizaje dos tipos de rol, el de estudiante (*learner*) y el de educador (*staff*). Además, cabe la posibilidad de especializar estos roles en sub-roles. Sin embargo, la especificación no proporciona ningún vocabulario para llevar a cabo esta tarea, sino que debe ser el propio diseñador el que dé nombre a los nuevos sub-roles. En una misma unidad de aprendizaje es posible tanto que una persona puede interpretar distintos roles como que varias personas interpreten el mismo rol.
- **Propiedades (*properties*).** Las propiedades son variables que permiten aumentar las posibilidades de personalizar el proceso de enseñanza-aprendizaje descrito en un documento de diseño. Las propiedades pueden ser de distinto tipo. Concretamente, se pueden distinguir propiedades de alcance local o global y referidas a personas o a roles.
- **Actividades (*activities*).** En los documentos de diseño es posible definir dos tipos de actividades: de aprendizaje (*learning-activity*) y de apoyo (*support-activity*). En el caso de las actividades de aprendizaje, además, cabe la posibilidad de definir los objetivos de aprendizaje y los prerrequisitos de forma explícita. Las actividades pueden ser agrupadas en estructuras (*activity-structure*) que en IMS-LD se utilizan para modelar tanto una secuencia como una selección de actividades. En la secuencia, el participante debe completar las actividades incluidas en la estructura de acuerdo con el orden indicado. En la selección, el participante puede escoger un número determinado de actividades entre las proporcionadas por la estructura. Las estructuras de actividades pueden, a su vez, contener otras estructuras.
- **Entornos (*environments*).** Cada actividad está asociada a un entorno (*environment*) en el que se ofrecen los recursos necesarios para su apoyo. En la definición de un entorno es posible especificar los objetos de aprendizaje (*learning object*) y los servicios (*service*) que éste incluye.
- **Método (*method*).** El método es el elemento más importante que IMS-LD incluye en relación con el modelo básico de los lenguajes de modelado educativo. Este elemento permite la descripción de la secuencia de actividades que, presuponiendo ciertos requisitos, hará posible que los alumnos logren determinados objetivos de aprendizaje. A dicha secuencia de actividades se le denomina habitualmente flujo de aprendizaje. La descripción del flujo de aprendizaje se hace siguiendo una metáfora de representación teatral. De este modo, el método consiste en una o más obras (*play*) concurrentes, las cuales constan de uno o más actos (*act*) secuenciales. Los actos, a su vez, incluyen papeles (*role-part*)

concurrentes. Cada papel sirve para asignar una actividad concreta a un rol determinado. Un método puede contener condiciones (*conditions*) en forma de reglas *if-then-else* (si-entonces-si no) para redefinir la visibilidad de las actividades y de los elementos de los entornos para las personas y los roles. Para ello, basta con definir las expresiones de tipo *boolean* adecuadas en sus propiedades. Durante la ejecución del método se pueden producir notificaciones (*notifications*) a los participantes del mismo debidas a determinados sucesos que pueden darse como, por ejemplo, la compleción de una actividad por parte de un alumno.

```

<learning-design>
<title>Extracto simplificado de un diseño de aprendizaje</title>
<learning-objectives>..</learning-objectives>
<prerequisites>..</prerequisites>
<components>
  <roles>
    <learner>..</learner>
    <staff>.. </staff>
  </roles>
  <properties>
    ..
  </properties>
  <activities>
    <support-activity>..</support-activity>
    <activity-structure>
      <learning-activity>..</learning-activity>
      <learning-activity>..</learning-activity>
    </activity-structure>
  </activities>
  <environments>
    <environment>
      <learning-object>..</learning-object>
    </environment>
    <environment>
      <service><conference>..</conference></service>
    </environment>
  </environments>
</components>
<method>
  <play>
    <act>
      <role-part>..</role-part>
      <complete-act>..</complete-act>
    </act>
    <complete-play>..</complete-play>
  </play>
  <complete-unit-of-learning>..</complete-unit-of-learning>
</method>
</learning-design>

```

Figura 4.3: Extracto simplificado de un diseño de aprendizaje que representa la estructura básica del mismo. Figura adaptada de [Hil04].

4.3.3 Niveles de la especificación IMS-LD

Tal y como ya se ha mencionado, la especificación de IMS-LD define tres niveles de implementación y conformidad. Éstos son los siguientes:

- El **nivel A** incluye todos los elementos descritos en la subsección anterior excepto las condiciones, las propiedades y las notificaciones. El nivel A de la especificación permite la descripción de diseños de aprendizaje que incluyen secuencias de actividades poco complicadas.
- El **nivel B** recoge todos los elementos del nivel A y añade las propiedades y las condiciones. Estos elementos hacen posible la descripción de secuencias de actividades más complicadas a la vez que aumentan las posibilidades de personalización de las mismas.
- El **nivel C** añade a los elementos del nivel B las notificaciones. Éstas permiten que la descripción de secuencias de actividades pueda hacerse en función de determinados eventos que tengan lugar durante la realización de dichas actividades.

4.3.4 Descripción formal de recursos en un diseño de aprendizaje

En un documento de diseño de aprendizaje basado en IMS-LD es posible incluir descripciones formales de los recursos que son necesarios para apoyar la secuencia de actividades definida en el mismo. De esta manera se facilita la posibilidad de llevar a cabo búsquedas automatizadas de los recursos concretos que serán utilizados durante la realización del diseño.

Las descripciones formales de recursos en un diseño de aprendizaje deben ajustarse al esquema XML fijado por la especificación IMS-LRM [IMS01]. Este esquema establece un conjunto estándar de características que es posible definir en la descripción de los recursos de aprendizaje. La Tabla 4.1 muestra un resumen de estas características agrupadas según las categorías definidas por dicha especificación.

Categoría	Características
General	Identificador, título, entrada de catálogo, idioma, descripción, palabras clave, cobertura, estructura, nivel de agregación.
Ciclo de vida	Versión, estatus, datos de contribución.
Meta-meta-datos	Identificador, entrada de catálogo, datos de contribución, esquema de meta-datos, lenguaje.
Aspectos técnicos	Formato, tamaño, localización, requisitos, advertencias sobre la instalación, otros requisitos para plataformas, duración.
Aspectos educativos	Tipo de interactividad, tipo de recurso de aprendizaje, densidad semántica, rol previsto para el usuario, contexto, rango de edad típico, dificultad, tiempo previsto para el aprendizaje, descripción, idioma.
Derechos	Coste, derechos de autor y otras restricciones, descripción.
Relaciones con otros recursos	Tipo, recurso.
Observaciones	Persona, fecha, descripción
Clasificación	Propósito, ruta en una taxonomía, descripción, palabras clave.

Tabla 4.1: Resumen de características definidas por IMS-LRM para la descripción de recursos educativos.

4.3.5 Referencias a recursos concretos en un diseño de aprendizaje

IMS-LD también ofrece la posibilidad de incluir en los documentos de diseño referencias a recursos concretos necesarios para la realización de la secuencia de actividades definida en el mismo. Para ello es necesario utilizar IMS-LD en combinación con la especificación IMS-CP [IMS03b]

IMS-CP es una especificación que define una estructura estándar para el empaquetado del documento de diseño y los recursos correspondientes a una unidad de aprendizaje en un solo fichero al que, por analogía, se le denominar también unidad de aprendizaje. Este paquete contiene un documento XML llamado manifiesto que incluye el diseño de aprendizaje junto con una lista de recursos concretos que son referenciados en el diseño. Cada elemento de esta lista tiene asociado un atributo que indica el tipo de recurso referenciado así como un apuntador, el cual puede referirse tanto a un elemento interno al paquete como a uno externo, que permite localizar el recurso concreto al que se refiere dicho elemento. En caso de que un recurso dependa de otro recurso, también es posible indicar dicha relación de dependencia mediante la inclusión de una referencia al segundo en la definición del primero.

La Figura 4.4 muestra el extracto de un manifiesto a modo de ejemplo. En él se observa cómo la herramienta LO-herramienta definida en el diseño de aprendizaje incluye una referencia al recurso RES-herramienta-concreta. Éste es un recurso externo al paquete cuya URL se indica en el manifiesto.

```
<imscp:manifest>
<imscp:organizations>
  <imsld:learning-design>
    ...
    <imsld:learning-object identifier="LO-herramienta">
      <imsld:item identifierref="RES-herramienta-concreta"/>
    </imsld:learning-object>
    ...
  </imsld:learning-design>
</imscp:organizations>
<imscp:resources>
  <imscp:resource identifier="RES-herramienta-concreta" type="other"
href="http://www.herramienta.url">
</imscp:/resources>
</imscp:/manifest>
```

Figura 4.4: Extracto de un manifiesto en el que se muestra a modo de ejemplo cómo es posible incluir en un diseño de aprendizaje basado en IMS-LD referencias a recursos concretos necesarios para su realización mediante el uso de la especificación IMS-CP.

4.3.6 Herramientas de autoría de diseños de aprendizaje basados en IMS-LD

Idealmente, los educadores deberían ser capaces de editar sus propios diseños de aprendizaje. En este sentido, la descripción de un diseño de aprendizaje basado en IMS-LD no es una tarea sencilla puesto que implica la necesidad de tener que definir, caracterizar y

relacionar una gran cantidad de elementos de acuerdo con la especificación del lenguaje. Sin embargo, la principal dificultad que dicha tarea puede suponer a un educador no es comprender los elementos del lenguaje y las relaciones que se pueden establecer entre ellos, puesto que éstos en su mayor parte representan conceptos con los que los docentes están familiarizados. El mayor obstáculo es, en cambio, la codificación del diseño de aprendizaje utilizando un lenguaje basado en XML.

En la actualidad ya existen algunas iniciativas entre los miembros de la comunidad IMS-LD con el objetivo de abordar este problema. Concretamente, se están desarrollando herramientas de autoría que faciliten a los educadores la posibilidad de editar diseños de aprendizaje de manera intuitiva y sin tener que editar directamente un documento XML. El editor de diseños de Reload (*Reusable e-Learning Object Authoring and Delivery – Autoría y Distribución de Objetos de e-Aprendizaje Reutilizables*) [REL05] es un ejemplo de este tipo de herramientas que permite la edición de diseños basados en IMS-LD de nivel C. Collage (*Collaborative Learning Design Editor – Editor de Diseños de Aprendizaje colaborativos*) [Her06] es otro ejemplo de herramienta de autoría basada en IMS-LD que, en este caso, permite la creación de diseños de aprendizaje basados en estructuras de aprendizaje colaborativo como las vistas en el capítulo 2. Sin embargo, Collage sólo soporta el nivel A de IMS-LD. La Figura 4.5 muestra una captura de pantalla de este editor.

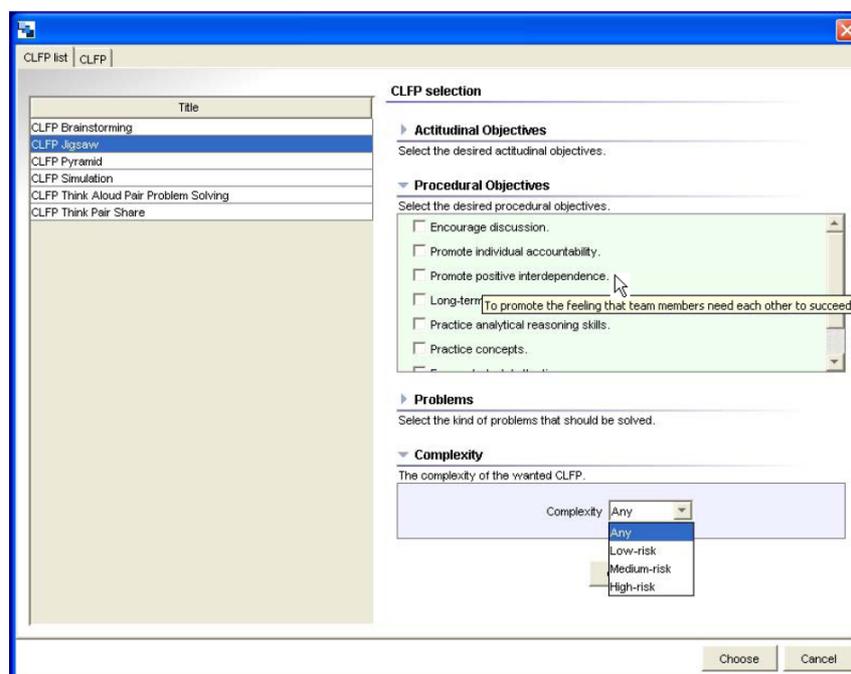


Figura 4.5: Captura de pantalla de la herramienta de autoría Collage.

4.4 IMS-LD para la descripción de guiones colaborativos

La descripción de guiones colaborativos utilizando un lenguaje formal es imprescindible para lograr que éstos puedan ser interpretados de forma automática en un sistema de aprendizaje. Por este motivo, en esta sección se lleva a cabo un estudio con cierto grado de detalle con el objetivo de determinar la posibilidad de emplear la especificación de IMS-LD para la descripción de los distintos elementos que conforman la sintaxis de los guiones colaborativos de acuerdo con [Dil02]. Tal y como se vio en el capítulo 2, dichos elementos son la secuencia de fases, las tareas de una fase, la formación de grupos, la distribución, el modo de interacción y la temporización.

4.4.1 Secuencias de fases

La secuencia de fases incluidas en un guión colaborativo puede describirse con IMS-LD como una secuencia de actos en un diseño de aprendizaje. Sin embargo, es necesario mencionar que de esta forma sólo es posible modelar secuencias lineales de fases. A pesar de que en [Dil02] se recomienda explícitamente que se utilicen secuencias lineales con el objetivo de mantener la sencillez de los guiones, cabe la posibilidad de que en determinadas circunstancias surja la necesidad de describir una secuencia de fases no lineal.

En este caso, la especificación de IMS-LD no permite que los actos sean interpretados de forma no lineal. No obstante, sí que es posible evitar hasta cierto punto esta limitación mediante el uso de otros elementos del modelo de información de IMS-LD como las propiedades en combinación con el atributo de visibilidad de las actividades. Dicho atributo representa una variable de tipo *boolean* que define si la actividad puede ser vista o no, y por lo tanto realizada, por los participantes del diseño de aprendizaje. Así, por ejemplo, se podría definir un guión colaborativo en el que en un determinado punto se debe realizar una fase u otra en función del resultado de una fase anterior. Para ello se debería, por un lado, especificar un acto en el que se incluyan las actividades de las dos fases y, por otro, definir en el método las condiciones oportunas para que sólo sean visibles las actividades de una de las fases en función del valor de la propiedad que recoge el resultado de la fase anterior.

El problema de la interpretación secuencial de actos ha sido detectado también en [Cae03]. En ese trabajo se propone como solución modificar la especificación de IMS-LD para introducir la posibilidad de definir transiciones entre los actos al estilo de las utilizadas entre las actividades que se pueden describir empleando lenguajes de flujo de trabajo (*workflow languages*).

En la Tabla 4.2 se resumen las posibilidades que ofrece la especificación de IMS-LD para la descripción de secuencias de fases de un guión colaborativo de acuerdo con lo visto en esta subsección.

Aspecto	Descriptible	(1) Método / (2) Solución
Secuencias de fases lineales	Sí	(1) Emplear secuencias de actos
Secuencias de fases no lineales	Parcialmente	(1) Emplear propiedades y condiciones (2) Introducir el concepto de transición entre actos en la especificación de IMS-LD de acuerdo con [Cae03].

Tabla 4.2: Resumen de posibilidades para la descripción de secuencias de fases en un guión colaborativo empleando IMS-LD.

4.4.2 Tareas de una fase

De acuerdo con lo visto en el capítulo 2, son tres los elementos que definen las tareas de una fase en el contexto de un guión colaborativo. Dichos elementos son la entrada de la tarea, la actividad que debe ser realizada y la salida de la tarea.

La especificación IMS-LD permite, aunque con ciertas limitaciones, la descripción de los recursos que es necesario proporcionar como entrada de una actividad. Para ellos es posible utilizar los elementos *learning-object* y *service*, los cuales han de ser incluidos en un elemento *environment* asociado a la actividad en cuestión. De acuerdo con la especificación IMS-LD, el elemento *learning-object* debe ser utilizado para definir documentos así como aquellas herramientas de las que no sea necesario crear instancias antes de que puedan ser utilizadas para apoyar una actividad dada. El elemento *service*, en cambio, debe emplearse para definir herramientas de las que es necesario crear instancias antes para que puedan ser empleadas en una actividad.

Una limitación importante de IMS-LD para la especificación de los recursos de entrada de una tarea se deriva del hecho de que en su modelo de información sólo se encuentran los elementos adecuados para describir un número muy reducido de herramientas colaborativas. Concretamente, la especificación de IMS-LD sólo define el elemento *conference* (conferencia) para la descripción de herramientas que permiten la discusión entre distintos usuarios. Sin embargo, y con el objetivo de remediar esta deficiencia, en [Her04] se propone una extensión de IMS-LD para definir los servicios colaborativos. Dicha extensión consiste en la definición de un nuevo tipo de servicio denominado *groupservice* cuyo esquema de información se representa en la Figura 4.6. De esta manera, el elemento *groupservice* puede ser utilizado para definir un amplio número de servicios de apoyo a la colaboración en el contexto de un elemento *environment*.

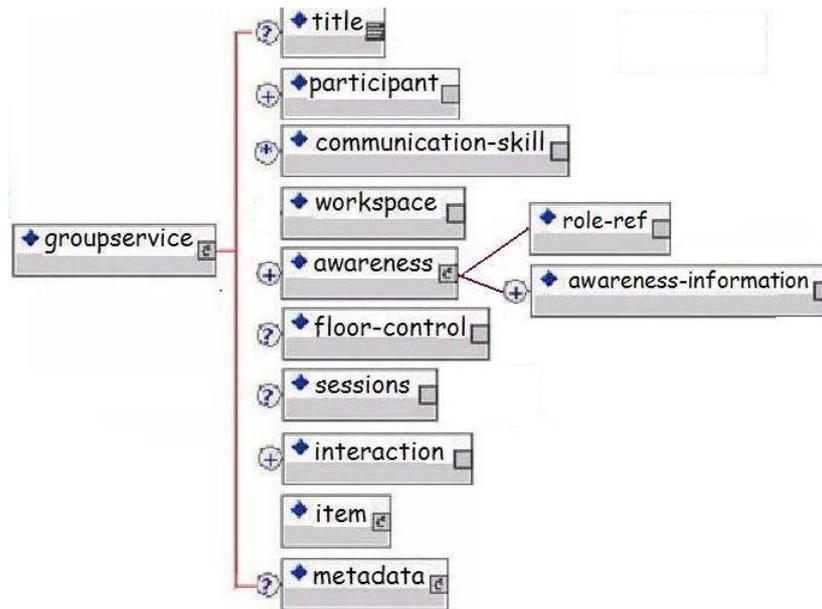


Figura 4.6: Esquema de información de la extensión de IMS-LD propuesta en [Her04] para la definición de servicios colaborativos. Figura tomada de [Her04].

Otra limitación de la especificación es el reducido número de herramientas individuales que se pueden describir como servicios. Una posible solución a este problema sería crear nuevas extensiones de IMS-LD para definir los servicios correspondientes a las herramientas individuales empleadas habitualmente. No obstante, ésta sería una solución limitada puesto que no sería posible incluir en los diseños de aprendizaje aquellas herramientas que no hayan sido definidas en dichas extensiones. Para evitar esto sería posible definir una única extensión que permitiera la descripción de herramientas individuales como un nuevo tipo de servicio genérico de forma análoga a la extensión para las herramientas colaborativas presentada anteriormente. Esta solución también tiene un problema, y es que el diseñador ha de saber si es necesario o no crear instancias de la herramienta individual que desea utilizar antes de que pueda ser empleada en una actividad para, de esa manera, decidir si define la herramienta como un objeto de aprendizaje o como un servicio. Sin embargo, es lógico pensar que el diseño de aprendizaje debería poder hacerse sin necesidad de conocer este tipo de detalles de implementación. Este mismo problema podría darse también en el caso de las herramientas colaborativas cuando se usa la extensión genérica ya mencionada.

Una alternativa a las soluciones anteriores sería utilizar dicha extensión para herramientas colaborativas y modificar ligeramente el convenio de uso de los objetos de aprendizaje y los servicios especificado por IMS-LD. Así, se podría utilizar el elemento *groupservice* para describir herramientas colaborativas, independientemente de la necesidad de crear instancias. El uso de este elemento no sería incompatible con el del elemento *conference* para la especificación de herramientas de debate, también sin tener en cuenta la cuestión de las instancias. Análogamente, se podría emplear el elemento *learning-object* para describir

documentos y herramientas individuales, independientemente de que la herramienta requiera la creación de instancias antes de su uso en una actividad. De esta manera, el diseñador no necesitaría conocer dicha información para incluir todo tipo de herramientas en los diseños de aprendizaje.

La especificación de actividades de aprendizaje de naturaleza tanto individual como colaborativa sí que puede hacerse con IMS-LD mediante el establecimiento de relaciones adecuadas entre los elementos *learning-activity* y *environment*. Para definir una actividad de aprendizaje individual se debe describir ésta en un elemento *learning-activity* que debe estar asociado a un entorno que no contenga servicios de apoyo a la colaboración. En cambio, si la actividad es de tipo colaborativo, la asociación debe realizarse con un entorno que sí contenga servicios de apoyo a la colaboración. En ambos casos es posible introducir en el elemento *learning-activity* correspondiente una descripción de la actividad en forma de texto. En esta descripción pueden incluirse instrucciones que permitan comprender a los participantes qué es lo que se espera que hagan en la actividad en cuestión.

Es importante tener en cuenta que, independientemente del número de personas o grupos que vayan a realizar una actividad de aprendizaje individual dada, basta con declarar un solo elemento de actividad de aprendizaje y un solo entorno de aprendizaje. Este elemento podrá ser posteriormente asignado a todos los participantes que deben realizar la misma actividad individual. En el caso del aprendizaje colaborativo, sin embargo, es necesario declarar tantos elementos *learning-activity* y *environment* como grupos vayan a realizar la actividad. Cada actividad debe estar asociada a un entorno distinto a pesar de que todos los elementos *learning-activity* describen la misma actividad y todos los elementos *environment* describen entornos con los mismos objetos de aprendizaje y servicios. Después, se debe asignar un elemento de actividad distinto a cada grupo de participantes que va a realizar dicha actividad.

IMS-LD también permite la posibilidad de incluir múltiples actividades en una fase. Para ello, basta con agregar un conjunto de actividades relacionadas en un elemento *activity-structure*. Después, este elemento puede ser asignado a un rol concreto en el contexto de un acto dado en el que las personas que interpretan dicho rol deben realizar varias actividades. No obstante, conviene tener en cuenta que las actividades de una estructura deben ser realizadas de forma secuencial. El orden en que dichas actividades son presentadas a los participantes puede predefinirse en el diseño de aprendizaje, dejarse a la elección del participante, o establecerse en función del transcurso del diseño. Para éste último caso es necesario hacer uso de las propiedades y/o de las notificaciones que se especifican en los niveles B y C de IMS-LD respectivamente.

Con IMS-LD también es posible describir la salida esperada al final de una actividad. Esta descripción, la cual sirve para comunicar a los participantes de la actividad cuál es el producto que se espera que hayan generado al término de la misma, puede incluirse en forma de texto en el elemento *learning-objective* asociado a la actividad. Dicho producto puede ser almacenado en una propiedad adecuada (ej. una propiedad de tipo *file* si se trata de un fichero) para su posterior reutilización, en caso de que sea necesario, como elemento de entrada para otra actividad.

La Tabla 4.3 muestra a modo de resumen la posibilidad de describir con IMS-LD los distintos aspectos relacionados con las tareas de los guiones colaborativos que han sido estudiados en esta subsección.

Aspecto	Descriptible	(1) Método / (2) Solución
Elementos de entrada de actividades	Parcialmente	(1) Emplear entornos asociados a actividades (2) Utilizar la extensión propuesta en [Her04] para describir herramientas colaborativas (3) Utilizar objetos de aprendizaje para describir herramientas individuales
Actividades de aprendizaje individual	Sí	(1) Emplear actividades de aprendizaje
Actividades de aprendizaje colaborativo	Sí	(1) Emplear actividades de aprendizaje asociadas a un grupo y a un servicio colaborativo
Múltiples actividades en una fase	Sí	(1) Emplear estructuras de actividades.
Elementos de salida de una actividad	Sí	(1) Usar los objetivos de la actividad para describir el producto esperado y las propiedades para almacenar dicho producto

Tabla 4.3: Resumen de posibilidades para la descripción de las tareas de una fase en un guión colaborativo empleando IMS-LD.

4.4.3 Formación de grupos

La especificación de IMS-LD permite la formación de grupos mediante la asignación de múltiples usuarios a un mismo rol. En este sentido, también merece la pena destacar el hecho de que la especificación permite especializar los roles en sub-roles. De este manera se facilita la posibilidad de definir distintos roles o subgrupos dentro de los grupos en la descripción de guiones colaborativos. En la especificación de un rol, además, es posible incluir texto con información adicional acerca del papel que deben desempeñar todos los participantes que sean asignados al mismo.

En un diseño de aprendizaje también cabe la posibilidad de definir grupos distintos para cada fase del guión colaborativo. Para ello basta con declarar los roles correspondientes a cada grupo y utilizarlos en el acto que se considere oportuno. Asimismo, en caso de que sea necesario, es posible especificar el número mínimo y/o máximo de personas que pueden ser

asociadas a un rol. Por lo tanto, también es posible indicar el número de componentes con los que debe contar cada grupo de un guión colaborativo.

Desafortunadamente, IMS-LD muestra ciertas limitaciones a la hora de facilitar la posibilidad de expresar los criterios de formación de grupos. De este manera, la especificación no proporciona ningún modo para definir formalmente las características con las que debe contar un participante antes de la realización de un guión colaborativo para que éste pueda ser asociado a un rol dado (criterios extrínsecos). Tampoco es posible describir formalmente las condiciones que se deben dar durante la realización de un guión colaborativo para que un individuo sea asignado a un rol (criterios intrínsecos). Sin embargo, esta limitación puede ser parcialmente superada mediante la inclusión de dichos criterios en forma de texto libre como información asociada a cada rol especificado. De este modo, el responsable del guión, o incluso los participantes del mismo, podrían utilizar esta información para decidir por sí mismos qué individuos son asignados a cada rol tanto antes como durante la realización del guión.

En la Tabla 4.4 es posible encontrar el resumen de las posibilidades de empleo de IMS-LD en la descripción de grupos en un guión colaborativo de acuerdo con el estudio hecho en esta subsección.

Aspecto	Descriptible	(1) Método / (2) Solución
Formación de grupos	Sí	(1) Asociar múltiples personas a un mismo rol
Grupos distintos para cada fase	Sí	(1) Definir roles de grupo distintos para cada fase
Criterios extrínsecos de formación de grupos	Parcialmente	(1) Incluir texto libre como información asociada al rol
Criterios intrínsecos de formación de grupos	Parcialmente	(1) Incluir texto libre como información asociada al rol

Tabla 4.4: Resumen de posibilidades para la descripción de grupos en un guión colaborativo empleando IMS-LD.

4.4.4 Distribución

En un diseño de aprendizaje basado en IMS-LD es posible describir cómo debe hacerse una distribución de actividades entre los participantes de un guión colaborativo. Para ello basta con definir los elementos *learning-activity* correspondientes a cada actividad y asociarlos con los roles adecuados.

En el caso de querer especificar una distribución de elementos de entrada entre los participantes de distintas actividades individuales, es necesario definir distintos elementos *environment* que incluyan los diferentes objetos de aprendizaje y servicios de acuerdo con el reparto que debe llevarse a cabo. Además, cada uno de los entornos especificados debe ser asociado a un elemento *learning-activity* distinto pero que describa la misma actividad.

Si el reparto de elementos debe hacerse entre los participantes de una misma actividad de aprendizaje colaborativo es importante prestar especial atención a cómo se lleva a cabo la definición de los elementos *environment*. En este caso es necesario especificar un entorno en el que se incluyan los objetos de aprendizaje y los servicios que comparten todos los miembros del grupo. Después, se debe definir el elemento *environment* correspondiente a cada participante incluyendo el entorno común a todos junto con los objetos de aprendizaje y servicios particulares de cada uno. Al igual que en el caso anterior, cada uno de los entornos especificados debe ser asignado a un elemento *learning-activity* diferente pero que describa la misma actividad.

Finalmente, es necesario mencionar que IMS-LD también permite especificar distribuciones tanto de tipo intragrupal como intergrupales ya sean éstas de actividades o de elementos de entrada. Para ello es suficiente con establecer las correspondencias adecuadas entre los roles y los elementos *learning-activity* definidos de acuerdo con lo expuesto anteriormente.

De acuerdo con lo visto en esta subsección, la Tabla 4.5 muestra de manera resumida las posibilidades que IMS-LD ofrece para la descripción de elementos de entrada y actividades de un guión colaborativo.

Aspecto	Descriptible	(1) Método / (2) Solución
Distribución de elementos de entrada	Sí	(1) Asociar entornos distintos a cada participante
Distribución de actividades	Sí	(1) Asociar actividades distintas a cada participante
Distribución intergrupales	Sí	(1) Asociar los entornos o las actividades a distintos roles de grupo
Distribución intragrupal	Sí	(1) Asociar los entornos o las actividades a distintos sub-roles de grupo

Tabla 4.5: Resumen de posibilidades para la descripción de distribuciones de elementos de entrada y actividades en un guión colaborativo empleando IMS-LD.

4.4.5 Modos de interacción

En un diseño de aprendizaje es posible distinguir de forma implícita las actividades colaborativas que se realizan de manera síncrona de las que se llevan a cabo de modo asíncrono. Dicha distinción se establece en el tipo de servicio incluido en el entorno correspondiente a la actividad. Si el servicio facilita la colaboración de forma síncrona implica que la actividad también lo es. Si por el contrario apoya la colaboración de modo asíncrono, éste será también el tipo de interacción esperado en la actividad.

Igualmente, cabe la posibilidad de especificar en un diseño IMS-LD actividades de aprendizaje colaborativo en los que la interacción se da entre miembros de un mismo grupo o

entre los componentes de grupos distintos. En el primer caso, como ya se ha visto antes, simplemente se debe asociar la actividad colaborativa al rol del grupo que va a colaborar. En el segundo caso es necesario definir dos roles para cada participante: uno asociado al grupo al que pertenecen y otro que se corresponda con el “nuevo grupo” del que formará parte durante la actividad con interacción intergrupala. Después, se debe asociar la actividad a este segundo rol.

La Tabla 4.6 muestra un resumen de cómo es posible emplear IMS-LD para describir distintos tipos de interacción en un guión colaborativo.

Aspecto	Descriptible	(1) Método / (2) Solución
Interacción síncrona	Sí	(1) Incluir en el entorno de la actividad servicios que soporten interacciones de forma síncrona
Interacción asíncrona	Sí	(1) Incluir en el entorno de la actividad servicios que soporten interacciones de forma asíncrona
Interacción intergrupala	Sí	(1) Definir actividades asociadas a distintos roles de grupo
Interacción intragrupal	Sí	(1) Definir actividades asociadas a roles que engloban a miembros de distintos grupos

Tabla 4.6: Resumen de posibilidades para la descripción de modos de interacción en un guión colaborativo empleando IMS-LD.

4.4.6 Temporización

La especificación de IMS-LD permite establecer el fin de un acto en función de un límite de tiempo, de que se hayan terminado las actividades definidas en el mismo, o de que se cumpla una determinada condición a través del uso de elementos como las propiedades y las condiciones. De este modo, también es posible afirmar que la temporización de las fases de un guión colaborativo puede ser establecida empleando IMS-LD. Esta posibilidad se muestra en el resumen de la Tabla 4.7.

Aspecto	Descriptible	(1) Método / (2) Solución
Final de fase por tiempo, terminación de actividad o condición	Sí	(1) Usar propiedades y condiciones

Tabla 4.7: Resumen de posibilidades para la descripción de la temporización de fases en un guión colaborativo empleando IMS-LD.

4.5 Interpretación de diseños de aprendizaje basados en IMS-LD

La representación formal basada en XML de los diseños de aprendizaje basados en la especificación de IMS-LD permite que éstos puedan ser interpretados de forma automática por un motor de flujo de aprendizaje (*learning flow engine*) [Van03a] [Hil04]. Estos motores pueden ser incluidos en los sistemas de aprendizaje de forma que los mismos se encarguen de

determinar qué actividad debe realizarse y con qué entorno para el caso concreto de cada participante de un diseño de aprendizaje definido con IMS-LD.

4.5.1 Relación con los motores de flujo de trabajo

Los motores de flujo de aprendizaje están estrechamente relacionados [Cha98] [Lin02] [Van03a] [Hil04] con los motores de flujo de trabajo (*workflow engines*). Ambos tipos de motores tienen como objetivo facilitar la automatización de procesos definidos a través de un lenguaje formal en los que suele haber múltiples participantes. La diferencia radica, sin embargo, en que los primeros se centran en procesos de enseñanza-aprendizaje, mientras que los segundos lo hacen en procesos de negocio.

Esta relación puede observarse también en la similitud existente entre los elementos que manejan los lenguajes de modelado de aprendizaje y los de modelado de flujos de trabajo. En este sentido, es posible encontrar en [Van03a] una comparación detallada entre los meta-modelos de IMS-LD y XPDL (*XML Process Definition Language* – Lenguaje de Definición de Procesos basado en XML), uno de los lenguajes más utilizados para la definición de flujos de trabajo. En dicha comparación se establecen las correspondencias existentes entre elementos del meta-modelo de IMS-LD como persona, rol, actividad, estructura de actividad, método y entorno con distintos elementos del meta-modelo de XPDL.

4.5.2 Modelo de referencia para el diseño de un motor de flujo de aprendizaje

La relación existente entre ambos tipos de motores ha dado lugar a la posibilidad de utilizar [Cha98] [Van03a] en el diseño de los motores de flujo de aprendizaje el modelo de referencia para los motores de flujo de trabajo propuesto por la WfMC (*Workflow Management Coalition* – Coalición para la Gestión de Flujo de Trabajo) [WMC95]. Este modelo, mostrado en la Figura 4.7, define un total de cinco interfaces que pueden ser implementadas en un motor para interactuar con otros tantos elementos diferentes. Dichas interfaces se describen a continuación:

- La **interfaz 1** permite proporcionar al motor la definición del proceso que debe ser interpretado. Estos procesos pueden ser descritos utilizando la herramienta de autoría que se considere oportuna.
- La **interfaz 2** hace posible la interacción con los clientes del sistema en el que se encuentra integrado el motor. A través de dicha interfaz se comunica información relacionada, entre otras cosas, con la conexión y desconexión del usuario, el control de los procesos y las actividades, y el estado de los procesos.

- La **interfaz 3** es empleada por el motor para comunicarse con las herramientas utilizadas para dar apoyo a las distintas actividades del proceso. Esta interfaz se utiliza habitualmente para tareas como crear o destruir instancias de las herramientas, obtener información sobre su estado, o recoger resultados generados por las mismas.
- La **interfaz 4** facilita la comunicación con otros motores que se encuentren a cargo de la ejecución en paralelo de otras partes del proceso.
- La **interfaz 5** hace posible que distintas herramientas de administración y monitorización puedan interactuar con el motor. De este modo, la interfaz 5 suele ser empleada para facilitar tareas como la gestión de usuarios, la gestión de roles, el control de recursos y la supervisión del proceso.

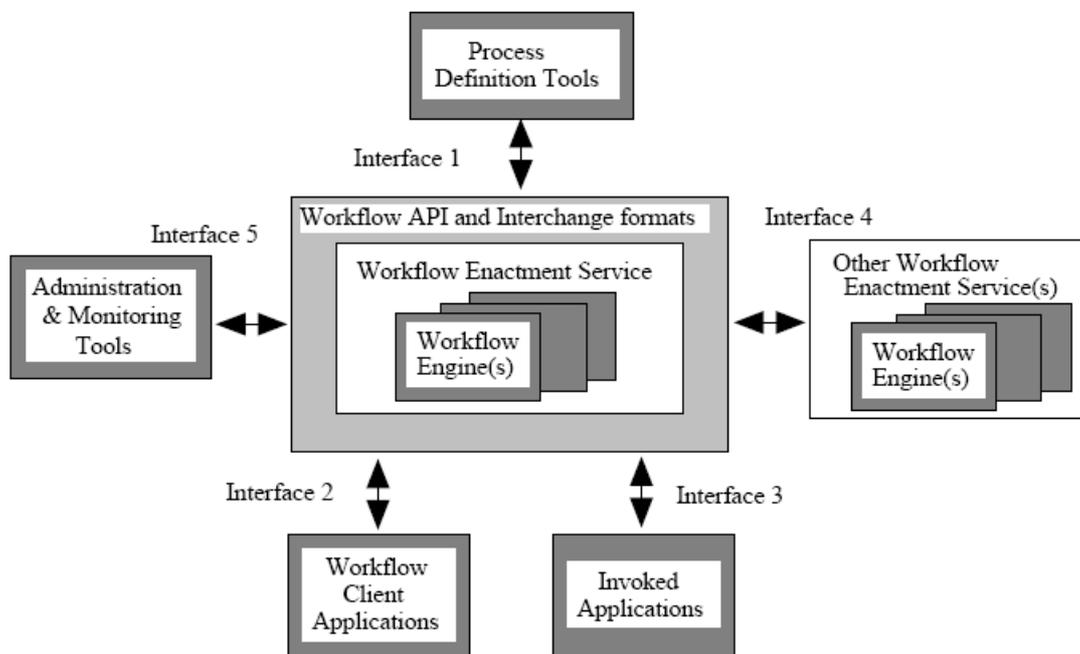


Figura 4.7: Modelo de referencia para los motores de flujo de trabajo propuesto por la WfMC. Figura tomada de [WMC95],

4.5.3 Ejemplos de motores de flujo de aprendizaje para la interpretación de IMS-LD

Un buen ejemplo de un motor de flujo de aprendizaje que permite la interpretación de diseños de aprendizaje basados en IMS-LD es COW (*Cooperative Open Workflows* – Flujos de Trabajo Abiertos y Cooperativos) [Van03a] [Van03b]. COW es un motor que ha sido diseñado de acuerdo con las directrices marcadas por la MDA (*Model Driven Architecture* – Arquitectura Guiada por Modelo) [OMG03] propuesto por el OMG (*Object Management Group* – Grupo de Gestión de Objetos). Además, la implementación de COW se ha llevado a cabo siguiendo el modelo de referencia para los motores de flujo de trabajo propuesto por la WfMC visto en la

subsección anterior. En este sentido, COW es ofrecido como un servicio web, por lo que es posible acceder a sus interfaces utilizando el protocolo SOAP.

Es importante mencionar el hecho de que el lenguaje nativo del motor COW, no es IMS-LD, sino un lenguaje denominado COWL (*COW Language* – Lenguaje de COW). COWL se basa en el meta-modelo mostrado en la Figura 4.8. Éste es a su vez una adaptación del meta-modelo de XPDL, el cual fue convenientemente modificado para recoger algunos elementos necesarios para la descripción de diseños de aprendizaje. De esta manera, la interpretación de un diseño de aprendizaje basado en IMS-LD requiere la transformación previa del mismo en un proceso descrito en COWL. En este proceso de transformación, que puede hacerse de forma automática con las herramientas desarrolladas por el autor de COW, se lleva a cabo la conversión únicamente de los elementos de información que definen la secuencia de actividades del diseño de aprendizaje. Otros elementos como los objetivos de aprendizaje y los prerrequisitos del diseño, por tanto, no son recogidos en la descripción del proceso basada en COWL.

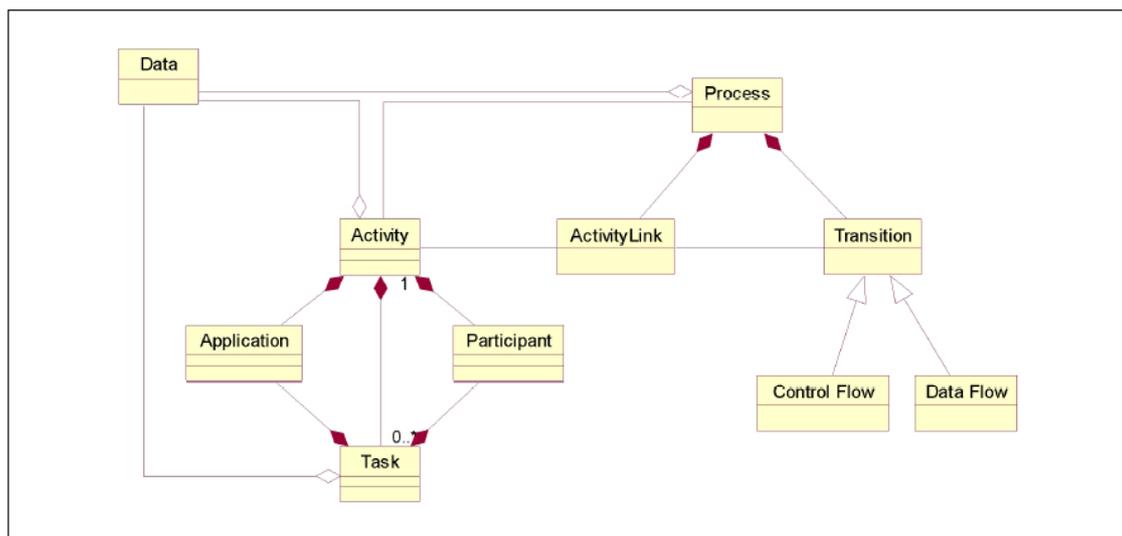


Figura 4.8: Meta-modelo de COWL. Figura tomada de [Van03b].

Coppercore [Mar05] es otro ejemplo de motor de flujo de aprendizaje capaz de interpretar diseños de aprendizaje basados en IMS-LD. Este motor, desarrollado por la Universidad Abierta de Holanda, es el principal candidato para convertirse en la implementación de referencia del consorcio IMS. Coppercore también se ofrece como un servicio web con interfaces que proporcionan las funcionalidades correspondientes a las interfaces 1, 2 y 5 del modelo de referencia de la WfMC. Sin embargo, y a diferencia de COW, Coppercore interpreta IMS-LD de forma nativa, soportando incluso los tres niveles de dicha especificación.

4.6 IMS-LD y motores de flujo para el guiado de actividades

De acuerdo con lo visto en las secciones anteriores, los guiones colaborativos podrían ser descritos en un diseño de aprendizaje basado en IMS-LD interpretable por un motor de flujo. En esta sección se describe cómo es posible combinar ambos elementos para dotar a los sistemas de aprendizaje colaborativo de facilidades de guiado. Además, se presentan algunos sistemas que es posible encontrar en la literatura en los que también se integran motores de flujo de aprendizaje con el objetivo de determinar la secuencia de actividades que deben ser realizadas por los alumnos.

4.6.1 Guiado de actividades en un sistema de aprendizaje colaborativo

Un educador podría utilizar una herramienta de autoría que le ayudara a generar el diseño de aprendizaje correspondiente al guión colaborativo que describe formalmente la situación que dicho docente desea que sea apoyada mediante un sistema de aprendizaje colaborativo. El uso de IMS-LD junto con la extensión para servicios colaborativos propuesta en [Her04] para la especificación de dichos diseños aseguraría la posibilidad de describir guiones colaborativos empleando la sintaxis de [Dil02] con pocas limitaciones.

Concretamente, dichas limitaciones se refieren principalmente a dos aspectos. Por un lado, los guiones no podrían incluir secuencias de fases no lineales en algunas ocasiones. Sin embargo, ésta puede ser considerada una limitación menor teniendo en cuenta que en [Dil02] se recomienda explícitamente que se utilicen secuencias de fases lineales en los guiones. Por otro, sólo sería posible especificar los criterios de formación de grupo tanto intrínsecos como extrínsecos en forma de texto libre. Esto implica que dichos criterios no podrían ser procesados automáticamente por un sistema de aprendizaje colaborativo, sino que debería ser el propio educador o los estudiantes quienes se encargaran de interpretarlos y decidir qué personas deben formar parte de qué grupos. Al igual que en el caso anterior, esto puede ser considerado como una limitación menor.

La realización del guión colaborativo generado por el propio educador podría ser posteriormente apoyada por un sistema de aprendizaje que incluya un motor de flujo. De esta manera, el sistema podría determinar la secuencia de actividades que debe realizar cada alumno para lograr los objetivos pedagógicos deseados así como los documentos de contenido y las herramientas que forman parte de los entornos que deben ser empleados para apoyar cada actividad. Con esta información, el sistema podría encargarse de guiar a los participantes de la situación de aprendizaje colaborativa así como de proporcionarles los entornos adecuados para la realización de las distintas actividades comprendidas en la misma.

4.6.2 Trabajos relacionados

En la literatura es posible encontrar diversos ejemplos de sistemas de aprendizaje que integran un motor de flujos para poder guiar a los alumnos en la realización de actividades. Estos sistemas permiten a los educadores describir secuencias de actividades de tipo tanto individual como colaborativo que posteriormente son llevadas a cabo por los estudiantes con el apoyo de distintas herramientas.

Uno de los ejemplos más significativos de un sistema de aprendizaje basado en un motor de flujo es LAMS (*Learning Activity Management System* – Sistema de Gestión de Actividad de Aprendizaje) [LAM04]. LAMS es un sistema que implementa el concepto de diseño de aprendizaje, pero no la especificación de IMS-LD. En este sentido, incluye una herramienta de autoría con la que es posible definir secuencias de actividades tanto individuales como colaborativas asociando a cada una de ellas las herramientas del sistema que deben ser empleadas para su apoyo. Estas secuencias pueden ser interpretadas por el motor de LAMS con el objetivo de guiar a los alumnos. La realización de los diseños de aprendizaje se lleva a cabo a través de un entorno web en el que el sistema proporciona instrucciones a los alumnos acerca de la actividad que deben realizar así como acceso a las herramientas que apoyan dichas actividades. La Figura 4.9 muestra un ejemplo de secuencia de actividades definida con el sistema LAMS.

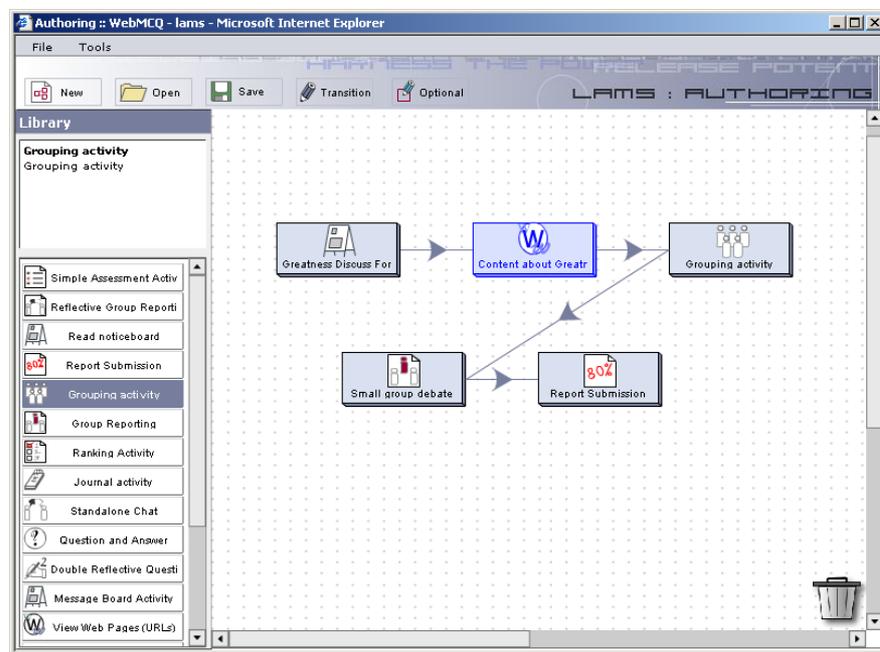


Figura 4.9: Ejemplo de secuencia de actividades definida con LAMS.

Flex-el (*Flexible e-learning* – E-aprendizaje flexible) [Lin02] es un sistema de aprendizaje que incluye un motor de flujo que permite la definición y ejecución de cursos de acuerdo con la estructura mostrada en la Figura 4.10 aunque, al igual que en el caso anterior, no adopta la

especificación IMS-LD. De forma similar a los cursos universitarios, dicha estructura parte de un programa en el nivel más alto. Cada programa se compone de varios cursos que, a su vez, se componen de un conjunto de módulos de estudio. Para cada uno de esos módulos es posible definir la secuencia de actividades típicamente de naturaleza individual que los alumnos deben realizar para lograr los objetivos de aprendizaje deseados. Además, Flex-el permite asociar a cada actividad aquellas herramientas incluidas en el sistema que se consideren oportunas para el apoyo de la misma. La realización de los módulos de Flex-el se lleva a cabo a través de un entorno web de forma análoga al caso de LAMS.

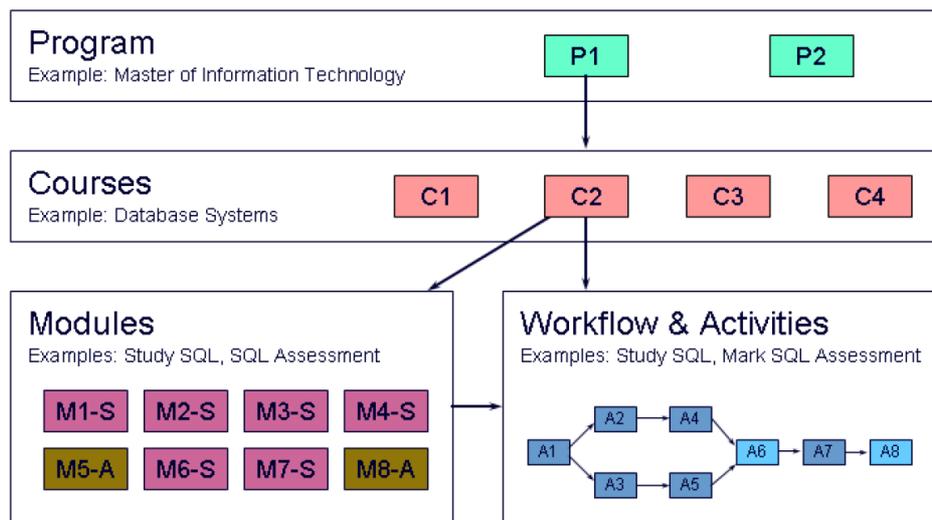


Figura 4.10: Estructura de un curso en Flex-el. Figura tomada de [Lin02].

Campus Virtuel (Campus Virtual) [Vié02] es otro caso de sistema de aprendizaje que integra un motor de flujo. Se trata de un sistema que tampoco adopta la especificación IMS-LD. La última versión del mismo ofrece cuatro servicios principales que pueden ser utilizados a través de un navegador. De este modo, el servicio de inscripción permite al alumno acceder a la lista de los módulos de cursos disponibles e inscribirse en uno o varios de ellos. Cada módulo está compuesto de una secuencia de actividades pedagógicas predefinidas por el profesor. El servicio de trabajo en grupo ofrece una serie de herramientas de comunicación (correo electrónico y foros de discusión) así como un sistema de gestión de ficheros que permite a profesores y alumnos almacenar sus documentos de trabajo. El servicio de organización del trabajo permite a los estudiantes estructurar sus tareas y a los docentes seguir los avances de los alumnos. Este servicio consta de dos componentes principales: una agenda electrónica y un motor de flujos de aprendizaje. La agenda permite a los docentes, entre otras cosas, fijar fechas para la realización de actividades síncronas de forma presencial o a distancia. El motor, en cambio, se encarga de organizar las actividades que deben hacer los estudiantes de un módulo dado. Finalmente, el servicio de referencias indexa y almacena distintos recursos pedagógicos que pueden ser utilizados durante la realización de las actividades.

Es necesario resaltar el hecho de que, aunque los tres sistemas mencionados permiten la realización de actividades de aprendizaje individuales y colaborativas de manera guiada, ninguno de ellos presenta las otras dos características buscadas en esta tesis para los sistemas de aprendizaje colaborativo. Por un lado, se trata de sistemas que no permite al docente integrar nuevas herramientas para el apoyo de las actividades. Por otro, son sistemas que no facilitan la posibilidad de utilizar herramientas que hagan uso de capacidades de supercomputación o de recursos de *hardware* específicos para apoyar las actividades de aprendizaje.

4.7 Conclusiones

Una de las limitaciones de los sistemas de aprendizaje colaborativo maleables que fueron detectadas en el capítulo 2 se refiere al hecho de que estos sistemas no ofrezcan facilidades de guiado que ayuden a los alumnos a seguir la secuencia de actividades que deben realizar en el contexto de una situación de aprendizaje colaborativo. En este capítulo, se ha estudiado la posibilidad de emplear los lenguajes de modelado educativo en general, e IMS-LD en particular, para abordar este problema.

De este modo, se han presentado las principales definiciones y conceptos relacionados con los lenguajes de modelado educativo. Además, se ha introducido el modelo básico de lenguaje de modelado educativo propuesto por la CEN/ISS WS-LT. También se ha llevado a cabo un breve análisis de la adecuación de los distintos lenguajes existentes para la formalización de los guiones colaborativos. Entre las pocas alternativas posibles, la de IMS-LD ha sido considerada como la más apropiada para esta tarea. Por este motivo, su especificación ha sido introducida con cierto nivel de detalle antes de llevar a cabo un estudio pormenorizado de la posibilidad de utilizar IMS-LD para la descripción de los distintos elementos que forman parte de un guión colaborativo de acuerdo con la sintaxis vista en el capítulo 2.

En este sentido, se han detectado tres limitaciones parciales. La más importante de ellas se refiere a la descripción de las herramientas necesarias para el apoyo de actividades. Dicha limitación puede ser solucionada empleando una extensión para IMS-LD que ha sido propuesta en la literatura y modificando ligeramente la forma de utilizar los elementos de objetos de aprendizaje y servicios definida por la especificación. Las otras dos limitaciones tienen que ver con la existencia de dificultades para describir secuencias de fases no lineales o para especificar criterios de formación de grupos de tipo intrínseco como extrínseco. En este caso no es posible solucionar estas limitaciones de manera sencilla. Sin embargo, dado el carácter menor de las mismas, es posible concluir que el uso de IMS-LD en combinación con la extensión para herramientas colaborativas permite la descripción de un amplio rango de guiones colaborativos.

Por otra parte, se ha introducido el concepto de motor de flujo de aprendizaje como elemento clave para el guiado de actividades de aprendizaje. Este concepto se ha relacionado con el modelo de referencia para los motores de flujo de trabajo propuesto por la WfMC. También se han mostrado algunos ejemplos de motores de flujo capaces de interpretar diseños de aprendizaje basados en IMS-LD y que, por lo tanto, podrían ser empleados para la interpretación de guiones colaborativos.

Finalmente, se ha descrito cómo sería posible combinar el uso de IMS-LD para la descripción de guiones colaborativos con el empleo de un motor de flujo para dotar a un sistema de aprendizaje colaborativo de facilidades de guiado. Esta idea será aprovechada en el capítulo siguiente para proponer un sistema de aprendizaje colaborativo maleable que no esté limitado en este aspecto. Además, se han revisado algunos ejemplos de sistemas que es posible encontrar en la literatura en los cuales se utilizan motores de flujo para determinar la secuencia de actividades que debe ser realizada por cada alumno. De esta manera, ha sido posible comprobar que dichos sistemas no ofrecen la posibilidad de integrar nuevas herramientas ni la de utilizar herramientas que puedan hacer uso de capacidades de supercomputación o recursos de *hardware* específicos.

Capítulo 5

Sistema maleable basado en servicios grid para el apoyo del aprendizaje colaborativo guiado

En los capítulos anteriores se ha estudiado y discutido la posibilidad de utilizar el grid computacional basado en servicios y la especificación IMS-LD para abordar las limitaciones de los sistemas de aprendizaje colaborativo maleables que fueron detectadas en el capítulo 2. En este capítulo se emplean estas ideas para proponer un nuevo sistema de aprendizaje colaborativo maleable que pretende superar dichas limitaciones. Este nuevo sistema, denominado Gridcole (*Grid-based Collaborative Learning Environment* – Entorno de Aprendizaje Colaborativo basado en el Grid), permite a los educadores definir fácilmente las herramientas basadas en servicios grid que deben ser integradas por el sistema para apoyar la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo definidas formalmente con IMS-LD. Gridcole se presenta en este capítulo siguiendo una aproximación “arriba-abajo” en la que el sistema propuesto se describe yendo de lo más genérico a lo más concreto. De esta manera, la sección 5.2 da una visión general de Gridcole presentando sus funcionalidades básicas, su funcionamiento y sus principales características. A continuación, la sección 5.3 introduce la arquitectura lógica del sistema, se identifican los distintos subsistemas de los que consta dicha arquitectura y se describen los elementos que forman parte de la misma. En la sección 5.4, en cambio, se muestra cómo el funcionamiento de estos elementos permite ofrecer las funcionalidades básicas del sistema. La sección 5.5 define y discute el modelo al que se deben ajustar las herramientas de los proveedores para que éstas puedan ser integradas en Gridcole, mientras que las secciones 5.6 y 5.7 establecen, respectivamente, la información que deben aportar los proveedores de herramientas y los usuarios para que el sistema pueda funcionar correctamente. En la sección 5.8 se introducen la arquitectura física de acuerdo con la cual se está implementando actualmente el sistema Gridcole así como las distintas tecnologías que están siendo empleadas para ello. El prototipo del sistema que se utilizará en el capítulo siguiente para validar las principales características de Gridcole se presenta en la sección 5.9.

La propuesta del sistema Gridcole cumple el objetivo principal de esta tesis a la vez que representa una de las contribuciones fundamentales de la misma. La primera propuesta de este sistema fue publicada en [Bot04b], mientras que las versiones refinadas de la misma obtenidas como consecuencia del proceso de revisión de ideas derivado de la aplicación del método de investigación de carácter cíclico seguido en esta tesis han sido publicadas en [Bot04d] y [Bot05].

5.1 Introducción

En el capítulo 3 de esta tesis se discutió la posibilidad de utilizar el grid computacional basado en servicios para abordar la limitación de los sistemas de aprendizaje colaborativo maleables referida a la dificultad de integración de herramientas que hagan uso de capacidades

de supercomputación o de recursos de *hardware* específicos. En este estudio se hizo ver que sería posible disponer de un grid en el que numerosos proveedores ofrecieran todo tipo de herramientas adecuadas para el apoyo de diferentes actividades que puedan ser realizadas en el contexto de una situación de aprendizaje colaborativo. También se mostró cómo dichas herramientas podrían ser utilizadas en el contexto de un sistema de aprendizaje de acuerdo con el modelo de maleabilidad por integración blanda.

Dada la naturaleza heterogénea del grid, estas herramientas podrían ser tanto de tipo *software* como *hardware*. Además, en caso de necesitar hacer uso de capacidades de supercomputación, dichas herramientas podrían agregar los recursos computacionales compartidos por otras organizaciones del grid. Igualmente, también podrían acceder a los recursos de *hardware* de otros proveedores si esto fuera necesario.

Las herramientas serían ofrecidas por los proveedores como servicios grid de acuerdo con el estándar OGSA. De esta manera se facilitaría la integración de las herramientas en el contexto de un sistema de aprendizaje colaborativo. Además, también sería posible que los proveedores emplearan servicios de registro para publicar la descripción de sus herramientas. Dichos registros harían posible la búsqueda de la herramienta más adecuada entre el conjunto de las ofrecidas por los distintos proveedores del grid.

En el capítulo 4, en cambio, se estudió la adecuación de la especificación IMS-LD para la descripción formal de guiones colaborativos que puedan ser interpretados automáticamente con el objetivo de guiar a los participantes a través de la secuencia de actividades que comprende una situación de aprendizaje colaborativo. Concretamente, se mostró cómo el uso de IMS-LD en combinación con la extensión para servicios colaborativos definida en [Her04] podría permitir describir guiones colaborativos de acuerdo con la sintaxis propuesta en [Dil02] con pocas limitaciones. También se vio cómo dichos guiones podrían ser interpretados por un motor de flujo integrado en un sistema de aprendizaje colaborativo para de este modo dotar al mismo de la posibilidad de guiado.

Estas ideas son la base utilizada en el presente capítulo para definir un nuevo sistema de aprendizaje colaborativo, denominado Gridcole (*Grid-based Collaborative Learning Environment* – Entorno de Aprendizaje Colaborativo basado en el Grid), que pretende superar las limitaciones de los sistemas maleables detectadas en el capítulo 2. De esta manera, Gridcole es un sistema que hace posible la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo de manera guiada. Dichas situaciones son apoyadas mediante herramientas integradas por el sistema que, en caso de que esto sea necesario, pueden hacer uso de capacidades de supercomputación o de recursos de *hardware* específicos.

5.2 Visión general del sistema

Gridcole es un sistema maleable que hace posible que los educadores puedan definir fácilmente las situaciones de aprendizaje colaborativo que deben ser apoyadas por el sistema utilizando la especificación IMS-LD así como elegir las herramientas basadas en servicios grid que deben ser empleadas para su apoyo. En esta sección se da una visión general del mismo desde tres puntos de vista: las funcionalidades más importantes que ofrece a sus usuarios, su funcionamiento y sus características principales.

5.2.1 Funcionalidades básicas

El sistema Gridcole ofrece a sus usuarios tres funcionalidades básicas. Éstas son las siguientes:

- **Definición de situaciones.** Gridcole permite a los educadores definir las situaciones de aprendizaje colaborativo que desean que sean apoyadas por el sistema en términos de la secuencia de actividades que deben ser realizadas por sus participantes así como de los documentos y herramientas que han de ser utilizados para llevar a cabo dichas actividades.
- **Gestión de situaciones.** El sistema hace posible que los educadores puedan poner en marcha la realización de una situación en el sistema, comprobar durante la realización de una situación en el sistema el grado en que ésta ha sido completada por los participantes de la misma y, terminar la realización de una situación en el sistema.
- **Realización de situaciones.** Gridcole también permite que tanto aprendices como educadores realicen de manera guiada las situaciones de aprendizaje colaborativo que se ponen en marcha en el sistema utilizando los documentos y las herramientas indicadas.

5.2.2 Visión general del funcionamiento

Para definir una situación de aprendizaje colaborativo, el educador debe proporcionar al sistema una unidad de aprendizaje creada de acuerdo con la especificación IMS-CP que contenga la descripción formal de dicha situación basada en la especificación IMS-LD extendida de acuerdo con la propuesta de [Her04] para la definición de servicios colaborativos. El sistema admite dos tipos de unidades de aprendizaje: completas e incompletas. Las *unidades de aprendizaje completas* son aquellas en las que se incluye toda la información necesaria para que Gridcole pueda localizar en un grid orientado a servicios las herramientas concretas que deben ser integradas para el apoyo de las actividades definidas en la situación de aprendizaje colaborativo. En las *unidades de aprendizaje incompletas* no se incluye esta información, sino simplemente una descripción de cada una de las herramientas necesarias para el apoyo de las

actividades. En ambos tipos de unidades es posible incluir, además, los documentos que deben ser utilizados en la situación o, de manera alternativa, la localización de los mismos.

En caso de que la unidad proporcionada al sistema sea de tipo incompleto, el sistema se encarga de buscar entre las herramientas ofrecidas por los proveedores de un grid computacional como servicios grid orientados a presentación para seleccionar las que mejor se ajustan a las descripciones incluidas en dicha unidad. De esta manera, el educador puede escoger entre las herramientas encontradas aquellas que considere más adecuadas para el apoyo de la situación. Una vez que esta elección se ha llevado a cabo, el sistema crea una unidad de aprendizaje completa a partir de la incompleta e incluye en ella la información necesaria para llevar a cabo la integración de las herramientas seleccionadas de acuerdo con el modelo de maleabilidad por integración blanda. Dicha unidad completa es almacenada en el sistema para su uso posterior. La Figura 5.1 muestra de manera resumida la secuencia de interacciones que se dan en el contexto del sistema en este caso.

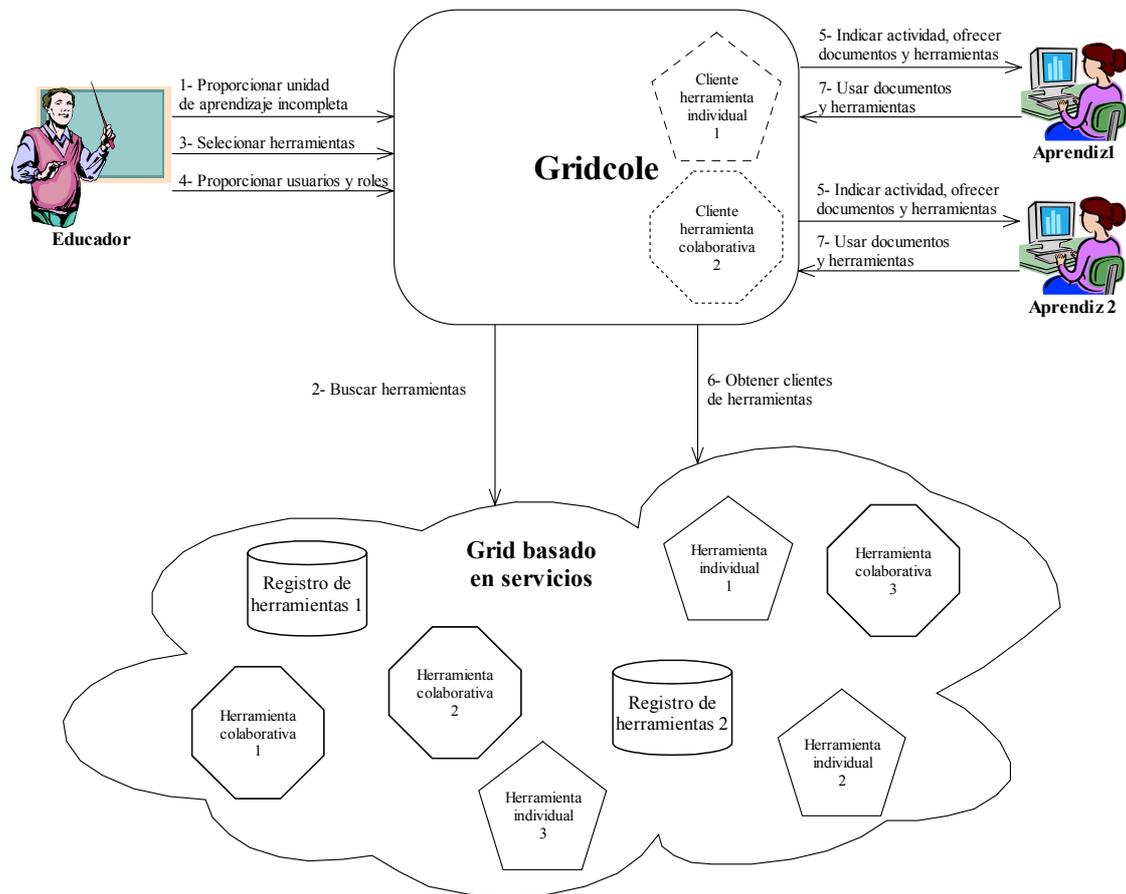


Figura 5.1: Resumen de interacciones que se dan en el contexto del sistema cuando el educador define la situación de aprendizaje colaborativo que desea que sea apoyada por el sistema (interacciones 1 a 3), cuando el educador pone en marcha la realización de una situación (interacción 4) y cuando los aprendices participan en la realización de la misma (interacciones 5 a 7).

Para que el sistema pueda poner en marcha la realización de una situación de aprendizaje colaborativo es necesario que el educador proporcione la unidad de aprendizaje completa correspondiente junto con la lista de personas que van a participar así como los roles que éstas van a desempeñar en dicha situación. Una vez hecho esto, los participantes seleccionados por el educador pueden unirse a la realización de la situación.

Durante la fase de realización de la situación, Gridcole interpreta el diseño de aprendizaje incluido en la unidad completa con el objetivo de determinar tanto la secuencia de actividades que deben ser realizadas por los participantes como los documentos y herramientas necesarios para el apoyo de cada una de las actividades. Esto permite al sistema guiar a los participantes indicándole a cada uno de ellos cuál es la actividad que le corresponde hacer en cada momento así como los documentos y herramientas de los que dispone para llevar a cabo dicha actividad. Cuando un usuario decide utilizar una de las herramientas ofrecidas para el apoyo de una actividad, Gridcole se encarga de obtener e instalar el cliente de la misma en el contexto del sistema de manera que el usuario pueda emplear dicho cliente para hacer uso de la herramienta deseada. También es posible apreciar en la Figura 5.1 el resumen de la secuencia de eventos que se dan en este caso.

5.2.3 Características principales

A diferencia de otros sistemas maleables de aprendizaje colaborativo, Gridcole es capaz de integrar herramientas ofrecidas por proveedores en el contexto de un grid computacional orientado a servicios. Esto hace posible que los usuarios de Gridcole puedan emplear herramientas que necesiten hacer uso de capacidades de supercomputación o de recursos de *hardware* específico. Sin embargo, es importante aclarar que Gridcole no sólo permite utilizar este tipo de herramientas, puesto que también es posible ofrecer como servicios grid herramientas que no hacen uso de capacidades de supercomputación o de recursos de *hardware* específico.

Además, Gridcole es un sistema capaz de ejecutar guiones colaborativos formalizados empleando la especificación IMS-LD. En dicha ejecución el sistema se encarga de guiar a los alumnos indicándoles la secuencia de actividades que deben realizar y poniendo a su disposición los documentos y las herramientas que han sido definidos para su apoyo. En este punto es importante mencionar que el grado de libertad del que gozarán los participantes a la hora de realizar una situación depende de cómo haya decidido el educador definir el diseño de aprendizaje correspondiente. De esta manera, el educador puede utilizar IMS-LD para definir desde situaciones de aprendizaje en las que se especifica estrictamente qué deben hacer los participantes hasta situaciones en las que se permite a los participantes colaborar con total libertad. En este último caso el guión colaborativo no incluiría una secuencia de actividades sino

una única actividad en la que los participantes pueden colaborar libremente. A la hora de apoyar una situación de este tipo, al no haber necesidad de guiado por tratarse de una situación con una sola actividad, Gridcole se encargará de proporcionar las herramientas y los documentos seleccionados por el educador para la realización de la misma.

Otra característica que merece la pena mencionar es que Gridcole es un sistema que puede ser empleado para la realización de situaciones de aprendizaje en la que los participantes de la misma pueden colaborar cara a cara o de manera remota y de forma síncrona o asíncrona. Al igual que en el caso anterior, el educador puede utilizar la especificación de IMS-LD para definir guiones colaborativos en los que se incluyan actividades colaborativas de distinta naturaleza. Igualmente, el educador puede seleccionar las herramientas que considere oportunas para el apoyo de cada actividad teniendo en cuenta el tipo de colaboración que se ha de dar en ella.

Por último, es necesario aclarar que Gridcole no cuenta con facilidades para la edición de los diseños de aprendizaje incluidos en las unidades completas o incompletas admitidas por el sistema. Para abordar esta tarea es posible utilizar alguna de las herramientas de edición de diseños de aprendizaje basadas en la especificación IMS-LD que se vieron en el capítulo anterior. En este sentido, es necesario destacar el hecho de que el grupo de investigación en el que se enmarca esta tesis está desarrollando el editor Collage [Her06], el cual fue introducido en dicho capítulo, con la intención de que los educadores puedan emplear esta herramienta para crear fácilmente diseños de aprendizaje colaborativo que puedan ser realizados en Gridcole [Her05].

5.3 Arquitectura lógica del sistema

La arquitectura lógica de Gridcole está formada por una serie de elementos que se muestran en la Figura 5.2 organizados de acuerdo con el modelo de tres capas empleado habitualmente en el diseño de aplicaciones distribuidas [Ree00] [Jon02]. De acuerdo con este modelo, en la capa superior, denominada capa de presentación, se encuentran los elementos que constituyen la interfaz de usuario del sistema con los que los usuarios interactúan para obtener la funcionalidad ofrecida por Gridcole. La capa intermedia, llamada capa de lógica de negocio, recoge los elementos que implementan los procesos necesarios para que el sistema pueda ofrecer dicha funcionalidad. La última capa, la capa de datos, incluye los elementos del sistema en los que se almacena la información necesaria para el desarrollo de tales procesos. Es importante tener en cuenta que los elementos que se representan con fondo de color gris no forman parte del sistema, sino que son elementos externos al mismo ofrecidos por proveedores en el contexto del grid orientado a servicios. Sin embargo, dado que son imprescindibles para que Gridcole pueda ser utilizado, y teniendo en cuenta que se relacionan muy estrechamente con

otros elementos del sistema, dichos elementos externos también se representan en la arquitectura de acuerdo con el papel que desempeñan en el contexto del sistema con el objetivo de facilitar la comprensión de la misma.

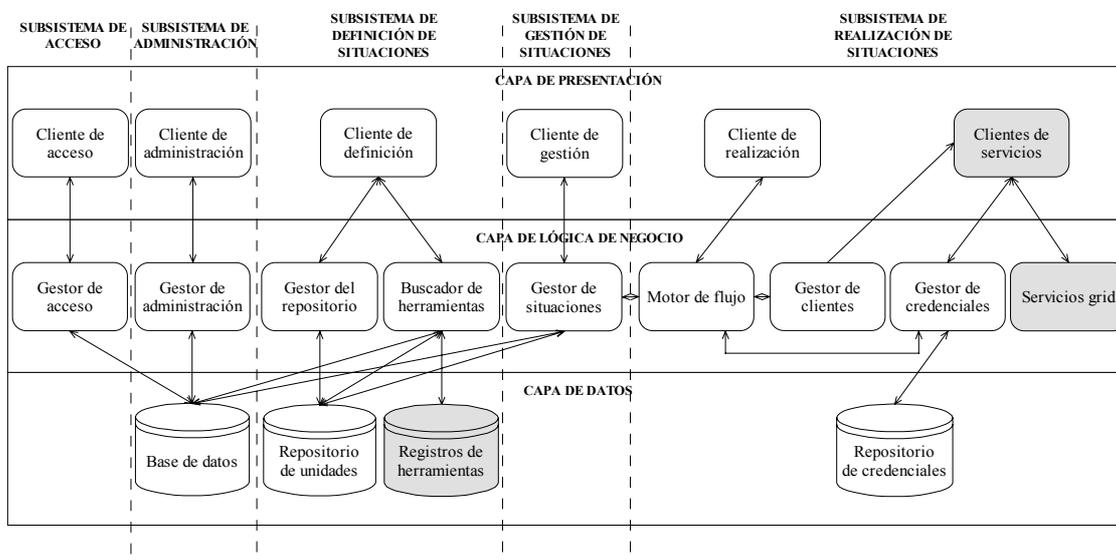


Figura 5.2: Arquitectura lógica del sistema maleable de aprendizaje colaborativo Gridcole. Los elementos pertenecientes al sistema se representan con fondo blanco, mientras que los externos aparecen con fondo gris.

Otra opción utilizada comúnmente para el diseño de aplicaciones distribuidas es el modelo de dos capas [Ree00]. Típicamente, los elementos de la capa superior de dicho modelo, denominada capa de cliente, implementan no sólo la lógica de presentación de la aplicación, sino también una buena parte de la lógica de negocio de la misma. En cambio, la capa inferior, llamada capa de servidor, suelen implementar otra parte de la lógica de negocio a la vez que se encargan de la gestión de los datos de la aplicación. La elección del modelo de tres capas para el diseño de la arquitectura de Gridcole en perjuicio del modelo de dos capas se fundamenta en las ventajas que el primero ofrece en relación con el segundo. Dichas ventajas son las siguientes [Aar96]:

- **Mayor escalabilidad.** Esta es una característica importante para un sistema como Gridcole en el que el número de usuarios puede ser elevado.
- **Cientes más ligeros** que pueden ser ejecutados con menor coste computacional. Esta es otra característica interesante para Gridcole puesto que de esta manera se facilita que los usuarios con máquinas de menor capacidad computacional puedan utilizar el sistema.
- **Portabilidad de los clientes a otras plataformas más fácil.** También es una característica interesante para Gridcole dado que de este modo se facilita la posibilidad de desarrollar clientes que permitan a los usuarios acceder al sistema desde un rango amplio de plataformas.

En la Figura 5.2 también es posible apreciar cómo la arquitectura de Gridcole puede descomponerse desde un punto de vista funcional en cinco subsistemas atendiendo a la responsabilidad que se le ha asignado a cada uno de ellos. Éstos son el subsistema de acceso, el subsistema de administración, el subsistema de definición de situaciones, el subsistema de gestión de situaciones y el subsistema de realización de situaciones. Dichos subsistemas, así como los elementos que les permiten cumplir con su cometido, se describen a continuación.

5.3.1 Subsistema de acceso

El subsistema de acceso se encarga de comprobar la identidad de los usuarios que pretenden acceder al sistema permitiéndoselo sólo a aquellos que han sido previamente dados de alta en Gridcole como tales. El control de acceso de usuarios es necesario en Gridcole para evitar, en la medida de lo posible, que un usuario malintencionado pueda suplantar a otro sin su consentimiento. Esto es especialmente importante teniendo en cuenta que los usuarios del sistema pueden acceder a los recursos compartidos por distintas organizaciones.

Para cumplir con su cometido, este subsistema cuenta con varios elementos. De esta manera, el *cliente de acceso* se encarga de solicitar al usuario su identificador (*login*) y clave de acceso (*password*). El *gestor de acceso*, en cambio, es responsable de comprobar que dicha información realmente se corresponde con el identificador y la clave de un usuario registrado en el sistema. Para ello debe consultar la *base de datos* en la cual se almacena la información necesaria para el correcto funcionamiento del sistema. En ella es posible encontrar, entre otras cosas, información relacionada con los usuarios del sistema como nombres, identificadores, claves y perfiles.

Una vez verificada la identidad del usuario, éste podrá acceder a un subsistema u otro de Gridcole en función del perfil que tenga asignado. Concretamente, en Gridcole se definen tres perfiles diferentes:

- Perfil de administrador, con el que únicamente es posible acceder al subsistema de administración.
- Perfil de educador, que permite hacer uso del subsistema de definición de situaciones, del subsistema de gestión de situaciones y del subsistema de realización de situaciones.
- Perfil de estudiante, que faculta al usuario para acceder sólo al subsistema de ejecución de situaciones.

5.3.2 Subsistema de administración

El subsistema de administración permite llevar a cabo las operaciones de alta, baja y modificación de los usuarios del sistema. Dichas operaciones son imprescindibles para

mantener actualizada la información de los usuarios que pueden acceder o no al sistema así como el perfil con el que lo harán. Este mismo elemento también permite añadir, eliminar o modificar la información de localización de los registros de herramientas que, tal y como se verá en la subsección siguiente, permiten al sistema buscar las herramientas adecuadas para el apoyo de una situación de aprendizaje.

Los elementos que forman parte del subsistema de administración son también tres. El *cliente de administración* permite elegir al usuario la operación que quiere llevar a cabo y se encarga de solicitarle la información necesaria para llevar a cabo la misma. Esta información es utilizada por el *gestor de administración* para, a su vez, actualizar convenientemente la información de que se encuentra en la *base de datos* del sistema.

5.3.3 Subsistema de definición de situaciones

El subsistema de definición de situaciones tiene como principal objetivo ofrecer la primera de las tres funcionalidades básicas identificadas en la sección anterior. De esta manera, dicho subsistema se encarga de permitir a los educadores definir las situaciones de aprendizaje colaborativo que quieren realizar en el sistema indicando los documentos y las herramientas que deben ser utilizados para su apoyo.

Tal y como ya se ha mencionado anteriormente, en Gridcole las situaciones pueden ser definidas a partir de unidades de aprendizaje de tipo completo o incompleto proporcionadas por el educador, siendo necesaria una unidad completa para la puesta en marcha de una situación. De acuerdo con esto, este subsistema permite tres operaciones básicas: añadir una unidad de aprendizaje a la lista de unidades disponibles en el sistema para la realización de situaciones de aprendizaje, eliminar una unidad de dicha lista y crear una nueva unidad completa a partir de una unidad incompleta.

Estas tres operaciones son ofrecidas por el *cliente de definición*, el cual se encarga de solicitar al usuario la información necesaria para que puedan ser llevadas a cabo. La lógica de negocio de operaciones de adición y eliminación de unidades se encuentra en el *gestor de repositorio*. Este elemento se encarga de actualizar convenientemente el *repositorio* en el que se almacenan las unidades de aprendizaje disponibles en el sistema. El *buscador de herramientas*, en cambio, implementa la lógica de negocio de la operación de creación de nuevas unidades completas. De este modo, se encarga de encontrar las herramientas disponibles en el grid orientado a servicios que más se ajusten a las descripciones de las mismas incluidas en la unidad incompleta. Para ello, el buscador consulta los *registros de herramientas* disponibles en el grid en los que los distintos proveedores publican la descripción de sus herramientas, así como la información necesaria para la integración de las mismas.

5.3.4 Subsistema de gestión de situaciones

El subsistema de gestión de situaciones es el responsable de ofrecer la segunda de las tres funcionalidades básicas mencionadas en la sección anterior. Así, este subsistema se encarga de hacer posible que los educadores puedan poner en marcha la realización de una situación de aprendizaje, comprobar el grado en que una situación realizada en el sistema ha sido completada por los participantes de la misma y terminar la realización de una situación en el sistema.

Estas tres operaciones son ofrecidas por el *cliente de gestión* al usuario, el cual puede emplear este elemento para proporcionar al subsistema la información necesaria para llevar a cabo dichas operaciones. A la hora de poner en marcha la realización de una situación el *gestor de situaciones* se encarga de varias tareas. En primer lugar, ha de recabar tanto del usuario como de otros elementos del sistema toda la información necesaria para que el subsistema de realización pueda ejecutar la situación de aprendizaje seleccionada por el educador. Además, es el responsable de obtener de los proveedores de servicios la información necesaria para la posterior descarga de los clientes de los servicios. Por último, también asume la tarea de crear las instancias de los servicios grid correspondientes a las herramientas que van a ser utilizadas durante la realización de la situación. Cuando es necesario comprobar el grado en que una situación ha sido completada, el gestor se encarga de obtener dicha información del subsistema de realización. En el momento de terminar la realización de una situación, en cambio, el gestor de situaciones es responsable de notificar este hecho al subsistema de realización así como de destruir las instancias de servicios creadas para el apoyo de la misma.

Llegados a este punto, es necesario tener en cuenta que tanto la obtención de la información para la descarga de servicios como la creación de instancias de servicios no persistentes son tareas que podrían ser efectuadas por un elemento del subsistema de realización durante la ejecución de la situación en lugar de que el gestor de situaciones lo haga antes de la puesta en marcha de la misma. Sin embargo, se ha preferido la segunda opción de modo que, si por cualquier motivo la información de descarga de algún cliente o alguno de los servicios necesarios para el apoyo de la situación ha dejado de estar disponible en el grid, se evite la puesta en marcha de una situación que, por la falta de alguna herramienta, no podría ser realizada por los participantes de acuerdo con las indicaciones del educador.

5.3.5 Subsistema de realización de situaciones

El propósito del subsistema de realización de situaciones es el responsable de ofrecer la última de las tres funcionalidades básicas mencionadas en la sección anterior. Así, este subsistema se encarga de hacer posible que tanto educadores como aprendices puedan participar de manera guiada en la realización de situaciones.

El elemento principal de este subsistema es el *motor de flujo de aprendizaje* que interpreta el guión colaborativo basado en IMS-LD correspondiente a cada situación de aprendizaje que se encuentre en ejecución. De esta manera, el motor de flujo se encarga de determinar qué actividades debe realizar cada usuario que participa en la ejecución de la unidad, de qué herramientas y documentos puede disponer en cada actividad y cuándo ha de realizar cada actividad. Esta información se le presenta a cada usuario de manera apropiada a través del *cliente de realización*, el cual le ofrece también la posibilidad de acceder a los documentos y herramientas necesarios para llevar a cabo cada actividad. De esta manera, si el usuario desea un determinado documento, el cliente se encarga de obtener del motor de flujo la información necesaria para su descarga. En cambio, si lo que el usuario desea emplear es una herramienta dada, el *gestor de clientes* se encarga de poner a disposición del mismo el *cliente de servicio* correspondiente al *servicio grid* que implementa la lógica de la herramienta seleccionada. Tal y como se vio en el capítulo 3, frecuentemente sólo es posible acceder a los servicios grid de manera segura utilizando credenciales apropiados. De ahí la importancia del *gestor de credenciales*, el cual es elemento encargado de proporcionar los certificados temporales adecuados para acceder a los servicios grid de forma segura. Dichos credenciales se almacenan en el *repositorio de credenciales* del subsistema.

5.4 Funcionamiento del sistema

En la sección anterior se han definido los distintos elementos que forman parte de la arquitectura del sistema Gridcole. Entre ellos se encuentran los elementos necesarios para ofrecer las tres funcionalidades básicas que ofrece el sistema Gridcole: definición de situaciones, gestión de situaciones y realización de situaciones. En las siguientes subsecciones se muestra cómo el funcionamiento de esos elementos permite al sistema ofrecer dichas funcionalidades básicas.

5.4.1 Definición de situaciones

De acuerdo con lo que se ha visto anteriormente, son tres las operaciones ofrecidas por Gridcole con el objetivo de permitir la definición de situaciones que han de ser realizadas por el sistema. Dichas operaciones son la adición de unidades de aprendizaje, la eliminación de unidades de aprendizaje y, por último, la creación de unidades completas a partir de unidades incompletas.

Cuando el educador quiere añadir una nueva unidad de aprendizaje para que esté disponible en el sistema, debe hacer uso del cliente de definición. Este elemento se encarga de pasarle la unidad de aprendizaje proporcionada por el educador al gestor de repositorio, el cual, tras comprobar la validez de la unidad respecto a las especificaciones de

IMS-LD e IMS-CP, la almacenaría en el repositorio de unidades. La secuencia de eventos que se dan en esta operación se muestra en la Figura 5.3.

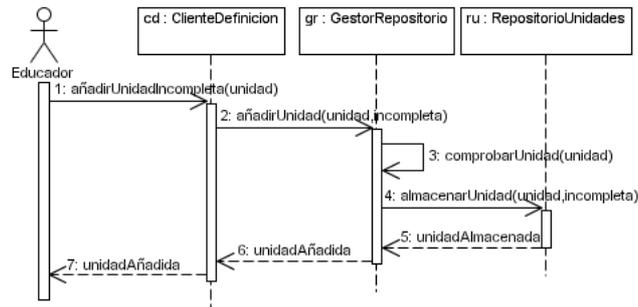


Figura 5.3: Secuencia de eventos que se da entre distintos elementos de Gridcole cuando *el educador añade una unidad de aprendizaje incompleta* al sistema.

Si, por el contrario, lo que desea el educador es eliminar una unidad de aprendizaje disponible en el sistema, el gestor de repositorio se encarga de obtener la lista de unidades almacenadas en el repositorio. Dicha lista se le muestra al educador a través del cliente de definición para que seleccione la unidad que se debe eliminar. Una vez que la elección se ha realizado, el gestor suprime la unidad seleccionada del repositorio. En la Figura 5.4 es posible ver la secuencia de eventos correspondiente a esta operación.

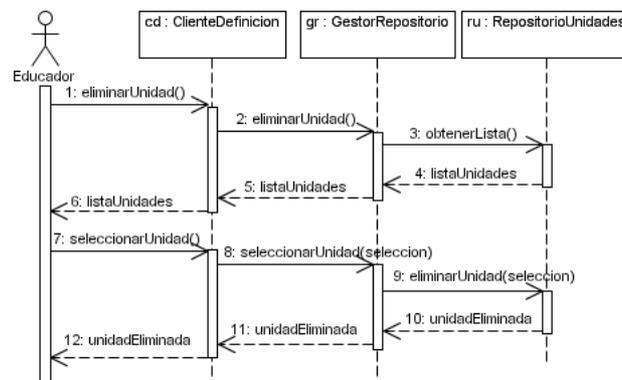


Figura 5.4: Secuencia de eventos que se da entre distintos elementos de Gridcole cuando *el educador elimina una unidad de aprendizaje* del sistema.

Cuando el educador desea crear una unidad completa a partir de una incompleta, el buscador de herramientas obtiene del repositorio de unidades la lista de unidades incompletas disponible en el sistema. Dicha información se le muestra al educador a través del cliente de definición para que pueda seleccionar la unidad incompleta que desea utilizar. Una vez que el educador ha hecho su elección, el buscador obtiene del repositorio la unidad seleccionada y consulta la base de datos para averiguar la localización de los registros de herramientas conocidos por el sistema. A continuación, el buscador lee las descripciones de herramientas incluidas en la unidad incompleta y utiliza esta información para consultar los registros.

Como resultado de estas consultas, los registros devuelven la información necesaria para la integración de todas las herramientas que se ajustan a las descripciones de la unidad de aprendizaje junto con las descripciones de las herramientas seleccionadas que proporcionaron los proveedores. Esto permite que el cliente pueda mostrar al educador las descripciones de las herramientas encontradas por el sistema junto con las descripciones de las herramientas definidas en la unidad. De esta manera, el educador puede contrastar las descripciones para seleccionar las herramientas concretas que considere más adecuadas para la realización de la situación de aprendizaje. Una vez terminado este proceso, el buscador genera una nueva unidad completa en la que incluye toda la información de integración de las herramientas que han sido escogidas. La secuencia de eventos correspondiente a la operación de creación de una unidad completa a partir de una incompleta se muestra en la Figura 5.5.

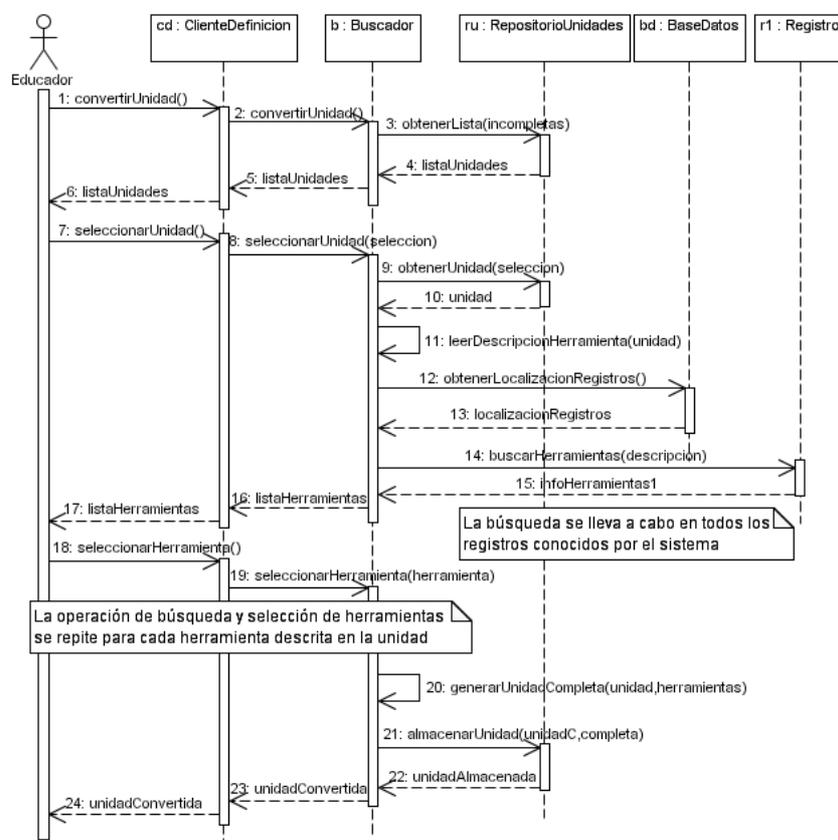


Figura 5.5: Secuencia de eventos que se da entre distintos elementos de Gridcole cuando *el educador crea una unidad de aprendizaje completa* a partir de una incompleta.

5.4.2 Gestión de situaciones

Cuando el educador desea poner en marcha la realización de una situación de aprendizaje colaborativo, el gestor de situaciones obtiene del repositorio de unidades la lista de unidades completas disponible en el sistema. Esta lista se le muestra al educador a través del cliente de gestión para que elija la unidad correspondiente a la situación que se debe poner en marcha. Una

vez que el educador ha elegido, el gestor se encarga de obtener la unidad del repositorio, lee los roles definidos en el diseño incluido en la unidad y consigue de la base de datos la lista de usuarios del sistema que pueden participar en la realización de situaciones. La información de roles definidos en el diseño y usuarios del sistema se le muestra al educador a través del cliente de forma que éste pueda especificar qué usuarios van a participar en la realización y qué roles van a desempeñar cada uno de ellos. La información de integración incluida en la unidad completa permite al gestor dirigirse a los proveedores de servicio con el objetivo de obtener la información de descarga de los clientes de servicio de las herramientas necesarias para el apoyo de la situación así como entrar en contacto con las factorías de los servicios grid no persistentes que vayan a ser utilizados para crear las instancias que se vayan a precisar durante la realización. Finalmente, el gestor pasa al motor de flujo de aprendizaje la unidad completa que debe ejecutar junto con la lista de usuarios que pueden participar en la realización, los roles asignados a éstos, la información de descarga de los clientes y la localización de los servicios recién creados. En la Figura 5.6 es posible observar la secuencia de eventos que se dan en esta operación.

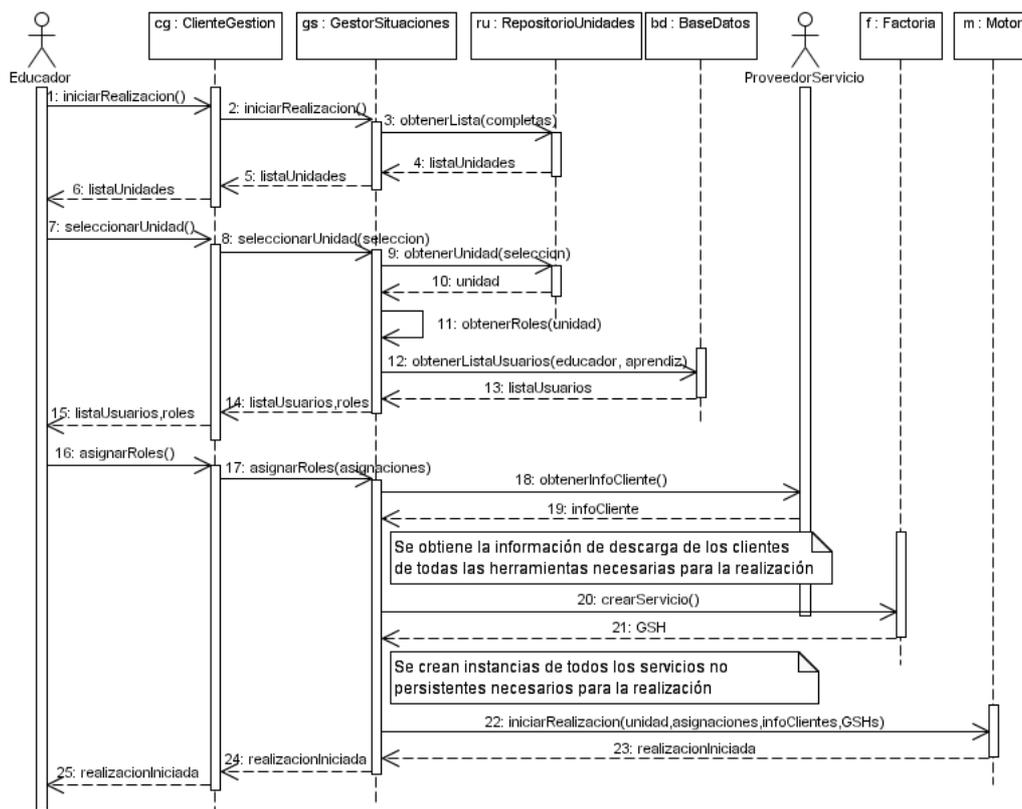


Figura 5.6: Secuencia de eventos que se da entre distintos elementos de Gridcole cuando *el educador pone en marcha la realización de una situación* en el sistema.

Si lo que desea el educador es comprobar el grado en que ha sido completada una situación durante la realización de la misma en el sistema, el gestor de situaciones se pone en contacto con el motor de flujo para obtener la lista de situaciones activas. Esta información se le muestra

al educador a través del cliente de gestión para que seleccione la situación de la que desea averiguar el grado de compleción. A continuación, el gestor obtiene del motor dicha información, la cual se proporciona al educador. La secuencia de eventos correspondiente a esta operación se muestra en la Figura 5.7.

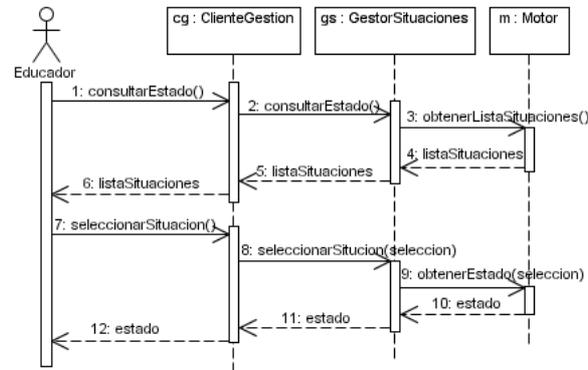


Figura 5.7: Secuencia de eventos que se da entre distintos elementos de Gridcole cuando *el educador comprueba el grado en que una situación realizada en el sistema ha sido completada por los participantes de la misma.*

En caso de que lo que quiera hacer el educador sea terminar la realización de una situación en el sistema, al igual que en el caso anterior, el gestor de situaciones obtiene del motor la lista de situaciones activas que se le proporciona al educador a través del cliente de gestión. Una vez que el educador ha seleccionado la situación que desea eliminar, el gestor le solicita al motor la terminación de dicha situación. La Figura 5.8 muestra esta secuencia de eventos que se da en este caso.

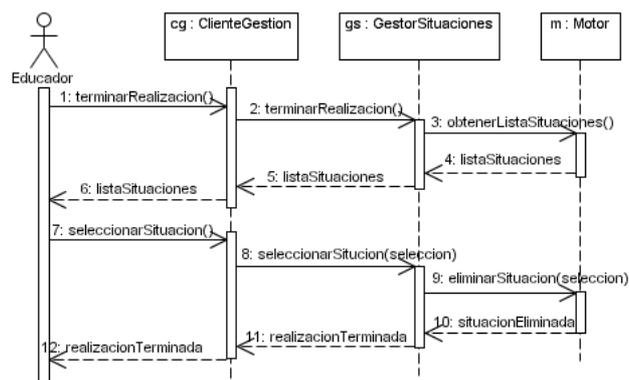


Figura 5.8: Secuencia de eventos que se da entre distintos elementos de Gridcole cuando *el educador termina la realización de una situación en el sistema.*

5.4.3 Realización de situaciones

Una vez comenzada la ejecución de una unidad, los usuarios seleccionados por el educador pueden participar en la misma. De esta manera, cuando un usuario accede al cliente de realización para unirse a la realización de una situación dada, dicho cliente le muestra la

relación de situaciones en las que puede participar de acuerdo con la información proporcionada por el motor de flujo. Una vez que el usuario ha seleccionado la situación a la que se quiere unir, el cliente obtiene del motor la información que debe mostrar acerca de la actividad que le corresponde hacer en ese momento al usuario así como de los documentos y herramientas de los que dispone para ello. Cuando el usuario ha concluido la actividad que debe llevar a cabo, el cliente informa de esto al motor de flujo, el cual devuelve la información correspondiente a la siguiente actividad que debe hacer el usuario. En otras ocasiones será el propio motor quien, en función del desarrollo de la situación de acuerdo con la unidad de aprendizaje correspondiente, notificará al cliente que el usuario debe hacer una nueva actividad incluso en el caso de que no haya terminado la anterior. Esta secuencia de eventos se puede observar en la Figura 5.9.

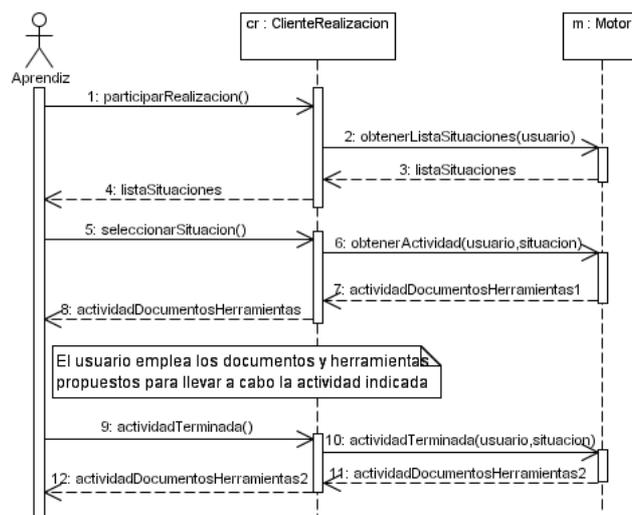


Figura 5.9: Secuencia de eventos que se da entre distintos elementos de Gridcole cuando *un usuario participa en la realización de una situación* en el sistema.

Si durante la realización de la situación el usuario decide utilizar una de las herramientas ofrecidas por el cliente, el motor se encarga de solicitar al gestor de credenciales un localizador de credencial. El localizador de credencial es un código alfanumérico generado de manera aleatoria que puede ser utilizado sólo en una ocasión y durante un tiempo limitado después de haber sido generado para obtener del gestor una credencial temporal que permita acceder de manera segura a un servicio grid. A continuación, el motor pasa al gestor de clientes la información necesaria para la descarga del cliente de la herramienta solicitada, el GSH del servicio con el que se debe comunicar el cliente y el localizador que debe utilizar el cliente para obtener una credencial temporal válida. Con esta información, el gestor de clientes se encarga de descargar, activar y configurar convenientemente el cliente de la herramienta que desea utilizar el usuario. Seguidamente, el cliente solicita al gestor de credenciales una credencial temporal utilizando el localizador que le ha entregado el gestor de clientes. Si dicho localizador es válido, el gestor de credenciales obtiene una credencial temporal del repositorio de

credenciales. Antes de entregársela al cliente, el gestor comprueba que no haya caducado o esté a punto de caducar, en cuyo caso creará una nueva credencial temporal que almacenará en el repositorio en sustitución de la antigua. Una vez que el cliente tiene la credencial temporal el usuario puede comenzar a utilizar la herramienta. En la Figura 5.10 se muestra esta secuencia de eventos.

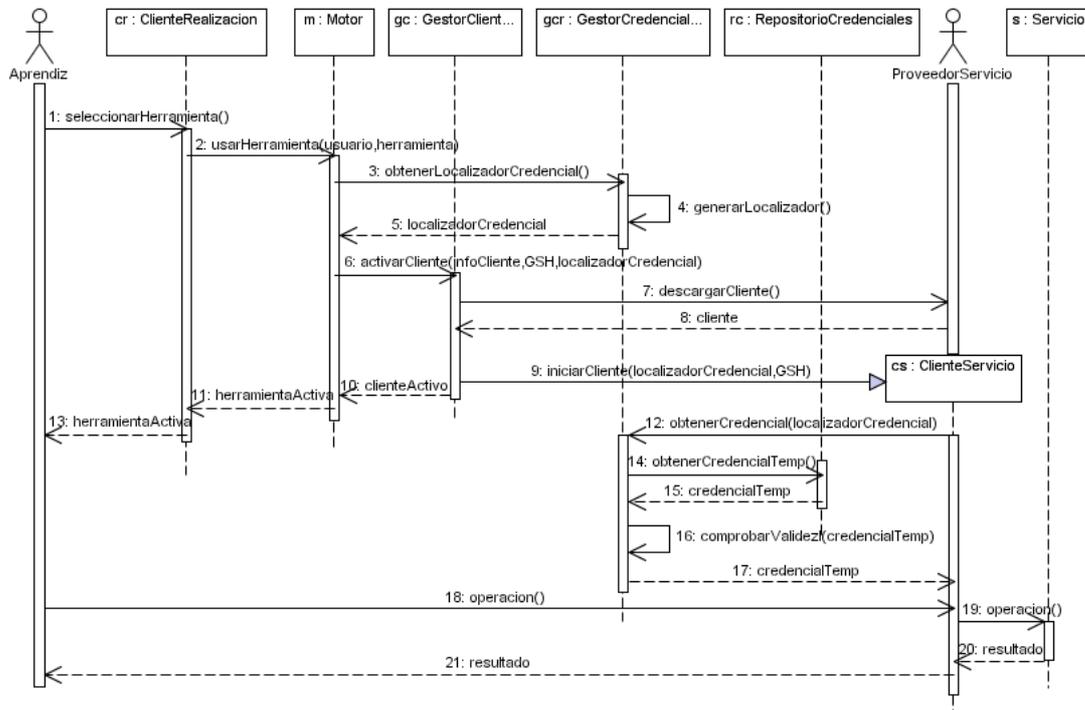


Figura 5.10: Secuencia de eventos que se da entre distintos elementos de Gridcole cuando *un usuario decide utilizar una de las herramientas* ofrecidas por el sistema para apoyar la situación.

Cuando el usuario desea acceder a un documento durante la realización de una situación, el cliente se pone de nuevo en contacto con el motor de flujo. En este caso, el motor le proporciona la localización del mismo de forma que el cliente pueda encargarse de descargarlo para ofrecérselo al usuario. La secuencia de eventos que se da en este caso se muestra en la Figura 5.11.

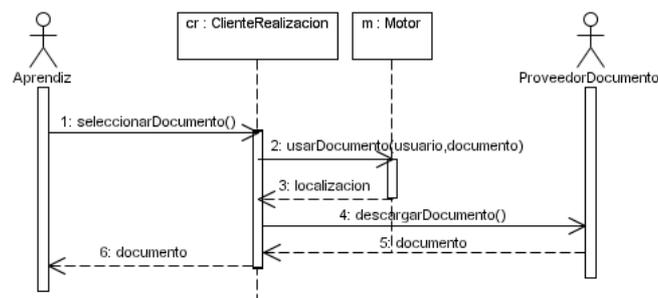


Figura 5.11: Secuencia de eventos que se da entre distintos elementos de Gridcole cuando *un usuario decide utilizar uno de los documentos* ofrecidos por el sistema para apoyar la situación.

5.5 Modelo de herramientas asumido por el sistema

Gridcole es un sistema en el que se implementa la aproximación de maleabilidad por integración blanda que fue propuesta en el capítulo 3. Tal y como ya se ha visto, dicha aproximación se basa en la idea de que los proveedores de herramientas proporcionan, además del servicio grid correspondiente, un cliente para el uso del mismo de manera que el sistema pueda poner dicho cliente a disposición de sus usuarios. Para que esto sea posible es imprescindible que las herramientas ofrecidas por los proveedores se ajusten a un modelo preestablecido en el que se define cómo han de ser implementados tanto los clientes como los servicios y cómo deben ser distribuidos los primeros. Sólo de esta manera el sistema puede saber cómo obtener el cliente del servicio primero, y cómo ponerlo a disposición del usuario convenientemente configurado después. A la hora de definir dicho modelo se ha procurado, en la medida de lo posible, no imponer requisitos que no sean habituales en el contexto de los servicios grid con el objetivo de facilitar la adopción del mismo.

5.5.1 Implementación de los servicios

En el caso de los servicios correspondientes a las herramientas susceptibles de ser integrados en Gridcole es necesario definir dos aspectos de su implementación. Por un lado, la especificación según la cual se implementarán dichos servicios, dado que esta información determina el modo en el que el sistema debe crear las instancias de los servicios no persistentes. Por otro, la forma en que los servicios que implementan herramientas colaborativas permiten definir los grupos que formarán los usuarios a la hora de colaborar utilizando la herramienta ya que, una vez más, esta información define el método que el sistema debe emplear para llevar a cabo esa operación.

En Gridcole se asume que los servicios grid correspondientes a las herramientas han sido implementados de acuerdo con la especificación OGSI. Dicha especificación ha sido elegida en detrimento de WSRF, la otra alternativa posible para la implementación de servicios grid. El motivo de esta elección se debe al hecho de que, aunque se espera que WSRF sea ampliamente aceptada por la comunidad grid, se trata de una especificación muy reciente que aún se encuentra en fase de borrador y, por lo tanto, sujeta a cambios. Por esta razón son numerosos los investigadores que, como en el caso de esta tesis, continúan trabajando con la especificación OGSI.

En Gridcole también se asume que las herramientas colaborativas se ofrecen como servicios grid no persistentes de manera que sea posible crear una instancia del servicio diferente para cada grupo de usuarios que quiera utilizar la herramienta. Desafortunadamente, esto supone definir un requisito que no se ajusta a ninguna especificación ampliamente aceptada

en el contexto del grid computacional orientado a servicios. Una alternativa a esto sería definir una interfaz estándar que podrían implementar los servicios grid (persistentes o no) que permitiera definir distintos grupos de usuarios que utilizan un mismo servicio para colaborar. Sin embargo, esta última opción ha sido descartada porque no sólo define un requisito que tampoco se recoge en especificaciones ampliamente aceptadas sino que, además, habría significado complicar la gestión de grupos en el sistema.

5.5.2 Implementación de los clientes de los servicios

En el caso de los clientes de los servicios correspondientes a las herramientas integrables en el sistema también es necesario definir dos cuestiones relacionadas con su implementación. En primer lugar, la tecnología que se utiliza para el desarrollo de los clientes, dado que esto define la forma en que dichos clientes pueden ser integrados en el contexto del sistema. En segundo lugar, los parámetros que aceptan por defecto los clientes de los servicios, ya que esta información determina hasta qué punto el sistema puede configurar dicho cliente para que el usuario pueda hacer uso de sus herramientas de acuerdo con sus necesidades.

En Gridcole se asume que los clientes de las herramientas integrables en el sistema son implementados como aplicaciones Java [Gos05]. Esta elección se debe al hecho de que Java, junto con los *portlets* [Sun03b], son las únicas tecnologías habitualmente empleadas para el desarrollo de clientes de servicios grid que cuentan con un estándar ampliamente aceptado con el que es posible llevar a cabo la distribución de los mismos. Se ha preferido el uso de Java al de *portlets* debido a que esta última tecnología, al contrario que la primera, no es apropiada para el desarrollo de aplicaciones interactivas. Los clientes interactivos son necesarios para el correcto funcionamiento de las herramientas colaborativas de tipo síncrono y estas herramientas son indispensables para la realización de numerosas situaciones de aprendizaje colaborativo como las que se pretende apoyar con Gridcole.

El sistema también asume que los clientes de los servicios admiten por defecto los siguientes dos parámetros:

- El **GSH del servicio** con el que se debe comunicar el cliente. Este parámetro es especialmente necesario en el caso de las herramientas colaborativas ya que permite al sistema indicar al cliente con qué servicio se debe comunicar en función del grupo con el que deba colaborar el usuario. El GSH del servicio es un parámetro habitual en los clientes desarrollados para servicios grid dado que facilita que el usuario pueda utilizar un mismo cliente para trabajar con distintas instancias de un servicio de acuerdo con sus necesidades. De esta manera, es posible considerar que la necesidad de admitir este parámetro por defecto en los clientes de los servicios no supone una restricción fuerte para los proveedores de herramientas.

- **URL para la obtención de una credencial temporal válida.** Dicha URL, que incluye la dirección del gestor de credenciales del sistema y un localizador generado por éste, es imprescindible para que el cliente pueda disponer de una credencial que le permita comunicarse con los servicios grid a los que sólo es posible acceder de manera segura. La URL en la cual se puede obtener una credencial temporal válida es un parámetro que también es necesario en clientes de servicios que pretendan usar otros sistemas de gestión de credenciales habitualmente empleados por la comunidad grid como MyProxy [Bas05]. Por este motivo, tampoco se puede considerar que este parámetro suponga un requisito difícil de asumir por parte de los proveedores de herramientas.

5.5.3 Distribución de los clientes de los servicios

Otro aspecto referido a los clientes de los servicios que es necesario definir es la forma en que los proveedores de servicios distribuyen dichos clientes. Esta información es imprescindible para que el sistema pueda obtener los clientes de servicio para así poder poner las herramientas de los proveedores a disposición de los usuarios.

El sistema Gridcole espera que los clientes de las herramientas correspondientes a las herramientas susceptibles de ser integradas en el sistema sean distribuidos de acuerdo con el estándar JNLP (*Java Network Launch Protocol* – Protocolo para Lanzar Java en Red) [Sun01a]. JNLP es una especificación que fue concebida con el objetivo de facilitar la distribución de aplicaciones Java en entornos Web. De esta manera, dicho estándar establece cómo es posible ofrecer aplicaciones Java que pueden ser descargadas automáticamente de un servidor para ser ejecutadas localmente en la máquina del usuario.

Para que esto sea posible, basta con que el proveedor de la aplicación defina un fichero XML conforme con la especificación JNLP en el que se indiquen dónde se encuentran todos los ficheros necesarios para ejecutar la aplicación así como los parámetros que se deben pasar a la misma. Este fichero puede ser descargado para su interpretación por parte de un gestor de aplicaciones JNLP que debe estar instalado en el ordenador del usuario. De este modo, el gestor puede encargarse de obtener los archivos de la aplicación así como de iniciar su ejecución en la máquina virtual de Java (JVM – *Java Virtual Machine*) del ordenador del usuario con los parámetros indicados en el fichero JNLP. En la actualidad existen distintos gestores de aplicaciones JNLP siendo el más popular el que la empresa *Sun Microsystems* incluye gratuitamente en sus distribuciones de la máquina virtual de Java, denominado *Java Web Start* (JWS – Inicio de Java vía Web) [Sun04].

Una de las características más interesantes de la especificación JNLP es que permite la ejecución de aplicaciones que pueden comunicarse con otras aplicaciones a través de la red. Esto hace posible que el modelo de distribución definido por JNLP también pueda ser empleado

para la distribución de clientes de herramientas basadas en servicios grid. Para ello basta con que los proveedores de las herramientas ofrezcan los ficheros adecuados que permitan la descarga y ejecución automática de los clientes Java necesarios para hacer uso de dichas herramientas.

En la Figura 5.12 se muestra un ejemplo de fichero JNLP para la distribución del cliente de una herramienta de *chat* basada en servicios grid. En él se puede apreciar, entre otros aspectos, cómo se emplean etiquetas `jar` para especificar los archivos que es necesario descargar en la máquina del usuario para poder lanzar el cliente de la herramienta. También es posible observar cómo se usan etiquetas `argument` para definir un parámetro que debe ser pasado a dicho cliente.

```
<jnlp codebase="http://egeo.tel.uva.es/gridservices"
href="chatservice2.jnlp">
  <information>
    <title>UVA Chat Service</title>
    <vendor>Grupo de Sistemas Inteligentes y Cooperativos</vendor>
  </information>
  <security>
    <all-permissions/>
  </security>
  <resources>
    <j2se version="1.4+"/>
    <jar href="clients/chatclient.jar"/>
    <jar href="stubs/gridcole.services.chat.Chat-stub.jar"/>
    <jar href="ogsa-3.0.2/lib/axis.jar"/>
    <jar href="ogsa-3.0.2/lib/cog-axis.jar"/>
    <jar href="ogsa-3.0.2/lib/cog-jglobus.jar"/>
    <jar href="ogsa-3.0.2/lib/cog-tomcat.jar"/>
    <jar href="ogsa-3.0.2/lib/commons-discovery.jar"/>
    <jar href="ogsa-3.0.2/lib/commons-logging.jar"/>
    <jar href="ogsa-3.0.2/lib/jaxrpc.jar"/>
    <jar href="ogsa-3.0.2/lib/log4j-core.jar"/>
    <jar href="ogsa-3.0.2/lib/ogsa.jar"/>
    <jar href="ogsa-3.0.2/lib/saaj.jar"/>
    <jar href="ogsa-3.0.2/lib/wsdl4j.jar"/>
    <jar href="ogsa-3.0.2/lib/xmlsec.jar"/>
    <property name="org.globus.ogsa.schema.root"
value="http://157.88.130.127:8080"/>
  </resources>
  <application-desc main-class="ChatClient">
    <argument>http://157.88.130.127:8080/gridservices/chat1</argument>
  </application-desc>
</jnlp>
```

Figura 5.12: Ejemplo de fichero JNLP para la distribución del cliente de una herramienta de *chat* basada en servicios grid.

Otro aspecto interesante relacionado con el estándar JNLP se refiere al hecho de que los ficheros proporcionados por los proveedores de servicio pueden ser modificados tanto por el usuario como por terceros para definir nuevos parámetros con los que debe ser ejecutado el cliente. Esto hace posible, por ejemplo, que un sistema ajeno al proveedor pueda generar un nuevo fichero JNLP a partir del original para así poder lanzar el cliente en la máquina del usuario con los parámetros adecuados para el correcto funcionamiento de la herramienta en el

contexto definido por el sistema de acuerdo con las necesidades del mismo. La Figura 5.13 muestra un esquema de interacciones en el que se ilustra esta idea.

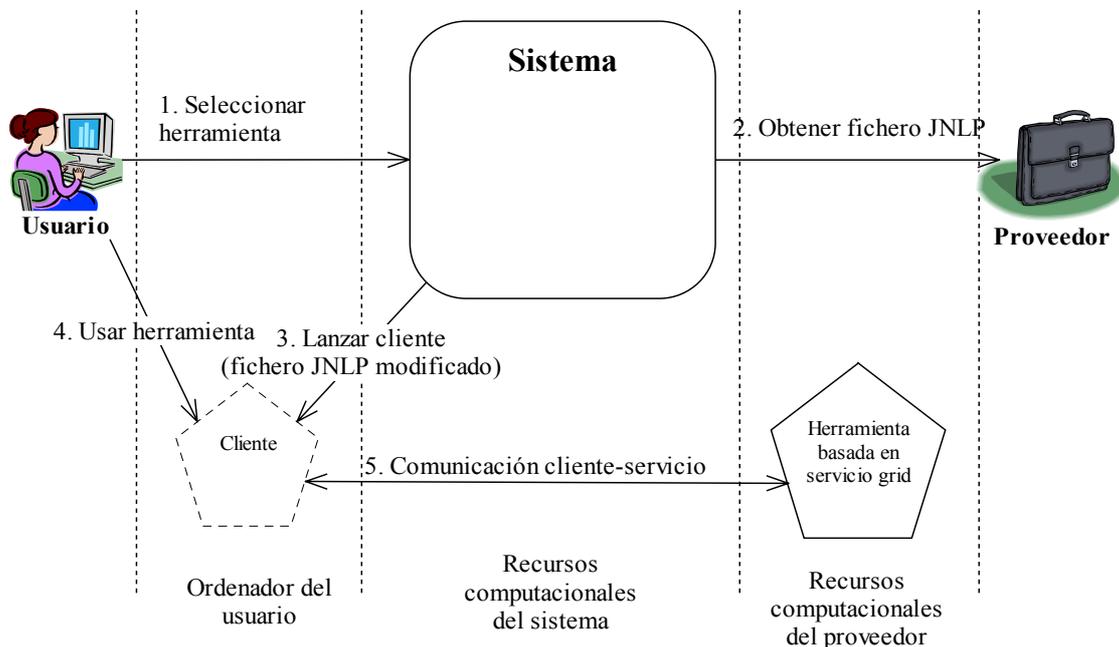


Figura 5.13: Esquema básico de interacciones que se da en el contexto de un sistema que permite a sus usuarios emplear herramientas basadas en servicios grid cuyos clientes se distribuyen de acuerdo con la especificación JNLP.

Desafortunadamente, no existen alternativas a JNLP para la distribución de clientes basados en Java de acuerdo con una especificación que sea empleada habitualmente por la comunidad grid. En este sentido, es posible mencionar que la distribución de clientes basada JNLP se utiliza actualmente en el contexto de otros sistemas basados en servicios grid como es el caso de Telescience [Pel03], Bridges [Sin04] o Gridminer [Bre04]. Sin embargo, es necesario señalar que ninguno de estos tres sistemas puede ser considerado maleable puesto que no permite a sus usuarios añadir nuevas herramientas de acuerdo con sus necesidades.

5.6 Información sobre herramientas proporcionada por proveedores

El sistema Gridcole precisa que los proveedores proporcionen determinada información que permita al sistema encontrar e integrar las herramientas ofrecidas por éstos en el contexto del grid computacional. Tal y como ya se ha mencionado, dicha información debe ser publicada por los propios proveedores en los registros de servicios disponibles habitualmente en el grid computacional.

5.6.1 Descripción de herramientas

Los proveedores han de incluir en los registros descripciones de sus herramientas que permitan a Gridcole buscar las herramientas más adecuadas para el apoyo de las situaciones de aprendizaje colaborativo descritas por los educadores. Dichas descripciones constan de dos partes:

- Una **descripción textual de la herramienta**. Esta información es imprescindible para que, como ya se dijo, el educador pueda decidir si la herramienta encontrada por el sistema realmente es adecuada para el apoyo de la situación de aprendizaje.
- Una **descripción de la herramienta basada en palabras clave**. Esta información es necesaria para que el registro pueda contrastarla con las descripciones de las herramientas buscadas.

El uso de palabras clave no es la mejor forma de describir herramientas de cara a facilitar la búsqueda de las mismas. De acuerdo con [Veg05a], es posible obtener mejores resultados en las búsquedas utilizando descripciones de las herramientas basadas en metadatos con mayor riqueza semántica que las palabras clave o basadas en ontologías. Sin embargo, estas últimas opciones han sido descartadas a favor de la primera por los motivos siguientes. Por un lado, los estándares actuales como IEEE LOM [IEE02] para la descripción basada en metadatos de recursos educativos no están orientados a la descripción de herramientas de apoyo al aprendizaje, sino más bien a la descripción de contenidos educativos [Veg05b]. Por otro, tampoco existe una ontología completa para la descripción de herramientas que permita hacer búsquedas en el contexto de un grid computacional [Veg05a]. Además, el Servicio de Índice (*Index Service*), habitualmente empleado para el registro de servicios en el contexto de los grids orientados a servicios, no permite hacer las inferencias que implica llevar a cabo una búsqueda de herramientas descritas mediante ontologías. Sin embargo, es importante mencionar que en la actualidad el grupo de investigación en el que se enmarca esta tesis está trabajando en el desarrollo de un buscador de herramientas basado en ontologías con la idea de que éste pueda ser incorporado en Gridcole [Veg05a].

5.6.2 Información de integración de herramientas

Además de las descripciones, los proveedores también deben incluir en el registro la información necesaria para que sus herramientas puedan ser integradas en el contexto de Gridcole. Dicha información es la siguiente:

- **La URL del fichero JNLP de descarga del cliente de servicio**. Esta información permite que el sistema pueda conocer la localización del fichero JNLP ofrecido por el proveedor de

la herramienta para acceder a él cuando sea necesario poner el cliente de la misma a disposición del usuario.

- **El GSH de la factoría del servicio correspondiente a la herramienta**, si se trata de un servicio grid no persistente. Esta información hace posible que el sistema pueda acceder a la factoría para crear una instancia del servicio con la cual deberá comunicarse el cliente utilizado por el usuario.
- **El GSH del servicio correspondiente a la herramienta**, si se trata de un servicio grid persistente. Este elemento es imprescindible para que el sistema pueda indicar al cliente lanzado en la máquina del usuario cuál es el servicio con el que debe comunicarse.

En esta lista de elementos es posible apreciar fácilmente que la información necesaria para la integración de herramientas está parcialmente condicionada por el modelo de herramientas definido en la sección anterior. Esto implica que, para poder integrar herramientas a partir de la información presentada en esta subsección, es imprescindible que el sistema conozca a priori el modelo al que se ajustan las herramientas compartidas por los proveedores del grid. Este hecho corrobora la necesidad que se planteó en la sección anterior de establecer dicho modelo.

5.7 Información sobre herramientas proporcionada por educadores

El sistema Gridcole también necesita que los educadores incluyan en las unidades de aprendizaje cierta información sobre las herramientas que se deben usar para apoyar la realización de la situación descrita en la unidad. La información de este tipo incluida en las unidades incompletas permite al sistema buscar las herramientas adecuadas para el apoyo de una situación de aprendizaje colaborativo, mientras que la incluida en las unidades completas hace posible que Gridcole pueda integrar las herramientas seleccionadas para la realización de una situación.

5.7.1 Unidades de aprendizaje incompletas

Las unidades incompletas incluyen una descripción de cada una de las herramientas necesarias para la realización de una situación de aprendizaje. Estas descripciones de herramientas, al igual que las proporcionadas por los proveedores, consisten en una descripción textual y otra basada en palabras clave. La descripción textual sirve para que el educador que va a utilizar una unidad incompleta, aunque no haya sido diseñada por él, pueda hacerse una mejor idea de las herramientas necesarias para el apoyo de cada una de las actividades incluidas en la situación. La descripción basada en palabras clave, en cambio, es necesaria para que el sistema pueda consultar los registros de servicios con el objetivo de encontrar las herramientas que mejor se ajusten a dicha descripción.

La relación de palabras clave y la descripción textual de cada herramienta debe introducirse en el diseño de aprendizaje contenido en la unidad incompleta utilizando la especificación de IMS-LD en combinación con IMS-LRM de acuerdo con lo que se vio en el capítulo 4. En la Figura 5.14 se puede observar el extracto de un manifiesto de una unidad de aprendizaje incompleta a modo de ejemplo. En ella se muestra cómo es posible asociar la herramienta colaborativa S-debate-tool con una descripción textual y varias palabras clave en dos idiomas, inglés y español, utilizando las etiquetas `description` y `keyword` respectivamente.

```

<imscp:manifest>
<imscp:organizations>
  <imsld:learning-design>
    ...
    <imsld:service identifier="S-debate-tool">
      <imsld:conference conference-type="synchronous">
        ...
        <imsld:metadata>
          <lom xsi:schemaLocation="...">
            <general>
              <description>
                <langstring xml:lang="en">Collaborative tool that allows a
group of users to debate in a synchronous way</langstring>
                <langstring xml:lang="es">Herramienta colaborativa que
permite el debate entre un grupo de usuarios de manera
síncrona</langstring>
              </description>
              <keyword>
                <langstring xml:lang="en">debate</langstring>
                <langstring xml:lang="es">debatir</langstring>
              </keyword>
              <keyword>
                <langstring xml:lang="en">synchronous</langstring>
                <langstring xml:lang="es">síncrono</langstring>
              </keyword>
              <keyword>
                <langstring xml:lang="en">collaboration</langstring>
                <langstring xml:lang="es">colaboración</langstring>
              </keyword>
            </general>
          </lom>
        </imsld:metadata>
      </imsld:conference>
    </imsld:service>
  </imsld:learning-design>
</imscp:organizations>
...
</imscp:manifest>

```

Figura 5.14: Extracto simplificado de un manifiesto en el que se muestra cómo es posible introducir una descripción basada en palabras clave de una herramienta de debate.

5.7.2 Unidades de aprendizaje completas

Las unidades completas incluyen la información de integración correspondiente a cada una de las herramientas elegidas para apoyar una situación. Tal y como se vio en la sección anterior,

dicha información consiste en la URL del fichero JNLP de descarga del cliente de servicio y el GSH del servicio o de la factoría del servicio correspondiente a la herramienta. Esta información es necesaria para que, durante la realización de la situación, el sistema pueda obtener, configurar convenientemente y poner a disposición de los usuarios los clientes de las herramientas.

Para incluir la información de integración en una unidad completa es necesario combinar el uso de las especificaciones IMS-LD e IMS-CP de manera análoga a la descrita en el capítulo 4 utilizando una pequeña extensión que ha sido necesario definir para IMS-CP. Dicha extensión se ve motivada por el hecho de que la especificación IMS-CP solamente contempla la posibilidad de definir tres tipos de recursos en el manifiesto de una unidad de aprendizaje: contenido web (*webcontent*), contenido IMS-LD (*imsldcontent*) y otro (*other*). De acuerdo con esto, la información para la integración de herramientas debería ser incluida en el manifiesto como un recurso de tipo *other*. Sin embargo, esto haría imposible que el sistema pudiera distinguir los distintos elementos de la información de integración para operar con ellos debidamente. Por este motivo, se ha extendido ligeramente la especificación de IMS-CP con el objetivo de definir tres nuevos tipos de recursos que sí permiten distinguir dichos elementos de información. Éstos son los siguientes: fichero JNLP (*jnlpfile*), servicio grid (*gridservice*) y factoría de servicio grid (*gridservicefactory*).

Con esta extensión, si se desea especificar que una herramienta definida en el diseño de aprendizaje se corresponde con una herramienta basada en servicios grid concreta, en la definición de dicha herramienta se debe incluir una referencia a un recurso de tipo *jnlpfile*. El apuntador correspondiente a este recurso debe contener la URL en la que se encuentra el fichero JNLP ofrecido por el proveedor para la descarga del cliente de la herramienta. Además, este recurso debe incluir una referencia a un recurso de tipo *gridservice* si el servicio es persistente o de tipo *gridservicefactory* si el servicio no es persistente. El apuntador del primero se corresponde con el GSH del servicio que debe usar el cliente de la herramienta, mientras que el apuntador del segundo define el GSH de la factoría con la que el sistema debe contactar para crear una instancia del servicio.

En la Figura 5.15 se muestra un extracto de un documento de manifiesto de una unidad de aprendizaje completa a modo de ejemplo. En él se puede observar cómo es posible asociar la herramienta S-herramienta con una herramienta concreta basada en un servicio grid persistente a través de los recursos RES-fichero-jnlp, y RES-servicio-persistente.

```

<imscp:manifest>
<imscp:organizations>
  <imsld:learning-design>
    ...
    <imsld:service identifier="S-herramienta">
      <imsld:groupservice groupservice-type="synchronous">
        ...
        <imsld:item identifierref="RES-fichero-jnlp" />
      </imsld:groupservice>
    </imsld:service>
    ...
  </imsld:learning-design>
</imscp:organizations>
<imscp:resources>
  <imscp:resource identifier="RES-fichero-jnlp" type="jnlpfile"
href="http://url.es/fichero.jnlp">
  <imscp:dependency identifierref="RES-servicio-persistente" />
</imscp:resource>
  <imscp:resource identifier="RES-servicio-persistente"
type="gridservice" href="http://gsh.es/gridservice" />
</imscp:resources>
</imscp:manifest>

```

Figura 5.15: Extracto simplificado de un manifiesto en el que se muestra cómo es posible introducir la información necesaria para la integración de una herramienta ofrecida como un servicio grid.

5.8 Implementación del sistema

El sistema maleable de aprendizaje colaborativo Gridcole está siendo implementando en la actualidad de acuerdo con la arquitectura física mostrada en la Figura 5.16. En ella se puede apreciar que todos los elementos definidos previamente en la arquitectura lógica del sistema, exceptuando el gestor de clientes, forman parte de un portal web ofrecido en el contexto de un servidor de aplicaciones. Este portal se comunica, por un lado, con los servicios grid y los registros de herramientas implementados como Servicios de Índice que ofrecen los proveedores en el contexto de un grid computacional y, por otro, con el navegador utilizado por los usuarios para acceder al sistema y con el gestor de clientes instalado en la máquina del usuario.

La decisión de implementar el sistema como un portal web viene motivada fundamentalmente por el interés en facilitar el uso de Gridcole. En este sentido, el hecho de que Gridcole sea ofrecido a través de un portal supone dos ventajas importantes. Por un lado, permite a sus usuarios la posibilidad de utilizar un navegador web para poder acceder al sistema, evitándose de este modo la necesidad de instalar un cliente de aplicación adicional. Por otro, facilita que el sistema pueda ser utilizado incluso por usuarios que están detrás de un cortafuegos ya que éstos no suelen impedir el tráfico HTTP (*HyperText Transfer Protocol* – Protocolo de Transferencia de Hipertexto), protocolo que es utilizado por los navegadores para comunicarse con el portal.

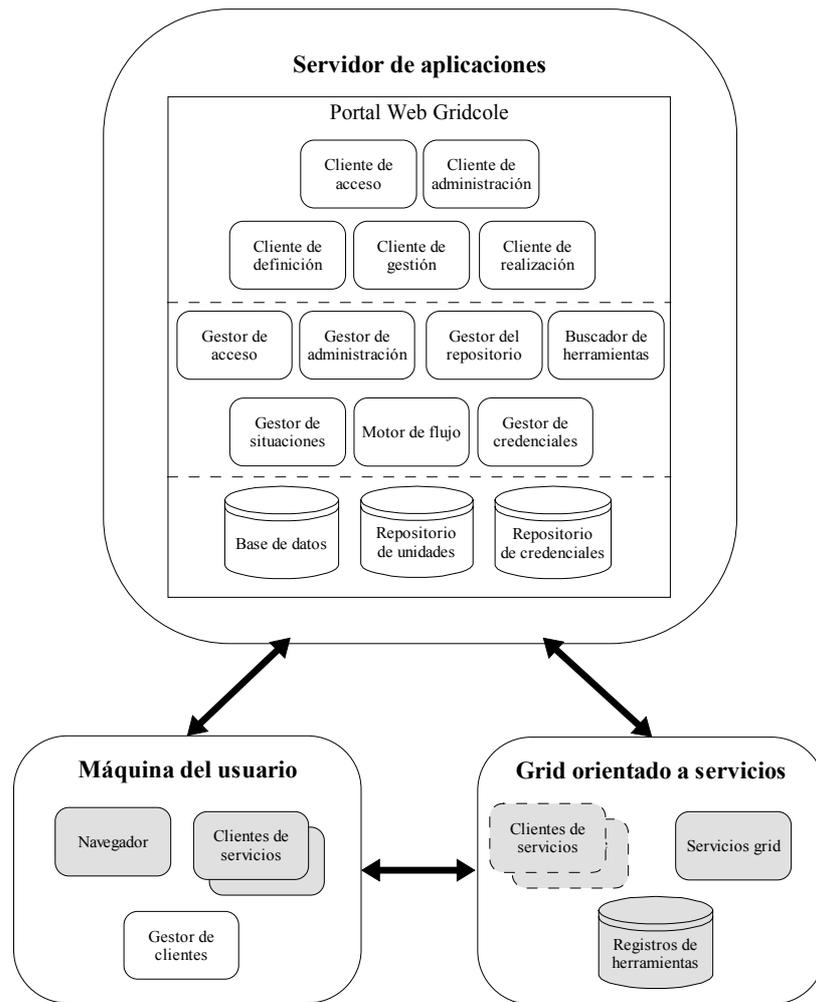


Figura 5.16: Arquitectura física del sistema Gridcole. Los elementos pertenecientes al sistema se representan con fondo blanco, mientras que los externos aparecen con fondo gris.

El desarrollo de los elementos que pertenecen a la capa de presentación del portal se está llevando a cabo utilizando *servlets* [Sun03b] con JSPs (*JavaServer Pages* – Páginas de Servidor Java) [Sun03c] de acuerdo con el patrón de diseño MVC (*Model-View-Controller* – Modelo-Vista-Controlador) [Gam95]. Los *servlets* reciben las peticiones de los clientes y deciden el método de la capa de lógica de aplicación que debe ser invocado. Una vez recibida la respuesta de dicha capa, el *servlet* pasa los datos obtenidos de la misma a una JSP para que ésta genere la interfaz que se le debe mostrar al usuario empleando HTML (*HyperText Markup Language* – Lenguaje de Etiquetado de Hipertexto). De esta manera, los *servlets* hacen las veces de controlador, la capa de lógica de aplicación de modelo y las JSPs de vista [Rom02].

El uso de *servlets* y JSPs ha sido elegido en detrimento de otras alternativas como los CGI (*Common Gateway Interface* – Interfaz de Pasarela Común) [Rob04] y las ASPs (*Active Server Pages* – Páginas de Servidor Activas). Los CGI han sido descartados, entre otras cosas, por la pesada carga que estos suponen al servidor que los ejecuta derivada de la necesidad de crear un nuevo proceso cada vez que un cliente se comunica con el sistema [Rom02]. La opción de las

ASPs, en cambio, ha sido desechada fundamentalmente por sus problemas de compatibilidad con otras tecnologías que no hayan sido desarrolladas por Microsoft.

Los elementos correspondientes a la capa de lógica de aplicación del portal están siendo desarrollados con EJBs (*Entity Java Beans*) [Sun03a]. Esta elección se debe fundamentalmente a dos motivos. En primer lugar a que los EJBs, al igual que los *servlets* y los JSPs, se basan en la tecnología Java, con lo que se facilita la comunicación entre las capas de presentación y de lógica de negocio del sistema. En segundo lugar, a que los EJBs son una tecnología que se considera adecuada para el desarrollo de aplicaciones de servidor puesto que facilita el desarrollo rápido, la escalabilidad y la portabilidad de las mismas [Rom02].

En el caso concreto del motor de flujo se pretende reutilizar en la medida de lo posible el código de Coppercore, el motor desarrollado por la Universidad Abierta de Holanda del que ya se habló en el capítulo 4. Esta opción ha sido tomada teniendo en cuenta que Coppercore es el principal candidato para convertirse en la implementación de referencia del consorcio IMS para la interpretación de diseños de aprendizaje basados en la especificación IMS-LD. De esta manera, en la actualidad se está trabajando en la extensión de Coppercore, el cual también ha sido desarrollado con EJBs, con el objetivo de poder utilizarlo en el contexto de Gridcole.

Los elementos pertenecientes a la capa de datos del portal están siendo desarrollados utilizando JDBC (*Java Database Connectivity – Conectividad de Bases de Datos Java*) [Sun01b] para permitir el acceso a dichos elementos. La elección de esta tecnología se debe, una vez más, al hecho de que facilita el acceso a bases de datos desde aplicaciones Java, como es el caso de los elementos correspondientes a la capa de lógica de negocio. Como sistema gestor de base de datos se ha elegido *PostgreSQL* [Pos05] por ser un gestor de código abierto que permite la creación de bases de datos relacionales de acuerdo con la especificación SQL (*Structured Query Language – Lenguaje de consultas estructurado*).

Finalmente, se ha decidido utilizar *Java Web Start* como implementación del gestor de clientes por ser ésta la implementación más popular del gestor de aplicaciones JNLP. De esta manera, los usuarios sólo necesitan disponer de un navegador web y de la máquina virtual de Java distribuida por Sun Microsystems para poder utilizar el sistema Gridcole.

5.9 Prototipo del sistema

En la actualidad se dispone de un prototipo que ha sido desarrollado con el objetivo de poder comprobar que Gridcole es un sistema de apoyo al aprendizaje colaborativo que presenta las características que se le suponen, es decir, la maleabilidad y la posibilidad de integración de herramientas que pueden hacer uso de supercomputación o de recursos de *hardware* específicos. Esta cuestión se aborda en el siguiente capítulo de la tesis dedicado a la evaluación del sistema.

5.9.1 Prototipo

El prototipo actual de Gridcole implementa tres elementos de la arquitectura física del sistema mostrada en la Figura 5.16. Éstos son el cliente de realización, el motor de flujo de aprendizaje y el gestor de clientes. Para desarrollar este prototipo se ha reutilizado el motor de flujo Coppercore así como el cliente Webplayer que se distribuye con dicho motor, los cuales han sido modificados de manera conveniente para poder emplearlos en el contexto del sistema Gridcole. También se ha utilizado el gestor de aplicaciones JNLP Java Web Start como implementación del gestor de clientes.

El cliente y el motor de flujo distribuidos por el proyecto Coppercore permiten la realización de situaciones de aprendizaje definidas en diseños de aprendizaje basados en IMS-LD con la limitación de que las actividades sólo pueden ser apoyadas con documentos y no con herramientas. De acuerdo con esto, Webplayer ofrece una interfaz web dividida en tres marcos tal y como se muestra en la Figura 5.17. En el marco de la parte superior izquierda, el cliente muestra al usuario la secuencia de actividades realizadas hasta el momento, siendo la última actividad mostrada la que debe ser realizada en ese instante. Cuando el usuario selecciona una de esas actividades, obtiene una descripción de la misma en el marco de la parte derecha. En el marco de la parte inferior izquierda, en cambio, el cliente muestra la lista de documentos disponibles para realizar cada actividad de manera que, cuando uno de ellos es seleccionado, se muestra dicho documento en el marco derecho.

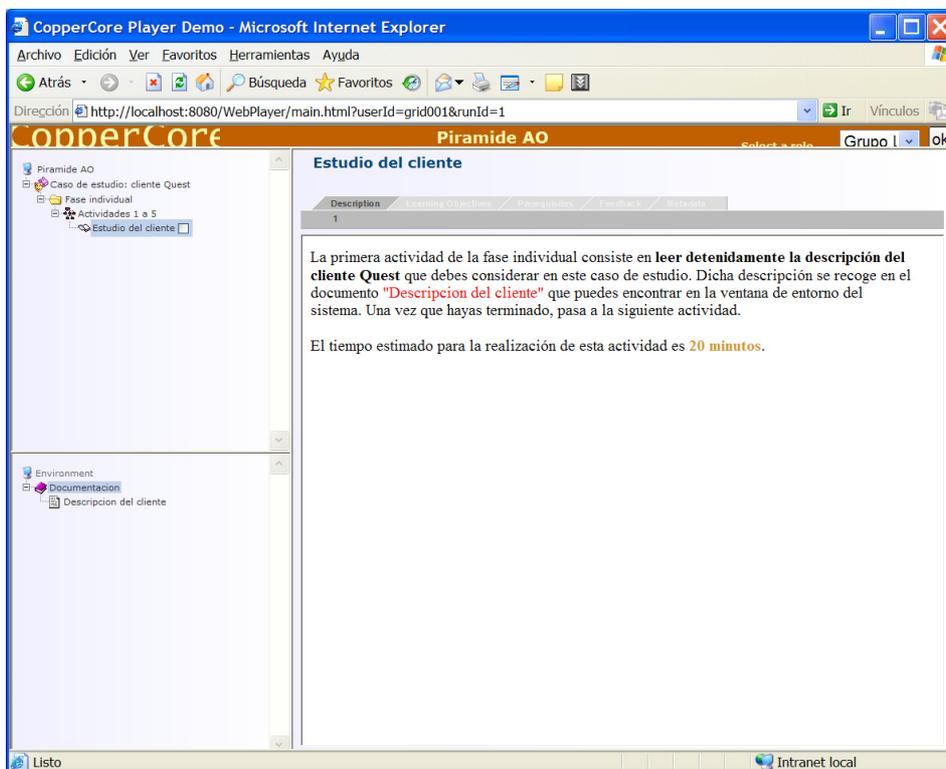


Figura 5.17: Interfaz del cliente Webplayer distribuido junto con el motor de flujo de Coppercore.

Webplayer y Coppercore han sido modificados para hacer posible la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo apoyadas no sólo mediante documentos, sino también mediante herramientas basadas en servicios grid no seguros que se ajusten al modelo de herramientas definido para el sistema Gridcole. Concretamente, el cliente ha sido modificado de manera que muestre en el marco inferior izquierdo de su interfaz todas las herramientas definidas en el diseño de aprendizaje y que comunique al motor de flujo cuándo un usuario ha decidido hacer uso de una herramienta que puede ser tanto de tipo individual como colaborativo. El motor de flujo, en cambio, ha sido extendido para poder atender las peticiones de uso de herramientas generando dinámicamente el fichero JNLP que posteriormente usa el gestor de clientes para poner a disposición del usuario la herramienta que desea utilizar. La Figura 5.18 muestra una captura de pantalla en la que es posible observar el cliente del prototipo de Gridcole durante la realización de una situación de aprendizaje colaborativo junto con el cliente de una herramienta basada en servicios grid empleada para el apoyo de la misma.

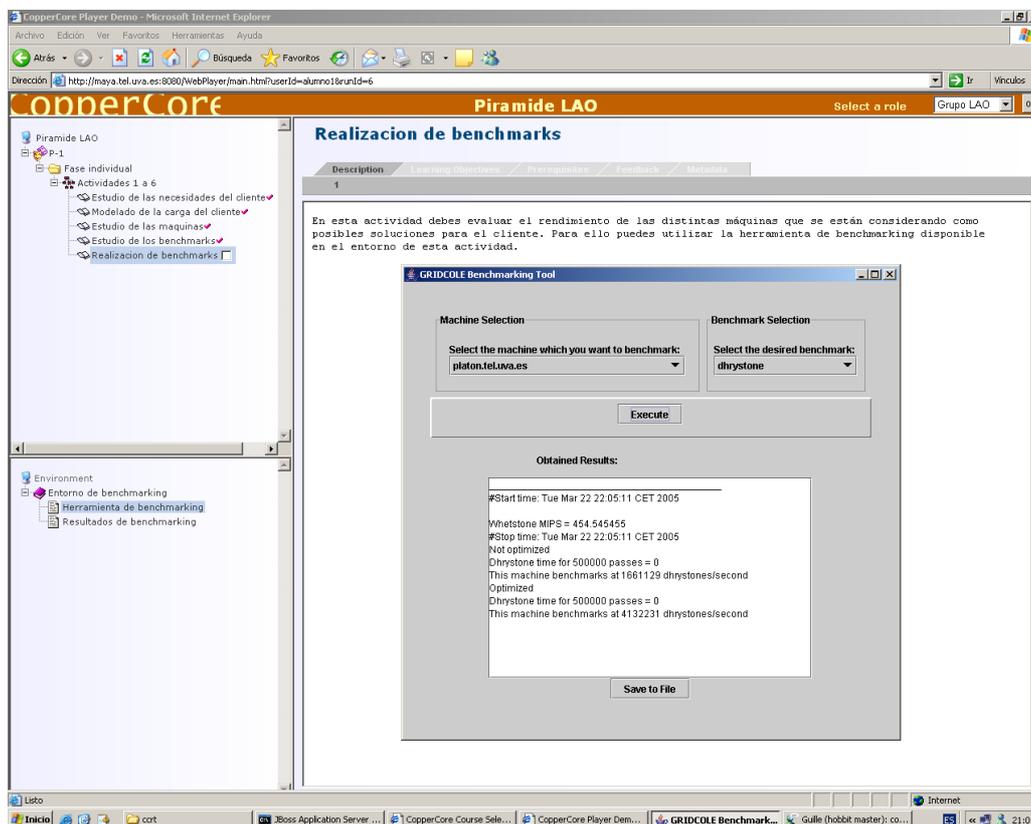


Figura 5.18: Captura de pantalla en la que se muestra el cliente del prototipo de Gridcole junto con el cliente de una herramienta basada en servicios grid integrada por el sistema.

El prototipo actual sólo puede ser utilizado para apoyar la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo a partir de unidades completas. Además, debe ser el propio educador el que se encargue de llevar a cabo las operaciones propias del gestor de situaciones para poner en marcha la situación que se quiere realizar. Sin embargo, una vez hecho esto, los usuarios del

prototipo pueden participar con normalidad en la realización de la situación de aprendizaje colaborativo utilizando herramientas basadas en servicios grid. Tanto es así que, como se verá en el capítulo siguiente, el prototipo ha sido utilizado en dos ocasiones para realizar una situación de aprendizaje colaborativo real.

No obstante, es importante mencionar que el desarrollo completo del sistema Gridcole es uno de los principales objetivos del proyecto “Sistema basado en servicios grid para el diseño e integración flexible de aplicaciones de aprendizaje colaborativo” que, con fecha de julio de 2005, la Junta de Castilla y León ha concedido al grupo de investigación en el que se enmarca esta tesis. Uno de los primeros hitos de la planificación de dicho proyecto, el cual tiene una duración de tres años, es desarrollar un prototipo completo de Gridcole de acuerdo con la arquitectura propuesta en esta tesis. A partir de este prototipo se investigarán las posibles mejoras del sistema que se describen en la sección de trabajo futuro del capítulo siguiente.

5.9.2 Otros esfuerzos de desarrollo

Los esfuerzos de desarrollo llevados a cabo en el contexto de esta tesis no se reducen al prototipo presentado en la subsección anterior. El carácter cíclico de la metodología de investigación seguida en esta tesis dio lugar a otros desarrollos anteriores a este prototipo que, de una manera u otra, han servido para llegar a la propuesta actual de Gridcole que se presenta en este capítulo.

Este es el caso, por ejemplo, del prototipo inicial de Gridcole presentado en [Bot04b] y [Bot04d]. Este prototipo contaba con un motor de flujo de aprendizaje desarrollado como un servicio grid que permitía la ejecución de diseños del nivel A de IMS-LD con ciertas limitaciones. Además, incluía un cliente de realización simple que permitía a los usuarios participar en la realización de la situación de aprendizaje guiadas por el motor utilizando clientes de servicios grid distribuidos como Java Beans [Sun97]. El cliente también presentaba limitaciones como el hecho de que no permitía utilizar documentos durante la realización de una situación. La aparición de la primera versión estable de Coppercore capaz de interpretar hasta el nivel C de IMS-LD así como la necesidad de que el sistema integrara clientes de servicios distribuidos de acuerdo con una especificación ampliamente aceptada llevaron a dejar atrás este prototipo. En la Figura 5.19 es posible observar una imagen del cliente de realización de este prototipo.

También es posible mencionar el desarrollo de un primer prototipo del portal [Mar04] [Lor04] de Gridcole que implementa todos los elementos de la capa de lógica de negocio y de la capa de datos con la excepción del gestor de credenciales, el repositorio de credenciales y el motor de flujo. La experiencia ganada con este prototipo sirvió de base para el diseño del portal del sistema Gridcole que se está implementando en la actualidad.

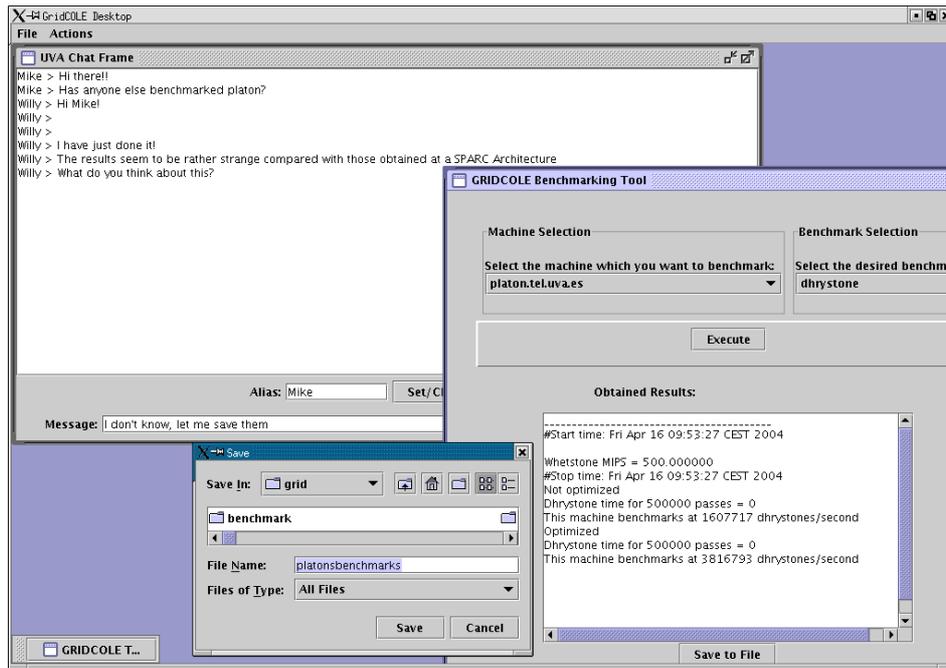


Figura 5.19: Imagen del cliente de realización del primer prototipo de Gridcole en el que se pueden observar las interfaces gráficas correspondientes a dos herramientas basadas en servicios grid.

5.10 Conclusiones

En este capítulo se ha presentado Gridcole, un nuevo sistema de aprendizaje colaborativo maleable que supera las limitaciones de los sistemas de este tipo que fueron detectadas en el capítulo 2 de la tesis. Por un lado, permite la integración de herramientas que requieran el uso de capacidades de supercomputación o el acceso a recursos de *hardware* específicos. Por otro, también ofrece la posibilidad de guiar a los alumnos a través de la secuencia de actividades que comprende una situación de aprendizaje colaborativo. Para hacer esto posible, el sistema propuesto combina las ideas presentadas en los capítulos 3 y 4 sobre el uso de servicios grid orientados a presentación para la integración de herramientas en el contexto de un sistema maleable con el empleo de IMS-LD para la formalización de guiones colaborativos ejecutables por un motor de flujo de aprendizaje.

De esta manera, Gridcole permite a los educadores definir las situaciones de aprendizaje que quieren que sean realizadas de manera guiada por los participantes de la misma así como establecer las herramientas que deben ser integradas por el sistema con el objetivo de apoyar la ejecución de las distintas actividades incluidas en dicha situación. Para ello basta con que el educador proporcione al sistema una unidad de aprendizaje que contenga la descripción formal basada en IMS-LD de la situación incluyendo una descripción de las herramientas necesarias para su realización o, de manera alternativa, información sobre las herramientas concretas que deben ser utilizadas. A partir de esta unidad, el sistema se encarga de localizar en el contexto de

un grid computacional orientado a servicios las herramientas ofrecidas por proveedores ajenos a Gridcole que posteriormente son integradas para permitir la realización de la situación.

Un aspecto importante que es necesario mencionar es el hecho de que Gridcole no impone el uso de las características que lo distinguen de otros sistemas maleables a la hora de apoyar la realización de una situación de aprendizaje colaborativo. De este modo, Gridcole puede ser utilizado tanto para apoyar situaciones en las que se utilizan herramientas que hacen uso de capacidades de supercomputación o recursos de *hardware* específicos como situaciones en las que se emplean herramientas sin este tipo de necesidades extraordinarias. De igual manera, Gridcole permite realizar tanto situaciones en las que los participantes han de ser guiados de acuerdo con un determinado grado de coerción como situaciones en las que éstos pueden colaborar libremente.

La arquitectura lógica del sistema Gridcole ha sido introducida en este capítulo. Esta arquitectura, diseñada de acuerdo con el patrón modelo-vista-controlador, ha sido organizada en cinco subsistemas a los que se ha asignado la responsabilidad de ofrecer distintas funcionalidades necesarias para el correcto funcionamiento del sistema. Los elementos que forman parte de cada uno de estos subsistemas han sido descritos con detalle. También se ha mostrado cómo la interacción entre dichos elementos hace posible que el sistema pueda ser utilizado para la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo con el apoyo de herramientas basadas en servicios grid.

Además, se ha hecho ver la necesidad de establecer un modelo al que se deben ajustar las herramientas susceptibles de ser utilizadas en Gridcole de manera que el sistema pueda saber cómo integrar dichas herramientas para ponerlas a disposición de los usuarios convenientemente configuradas. Las distintas alternativas existentes para definir este modelo han sido discutidas con el objetivo de evitar imponer a los proveedores de servicios requisitos que no sean habituales en el contexto de los grids computacionales orientados a servicios. De esta manera, el modelo resultante se basa en especificaciones frecuentemente utilizadas en dicho contexto como es el caso de OGSi y JNLP.

Por otra parte, se ha definido la información que los proveedores de herramientas deben publicar en los registros de servicios de los que habitualmente dispone el grid de manera que el sistema Gridcole pueda localizar e integrar dichas herramientas. Esta información incluye una descripción basada en palabras clave de la herramienta ofrecida, la localización del fichero JNLP de descarga del cliente de la herramienta y el GSH del servicio o la factoría del servicio que ha de utilizarse. También se ha especificado la información que los educadores deben incluir en las unidades de aprendizaje para que Gridcole pueda encontrar las herramientas adecuadas para el apoyo de una situación de aprendizaje colaborativo. En el caso de las

unidades incompletas es necesario incluir una descripción basada en palabras clave que pueda ser contrastada por el sistema con las descripciones proporcionadas por los proveedores. En las unidades completas, en cambio, debe incluirse la URL del fichero JNLP y el GSH del servicio correspondientes a cada herramienta.

Por último, se ha presentado la arquitectura física del sistema de acuerdo con la cual se está llevando a cabo la implementación del sistema y se han discutido las distintas tecnologías que están siendo utilizadas en dicho desarrollo. Además, se ha introducido el prototipo del sistema del que se dispone actualmente. Dicho prototipo se basa en el motor de flujo de aprendizaje y el cliente para dicho motor proporcionados por el proyecto Coppercore, los cuales han sido convenientemente modificados y extendidos con el objetivo de poder reutilizarlos en el contexto del sistema Gridcole. Tal y como se verá en el capítulo siguiente, este prototipo puede ser empleado para apoyar la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo definidas a partir de unidades completas.

Capítulo 6

Evaluación del sistema de aprendizaje colaborativo Gridcole

En el capítulo anterior se presentó Gridcole, un nuevo sistema de aprendizaje colaborativo maleable que pretende superar las limitaciones de este tipo de sistemas que fueron detectadas en el capítulo 2. En este capítulo, en cambio, se lleva a cabo la evaluación de Gridcole con el objetivo de mostrar que el sistema propuesto realmente supera las limitaciones que fueron detectadas en los sistemas actuales. Para ello, en la sección 6.2 se plantean tres situaciones de aprendizaje colaborativo diferentes que requieren la posibilidad de integrar herramientas que hacen uso de capacidades de supercomputación o de recursos de *hardware* específicos así como la interpretación de guiones colaborativos. Esto hace que dichas situaciones no puedan ser realizadas de manera guiada con el apoyo de los sistemas maleables estudiados en el capítulo 2 pero, tal y como se muestra en la sección 6.3, sí con el apoyo del sistema Gridcole. En la sección 6.4, en cambio, se presentan los resultados del proceso de evaluación educativa que se ha llevado a cabo a partir de dos experiencias reales de uso del prototipo de Gridcole para apoyar la realización de una de las tres situaciones de aprendizaje colaborativo propuestas.

6.1 Introducción

En el capítulo 2 de este documento se detectaron una serie de limitaciones en los sistemas de aprendizaje colaborativo maleables que es posible encontrar en la literatura. Por este motivo, se ha presentado la arquitectura de un nuevo sistema maleable, denominado Gridcole, que combina los servicios grid e IMS-LD para superar dichas limitaciones. Los fundamentos de esta propuesta han sido convenientemente expuestos y discutidos en los capítulos anteriores. Sin embargo, para completar el trabajo de investigación de esta tesis es necesario abordar la evaluación de dicha propuesta.

De acuerdo con el método de ingeniería que define la metodología de investigación seguida en este trabajo, en la fase de evaluación es necesario mostrar que la solución propuesta supera las limitaciones que fueron detectadas en las soluciones existentes. Esto implica la necesidad de comprobar dos aspectos del sistema Gridcole. Por un lado, es preciso constatar que Gridcole es un sistema maleable que ofrece la posibilidad de integrar herramientas que hagan uso de capacidades de supercomputación o de recursos de *hardware* específicos así como la posibilidad de interpretar guiones colaborativos con el objetivo de facilitar la realización de

situaciones de aprendizaje de manera guiada. Por otro, es necesario obtener evidencias de que Gridcole, como sistema de aprendizaje colaborativo que es, realmente facilita la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo.

Un método habitualmente empleado para la evaluación de sistemas colaborativos en general consiste en la puesta en marcha de experiencias de uso con el objetivo de recoger información que permita valorar los distintos aspectos que se pretenden evaluar [Dew01]. Esta información puede ser obtenida a partir de experiencias de uso llevadas a cabo con distintos tipos de usuario. Concretamente, de acuerdo con [Dew01], es posible recabar información útil para la evaluación a partir de experiencias de uso de un sistema por parte de sus desarrolladores, de los usuarios finales del mismo así como de otros usuarios que no pertenezcan a ninguno de los dos grupos anteriores.

Precisamente éste es el método que se ha utilizado para llevar a cabo la evaluación de Gridcole. Por este motivo, se han propuesto tres situaciones de aprendizaje colaborativo diferentes que han sido utilizadas en distintas experiencias de uso del sistema. Se trata de situaciones en las que se emplean conjuntos de herramientas distintos por lo que, para apoyar las tres situaciones con un mismo sistema de aprendizaje colaborativo, es imprescindible que éste sea maleable. Además, algunas de las herramientas empleadas en estas situaciones hacen uso de capacidades de supercomputación o recursos de *hardware* específicos de modo que, para hacer posible su realización, el sistema de aprendizaje empleado debe permitir la integración de dicho tipo de herramientas. Finalmente, cada situación involucra una secuencia de actividades de aprendizaje distinta de manera que, para que un mismo sistema pueda guiar a los alumnos durante la realización de las tres situaciones, es necesario que el sistema sea capaz de interpretar los guiones.

De este modo, para mostrar que Gridcole es un sistema maleable capaz de integrar todo tipo de herramientas así como de interpretar guiones colaborativos se ha comprobado si Gridcole puede ser empleado para apoyar la realización de las tres situaciones. Esta comprobación se ha hecho a través de experiencias de uso del prototipo del sistema por parte del autor de la tesis. En cambio, para hacer ver que Gridcole facilita la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo se ha puesto en marcha un proceso de evaluación educativa en el que se ha empleado el prototipo de Gridcole para apoyar la puesta en práctica de una de las tres situaciones en dos ocasiones. En este caso, las experiencias de uso han involucrado a un grupo de ex alumnos y otro de alumnos de la asignatura para la que dicha situación ha sido concebida.

6.2 Situaciones consideradas en el proceso de evaluación

Las situaciones de aprendizaje colaborativo propuestas para la evaluación de Gridcole responden a las necesidades pedagógicas de tres asignaturas diferentes impartidas en la titulación de Ingeniero de Telecomunicación de la Universidad de Valladolid. Son situaciones cuyo interés educativo viene avalado por los responsables de las asignaturas para las que han sido concebidas las mismas, puesto que han sido ellos quienes han supervisado su diseño y adecuación. Desafortunadamente, ninguna de ellas puede ser realizada de manera guiada en los sistemas maleables de aprendizaje colaborativo que fueron estudiados en el capítulo 2 por requerir esto, por un lado, el apoyo de herramientas que hacen uso de capacidades de supercomputación o de recursos de *hardware* específicos, y por otro, la interpretación de guiones colaborativos. Estas tres situaciones se describen a continuación.

6.2.1 Situación I: Arquitectura de Ordenadores

Arquitectura de Ordenadores (AO) es una asignatura troncal impartida en el cuarto curso del programa de estudios correspondiente a la titulación de Ingeniero de Telecomunicación de la Universidad de Valladolid. Esta asignatura tiene como principal objetivo lograr que los alumnos entiendan y apliquen los principios básicos de diseño y evaluación de sistemas informáticos. En la consecución de dicho objetivo tiene un papel muy importante la parte práctica de la asignatura.

Dicha parte práctica se encuentra actualmente organizada alrededor de un proyecto de diseño y evaluación de arquitecturas de ordenadores en el que los alumnos se organizan en grupos. Los alumnos de cada grupo interpretan el papel de consultores que deben colaborar para proponer una solución arquitectónica de acuerdo con las necesidades concretas de un cliente ficticio (ej. un hospital, un centro meteorológico, un colegio) que son proporcionadas por los profesores de la asignatura. Este proyecto, del que es posible encontrar información detallada en [Dim01] [Mar05], se divide en tres subproyectos.

En el primer subproyecto los estudiantes deben comparar, entre otras cosas, el rendimiento de distintas máquinas reales existentes con el objetivo de poder determinar cuál es la más adecuada para su cliente. Para ello, los alumnos deben estudiar detenidamente las necesidades del cliente con el objetivo de modelar la carga que se espera que deban soportar las máquinas del cliente. A continuación, los estudiantes obtienen medidas de rendimiento de las máquinas consideradas mediante la ejecución de distintos *benchmarks* (ej. *whetstone*, *dhrystone*, *Spec*) que responden al modelo de carga obtenido. Estas medidas permiten al alumno determinar cuál es la solución más apropiada para su cliente.

En el contexto educativo definido por este subproyecto es posible plantear una situación de aprendizaje colaborativo basada en la estructura de pirámide vista en el capítulo 2. Esta situación, la cual se describe de manera gráfica en la Figura 6.1, requiere que los alumnos se organicen en grupos de dos personas denominados “grupos de pirámide”. Los participantes de la misma deben llevar a cabo la secuencia de actividades que se detalla a continuación.

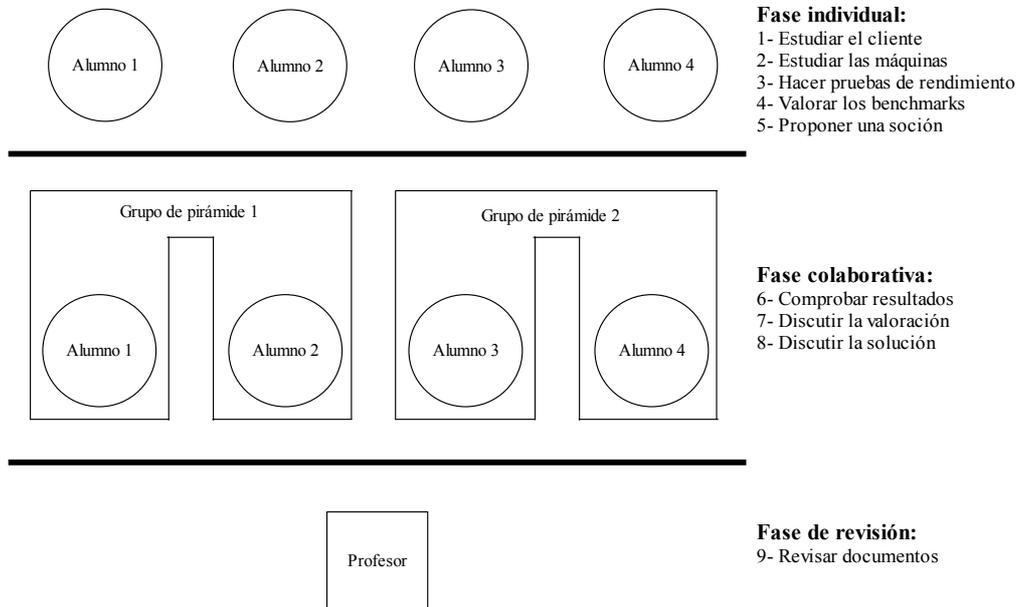


Figura 6.1: Representación gráfica de la situación de aprendizaje colaborativo propuesta para el laboratorio de Arquitectura de Ordenadores.

La situación comienza con una fase individual, la cual se corresponde con el primer nivel de la pirámide. Así, en primer lugar, los alumnos deben emplear cierto tiempo para **estudiar las necesidades del cliente** que ha sido definido por el profesor de la asignatura. Para ello es imprescindible que los estudiantes dispongan de un documento de descripción del cliente en el que se recoja el modelo de carga que deberán soportar las máquinas del cliente. A continuación, los alumnos tienen que **estudiar las características de las máquinas** que deben considerar como posibles soluciones para el cliente. Por este motivo, es indispensable que los alumnos dispongan en esta actividad de un documento en el que se recojan dichas características.

En la siguiente actividad, los alumnos deben **hacer las pruebas de rendimiento** sobre las máquinas consideradas en el estudio. Para ello es necesario poner a su disposición documentación acerca de las distintas pruebas de rendimiento que pueden realizar así como una herramienta de *benchmarking* con la que llevar a cabo dichas pruebas. Al finalizar esta actividad, los estudiantes deberían generar un documento en el que se muestren los resultados obtenidos en las pruebas.

Seguidamente, cada estudiante ha de **valorar la influencia que sobre las medidas de los benchmarks pueden tener distintos aspectos de una máquina** (ej. frecuencia de reloj del

procesador, tamaño de la memoria caché, tamaño de la memoria principal, sistema operativo, etc.). Para que esto sea posible, los alumnos deben poder acceder a la documentación de los *benchmarks* con la que ya trabajaron en la actividad anterior. Como resultado de esta actividad, cada participante debería elaborar un nuevo documento en el que se incluyan dichas valoraciones.

En la última actividad de la fase individual, los alumnos deben **proponer una solución** para su cliente a partir de los resultados de las pruebas de rendimiento y de las valoraciones que han hecho en las actividades anteriores. Además de a los documentos generados por ellos mismos en dichas actividades, los estudiantes deben poder acceder a la descripción de los clientes, la descripción de las máquinas y la documentación de los *benchmarks*. Como resultado de esta actividad deberían generar un documento en el que se presenta y se discute la solución propuesta para el cliente.

La fase colaborativa de la situación se corresponde con el segundo nivel de la pirámide. Esta fase comienza con una actividad en la que los grupos deben **comprobar** que **los resultados de las pruebas de rendimiento** que hicieron de manera individual son consistentes y, en caso de que esto no sea así, repetir las pruebas de rendimiento que consideren oportunas. Para abordar esta tarea, cada alumno debe poder acceder a la descripción de las máquinas, la documentación de los *benchmarks* y al documento que contiene los resultados de las pruebas de rendimiento realizadas por su compañero. El apoyo de esta actividad requiere, además, una herramienta que permita la comunicación entre los componentes del grupo. También es necesaria la herramienta de *benchmarking* para el caso en el que los alumnos necesiten repetir alguna prueba de rendimiento. Al finalizar la actividad, cada una de las parejas debería generar un nuevo documento en el que se recojan los resultados de las pruebas de rendimiento acordados por el grupo.

A continuación, los grupos han de **discutir las valoraciones** que hicieron de manera individual acerca de la influencia de los distintos aspectos de las máquinas sobre las medidas de los *benchmarks*. Para esta actividad es imprescindible que los alumnos puedan acceder tanto a la documentación de los *benchmarks* como a los documentos de valoración individual de los compañeros. También es necesaria una herramienta de comunicación que facilite la discusión. Como resultado de esta actividad, cada grupo debería generar un documento en el que se incluyan las valoraciones acordadas por los miembros del mismo.

En la última actividad de la fase colaborativa, los grupos deberían **discutir las soluciones** que sus componentes plantearon de manera individual. En esta ocasión, los participantes deben trabajar con la descripción del cliente, la descripción de las máquinas, los documentos de resultados y de valoraciones generados en las dos actividades colaborativas anteriores y los

documentos de propuesta de solución que cada uno de los miembros del grupo ha generado con anterioridad. Una vez más, se requiere una herramienta de comunicación que permita la discusión. Para concluir esta actividad, cada grupo debería elaborar un documento con la propuesta de solución acordada por sus componentes.

Una vez que los alumnos han concluido la fase colaborativa, comienza la fase de revisión. En ella el profesor de la asignatura debe **revisar los documentos** que los alumnos han generado en las distintas actividades. Ésta es de nuevo una actividad individual para la que es imprescindible que el profesor pueda acceder a dichos documentos.

6.2.2 Situación II: Teletráfico y Gestión

Teletráfico y Gestión (TTG) es otra asignatura impartida en la titulación de Ingeniero de Telecomunicación de la Universidad de Valladolid, aunque en este caso se trata de una asignatura obligatoria de tercer curso. Teletráfico y Gestión es una asignatura que intenta completar la visión general acerca de las redes y servicios de telecomunicación adquirida en las asignaturas del área de Ingeniería Telemática del primer ciclo de la titulación así como poner en práctica muchos de los conceptos que ya han sido tratados en las mismas.

Para alcanzar dicho objetivo, en la parte teórica de la asignatura se introducen nuevos conceptos relacionados con el nivel de transporte en arquitectura de comunicaciones para redes de datos, el teletráfico y la calidad de servicio. Además, se analizan cuantitativamente algunas de las técnicas ya abordadas desde un punto de vista cualitativo en otras asignaturas del área de Ingeniería Telemática (ARQ, Ethernet, etc.). En el laboratorio de Teletráfico y Gestión, se pretende que los alumnos aprendan las características más importantes de algunos de los protocolos de comunicación en redes de datos estudiados en otras asignaturas así como los conceptos generales de arquitecturas de comunicaciones en ellas descritos. También se hace una primera aproximación al desarrollo de aplicaciones distribuidas y a la simulación del funcionamiento de redes de datos.

En el caso concreto de la tercera práctica que actualmente se lleva a cabo en el laboratorio de Teletráfico y Gestión, se pretende que los alumnos comprendan la utilidad de los simuladores de redes de datos como herramientas complementarias al estudio analítico de las mismas. De acuerdo con esto, en esta práctica los profesores de la asignatura plantean a los alumnos una serie de preguntas acerca del funcionamiento de distintos mecanismos del protocolo TCP (ej. mecanismo de ventana deslizante, mecanismos de control de congestión, etc) que les inducen a reflexionar sobre algunos de los conceptos más importantes relacionados con los mismos. Para poder responder correctamente a estas preguntas, deben simular el comportamiento de dichos mecanismos empleando el simulador de redes *ns-2* [NS05] siendo ellos mismos los encargados de decidir qué simulaciones deben hacer y con qué parámetros.

En el contexto educativo definido por el laboratorio de Teletráfico y Gestión también es posible plantear la realización de una situación de aprendizaje colaborativo que se ajuste a la estructura de rompecabezas (*jigsaw*) descrita en el capítulo 2. Para su puesta en marcha los alumnos deben formar grupos de dos personas de manera que a cada una de ellas se le asigna el estudio de un mecanismo o conjunto de mecanismos de TCP distinto. Así un alumno se encargaría de estudiar el mecanismo de ventana deslizante, mientras que otro estudiaría los mecanismos de inicio lento (*slow start*) y evitación de la congestión (*congestion avoidance*). Estos grupos formados por expertos en distintos mecanismos son denominados “grupos de rompecabezas”. En la Figura 6.2 es posible encontrar una descripción gráfica de la situación propuesta.

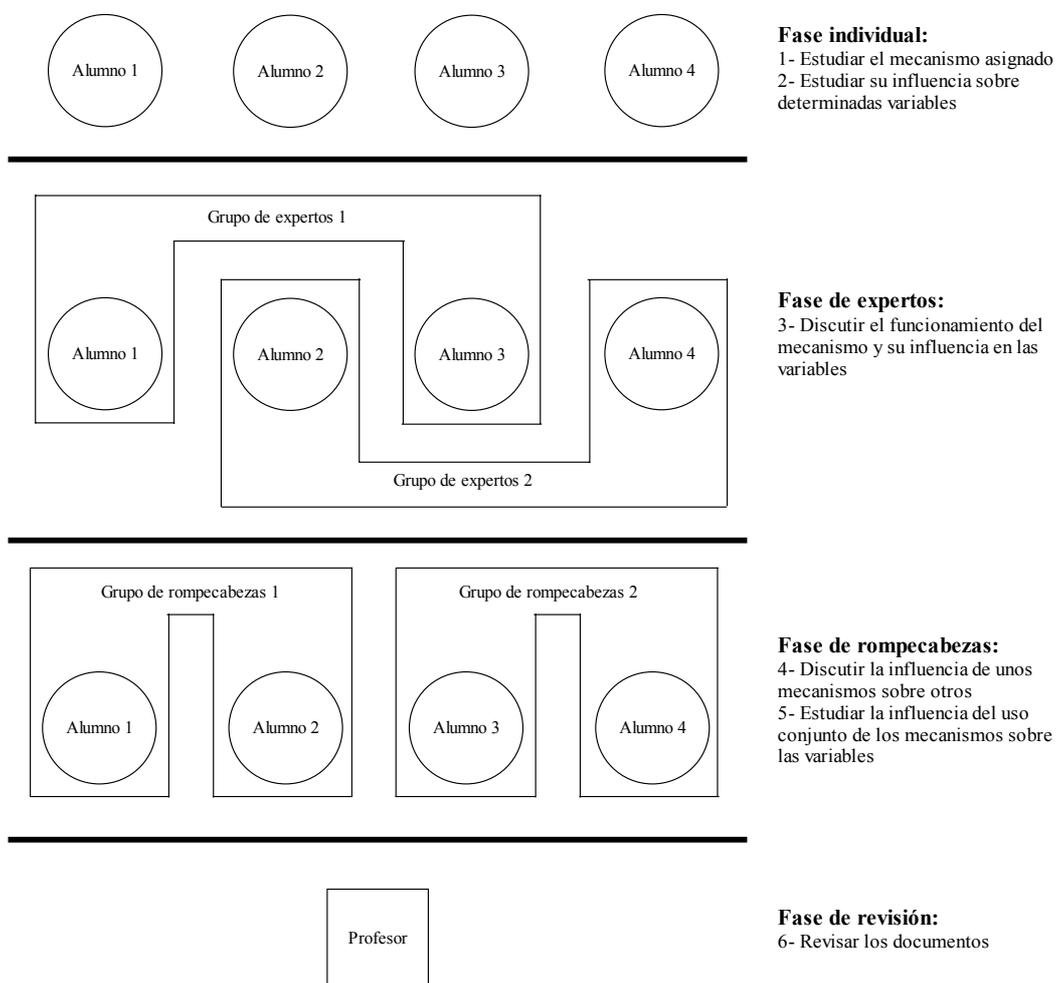


Figura 6.2: Representación gráfica de la situación de aprendizaje colaborativo propuesta para el laboratorio de Teletráfico y Gestión.

La situación de aprendizaje comienza con una fase individual. La primera actividad que deben realizar los alumnos en esta fase consiste en dedicar cierto tiempo a **estudiar el funcionamiento del mecanismo** asignado. Para ello es necesario que los participantes puedan

acceder a la descripción de los mecanismos cuyo estudio le ha sido asignado. Esta actividad se lleva a cabo de manera individual.

En la actividad siguiente, también individual, los alumnos han de **estudiar la influencia del mecanismo asignado en determinadas variables** como la tasa binaria efectiva, el retardo o la variación del retardo en función de parámetros como la probabilidad de pérdida, la memoria de los nodos o la capacidad de los enlaces. Para ello se les debe proporcionar un cuestionario planteado por el profesor que sirva para inducir al alumno a pensar en los aspectos más importantes de dicha influencia. Para poder responder a dicho cuestionario, cada alumno deberá hacer las simulaciones que considere adecuadas empleando un conjunto de escenarios proporcionados por el profesor en los que es posible apreciar los aspectos más interesantes del funcionamiento de los mecanismos. Además de dichos escenarios y la documentación de la actividad anterior, el apoyo de esta actividad también requiere una herramienta que permita llevar a cabo las simulaciones haciendo barridos de parámetros. Así, los alumnos podrían utilizar esta herramienta, por ejemplo, para observar cómo un determinado mecanismo influye sobre la tasa binaria efectiva para un conjunto muy amplio de valores de probabilidades de pérdida y capacidades de enlace en alguno de los escenarios que son objeto de estudio. Como resultado de esta actividad, los estudiantes deberían generar un documento con sus respuestas a las preguntas del profesor.

A continuación tiene lugar una actividad colaborativa que se corresponde con la denominada fase de expertos. En ella, los alumnos que han estudiado un mismo mecanismo forman los llamados “grupos de expertos” para **discutir acerca del funcionamiento del mecanismo que tienen asignado y su influencia en las variables consideradas** en la actividad anterior. El apoyo de esta actividad requiere una herramienta de comunicación que permita llevar a cabo la discusión entre los distintos miembros de cada grupo de expertos. Cada alumno debe poder acceder, además de al documento de descripción del mecanismo y al cuestionario planteado, a los documentos de respuestas generados por el resto de expertos en la actividad anterior. Al finalizar la discusión de expertos, cada estudiante debería elaborar un nuevo documento de respuestas al cuestionario planteado por el profesor.

Una vez terminada la actividad anterior comienza la denominada fase de rompecabezas. En la primera actividad de esta fase los alumnos forman los grupos de rompecabezas para **discutir cómo el uso de cada mecanismo puede afectar el funcionamiento de los demás mecanismos** considerados. Para ello, los alumnos deben disponer de una herramienta de discusión que permita, en primer lugar, que cada experto del grupo explique a sus compañeros el funcionamiento del mecanismo que ha estudiado y, a continuación, que los alumnos discutan de qué manera el uso de unos mecanismos influye en el funcionamiento de otros.

Después, los miembros de cada grupo de rompecabezas deben colaborar a la hora de **estudiar la influencia que el uso conjunto de todos los mecanismos tiene sobre las distintas medidas estudiadas** en función de los parámetros considerados. En esta actividad, que concluye la fase de rompecabezas, los alumnos deben disponer de un nuevo cuestionario elaborado por el profesor que induzca a esta reflexión junto con los documentos de descripción de todos los mecanismos. Además, se debe proporcionar a los alumnos un nuevo conjunto de escenarios de simulación que muestren los aspectos más interesantes de la influencia que el uso conjunto de los distintos mecanismos puede tener sobre las variables estudiadas. Por consiguiente, también se les debe ofrecer la posibilidad de utilizar el simulador de barrido de parámetros junto con una herramienta de discusión que permita a los alumnos debatir qué simulaciones deben hacerse para responder adecuadamente al cuestionario. Al finalizar la actividad cada grupo de rompecabezas debería generar un nuevo documento que contenga las respuestas que han acordado para cada una de las preguntas de dicho cuestionario.

Por último, en la fase de revisión, el profesor de la asignatura debe encargarse de **revisar los documentos** elaborados por los alumnos en las distintas actividades de la situación. Para que esto sea posible, es imprescindible poner a disposición del profesor todos esos documentos.

6.2.3 Situación III: Sistemas de Telecomunicación IV

Sistemas de Telecomunicación IV (STIV) es una asignatura optativa que se imparte para los alumnos de quinto curso en la titulación de Ingeniero de Telecomunicación de la Universidad de Valladolid. Sistemas de Telecomunicación IV tiene como principal objetivo lograr que los alumnos comprendan algunos aspectos de los sistemas de televisión analógicos monocromos y en color, así como los fundamentos del vídeo digital.

De esta manera, en la parte teórica de la asignatura se estudian aspectos como la aplicación de la colorimetría a la señal de televisión, la composición de una señal de televisión analógica, o la compresión de imágenes en movimiento de acuerdo con el estándar MPEG (*Motion Picture Expert Group* – Grupo de Expertos en Imágenes Cinematográficas). Una buena parte de los conceptos vistos en las clases de teoría se ilustran con las prácticas que los alumnos deben llevar a cabo en el laboratorio de la asignatura.

En el caso concreto de la segunda práctica del laboratorio de Sistemas de Telecomunicación IV, se realizan una serie de ejercicios que tienen como objetivo lograr que el alumno se familiarice con el uso de la instrumentación disponible en el laboratorio para el análisis de distintos aspectos de la señal de televisión PAL (*Phase Alternating Line* – Alternancia de Fase Línea a Línea). Entre los dispositivos que son utilizados por los estudiantes en esta práctica se encuentran un generador de patrones de televisión, un osciloscopio y un vectorscopio.

En el contexto educativo definido por la segunda práctica del laboratorio de Sistemas de Telecomunicación IV también se plantea la realización de una situación de aprendizaje colaborativo basada en la estructura TAPPS descrita en el capítulo 2. En esta situación se plantea a los alumnos la necesidad de realizar dos ejercicios en grupos de dos personas denominados “grupos de TAPPS”. El primero de los ejercicios consiste en identificar los principales elementos de la señal compuesta de televisión PAL (ej. sincronismos de fin de línea y sincronismos de fin de campo) presentes en un conjunto de imágenes predefinidas (ej. imagen de barras verticales de distinto color) así como la medición de sus características principales (ej. duración de los sincronismos). Para ello, los alumnos deberían hacer uso del generador de patrones y del osciloscopio. El segundo ejercicio, en cambio, consiste en observar la fase de las señales de crominancia de un conjunto distinto de imágenes predefinidas. En este caso los estudiantes deberían utilizar tanto el generador de patrones como el vectorscopio. La descripción gráfica correspondiente a la situación planteada en este caso puede encontrarse en la Figura 6.3.

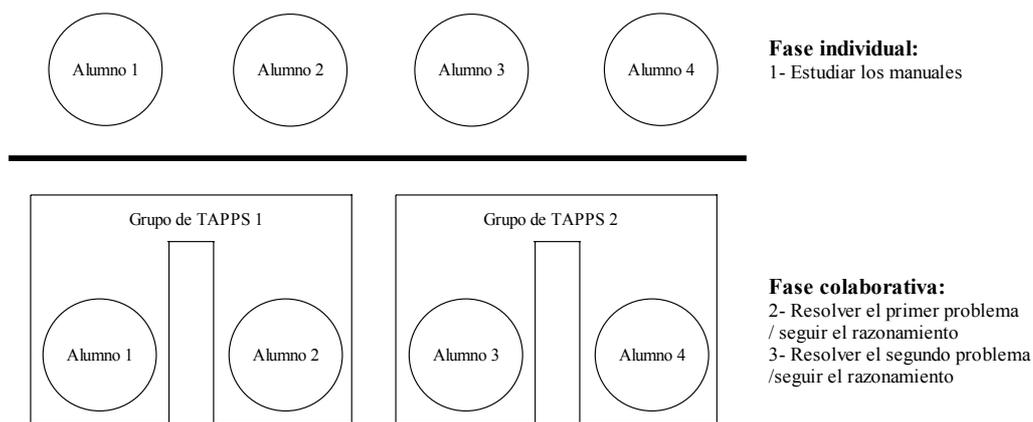


Figura 6.3: Representación gráfica de la situación de aprendizaje colaborativo propuesta para el laboratorio de Sistemas de Telecomunicación IV.

Esta situación comienza con una fase individual que consta de una sola actividad en la que los alumnos disponen de cierto tiempo para **estudiar los manuales** de instrucciones de cada uno de los instrumentos de laboratorio disponibles para la realización de esta situación. Esta actividad debe ser realizada de manera individual.

A continuación tiene lugar una fase colaborativa que incluye dos actividades. En la primera de ellas uno de los miembros de cada pareja debe encargarse de **resolver el primer ejercicio** planteado explicando a su compañero la secuencia lógica de pasos que es necesario seguir para ello. Éste último, en cambio, debe **seguir el razonamiento** de dicha secuencia a la vez que repite los pasos que da su compañero para resolver el ejercicio pidiéndole aclaraciones en caso de que sea necesario. Para apoyar esta actividad es necesario que cada uno de los alumnos disponga de una herramienta que permita controlar remotamente un laboratorio de electrónica

que incluya los dispositivos necesarios para la realización de esta situación. Igualmente es necesaria una herramienta de comunicación que haga posible el diálogo entre ambos miembros del grupo. Además, se debe proporcionar la descripción del primer ejercicio y los manuales de los dispositivos del laboratorio.

En la siguiente actividad los alumnos intercambian sus papeles. De esta manera, el alumno que siguió el razonamiento para solucionar el primer ejercicio se encarga en esta ocasión de explicar los pasos seguidos a la hora de **resolver el segundo ejercicio**. En cambio, el alumno que solucionó el primer ejercicio debe **seguir el razonamiento** de su compañero. Para apoyar la realización de esta actividad es necesario emplear las mismas herramientas que en el caso de la actividad anterior. También se debe proporcionar la descripción del segundo ejercicio y los manuales de los dispositivos del laboratorio.

6.2.4 Características de los sistemas maleables necesarias para la realización

En las subsecciones anteriores se han propuesto tres situaciones de aprendizaje colaborativo que, tal y como se muestra en la Tabla 6.1, necesitan distintas herramientas para su apoyo a la vez que responden a diferentes estructuras colaborativas. Esto hace que, para que dichas situaciones puedan ser realizadas de manera guiada con el apoyo de un sistema de aprendizaje colaborativo, dicho sistema ha de contar con las siguientes características:

- **La posibilidad de integrar herramientas que hacen uso de recursos de supercomputación.** Este tipo de recursos es imprescindible para la herramienta de simulación necesaria para el apoyo de la situación II dado que la realización de simulaciones de barrido de parámetros como las planteadas en dicha situación generan una carga computacional muy elevada. Así, si las simulaciones fueran ejecutadas en una máquina de las que disponen habitualmente los alumnos en los laboratorios de docencia, el tiempo necesario para la finalización de las mismas sería muy elevado por lo que sus resultados no podrían ser utilizados en el contexto de la situación planteada. Sin embargo, si las simulaciones son realizadas por una herramienta con acceso a numerosos recursos de computación, la carga computacional de las simulaciones puede ser distribuida entre las distintas máquinas disponibles para obtener los resultados de las mismas en un tiempo razonable.
- **La posibilidad de integrar herramientas que hacen uso de recursos de hardware específicos.** Éste es el caso de la herramienta de *benchmarking* empleada en la situación I. Dicha herramienta debe permitir la posibilidad de ejecutar distintos *benchmarks* no en cualquier ordenador, sino en un conjunto de máquinas concretas cuyas arquitecturas sean consideradas de interés por los responsables de la asignatura. La herramienta de control de dispositivos de laboratorio necesaria para la situación III también hace uso de recursos de

hardware específicos que, en este caso, son los dispositivos electrónicos necesarios para resolver los dos ejercicios propuestos.

- **La posibilidad de interpretar guiones colaborativos con el objetivo de guiar a los participantes de las situaciones de aprendizaje.** Cada una de las tres situaciones consideradas ha sido definida de acuerdo una secuencia de actividades muy precisa de acuerdo con diferentes estructuras colaborativas. Como ya se vio en el capítulo 2, para que los alumnos puedan aprovechar el beneficio que supone la puesta en práctica de este tipo de estructuras es necesario que el sistema de aprendizaje no sólo facilite su seguimiento, sino que además induzca a los estudiantes a hacerlo a través del guiado de actividades. Para ello es imprescindible un sistema de aprendizaje colaborativo sea capaz de interpretar los guiones colaborativos correspondientes a las diferentes situaciones.

Tal y como se vio en el capítulo 2 de esta tesis, ninguno de los sistemas de aprendizaje colaborativo maleables que se estudiaron en el mismo cuenta con estas características. Por este motivo, es posible afirmar que dichos sistemas no pueden ser utilizados para apoyar la realización guiada de ninguna de las tres situaciones propuestas.

	Situación I	Situación II	Situación III
Contexto	Arquitectura de Ordenadores	Teletráfico y Gestión	Sistemas de Telecomunicación IV
Herramientas que usan supercomputación	-	Herramienta de simulación	-
Herramientas que usan <i>hardware</i> específico	Herramienta de <i>benchmarking</i>	-	Herramienta de control de dispositivos
Herramientas que no hacen uso de recursos extraordinarios	Herramienta de comunicación	Herramienta de comunicación	Herramienta de comunicación
Estructura colaborativa	Pirámide	Rompecabezas	TAPPS

Tabla 6.1: Resumen de herramientas empleadas y estructuras colaborativas seguidas en las situaciones de aprendizaje colaborativo propuestas para la evaluación de Gridcole.

6.3 Validación de las propiedades del sistema

En la sección anterior se han descrito tres situaciones de aprendizaje colaborativo que, para poder ser realizadas de forma guiada con el apoyo de un sistema maleable, requieren que dicho sistema permita, por un lado, la integración de herramientas que hacen uso de capacidades de supercomputación o de recursos de *hardware* específicos y, por otro, la interpretación de guiones colaborativos. Los sistemas maleables estudiados en el capítulo 2 no ofrecen estas características y, por lo tanto, no pueden ser empleados para la realización de dichas situaciones. De este modo, para mostrar que la propuesta hecha en esta tesis realmente supera las

limitaciones detectadas en los sistemas maleables actuales, en esta sección se pretende hacer ver que Gridcole es un sistema con el que sí que es posible apoyar la realización de las tres situaciones de aprendizaje colaborativo planteadas.

6.3.1 Realización de la situación I

La situación planteada para la asignatura de Arquitectura de Ordenadores ha sido formalizada en un diseño de aprendizaje basado en IMS-LD. Esta tarea ha sido realizada siguiendo las directrices de uso de IMS-LD para la descripción de guiones colaborativos que fueron establecidas en el capítulo 4 de la tesis. El diagrama de actividades correspondiente al método definido en el diseño de aprendizaje obtenido se muestra en la Figura 6.4.

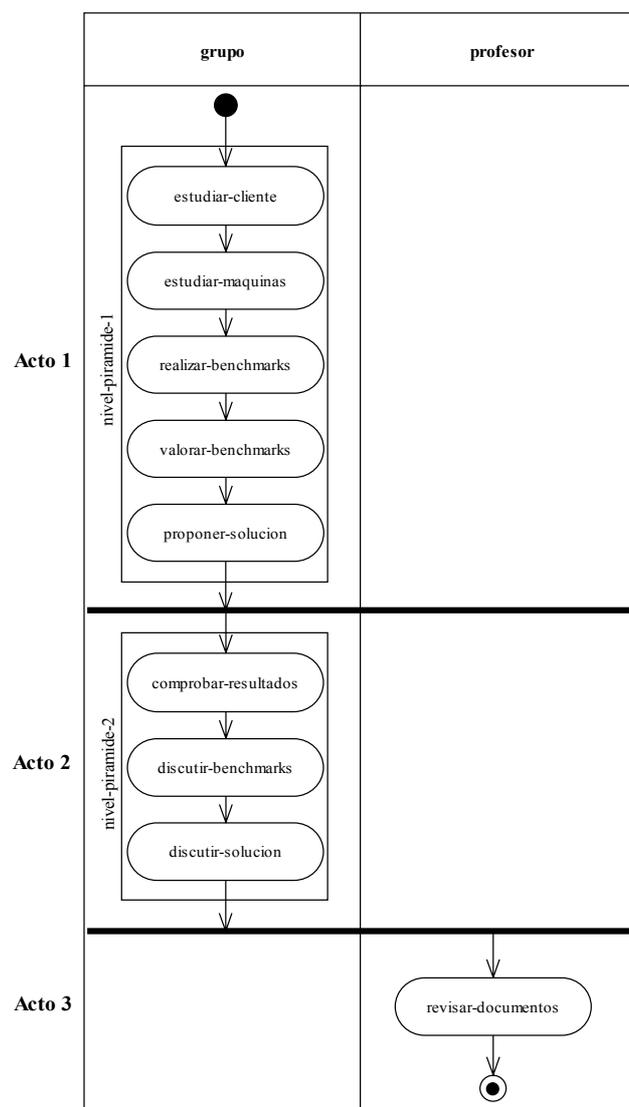


Figura 6.4: Diagrama de actividades correspondiente al método incluido en el diseño de aprendizaje de la situación I.

En dicha figura es posible apreciar cómo se han definido dos roles. El primero de ellos, denominado “grupo” define el papel que será realizado por cada una de las parejas que

participen en la situación. Se trata de un rol del que es posible crear múltiples instancias de manera que cada una de esas instancias sea asignada a los miembros de una pareja distinta. Además, se ha especificado el rol “profesor” con el que se define el papel que debe ser desempeñado por el profesor en la realización de la situación.

En la misma figura también es posible observar que el método definido consta de tres actos. En el primero de ellos, al rol “grupo” se le asigna la realización de una estructura secuencial de actividades (“nivel-piramide-1”) que agrupa las actividades de aprendizaje individuales que deben abordar los alumnos en el primer nivel de la pirámide. Análogamente, en el segundo acto se asigna al mismo rol una estructura secuencial de actividades (“nivel-piramide-2”) que engloba las actividades de aprendizaje colaborativas correspondientes al segundo nivel de la pirámide. Por último, en el tercer acto se asigna al rol “profesor” la realización de una actividad de apoyo (“revisar-documentos”) que representa la tarea de revisión que debe ser abordada por el profesor al final de la situación.

Cada una de las actividades incluida en el diseño de aprendizaje ha sido convenientemente asociada con entornos que recogen los documentos y herramientas que deben ser utilizados en cada una de ellas. Para que esto fuera posible, los documentos que se proporcionan a los alumnos han sido definidos en el diseño como objetos de aprendizaje, mientras que los que deben generar ellos mismos han sido especificados como propiedades. La herramienta de comunicación es una herramienta colaborativa que permite la discusión entre distintos usuarios por lo que, de acuerdo con lo visto en el capítulo 4, ha sido definida como un servicio de tipo *conference*. En cambio, la misma la herramienta de *benchmarking* es una herramienta individual. Es por ello que esta herramienta ha sido definida como un objeto de aprendizaje.

La herramienta de comunicación ha sido desarrollada como un *chat* sencillo que permite a sus usuarios el envío de mensajes de texto. La lógica de éste ha sido implementada como un servicio grid no persistente de acuerdo con la especificación OSGI, mientras que el cliente del mismo se ha desarrollado como una aplicación Java que puede ser descargada de acuerdo con el modelo de distribución JNLP. Para poder utilizar este servicio es necesario crear una instancia por cada canal de conversación que se quiera establecer. De esta manera, es posible que varios usuarios participen en una misma conversación si los clientes que utilizan se comunican con la misma instancia del servicio. En la Figura 6.5 es posible observar la interfaz gráfica que ofrece el cliente de la herramienta de *chat*.

Además, se ha implementado una herramienta simple de *benchmarking* que facilita a sus usuarios la realización de distintas pruebas de rendimiento en un conjunto de máquinas remotas con diferentes características. En esta ocasión, la lógica de la herramienta ha sido desarrollada como un servicio grid persistente que se ajusta a la especificación OSGI. Este servicio es capaz

de atender simultáneamente las peticiones de múltiples clientes. También se ha desarrollado el cliente correspondiente a dicho servicio como una aplicación Java que puede descargarse de acuerdo con el modelo de distribución JNLP. La Figura 6.6 muestra la interfaz gráfica correspondiente al cliente de la herramienta de *benchmarking*.



Figura 6.5: Interfaz gráfica de la herramienta de comunicación desarrollada para la realización de la situación I.

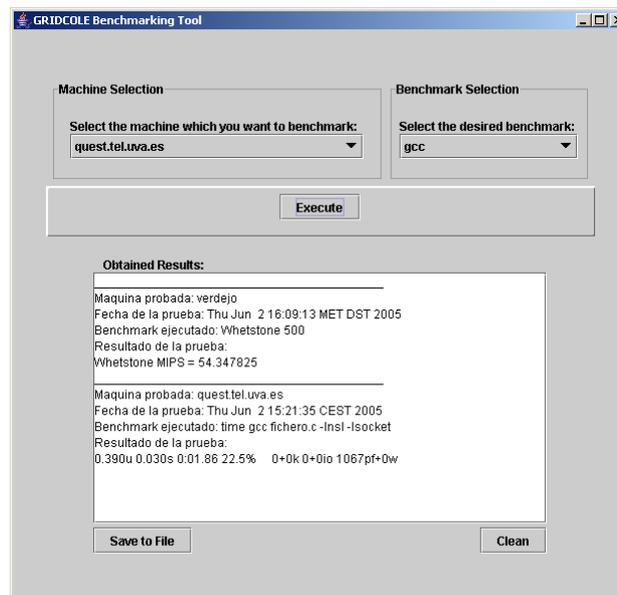


Figura 6.6: Interfaz gráfica de la herramienta de *benchmarking* desarrollada para la realización de la situación I.

Para poder realizar esta situación de aprendizaje colaborativo con el prototipo de Gridcole se ha creado una unidad de aprendizaje completa que contiene los documentos necesarios para el apoyo de la situación junto con el manifiesto correspondiente. Este manifiesto, el cual puede ser consultado en el Apéndice A, incluye el diseño de aprendizaje descrito anteriormente así como las referencias adecuadas para la integración de las dos herramientas necesarias para el apoyo de la situación. Dos de esas referencias apuntan al servicio grid y a la factoría de

servicios correspondientes, respectivamente, a las herramientas de benchmarking y de discusión que han sido desplegados en sendas máquinas con Globus Toolkit 3.0.2 instalado. Otras dos referencias apuntan a los ficheros JNLP de descarga de los clientes de dichas herramientas que son ofrecidos en las mismas máquinas.

Esta unidad de aprendizaje completa ha sido ejecutada en el prototipo de Gridcole para, de esta manera, comprobar que el sistema puede ser empleado para realizar la situación de manera guiada utilizando todos los documentos y herramientas necesarios para el apoyo de las distintas actividades definidas. Esta afirmación se ve corroborada por el hecho de que, tal y como se verá con mayor detalle en la sección dedicada a la evaluación educativa del sistema, Gridcole ha sido utilizado por usuarios reales para llevar a cabo la situación concebida para el laboratorio de Arquitectura de Ordenadores en dos ocasiones. En la primera ocasión participaron 4 ex alumnos de la asignatura de Arquitectura de Ordenadores, mientras que en la segunda fueron 8 alumnos voluntarios de la misma asignatura los que utilizaron el prototipo. En la Figura 6.7 es posible observar una captura de pantalla del prototipo del sistema durante la realización de una de las actividades incluidas en la situación propuesta así como las herramientas integradas por Gridcole para el apoyo de la misma.

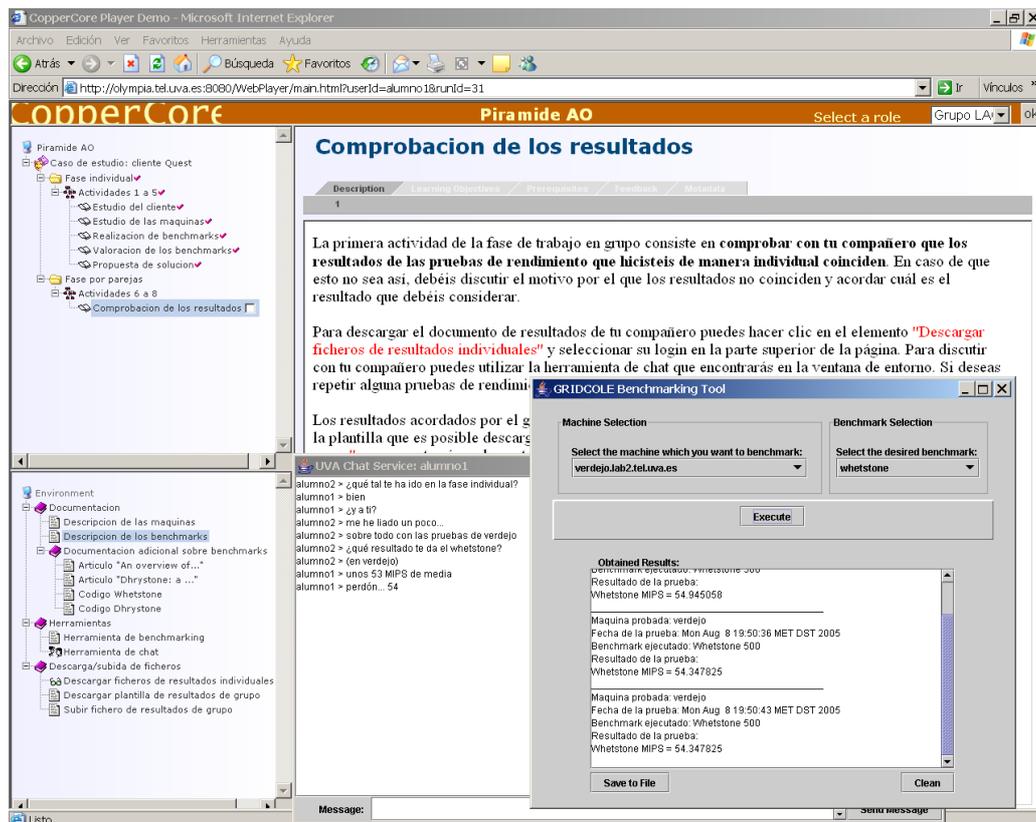


Figura 6.7: Captura de pantalla en la que se muestra el prototipo de Gridcole durante la actividad “comprobación de resultados” de la situación I junto con la herramienta de *benchmarking* y el *chat* empleados para el apoyo de la misma.

6.3.2 Realización de la situación II

La situación de aprendizaje colaborativo concebida para el laboratorio de Teletráfico y Gestión también ha sido formalizada en un diseño de aprendizaje utilizando IMS-LD. En la Figura 6.8 se muestra el diagrama de actividades correspondiente al método incluido en dicho diseño.

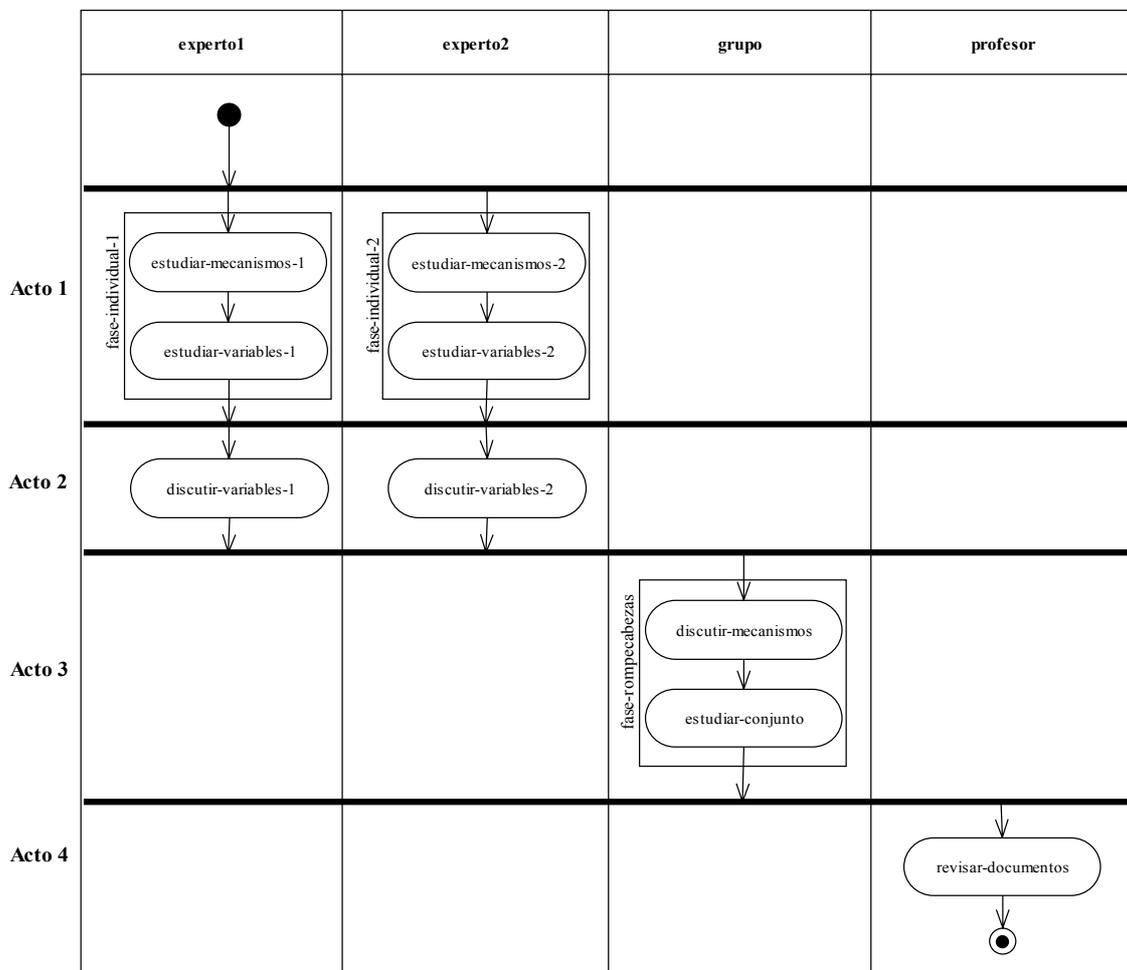


Figura 6.8: Diagrama de actividades correspondiente al método incluido en el diseño de aprendizaje de la situación II.

En esta ocasión ha sido necesario definir cuatro roles distintos. Los roles “experto1” y “experto2” representan los dos tipos de expertos que se pueden dar en esta situación en función del mecanismo que le sea asignado para su estudio. El rol “grupo”, en cambio, representa los grupos de rompecabezas que se forman con alumnos expertos en distintos mecanismos. Al igual que en el caso de la situación anterior, es posible crear tantas instancias de este último rol como grupos vayan a participar en la realización de la situación. De esta manera, los estudiantes que participen en la situación deberán ser asociados a uno de los dos roles de expertos y a una instancia del rol de grupo, teniendo en cuenta que los alumnos asignados a una misma instancia

de rol de grupo deben desempeñar roles de expertos diferentes. Por último, el rol “profesor” permite definir el papel que será desempeñado por el educador.

El método diseñado para esta situación consta de cuatro actos. En el primero, a los roles de expertos se les han asignado sendas estructuras secuenciales (“fase-individual-1” y “fase-individual-2”) en las que se agrupan las actividades que deben ser realizadas por los alumnos en la fase individual de la situación. Aquí es conveniente notar que, a pesar de que ambos expertos realizan las mismas actividades de aprendizaje, de acuerdo con lo visto en el capítulo 4, en el diseño es necesario especificar actividades y estructuras distintas dado que los recursos de aprendizaje empleados en cada caso son distintos. Por idéntico motivo, en el segundo acto se asocia cada rol de experto con actividades de aprendizaje diferentes (“discutir-variables-1” y “discutir-variables-2”) que representan la misma tarea de discusión que debe ser abordada por los alumnos en la fase de expertos. El tercer acto se corresponde con la fase de rompecabezas de la situación, por lo que al rol “grupo” se le asigna una estructura secuencial (“fase-rompecabezas”) que incluye las actividades definidas para la misma. Finalmente, en el último acto se define la tarea de revisión de documentos como una actividad de soporte (“revisar-documentos”) que se asocia al rol “profesor”.

Al igual que en el caso de la situación anterior, las actividades incluidas en el diseño de aprendizaje han sido convenientemente asociadas con entornos que incluyen los documentos y herramientas necesarios para su apoyo. De este modo, también se han definido los documentos que se proporcionan a los alumnos y los que éstos generan como objetos de aprendizaje y propiedades respectivamente. Al igual que en el caso de la situación anterior, la herramienta de comunicación ha sido definida como un servicio de tipo *conference*. La herramienta de simulación, en cambio, ha sido incluida en el diseño como un objeto de aprendizaje ya que es una herramienta de tipo individual.

La herramienta de simulación necesaria para el apoyo de esta situación no ha sido desarrollada. Sin embargo, sí que se ha comprobado la posibilidad de implementar esta herramienta como un servicio grid. Tanto es así, que ya existe una herramienta ofrecida como un servicio grid que permite llevar a cabo barridos de parámetros en simulaciones de *ns-2*. Dicha herramienta es GIPSE (*Grid Interface for Parameter Sweep and Exploration* – Interfaz Grid para el Barrido y la Exploración de Parámetros) [Woz05], la cual puede ser utilizada por varios usuarios a la vez. GIPSE cuenta con un cliente Java que podría ser ofrecido de acuerdo con el modelo de distribución JNLP. De esta manera, dicha herramienta también podría ser integrada en el contexto del sistema Gridcole. Desafortunadamente, esta herramienta no estaba disponible para el público durante el desarrollo de esta tesis.

Para poder comprobar la posibilidad de utilizar el prototipo de Gridcole para apoyar la realización de esta situación de aprendizaje colaborativo se ha creado la unidad de aprendizaje completa correspondiente. El manifiesto de esta unidad también puede ser consultado en el apéndice A. Éste incluye el diseño de aprendizaje descrito anteriormente, las referencias correspondientes a los documentos necesarios para la realización de la situación así como las referencias para la integración de dos servicios grid con sus respectivos clientes. El primero de ellos es el servicio grid correspondiente a la herramienta de *chat* presentada en la subsección anterior y que puede volver a utilizarse en esta situación como herramienta de comunicación. En el segundo caso se trata de un servicio persistente sin funcionalidad que hace las veces de herramienta de simulación.

Esta unidad también ha sido ejecutada por el prototipo de Gridcole comprobándose así que el sistema puede guiar a los participantes a través de la secuencia de actividades definida para esta situación y que, en caso de disponer de la herramienta de simulación real, Gridcole les proporcionaría todos los documentos y herramientas necesarias para su realización. En la Figura 6.9 se muestra el prototipo del sistema durante la realización de una de las actividades incluidas en la situación propuesta así como las herramientas integradas por Gridcole para su apoyo.

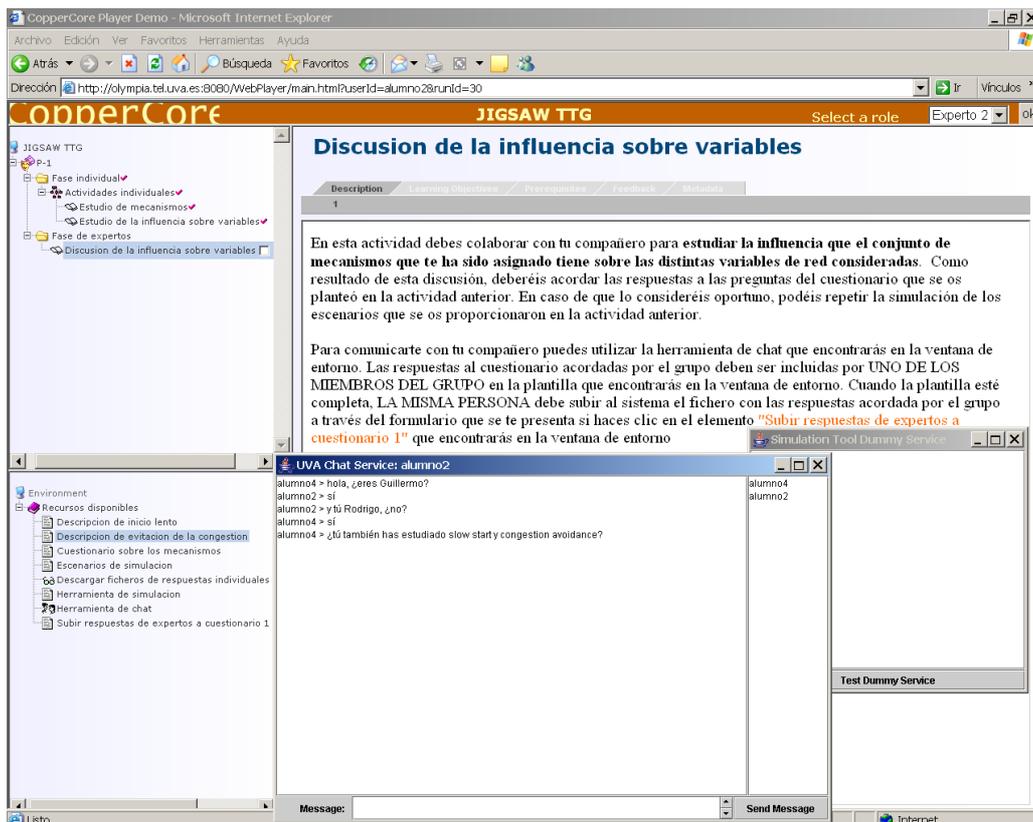


Figura 6.9: Captura de pantalla en la que se muestra el prototipo de Gridcole durante la actividad “discusión sobre la influencia de variables” de la situación II junto con el *chat* y el servicio que hace las veces de herramienta de simulación.

6.3.3 Realización de la situación III

Al igual que en el caso de las dos situaciones anteriores, también se ha empleado la especificación IMS-LD para formalizar la situación de aprendizaje correspondiente al laboratorio de Sistemas de Telecomunicación IV. En la Figura 6.10 es posible observar el diagrama de actividades de acuerdo con el cual se ha definido el método de incluido en este diseño de aprendizaje.

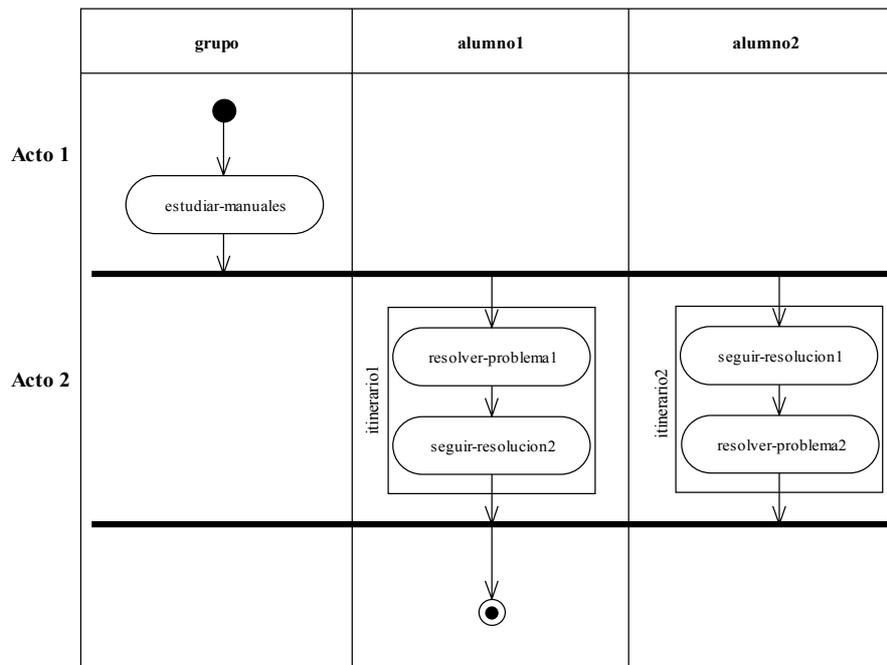


Figura 6.10: Diagrama de actividades correspondiente al método incluido en el diseño de aprendizaje de la situación III.

En dicha figura es posible apreciar cómo se han definido tres roles diferentes para esta situación. El rol “grupo” representa cada una de las parejas que pueden participar en la realización de la misma, mientras que los roles denominados “alumno1” y “alumno2” sirven para distinguir a cada uno de los miembros de un mismo grupo. Una vez más, cabe la posibilidad de crear tantas instancias del rol “grupo” como parejas vayan a tomar parte en la realización de la situación. De esta manera, las distintas parejas que vayan a participar en la situación deben ser asociados a distintas instancias del rol de grupo. Además, los miembros de una misma pareja deben ser asignados a roles de alumno diferentes.

En la misma figura se puede observar que el método de aprendizaje diseñado para esta situación consta de dos actos. El primero de ellos se corresponde con la fase individual de la situación, por lo que al rol “grupo” se le asigna la realización de una actividad de aprendizaje (“estudiar-manuales”) que representa la tarea de estudio de los manuales. En el segundo acto se ha asociado a los roles “alumno1” y “alumno2” sendas estructuras secuenciales (“itinerario1” e

“itinerario2”) que incluyen las actividades de resolución de problemas y seguimiento de dicha resolución que deben ser realizadas por cada alumno en la fase colaborativa.

Todas las actividades incluidas en el diseño de aprendizaje han sido asociadas con entornos definidos adecuadamente que incluyen tanto los documentos como las herramientas que deben ser ofrecidas a los alumnos durante la realización de las mismas. Dichos documentos han sido especificados en el diseño como objetos de aprendizaje. La herramienta de comunicación, al igual que en las dos situaciones anteriores, ha sido incluida como un servicio de tipo *conference*. La herramienta de control de dispositivos de laboratorio, en cambio, ha sido definida como un objeto de aprendizaje por ser una herramienta individual.

Al igual que en el caso de la herramienta de simulación, no se ha desarrollado la herramienta de control de dispositivos de laboratorio pero sí que se ha comprobado la posibilidad de implementar dicha herramienta como un servicio grid. De acuerdo con [Bag03] [Bag05], es posible ofrecer los dispositivos electrónicos de un laboratorio a través de un servicio grid. Para ello, basta con que dichos dispositivos implementen la interfaz de control remoto IEEE-488 de manera que la lógica del servicio grid pueda acceder a la misma con el objetivo de llevar a cabo las operaciones oportunas en función de las peticiones realizadas por el cliente del servicio. El conjunto de operaciones que se realizan sobre los dispositivos correspondientes a un experimento puede llevarse a cabo como tareas *batch*. Para la ejecución de una de estas tareas, la lógica del servicio hace uso de los dispositivos durante un breve espacio de tiempo. Esto supone que, si la lógica del servicio incluye los mecanismos de planificación necesarios, el mismo conjunto de dispositivos de laboratorio puede ser utilizado de manera concurrente por un grupo de usuarios a través de una misma instancia de un servicio grid.

En la actualidad existen en el mercado modelos de generadores de patrones (ej. Fluke PM 5418TDSI), osciloscopios (ej. HP/Agilent 64545D) y vectorscopios (ej. Tecktronix TDS3000B) que implementan la interfaz IEEE-488, por lo que dichos dispositivos podrían ser controlados por un servicio grid. De este modo, es posible afirmar que sería posible desarrollar un servicio grid persistente que permitiera utilizar remotamente un banco de dispositivos de laboratorio como el que se necesita para apoyar la realización de la situación de aprendizaje colaborativo considerada en esta subsección. Para dicho servicio también sería posible desarrollar un cliente Java que pudiera ser distribuido de acuerdo con el modelo JNLP facilitando así su integración en el contexto del sistema Gridcole.

En el caso de esta situación de aprendizaje también se ha creado la unidad de aprendizaje completa correspondiente. El manifiesto de esta unidad, al igual que los anteriores, se incluye en el apéndice A. Dicho manifiesto contiene el diseño de aprendizaje que se ha expuesto de manera resumida con anterioridad, las referencias de los documentos necesarios para la realización de

las actividades y las referencias para la integración de dos servicios grid y sus clientes. Uno de ellos es el servicio grid correspondiente a la herramienta de *chat* que, una vez más, se puede utilizar en esta situación como herramienta de comunicación. El otro es un servicio persistente sin funcionalidad que hace las veces de herramienta de control remoto de dispositivos de laboratorio.

De la misma manera que en las dos situaciones anteriores, esta unidad ha sido ejecutada en el prototipo de Gridcole para comprobar que el sistema es capaz de guiar a los participantes de la situación a través de la secuencia de actividades especificada y que, si la herramienta de control remoto de dispositivos de laboratorio estuviera disponible, el sistema podría proporcionarles todos los documentos y herramientas necesarios para su apoyo. En la Figura 6.11 es posible observar una captura de pantalla del prototipo del sistema durante la realización de una de las actividades incluidas en la situación III junto las herramientas integradas por Gridcole para el apoyo de la misma.

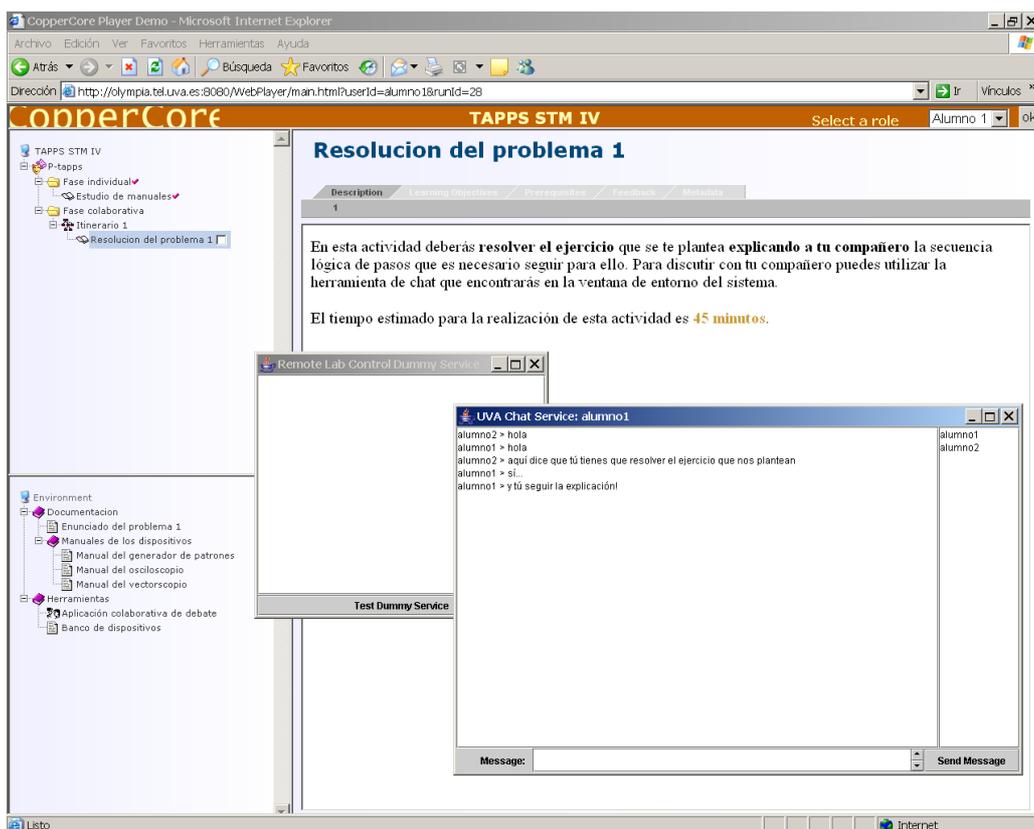


Figura 6.11: Captura de pantalla en la que se muestra el prototipo de Gridcole en la actividad “resolver el primer problema” de la situación III junto con el *chat* y el servicio que hace las veces de herramienta de control remoto de dispositivos de laboratorio.

6.3.4 Propiedades del sistema

En las subsecciones anteriores se ha visto que Gridcole es un sistema que puede ser empleado para apoyar la realización de las situaciones de aprendizaje colaborativo planteadas para la evaluación del sistema. A partir de este hecho es posible hacer las siguientes afirmaciones:

- **Gridcole es un sistema maleable.** Esta afirmación puede hacerse dado que se ha mostrado que el sistema permite la integración de distintos conjuntos de herramientas externas al sistema, tanto de tipo individual como colaborativo, para dar de apoyo a las diferentes situaciones de aprendizaje.
- **Gridcole es un sistema que permite la integración de herramientas que requieran el uso de capacidades de supercomputación o el acceso a recursos de *hardware* específicos.** En este sentido, se ha visto que las herramientas de este tipo necesarias para el apoyo de las distintas situaciones planteadas pueden ser implementadas como servicios grid con clientes Java susceptibles de ser distribuidos de acuerdo con el modelo JNLP y, por lo tanto, integrables en el contexto del sistema Gridcole. Sin embargo, esto no supone un impedimento para que el sistema pueda integrar herramientas que no hacen uso de este tipo de recursos extraordinarios. Esta idea se ve corroborada por la comprobación que se ha hecho al integrar en Gridcole un *chat*, siendo ésta una herramienta que no necesita recursos de supercomputación o *hardware* específico.
- **Gridcole es un sistema que ofrece la posibilidad de guiado de los alumnos a través de las actividades que comprende una situación de aprendizaje colaborativo.** Esta afirmación se basa en el hecho de que se ha comprobado que el sistema permite la interpretación de tres guiones basados en estructuras colaborativas completamente diferentes.

6.4 Evaluación educativa

Tal y como se mencionaba en la sección anterior, el sistema maleable Gridcole ha sido utilizado en dos ocasiones para apoyar la realización de la situación concebida para el laboratorio de Arquitectura de Ordenadores. Estas dos experiencias forman parte de la evaluación educativa que se ha hecho del sistema con el objetivo de obtener evidencias que muestren que Gridcole es un sistema adecuado para la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo.

6.4.1 Experiencias consideradas

En el proceso de evaluación de Gridcole se han estudiado dos experiencias de uso del sistema que tuvieron lugar en los meses de marzo y mayo de 2005 respectivamente. En la primera experiencia participó un grupo de 4 ex alumnos que cursaron la asignatura de Arquitectura de Ordenadores en distintos años comprendidos entre 1998 y 2002 y que en la actualidad son investigadores ajenos a la propuesta del sistema Gridcole. En la segunda experiencia los participantes fueron 8 alumnos de la asignatura que, tras haber suspendido en la convocatoria de febrero de 2005, participaban en una serie de clases de recuperación organizadas por los responsables de la asignatura durante el segundo cuatrimestre de 2005 y se ofrecieron como voluntarios para el experimento. Ambos grupos habían realizado prácticas semejantes a la situación planteada para el laboratorio de Arquitectura de Ordenadores en el momento de cursar la asignatura. La Figura 6.12 muestra una fotografía tomada durante el desarrollo de la experiencia de uso de Gridcole con el grupo de alumnos de la asignatura.



Figura 6.12: Fotografía de alumnos de la asignatura de Arquitectura de Ordenadores durante la realización de la situación de aprendizaje utilizando el prototipo del sistema Gridcole.

Los dos grupos realizaron la situación de aprendizaje colaborativo propuesta para el laboratorio de Arquitectura de Ordenadores utilizando el prototipo de Gridcole así como las herramientas de *chat* y *benchmarking* desarrolladas para el apoyo de la misma. En ambas experiencias, de unas 4 horas de duración cada una, todos los participantes se encontraban en una misma aula dotada con ordenadores que utilizaron de manera individual. Sin embargo, no

tenían permitido hablar directamente con sus compañeros por lo que, para comunicarse con ellos, debían hacer uso de la herramienta de *chat* integrada por el sistema. De esta manera, se pretendía lograr que los participantes utilizaran Gridcole de forma parecida a la que se hubiera dado en el caso de que los voluntarios no compartieran el mismo espacio físico y hubieran tenido que emplear el sistema para realizar la situación propuesta colaborando de manera remota.

6.4.2 Diseño del proceso de evaluación

El proceso de evaluación educativa de Gridcole [Jor05] ha sido diseñado siguiendo las directrices definidas por el método propuesto en [Mar03a] [Mar03b] para la evaluación de experiencias de realización de situaciones de aprendizaje colaborativo apoyadas por ordenador. De este modo, la evaluación educativa de Gridcole se ha llevado a cabo en tres fases. Dichas fases son las siguientes:

- **Creación de un esquema de categorías.** Según [Mar03a], el primer paso del proceso de evaluación de una experiencia de aprendizaje colaborativo consiste en la categorización de los distintos conceptos que se pretende estudiar en el mismo. El esquema de categorías creado para la evaluación de Gridcole puede consultarse en el apéndice B.
- **Obtención de datos.** Para poder obtener conclusiones válidas sobre la cuestión evaluada es imprescindible estudiar los datos obtenidos de diversas fuentes [Mar03a]. De acuerdo con esta idea, en la evaluación de Gridcole se han empleado las dos fuentes de datos que se describen a continuación:
 - **Encuestas.** Todos los participantes de las experiencias de uso de Gridcole respondieron a dos encuestas. La primera encuesta, que fue completada por los voluntarios antes de que participaran la experiencia, tenía como objetivo obtener información acerca de la experiencia previa del alumno relacionada con la situación propuesta. De esta forma, se pretendía detectar posibles sesgos en las valoraciones de la experiencia que posteriormente hicieron los voluntarios. La segunda encuesta tuvo lugar una vez que la experiencia había terminado. En ella se pedía a los voluntarios que valoraran de manera tanto cualitativa como cuantitativa distintos aspectos de dicha experiencia. Ambas encuestas fueron diseñadas de manera que el conjunto de cuestiones que se planteaban en ellas cubría la totalidad de conceptos incluidos en el esquema de categorías creado para la evaluación de Gridcole. Estas dos encuestas se recogen en el apéndice B de la tesis.
 - **Grupos de discusión.** Por último, se mantuvieron dos reuniones: una con todo el grupo de ex alumnos y otra con 4 participantes del grupo de alumnos. En estas reuniones se

discutieron los aspectos clave encontrados en las respuestas de los participantes a las encuestas con la intención de profundizar en la valoración que éstos hicieron de la experiencia. El contenido de estas discusiones fue transcrito íntegramente con el objetivo de permitir el posterior análisis del mismo.

- **Análisis de datos.** Los datos obtenidos de la fase anterior han sido analizados combinando el análisis cualitativo y cuantitativo de acuerdo con la propuesta de [Mar03a]. De esta manera, se ha recurrido al análisis de datos cuantitativos no con el objetivo de demostrar hipótesis, sino para detectar tendencias generales de manera eficiente que posteriormente han sido confirmadas o descartadas mediante el análisis de datos cualitativos. Los principales resultados obtenidos de este análisis se muestran en la siguiente subsección.

6.4.3 Resultados de la evaluación

La Figura 6.13 muestra la valoración de los participantes de las experiencias sobre el grado en que el sistema les sirvió para facilitar la realización de la situación propuesta en colaboración con sus compañeros. En ella destaca el hecho de que, tanto en el caso de los ex alumnos como en el de los alumnos de Arquitectura de Ordenadores, el 75% de los participantes consideraba que el sistema les facilitó bastante o mucho la realización de la situación. Éste es un resultado positivo al que han contribuido diversos factores relacionados con el sistema.

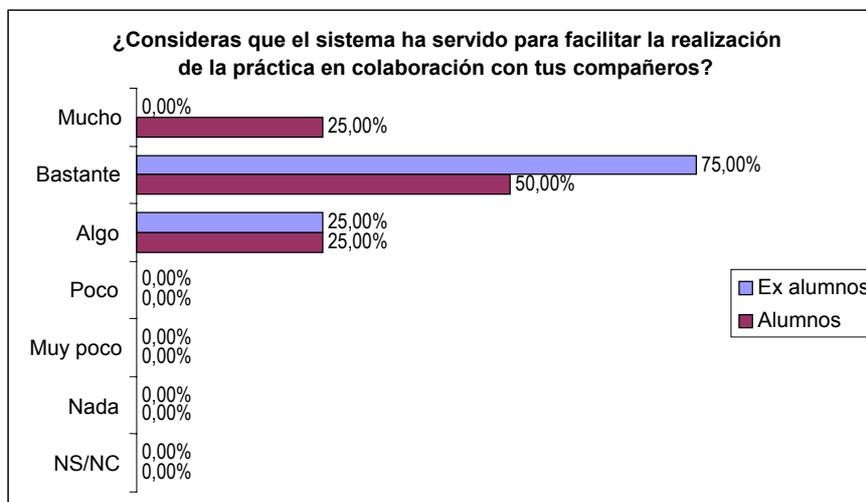


Figura 6.13: Opinión de los participantes sobre el grado en el sistema les sirvió para facilitar la realización de la situación propuesta en colaboración con sus compañeros

Uno de esos factores es sin lugar a dudas la posibilidad de guiado que ofrece el sistema. En este caso, tal y como es posible apreciar en la Figura 6.14, el 100% de los ex alumnos y el 87,50% de los alumnos opinaban que el hecho de que el sistema le indicara paso a paso qué debía hacer para resolver la práctica le facilitó bastante o mucho la realización de la misma. Esta

afirmación se ve corroborada por comentarios como los siguientes hechos por los participantes en los grupos de discusión:

- Entrevistador: ¿El hecho de que te especifiquen, primero léete esto, luego haz tal prueba, luego... lo otro, es demasiado estricto, demasiado poco...?

Ex alumno2: Yo creo que está bien, porque al menos a mí... que no tenía los recuerdos muy claros, me ayudó a ver cómo era la metodología, qué es lo que tienes que hacer y luego dentro de cada paso, tú ya eres autosuficiente para darte cuenta de qué implica y qué es lo que tienes que hacer, pero por lo menos que no se te pase ninguno de esos pasos para poder razonar... o sea, es una ayuda al razonamiento, creo yo, luego ya tú razonas...

- Entrevistador: Entonces ¿valoráis positiva, muy positivamente el hecho de que se os haya ido diciendo cosas más o menos lo que hay que hacer?

Alumno5: Yo creo que lo que más, para mí, vamos.

Alumno6: Yo creo que también, porque la primera práctica [que fue realizada en la asignatura de Arquitectura de Ordenadores tradicional] fue un caos.



Figura 6.14: Opinión de los participantes sobre el grado en el que el hecho de que el sistema les indicara paso a paso qué debían hacer para resolver la práctica les facilitó la realización de la misma.

También se considera que ha influido en la valoración del sistema el hecho de que éste permitiera que los participantes pudieran colaborar de manera fructífera. De acuerdo con esto, en la Figura 6.15 se observa que el 75% de los ex alumnos y de los alumnos consideraba que la colaboración con los compañeros durante la realización de la práctica fue bastante positiva. Los participantes hicieron comentarios en las encuestas respecto a la colaboración que apoyan dicha afirmación:

- Ex alumno2: Te das cuenta de los fallos que has tenido, comentas aspectos en los que no habías pensado, y compartes información sobre aspectos que no te habían quedado claros.
- Alumno1: Al contrastar distintos puntos de vista, la solución final siempre va a ser más elaborada, pudiendo darte cuenta de fallos que previamente en la fase individual no habías tenido en cuenta.
- Alumno5: En algunas cuestiones que yo no tenía muy claras, el hecho de debatir con los compañeros creo que ha servido para mejorar el trabajo realizado.

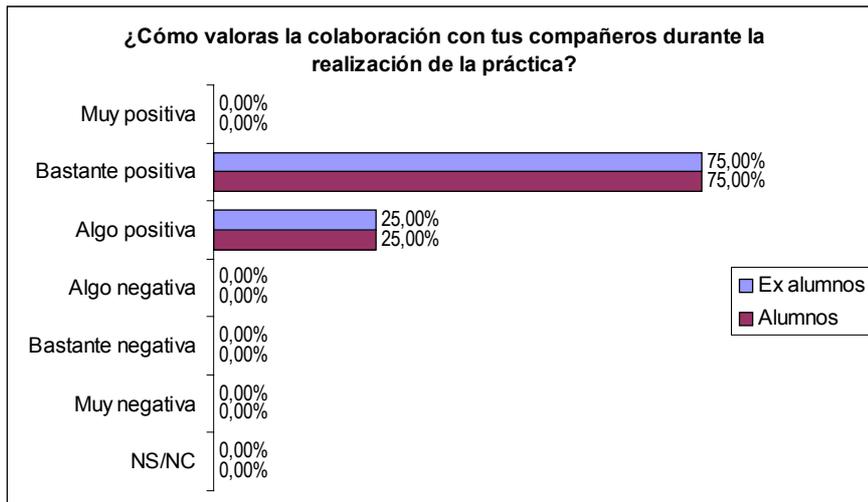


Figura 6.15: Valoración de los participantes sobre la colaboración con sus compañeros durante la realización de la práctica.

Otro factor que ha contribuido a la calificación positiva del sistema es el hecho de que éste integrara herramientas que se consideran adecuadas para la realización de la práctica. La Figura 6.16 muestra que el 100% de los ex alumnos y de los alumnos pensaba que la herramienta de *benchmarking* era bastante adecuada o muy adecuada para la realización de la práctica. De nuevo es posible encontrar en las encuestas comentarios al respecto junto con algunas sugerencias para su mejora:

- Ex alumno3: Muy adecuada y sencilla de manejar. Por decir algo, pero no es crítico ni mucho menos, podría incluir la funcionalidad de calcular la media y la desviación de los datos que se indicaran.
- Alumno1: Bastante bien enfocada, puesto que te facilita en gran medida el cálculo de los rendimientos de tu máquina.
- Alumno5: Creo que es una herramienta bastante buena, pero sería bueno que en la herramienta de *benchmarking* se pudiera seleccionar todas las pruebas que se desean hacer, y realizarlas todas a la vez.

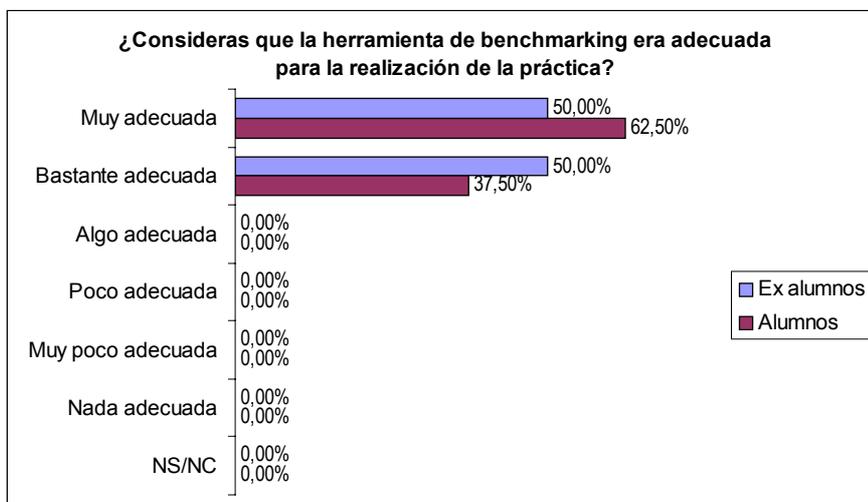


Figura 6.16: Opinión de los participantes sobre la adecuación de la herramienta de *benchmarking* para la realización de la práctica.

También la herramienta de *chat* se considera adecuada para la realización de la práctica, aunque en menor grado que en el caso de la herramienta de *benchmarking*. En este caso se puede observar en la Figura 6.17 que el 75% de los ex alumnos creía que la herramienta de *chat* era bastante adecuada mientras que el 50% de los alumnos opinaba que era bastante adecuada o muy adecuada. Esta menor valoración parece deberse, al menos en parte, al hecho de que los participantes consideran que la colaboración a través de una herramienta de *chat* es más difícil que cuando ésta tiene lugar cara a cara. Los siguientes comentarios extraídos de las encuestas reflejan este hecho:

- Alumno1: Es una buena forma de comunicarse con el compañero pero sería preferible mantener un contacto personal, puesto que así podrías exponer tus puntos de vista de manera más clara y extensa.
- Alumno5: Considero que es muy adecuada para trabajar de manera que cada componente del grupo se encuentre en un lugar distinto, pero no dentro del mismo laboratorio.
- Alumno7: La herramienta de *chat* es adecuada pero creo que es preferible la comunicación en persona para la puesta en común de ideas y conceptos.

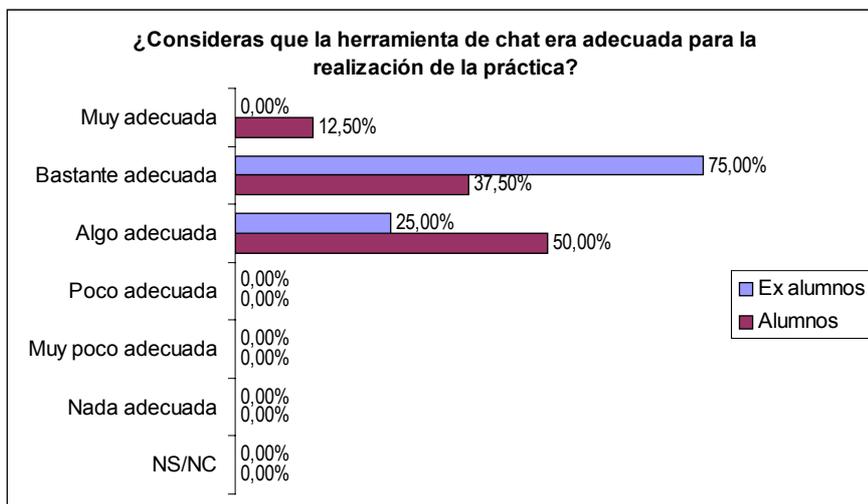


Figura 6.17: Opinión de los participantes sobre la adecuación de la herramienta de *chat* para la realización de la práctica.

La preferencia de los voluntarios por la colaboración cara a cara no implica que no encontraran útil el sistema para realizar la práctica en el caso de que pudieran reunirse con sus compañeros físicamente. Así, en la Figura 6.18 se observa que el 50% de los ex alumnos opinaba que el sistema facilitaría bastante la realización de la práctica en dicha situación. En el caso de los alumnos, aumentaba hasta el 75% el porcentaje de participantes que pensaban que el sistema facilitaría bastante o mucho la realización de la práctica. Una vez más, es posible extraer comentarios de las encuestas completadas por los participantes que corroboran esta idea:

- Ex alumno3: Aunque estuviera físicamente con mi compañero, agradezco que se me indique qué tenemos que hacer en cada momento.
- Alumno6: Aunque el *chat* no sería de utilidad el resto del sistema facilitaría mucho las cosas.
- Alumno8: El sistema tendría todas las ventajas que hemos expuesto hasta ahora y en este caso nos sobraría el *chat* únicamente.



Figura 6.18: Opinión de los participantes sobre el grado en el que el sistema les facilitaría la realización de la práctica en el caso de que les fuera posible reunirse físicamente con sus compañeros.

Sin embargo, quedó claro que los voluntarios encontraban más útil el sistema para realizar la práctica en el caso en que no pudieran reunirse con sus compañeros físicamente. La Figura 6.19 muestra como, cuando se les preguntó por esta cuestión de manera explícita, el 100% de los ex alumnos y el 75% de los alumnos opinaban que el sistema les facilitaría bastante o mucho la realización de la práctica en caso de que se vieran obligados a colaborar de manera remota. Los comentarios hechos por los participantes en las encuestas sugieren que este aumento en la valoración se debe principalmente a las facilidades para la colaboración remota que ofrece el sistema en forma de herramientas integradas para compartir documentos y comunicarse:

- Ex alumno1: En este caso, además de imponer la colaboración, sí que facilitaría el trabajo conjunto entre los compañeros, permite avanzar de manera ordenada, tener los documentos del otro a mano...
- Alumno3: En este caso tanto el sistema de realización de la practica como el *chat* serían útiles.
- Alumno5: Más [útil] que en el caso anterior [realización de la práctica con la posibilidad de reunirse con los compañeros] debido a la herramienta del *chat*.



Figura 6.19: Opinión de los participantes sobre el grado en el que el sistema les facilitaría la realización de la práctica en el caso de que no les fuera posible reunirse físicamente con sus compañeros.

6.4.4 Adecuación del sistema para la realización de situaciones de aprendizaje

Los resultados de la evaluación educativa presentados en la subsección anterior muestran que Gridcole es un sistema con el que se facilita la realización de la situación de aprendizaje colaborativo concebida para la asignatura de Arquitectura de Ordenadores. A esta circunstancia contribuyen en gran medida el hecho de que el sistema indique a los alumnos qué actividades deben realizar para completar la situación así como que les proporcione las herramientas apropiadas para el apoyo de las mismas. De acuerdo con esto, y teniendo en cuenta que se trata de un sistema maleable capaz de ejecutar distintos guiones colaborativos, resulta lógico afirmar que Gridcole también puede facilitar la realización de otras situaciones de aprendizaje colaborativo en la medida en la que sea posible disponer de un guión adecuado interpretable por el sistema así como de herramientas apropiadas para su apoyo que puedan ser integradas en el contexto de Gridcole.

6.5 Conclusiones

La compleción de la fase de evaluación definida por el método de ingeniería implica la necesidad de mostrar que Gridcole es un sistema que realmente supera las limitaciones que fueron encontradas en las soluciones existentes. Para abordar esta cuestión, en el presente capítulo se ha estudiado el sistema propuesto desde dos puntos de vista.

En primer lugar, se ha comprobado que Gridcole es un sistema maleable que, a diferencia de los sistemas actuales, permite la integración de herramientas que hacen uso de capacidades de supercomputación de recursos de *hardware* específicos así como la interpretación de guiones de aprendizaje colaborativo. Para ello se han propuesto tres situaciones de aprendizaje colaborativo que responden a las necesidades pedagógicas de otras tres asignaturas impartidas actualmente en la titulación de Ingeniería de Telecomunicación de la Universidad de Valladolid para cuyo apoyo es imprescindible disponer de un sistema maleable que ofrezca las posibilidades antes mencionadas. De esta manera, se ha verificado que las tres situaciones pueden ser descritas en una unidad de aprendizaje completa, que es posible desarrollar como servicios grid con un cliente distribuible de acuerdo con el modelo JNLP las herramientas adecuadas para el apoyo de las mismas y, por último, que el prototipo de Gridcole puede utilizar dichas unidades de aprendizaje para integrar las herramientas y apoyar la realización de las tres situaciones.

En segundo lugar, se han obtenido evidencias de que, tal y como cabe esperar de un sistema CSCL, Gridcole facilita la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo. En este caso se ha llevado a cabo un proceso de evaluación educativa en el que se han puesto en marcha dos experiencias de uso del prototipo de Gridcole para apoyar la realización de una de las

situaciones propuestas. En estas experiencias han participado un grupo de 8 ex alumnos de la asignatura para la que dicha situación fue concebida así como otro de 4 alumnos de la asignatura. Los resultados de este proceso de evaluación muestran que los voluntarios que participaron en ambas experiencias consideran que Gridcole les facilitó la realización de la situación de aprendizaje colaborativo a la vez que encuentran que el sistema puede ser útil para la puesta en práctica de dicha situación tanto en el caso de que los participantes puedan colaborar cara a cara como en el caso de que la colaboración se deba producir de manera remota. Esta valoración positiva del sistema por parte de los participantes se debe, entre otras cosas, al hecho de que el sistema les guiara indicándoles paso a paso qué actividades debían hacer para completar la situación propuesta así como al hecho de que Gridcole les proporcionara las herramientas apropiadas para poder realizar dichas actividades.

Estos resultados del proceso de evaluación permiten, por lo tanto, hacer dos afirmaciones. Por un lado, que Gridcole es un sistema maleable que es capaz tanto de integrar herramientas que pueden hacer uso de recursos extraordinarios como de interpretar guiones colaborativos con el objetivo de facilitar la realización de las situaciones de manera guiada. Y, por otro, que Gridcole es un sistema que puede facilitar la realización de un amplio abanico de situaciones de aprendizaje colaborativo siempre y cuando se disponga de las descripciones adecuadas de dichas situaciones así como de las herramientas apropiadas para el apoyo de las mismas.

Capítulo 7

Conclusiones y trabajo futuro

En este capítulo se recogen las principales conclusiones extraídas de la tesis a la vez que se repasan las aportaciones más importantes de la misma. También se identifican las líneas de trabajo futuro que es posible abordar a partir de esta tesis. Estas cuestiones son tratadas en las secciones 7.1 y 7.2 respectivamente.

7.1 Conclusiones

En este trabajo se han abordado dos limitaciones detectadas en los sistemas de aprendizaje colaborativo maleables que es posible encontrar en la literatura. La primera de esas limitaciones se refiere al hecho de que estos sistemas no permiten la integración de herramientas que hacen uso de capacidades de supercomputación o de recursos de *hardware* específicos aún cuando este tipo de herramientas es imprescindible para la puesta en práctica de numerosas situaciones de aprendizaje colaborativo. La segunda de ellas, a que dichos sistemas no permiten la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo de manera guiada a pesar de que el guiado de actividades, siempre y cuando el grado de coerción del mismo sea el adecuado, puede servir para aumentar la efectividad del aprendizaje colaborativo.

Para tratar el problema de la integración de herramientas que hacen uso de capacidades de supercomputación o de recursos de *hardware* específicos se ha recurrido al grid computacional. Esta elección se debe al hecho de que el grid es una infraestructura distribuida que permite a múltiples organizaciones administrativas compartir todo tipo de recursos de manera que éstos puedan ser utilizados por las aplicaciones con cualquier propósito. Dos de los usos más habituales de los recursos compartidos del grid son, precisamente, el acceso a capacidades de supercomputación y a recursos de *hardware* específicos.

En esta tesis se ha llevado a cabo un estudio tanto del grid computacional como del modelo de computación orientada a servicios en el que se basan actualmente la mayoría de las aplicaciones que hacen uso del grid. Este estudio incluía un análisis de la evolución que ha sufrido la definición del concepto de grid a lo largo del tiempo. A través de ese análisis se han identificado las principales características del grid computacional tal y como es entendido hoy

en día. A partir de estas características se ha propuesto una nueva definición de grid, la cual es una contribución original de la tesis que ha sido publicada en [Bot03a] [Bot04a] y que ha tenido cierto impacto en la comunidad científica. Esta idea se ve corroborada por el hecho de que dichas publicaciones han sido citadas en diversos trabajos [Gao03] [Sot03] [Ard04a] [Ard04b] [Cab04] [Gor04] [Ios04] [Xha04] [Nie05] ajenos al grupo de investigación en el que se enmarca esta tesis.

Además, se ha propuesto la posibilidad de utilizar el grid como un repositorio de herramientas susceptibles de ser utilizadas para el apoyo de toda clase de actividades de aprendizaje individual o colaborativo. Dichas herramientas serían ofrecidas por distintas organizaciones administrativas como servicios grid orientados a presentación. Esto haría posible que las herramientas pudieran ser tanto utilizadas de manera aislada como integradas en el contexto de un sistema de aprendizaje colaborativo de acuerdo con el modelo de maleabilidad blanda.

Esta aproximación para la integración de herramientas en sistemas maleables ha sido convenientemente analizada. Una de las ventajas más importantes de la misma es que permite la integración de herramientas que hacen uso de capacidades de supercomputación o de recursos de *hardware* específicos en los sistemas de aprendizaje colaborativo maleables sin que esto signifique renunciar a la posibilidad de integrar herramientas que no hagan uso de este tipo de recursos extraordinarios. Otras ventajas relevantes de esta aproximación son la reducción del problema de tecnificación que se da habitualmente en los sistemas de aprendizaje en general, el fomento de la reutilización de herramientas por parte de los educadores y la compatibilidad de esta reutilización con la de componentes de *software* para el desarrollo de los servicios correspondientes a las herramientas.

La propuesta y el análisis del uso del grid como marco de integración de herramientas en sistemas de aprendizaje colaborativo cubren el primer objetivo de la tesis, *estudiar la posibilidad de utilizar el grid computacional para permitir el uso de capacidades de supercomputación y de recursos de hardware específicos en herramientas integrables en un sistema de aprendizaje colaborativo maleable*. Además, son una contribución original de este trabajo que ha sido publicada en [Bot04e] [Vaq05].

Para abordar el problema referido al guiado, en cambio, se ha empleado el lenguaje de modelado educativo IMS-LD. El motivo para esta elección, además de la amplia aceptación actual de esta especificación, es el hecho de que IMS-LD permite formalizar la descripción de procesos de enseñanza-aprendizaje entendidos como secuencias de actividades que deben ser realizadas con el apoyo de determinados documentos y herramientas. Dichas descripciones

pueden ser posteriormente interpretadas por motores de flujo con el objetivo de dotar a un sistema con la capacidad de guiado.

En esta tesis se ha estudiado con detalle la posibilidad de utilizar IMS-LD con el objetivo de describir formalmente los guiones colaborativos que es posible definir a partir de las situaciones de aprendizaje colaborativo. Para ello, se ha comprobado si la especificación IMS-LD permite describir todos y cada uno de los elementos que forman parte de la sintaxis de los guiones colaborativos de acuerdo con [Dil02]. En este análisis se han detectado tres limitaciones de la especificación. Una de ellas, la más importante, es la dificultad para definir las herramientas necesarias para el apoyo de las actividades. Sin embargo, esta dificultad puede ser superada con la extensión propuesta en [Her04] y modificando ligeramente el uso de determinados elementos de la especificación. Las otras dos limitaciones se refieren a la existencia de dificultades para incluir secuencias de fases no lineales en los guiones colaborativos o para especificar los criterios intrínsecos o extrínsecos de acuerdo con los cuales deben formarse los grupos para la realización de determinadas actividades. En la discusión de estas dos últimas limitaciones se ha visto el carácter menor de las mismas, de manera que es posible afirmar que IMS-LD puede ser utilizado en combinación con la extensión antes mencionada para la formalización de los guiones colaborativos correspondientes a un amplio rango de situaciones de aprendizaje colaborativo.

Con este análisis se cumple el segundo objetivo de la tesis, *estudiar la posibilidad de utilizar IMS-LD para la especificación formal de guiones colaborativos ejecutables en el contexto de un sistema de aprendizaje para facilitar la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo de manera guiada*. Dicho análisis es también una contribución original de la tesis que está aún pendiente de ser publicada.

La combinación de las ideas elaboradas en la tesis referidas al uso del grid como marco de integración de herramientas y al empleo de IMS-LD para la descripción de situaciones de aprendizaje colaborativo ha permitido la propuesta de un nuevo sistema de aprendizaje colaborativo maleable que supera las limitaciones de los sistemas actuales. Este sistema, denominado Gridcole, permite la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo de manera guiada apoyadas por herramientas que, en caso de ser necesario, pueden hacer uso de capacidades de supercomputación o de recursos de *hardware* específicos. Para ello es suficiente con que el educador proporcione al sistema una descripción basada en IMS-LD de la situación que ha de ser apoyada por el mismo incluyendo la información necesaria para localizar las herramientas necesarias para el apoyo de la situación en el contexto de un grid computacional orientado a servicios. A partir de esta información, Gridcole es capaz de enlazar dichas herramientas de acuerdo con el modelo de maleabilidad por integración blanda. Estas herramientas se ponen a disposición de los usuarios del sistema cuando son necesitadas durante

la realización de una situación. Sin embargo, es importante recordar que Gridcole es un sistema flexible en el sentido de que las características que lo diferencian de otros sistemas maleables no tienen que ser utilizadas de manera obligatoria en la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo. De este modo, Gridcole también puede ser utilizado para apoyar situaciones en las que no se necesitan herramientas que hagan uso de capacidades de supercomputación o de recursos de *hardware* específicos. Igualmente, Gridcole permite la realización de situaciones en las que los participantes, en lugar de ser guiados por el sistema, colaboran libremente.

La propuesta del sistema Gridcole ha sido descrita de manera detallada en la tesis. De este modo, se han definido las funcionalidades básicas que el sistema ofrece a sus usuarios y se ha presentado su funcionamiento. El diseño de la arquitectura lógica de Gridcole también ha sido introducido. Para ello, se han identificado primero los distintos elementos que forman parte de la misma y después se ha mostrado cómo el funcionamiento de dichos elementos permite que el sistema pueda ser utilizado para la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo. Además, se ha definido y discutido el modelo de herramientas al que se deben ajustar los proveedores para que sus herramientas puedan ser integradas en Gridcole. Con el objetivo de facilitar la adopción del mismo, dicha tarea ha sido abordada procurando en la medida de lo posible no imponer a los proveedores requisitos que no sean habituales en el contexto de los servicios grid. Por otra parte, se ha determinado la información que deben facilitar los proveedores para que Gridcole pueda localizar e integrar sus herramientas en el momento oportuno, así como la que deben proporcionar los educadores para que el sistema pueda buscar las herramientas adecuadas con las que apoyar la realización de una situación de aprendizaje dada. De igual manera, se ha introducido la arquitectura física de Gridcole y se han discutido las diferentes tecnologías que han sido elegidas para su implementación.

La propuesta de Gridcole cubre el tercer objetivo de la tesis, *proponer un nuevo sistema de aprendizaje colaborativo maleable en el que sea posible la integración de herramientas basadas en el grid que hagan uso de capacidades de supercomputación o de recursos de hardware específicos, así como la realización de situaciones de manera guiada a partir de guiones colaborativos descritos con IMS-LD*. Además, representa la contribución principal de este trabajo de investigación, la cual ha sido publicada en [Bot04b] [Bot04d] [Bot05]. En este punto cabe mencionar el hecho de que ya hay varios trabajos [Ard05a] [Ard05b] [Bar05] [Iri05] [Tou05] ajenos al grupo de investigación en el que se ha desarrollado esta tesis que hacen referencia al sistema Gridcole. También es posible mencionar el hecho de que la aproximación basada en el uso de servicios grid e IMS-LD, propuesta original de esta tesis para el apoyo de situaciones de aprendizaje colaborativo en el contexto del sistema maleable Gridcole, ha sido adoptada en el contexto del proyecto de investigación europeo EleGi (*European Learning Grid Infrastructure* – Infraestructura Grid Europea para el Aprendizaje) [ELe04]. Tal y como se

señala en [All05], en este proyecto actualmente se está investigando la posibilidad de emplear dicha aproximación en combinación con técnicas de formalización del conocimiento para facilitar el descubrimiento de herramientas.

Para llevar a cabo la evaluación del sistema Gridcole se han propuesto tres situaciones de aprendizaje colaborativo. Éstas son situaciones diferentes que responden a las necesidades educativas de distintas asignaturas impartidas en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación de la Universidad de Valladolid. Además, son situaciones que solamente pueden ser realizadas en el contexto de un sistema de aprendizaje colaborativo que, además de ser maleable, permita la integración de herramientas que hacen uso de capacidades de supercomputación o de *hardware* específico así como la interpretación de guiones colaborativos con el objetivo de guiar a los participantes de las situaciones.

También se han descrito tres experiencias de uso del sistema por parte del autor de la tesis que han servido para comprobar que Gridcole puede ser empleado para apoyar la realización de las tres situaciones planteadas. Este hecho permite afirmar que Gridcole es un sistema maleable con el que es posible tanto integrar herramientas que hacen uso de recursos extraordinarios como interpretar guiones colaborativos. Asimismo, se han presentado los resultados de un proceso de evaluación educativa del sistema que se ha puesto en marcha con el objetivo de obtener evidencias que mostraran que Gridcole, como sistema CSCL que es, realmente facilita la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo. Para ello, se han analizado los datos cuantitativos y cualitativos obtenidos de dos experiencias de uso del sistema para apoyar la realización de una de las situaciones planteadas. En estas experiencias participaron un grupo de ex alumnos y otro de alumnos de la asignatura para la que la situación ha sido concebida. Los resultados de dicho análisis muestran que los participantes de estas experiencias consideran que el sistema les facilitó la realización de la situación. Además, valoran el hecho de que Gridcole les indique qué actividades deben realizar en cada momento así como que les proporcione las herramientas adecuadas para la realización de las mismas como dos de los aspectos más positivos del sistema. Estos resultados permiten concluir que Gridcole también puede facilitar la realización de otras situaciones de aprendizaje colaborativo distintas de la considerada en la evaluación educativa siempre y cuando se disponga del guión correspondiente y de las herramientas necesarias para su apoyo así como que éstos puedan ser interpretados e integradas por el sistema, respectivamente.

Con el proceso de evaluación del sistema Gridcole que se ha llevado a cabo se cumple el cuarto y último objetivo de la tesis, *evaluar el sistema de aprendizaje colaborativo maleable propuesto*.

7.2 Trabajo futuro

A partir del trabajo presentado en esta tesis es posible identificar varias tareas que merece la pena abordar en el futuro. Dichas tareas son las siguientes:

- **Desarrollo completo del sistema.** La implementación del sistema debe ser completada de acuerdo con la propuesta de implementación hecha en el capítulo 5. En este sentido, es posible mencionar que el desarrollo completo de Gridcole es uno de los principales objetivos del proyecto “Sistema basado en servicios grid para el diseño e integración flexible de aplicaciones de aprendizaje colaborativo” que la Junta de Castilla y León ha concedido al grupo de investigación en el que se enmarca esta tesis con fecha de julio de 2005.
- **Desarrollo de nuevas herramientas.** También es interesante el desarrollo de herramientas integrables en Gridcole que permitan la puesta en marcha de nuevas experiencias de uso del sistema con usuarios reales. La implementación de nuevas herramientas puede hacerse a partir de cero o adaptando, en caso de que esto sea necesario, herramientas basadas en grid existentes. Ésta es otra tarea que también forma parte de la planificación del proyecto mencionado en el punto anterior.
- **Ampliación de la evaluación del sistema.** La evaluación de Gridcole que se ha llevado a cabo en esta tesis puede ser ampliada para estudiar otros aspectos interesantes del sistema. Así, es posible investigar cuestiones como el impacto del sistema en la posibilidad de reutilizar herramientas o el grado en el que Gridcole logra reducir el problema de la tecnificación mencionado en el capítulo 3. También sería interesante hacer nuevas pruebas de uso del sistema en las que participe un mayor número de usuarios y que involucren a varias organizaciones a la hora de compartir herramientas para, de esta manera, estudiar aspectos como la robustez o el rendimiento del sistema.
- **Mejora de la búsqueda de herramientas.** Tal y como se indicaba en el capítulo 5, la búsqueda basada en palabras clave no es el método más efectivo para encontrar las herramientas necesarias para el apoyo de una situación de aprendizaje colaborativo. Este aspecto de Gridcole puede ser mejorado mediante la incorporación de un sistema de búsqueda de herramientas basado en ontologías. En este punto es necesario destacar el hecho de que el grupo de investigación en el que se encuadra esta tesis ya está trabajando en ello [Veg05a] [Veg05b].
- **Desarrollo de un editor de diseños de aprendizaje.** Es importante que los educadores puedan disponer de una herramienta que les permita editar de manera sencilla los diseños de

aprendizaje correspondientes a las situaciones de aprendizaje colaborativo que desean realizar con el sistema Gridcole. Es por ello que el grupo de investigación en el que se ha llevado a cabo esta tesis está ya trabajando en el desarrollo de un editor que pueda ser utilizado con este objetivo [Her05] [Her06].

- **Transición a WSRF.** Tal y como se indicaba en el capítulo 3, se espera que la especificación de servicios grid WSRF sea ampliamente aceptada una vez que se disponga de la versión definitiva de la misma. Por este motivo sería conveniente estudiar los cambios que es necesario hacer en el sistema Gridcole de manera que sea posible la integración de herramientas basadas en servicios grid de acuerdo con WSRF. Ésta es una tarea en la que ya se ha comenzado a trabajar en el grupo de investigación en el que se enmarca esta tesis.
- **Adición de nuevas funcionalidades.** Otra tarea que merece la pena abordar es el estudio de nuevas funcionalidades que sirvan para mejorar el apoyo prestado a los usuarios del sistema con el objetivo de incluirlas en Gridcole. En este sentido, sería interesante considerar el interés de funcionalidades como, por ejemplo, que las situaciones de aprendizaje colaborativo puedan ser modificadas por el educador mientras éstas son realizadas en el sistema, que el sistema proporcione asistencia específica a los participantes que se incorporan tarde a la realización de una situación, etc.
- **Integración de herramientas basadas en otras tecnologías.** El apoyo prestado por Gridcole en la realización de situaciones de aprendizaje colaborativo puede verse enriquecido con la posibilidad de que el sistema sea capaz de integrar herramientas basadas en tecnologías diferentes a los servicios grid. Por ello sería interesante estudiar qué tecnologías pueden servir para mejorar el apoyo de situaciones en Gridcole y cómo sería posible integrar las herramientas desarrolladas con esa tecnología en el contexto del sistema. Este podría ser el caso, por ejemplo, de las herramientas basadas en tecnología p2p.
- **Automatización del flujo de datos entre herramientas.** La realización de situaciones de aprendizaje colaborativo define en numerosas ocasiones un flujo de datos implícito entre las herramientas que son utilizadas para el apoyo de las mismas (ej. la generación de un documento con una herramienta de edición que después es enviado a un conjunto de personas con una herramienta de correo electrónico). Habitualmente, en los sistemas de aprendizaje colaborativo como Gridcole, es el propio usuario el que debe tomar la salida de una herramienta para proporcionársela como entrada a otra herramienta. En este sentido, sería interesante investigar la posibilidad de utilizar los lenguajes de flujo de trabajo como medio para automatizar la comunicación entre herramientas.

- **Introducción de niveles de calidad de servicio.** Otra mejora que es posible introducir en Gridcole se refiere a la introducción de niveles de calidad de servicio (QoS – *Quality of Service*) en el uso de las herramientas empleadas para el apoyo de las situaciones de aprendizaje colaborativo. Para ello, sería necesario estudiar cuáles son las métricas adecuadas para definir los niveles de calidad de servicio requeridos en el apoyo de una situación de aprendizaje colaborativo así como la forma en que las herramientas podrían ofrecer dicha calidad de servicio.

Apéndice A

Manifiestos de situaciones de aprendizaje colaborativo

Este apéndice recoge los manifiestos de las tres situaciones de aprendizaje colaborativo que han sido utilizadas en el proceso de evaluación del sistema de aprendizaje colaborativo maleable Gridcole.

A.1 Situación I

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<manifest xmlns="http://www.msglobal.org/xsd/imscp_v1p1"
xmlns:imsld="http://www.msglobal.org/xsd/imsld_v1p0"
xmlns:imsmd="http://www.msglobal.org/xsd/imsmd_v1p2"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:schemaLocation="http://www.msglobal.org/xsd/imscp_v1p1
http://www.msglobal.org/xsd/imscp_v1p1p3.xsd http://www.msglobal.org/xsd/imsld_v1p0
http://www.msglobal.org/xsd/IMS_LD_Level_B.xsd http://www.msglobal.org/xsd/imsmd_v1p2
http://www.msglobal.org/xsd/imsmd_v1p2p2.xsd" identifier="PIRAMIDE-AO-manifest">
  <organizations>

    <!--DISEÑO DE APRENDIZAJE-->
    <imsld:learning-design identifier="LD-PIRAMIDE-AO" level="B" uri="">
      <imsld:title>PIRAMIDE AO </imsld:title>
      <imsld:learning-objectives>
        <imsld:item identifierref="RES-introduccion"/>
      </imsld:learning-objectives>

    <!--COMPONENTES-->
    <imsld:components>

      <!--ROLES-->
      <imsld:roles>
        <imsld:learner identifier="R-grupo" create-new="allowed" min-persons="2">
          <imsld:title>Grupo LAO</imsld:title>
        </imsld:learner>
        <imsld:staff identifier="R-profesor">
          <imsld:title>Profesor</imsld:title>
        </imsld:staff>
      </imsld:roles>

      <!--PROPIEDADES-->
      <imsld:properties>
        <imsld:locpers-property identifier="P-valoracion-benchmarks-1">
          <imsld:title>Valoracion de benchmarks (individual)</imsld:title>
          <imsld:datatype datatype="file"/>
        </imsld:locpers-property>
        <imsld:locpers-property identifier="P-resultados-benchmarking-1">
          <imsld:title>Resultados de benchmarking (individual)</imsld:title>
          <imsld:datatype datatype="file"/>
        </imsld:locpers-property>
        <imsld:locpers-property identifier="P-propuesta-solucion-1">
          <imsld:title>Propuesta de solucion (individual)</imsld:title>
        </imsld:locpers-property>
      </imsld:properties>
    </imsld:components>
  </organizations>
</manifest>
```

```

    <imsld:datatype datatype="file"/>
  </imsld:locpers-property>
  <imsld:locrole-property identifier="P-valoracion-benchmarks-2">
    <imsld:title>Valoracion de benchmarks (grupo)</imsld:title>
    <imsld:role-ref ref="R-grupo"/>
    <imsld:datatype datatype="file"/>
  </imsld:locrole-property>
  <imsld:locrole-property identifier="P-resultados-benchmarking-2">
    <imsld:title>Resultados de benchmarking (grupo)</imsld:title>
    <imsld:role-ref ref="R-grupo"/>
    <imsld:datatype datatype="file"/>
  </imsld:locrole-property>
  <imsld:locrole-property identifier="P-propuesta-solucion-2">
    <imsld:title>Propuesta de solucion (grupo)</imsld:title>
    <imsld:role-ref ref="R-grupo"/>
    <imsld:datatype datatype="file"/>
  </imsld:locrole-property>
</imsld:properties>

<!--ACTIVIDADES-->
<imsld:activities>

  <!--ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE-->
  <imsld:learning-activity identifier="LA-estudiar-cliente">
    <imsld:title>Estudio del cliente</imsld:title>
    <imsld:environment-ref ref="E-estudiar-cliente"/>
    <imsld:activity-description>
      <imsld:item identifierref="RES-instrucciones-estudiar-cliente"/>
    </imsld:activity-description>
    <imsld:complete-activity>
      <imsld:user-choice/>
    </imsld:complete-activity>
  </imsld:learning-activity>
  <imsld:learning-activity identifier="LA-estudiar-maquinas">
    <imsld:title>Estudio de las maquinas</imsld:title>
    <imsld:environment-ref ref="E-estudiar-maquinas"/>
    <imsld:activity-description>
      <imsld:item identifierref="RES-instrucciones-estudiar-maquinas"/>
    </imsld:activity-description>
    <imsld:complete-activity>
      <imsld:user-choice/>
    </imsld:complete-activity>
  </imsld:learning-activity>
  <imsld:learning-activity identifier="LA-realizar-benchmarks">
    <imsld:title>Realizacion de benchmarks</imsld:title>
    <imsld:environment-ref ref="E-realizar-benchmarks-1"/>
    <imsld:environment-ref ref="E-realizar-benchmarks-2"/>
    <imsld:environment-ref ref="E-realizar-benchmarks-3"/>
    <imsld:activity-description>
      <imsld:item identifierref="RES-instrucciones-realizar-benchmarks"/>
    </imsld:activity-description>
    <imsld:complete-activity>
      <imsld:user-choice/>
    </imsld:complete-activity>
  </imsld:learning-activity>
  <imsld:learning-activity identifier="LA-estudiar-benchmarks">
    <imsld:title>Valoracion de los benchmarks</imsld:title>
    <imsld:environment-ref ref="E-estudiar-benchmarks-1"/>
    <imsld:environment-ref ref="E-estudiar-benchmarks-2"/>
    <imsld:activity-description>
      <imsld:item identifierref="RES-instrucciones-estudiar-benchmarks"/>
    </imsld:activity-description>
    <imsld:complete-activity>
      <imsld:user-choice/>
    </imsld:complete-activity>
  </imsld:learning-activity>
  <imsld:learning-activity identifier="LA-proponer-solucion">
    <imsld:title>Propuesta de solucion</imsld:title>
    <imsld:environment-ref ref="E-proponer-solucion-1"/>
    <imsld:environment-ref ref="E-proponer-solucion-2"/>
    <imsld:activity-description>
      <imsld:item identifierref="RES-instrucciones-proponer-solucion"/>
    </imsld:activity-description>
    <imsld:complete-activity>
      <imsld:user-choice/>
    </imsld:complete-activity>
  </imsld:learning-activity>
</imsld:activities>

```

```

<imsld:learning-activity identifier="LA-discutir-benchmarks">
  <imsld:title>Discusion de la valoracion</imsld:title>
  <imsld:environment-ref ref="E-estudiar-benchmarks-1"/>
  <imsld:environment-ref ref="E-discutir"/>
  <imsld:environment-ref ref="E-discutir-benchmarks"/>
  <imsld:activity-description>
    <imsld:item identifierref="RES-instrucciones-discutir-benchmarks"/>
  </imsld:activity-description>
  <imsld:complete-activity>
    <imsld:user-choice/>
  </imsld:complete-activity>
</imsld:learning-activity>
<imsld:learning-activity identifier="LA-comprobar-resultados">
  <imsld:title>Comprobacion de los resultados</imsld:title>
  <imsld:environment-ref ref="E-realizar-benchmarks-1"/>
  <imsld:environment-ref ref="E-comprobar-resultados-1"/>
  <imsld:environment-ref ref="E-comprobar-resultados-2"/>
  <imsld:activity-description>
    <imsld:item identifierref="RES-instrucciones-comprobar-resultados"/>
  </imsld:activity-description>
  <imsld:complete-activity>
    <imsld:user-choice/>
  </imsld:complete-activity>
</imsld:learning-activity>
<imsld:learning-activity identifier="LA-discutir-solucion">
  <imsld:title>Discusion de la solucion</imsld:title>
  <imsld:environment-ref ref="E-proponer-solucion-1"/>
  <imsld:environment-ref ref="E-discutir"/>
  <imsld:environment-ref ref="E-discutir-solucion"/>
  <imsld:activity-description>
    <imsld:item identifierref="RES-instrucciones-discutir-solucion"/>
  </imsld:activity-description>
  <imsld:complete-activity>
    <imsld:user-choice/>
  </imsld:complete-activity>
</imsld:learning-activity>

<!--ACTIVIDADES DE APOYO-->
<imsld:support-activity identifier="SA-revisar">
  <imsld:title>Revisar documentos generados</imsld:title>
  <imsld:environment-ref ref="E-supervisar-nivel-1"/>
  <imsld:environment-ref ref="E-supervisar-nivel-2"/>
  <imsld:activity-description>
    <imsld:item identifierref="RES-instrucciones-revisar"/>
  </imsld:activity-description>
  <imsld:complete-activity>
    <imsld:user-choice/>
  </imsld:complete-activity>
</imsld:support-activity>

<!--ESTRUCTURAS DE ACTIVIDADES-->
<imsld:activity-structure identifier="AS-nivel-piramide-1" structure-
type="sequence">
  <imsld:title>Actividades 1 a 5</imsld:title>
  <imsld:learning-activity-ref ref="LA-estudiar-cliente"/>
  <imsld:learning-activity-ref ref="LA-estudiar-maquinas"/>
  <imsld:learning-activity-ref ref="LA-realizar-benchmarks"/>
  <imsld:learning-activity-ref ref="LA-estudiar-benchmarks"/>
  <imsld:learning-activity-ref ref="LA-proponer-solucion"/>
</imsld:activity-structure>
<imsld:activity-structure identifier="AS-nivel-piramide-2" structure-
type="sequence">
  <imsld:title>Actividades 6 a 8</imsld:title>
  <imsld:learning-activity-ref ref="LA-comprobar-resultados"/>
  <imsld:learning-activity-ref ref="LA-discutir-benchmarks"/>
  <imsld:learning-activity-ref ref="LA-discutir-solucion"/>
</imsld:activity-structure>
</imsld:activities>

<!--ENTORNOS-->
<imsld:environments>
  <imsld:environment identifier="E-estudiar-cliente">
    <imsld:title>Documentacion</imsld:title>
    <imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-cliente-1">
      <imsld:title>Descripcion del cliente</imsld:title>
      <imsld:item identifier="I-estudiar-cliente-1" identifierref="RES-
caracteristicas-cliente"/>
    </imsld:learning-object>
  </imsld:environment>
</imsld:environments>

```

```

</imsld:learning-object>
</imsld:environment>
<imsld:environment identifier="E-estudiar-maquinas">
  <imsld:title>Documentacion</imsld:title>
  <imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-maquinas-1">
    <imsld:title>Descripcion de las maquinas</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-caracteristicas-maquinas"/>
  </imsld:learning-object>
</imsld:environment>
<imsld:environment identifier="E-documentacion-benchmarks">
  <imsld:title>Documentacion adicional sobre benchmarks</imsld:title>
  <imsld:learning-object identifier="LO-documentacion-benchmarks-1">
    <imsld:title>Articulo "An overview of..."</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-articulo-overview"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-documentacion-benchmarks-2">
    <imsld:title>Articulo "Dhrystone: a ..."</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-articulo-dhrystone"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-documentacion-benchmarks-3">
    <imsld:title>Codigo Whetstone</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-codigo-whetstone"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-documentacion-benchmarks-4">
    <imsld:title>Codigo Dhrystone</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-codigo-dhrystone"/>
  </imsld:learning-object>
</imsld:environment>
<imsld:environment identifier="E-realizar-benchmarks-1">
  <imsld:title>Documentacion</imsld:title>
  <imsld:learning-object identifier="LO-realizar-benchmarks-1">
    <imsld:title>Descripcion de las maquinas</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-caracteristicas-maquinas"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-realizar-benchmarks-2">
    <imsld:title>Descripcion de los benchmarks</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-descripcion-benchmarks"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:environment-ref ref="E-documentacion-benchmarks"/>
</imsld:environment>
<imsld:environment identifier="E-realizar-benchmarks-2">
  <imsld:title>Herramientas</imsld:title>
  <imsld:learning-object identifier="LO-realizar-benchmarks-3">
    <imsld:title>Herramienta de benchmarking</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-benchmarking-tool"/>
  </imsld:learning-object>
</imsld:environment>
<imsld:environment identifier="E-realizar-benchmarks-3">
  <imsld:title>Descarga/subida de ficheros</imsld:title>
  <imsld:learning-object identifier="LO-realizar-benchmarks-6">
    <imsld:title>Descargar plantilla de resultados individual</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-plantilla-benchmarking-1"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-realizar-benchmarks-7">
    <imsld:title>Subir fichero de resultados individual</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-formulario-benchmarking-1"/>
  </imsld:learning-object>
</imsld:environment>
<imsld:environment identifier="E-estudiar-benchmarks-1">
  <imsld:title>Documentacion</imsld:title>
  <imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-benchmarks-1">
    <imsld:title>Descripcion de los benchmarks</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-descripcion-benchmarks"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:environment-ref ref="E-documentacion-benchmarks"/>
</imsld:environment>
<imsld:environment identifier="E-estudiar-benchmarks-2">
  <imsld:title>Descarga/subida de ficheros</imsld:title>
  <imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-benchmarks-3">
    <imsld:title>Descargar plantilla de valoracion individual</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-plantilla-valoracion-1"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-benchmarks-4">
    <imsld:title>Subir fichero de valoracion individual</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-formulario-valoracion-1"/>
  </imsld:learning-object>
</imsld:environment>

```

```

<imsld:environment identifier="E-proponer-solucion-1">
  <imsld:title>Documentacion</imsld:title>
  <imsld:learning-object identifier="LO-proponer-solucion-1">
    <imsld:title>Descripcion del cliente</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-caracteristicas-cliente"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-proponer-solucion-2">
    <imsld:title>Descripcion de las maquinas</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-caracteristicas-maquinas"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-proponer-solucion-3">
    <imsld:title>Descripcion de los benchmarks</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-descripcion-benchmarks"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:environment-ref ref="E-documentacion-benchmarks"/>
</imsld:environment>
<imsld:environment identifier="E-proponer-solucion-2">
  <imsld:title>Descarga/subida de ficheros</imsld:title>
  <imsld:learning-object identifier="LO-proponer-solucion-4">
    <imsld:title>Descargar fichero de resultados individual</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-documento-benchmarking-1"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-proponer-solucion-5">
    <imsld:title>Descargar fichero de valoracion individual</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-documento-valoracion-1"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-proponer-solucion-6">
    <imsld:title>Descargar plantilla de solucion individual</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-plantilla-solucion-1"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-proponer-solucion-7">
    <imsld:title>Subir fichero de solucion individual</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-formulario-solucion-1"/>
  </imsld:learning-object>
</imsld:environment>
<imsld:environment identifier="E-comprobar-resultados-1">
  <imsld:title>Herramientas</imsld:title>
  <imsld:learning-object identifier="LO-comprobar-resultados-2">
    <imsld:title>Herramienta de benchmarking</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-benchmarking-tool"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:service identifier="S-comprobar-resultados-1">
    <imsld:conference conference-type="synchronous">
      <imsld:title>Herramienta de chat</imsld:title>
      <imsld:participant role-ref="R-grupo"/>
      <imsld:item identifierref="RES-chat-tool"/>
    </imsld:conference>
  </imsld:service>
</imsld:environment>
<imsld:environment identifier="E-comprobar-resultados-2">
  <imsld:title>Descarga/subida de ficheros</imsld:title>
  <imsld:service identifier="S-comprobar-resultados-2">
    <imsld:monitor>
      <imsld:role-ref ref="R-grupo"/>
      <imsld:title>Descargar ficheros de resultados individuales</imsld:title>
      <imsld:item identifierref="RES-revision-benchmarking-1"/>
    </imsld:monitor>
  </imsld:service>
  <imsld:learning-object identifier="LO-comprobar-resultados-3">
    <imsld:title>Descargar plantilla de resultados de grupo</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-plantilla-benchmarking-2"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-comprobar-resultados-4">
    <imsld:title>Subir fichero de resultados de grupo</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-formulario-benchmarking-2"/>
  </imsld:learning-object>
</imsld:environment>
<imsld:environment identifier="E-discutir">
  <imsld:title>Herramientas</imsld:title>
  <imsld:service identifier="S-discutir">
    <imsld:conference conference-type="synchronous">
      <imsld:title>Herramienta de chat</imsld:title>
      <imsld:participant role-ref="R-grupo"/>
      <imsld:item identifierref="RES-chat-tool"/>
    </imsld:conference>
  </imsld:service>
</imsld:environment>

```

```

<imsld:environment identifier="E-discutir-benchmarks">
  <imsld:title>Descarga/subida de ficheros</imsld:title>
  <imsld:service identifier="S-discutir-benchmarks-2">
    <imsld:monitor>
      <imsld:role-ref ref="R-grupo"/>
      <imsld:title>Descargar ficheros de valoracion individuales</imsld:title>
      <imsld:item identifierref="RES-revision-valoracion-1"/>
    </imsld:monitor>
  </imsld:service>
  <imsld:learning-object identifier="LO-discutir-benchmarks-1">
    <imsld:title>Descargar plantilla de valoracion de grupo</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-plantilla-valoracion-2"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-discutir-benchmarks-2">
    <imsld:title>Subir fichero de valoracion de grupo</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-formulario-valoracion-2"/>
  </imsld:learning-object>
</imsld:environment>
<imsld:environment identifier="E-discutir-solucion">
  <imsld:title>Descarga/subida de ficheros</imsld:title>
  <imsld:learning-object identifier="LO-discutir-solucion-3">
    <imsld:title>Descargar fichero de resultados de grupo</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-documento-benchmarking-2"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-discutir-solucion-4">
    <imsld:title>Descargar fichero de valoracion de grupo</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-documento-valoracion-2"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:service identifier="S-discutir-solucion-1">
    <imsld:monitor>
      <imsld:role-ref ref="R-grupo"/>
      <imsld:title>Descargar ficheros de solucion individuales</imsld:title>
      <imsld:item identifierref="RES-revision-solucion-1"/>
    </imsld:monitor>
  </imsld:service>
  <imsld:learning-object identifier="LO-discutir-solucion-5">
    <imsld:title>Descargar plantilla de solucion de grupo</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-plantilla-solucion-2"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-discutir-solucion-6">
    <imsld:title>Subir fichero de solucion de grupo</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-formulario-solucion-2"/>
  </imsld:learning-object>
</imsld:environment>
<imsld:environment identifier="E-supervisar-nivel-1">
  <imsld:title>Entorno de supervision nivel 1</imsld:title>
  <imsld:service identifier="S-supervision-nivel-1">
    <imsld:monitor>
      <imsld:role-ref ref="R-grupo"/>
      <imsld:title>Documentenos generados por los participantes</imsld:title>
      <imsld:item identifierref="RES-supervision-nivel-1"/>
    </imsld:monitor>
  </imsld:service>
</imsld:environment>
<imsld:environment identifier="E-supervisar-nivel-2">
  <imsld:title>Entorno de supervision nivel 2</imsld:title>
  <imsld:service identifier="S-supervision-nivel-2">
    <imsld:monitor>
      <imsld:role-ref ref="R-grupo"/>
      <imsld:title>Documentenos generados por los participantes</imsld:title>
      <imsld:item identifierref="RES-supervision-nivel-2"/>
    </imsld:monitor>
  </imsld:service>
</imsld:environment>
</imsld:environments>
</imsld:components>

<!--MÉTODO-->
<imsld:method>

<!--OBRA-->
<imsld:play identifier="P-1">
  <imsld:title>Caso de estudio: cliente Quest</imsld:title>
  <imsld:act identifier="A-1">
    <imsld:title>Fase individual</imsld:title>
    <imsld:role-part identifier="RP-1-A-1">
      <imsld:title>Role-part 1</imsld:title>
    </imsld:role-part>
  </imsld:act>
</imsld:play>

```

```

        <imsld:role-ref ref="R-grupo"/>
        <imsld:activity-structure-ref ref="AS-nivel-piramide-1"/>
    </imsld:role-part>
    <imsld:complete-act>
        <imsld:when-role-part-completed ref="RP-1-A-1"/>
    </imsld:complete-act>
</imsld:act>
<imsld:act identifier="A-2">
    <imsld:title>Fase por parejas</imsld:title>
    <imsld:role-part identifier="RP-1-A-2">
        <imsld:title>Role-part 1</imsld:title>
        <imsld:role-ref ref="R-grupo"/>
        <imsld:activity-structure-ref ref="AS-nivel-piramide-2"/>
    </imsld:role-part>
    <imsld:complete-act>
        <imsld:when-role-part-completed ref="RP-1-A-2"/>
    </imsld:complete-act>
</imsld:act>
<imsld:act identifier="A-3">
    <imsld:title>Fase de revision</imsld:title>
    <imsld:role-part identifier="RP-1-A-3">
        <imsld:title>Role-part 1</imsld:title>
        <imsld:role-ref ref="R-profesor"/>
        <imsld:support-activity-ref ref="SA-revisar"/>
    </imsld:role-part>
    <imsld:complete-act>
        <imsld:when-role-part-completed ref="RP-1-A-3"/>
    </imsld:complete-act>
</imsld:act>
<imsld:complete-play>
    <imsld:when-last-act-completed/>
</imsld:complete-play>
</imsld:play>
<imsld:complete-unit-of-learning>
    <imsld:when-play-completed ref="P-1"/>
</imsld:complete-unit-of-learning>

<!--CONDICIONES-->
<imsld:conditions>
    <imsld:if>
        <imsld:complete>
            <imsld:act-ref ref="A-1"/>
        </imsld:complete>
    </imsld:if>
    <imsld:then>
        <imsld:show>
            <imsld:class class="C-fase-individual-completada"/>
        </imsld:show>
        <imsld:hide>
            <imsld:class class="C-fase-individual-no-completada"/>
        </imsld:hide>
    </imsld:then>
    <imsld:else>
        <imsld:show>
            <imsld:class class="C-fase-individual-no-completada"/>
        </imsld:show>
        <imsld:hide>
            <imsld:class class="C-fase-individual-completada"/>
        </imsld:hide>
    </imsld:else>
    <imsld:if>
        <imsld:complete>
            <imsld:act-ref ref="A-2"/>
        </imsld:complete>
    </imsld:if>
    <imsld:then>
        <imsld:show>
            <imsld:class class="C-fase-parejas-completada"/>
        </imsld:show>
        <imsld:hide>
            <imsld:class class="C-fase-parejas-no-completada"/>
        </imsld:hide>
    </imsld:then>
    <imsld:else>
        <imsld:show>
            <imsld:class class="C-fase-parejas-no-completada"/>
        </imsld:show>
    </imsld:else>

```

```

        <imsld:hide>
            <imsld:class class="C-fase-parejas-completada"/>
        </imsld:hide>
    </imsld:else>
</imsld:conditions>

</imsld:method>
</imsld:learning-design>
</organizations>

<!--RECURSOS-->
<resources>
    <resource identifier="RES-introduccion" type="" href="introduccion.html">
        <file href="introduccion.html"/>
    </resource>
    <resource identifier="RES-instrucciones-estudiar-cliente" type=""
href="instrucciones-estudiar-cliente.html">
        <file href="instrucciones-estudiar-cliente.html"/>
    </resource>
    <resource identifier="RES-caracteristicas-cliente" type="" href="caracteristicas-
cliente.pdf">
        <file href="caracteristicas-cliente.pdf"/>
    </resource>
    <resource identifier="RES-instrucciones-estudiar-maquinas" type=""
href="instrucciones-estudiar-maquinas.html">
        <file href="instrucciones-estudiar-maquinas.html"/>
    </resource>
    <resource identifier="RES-caracteristicas-maquinas" type="" href="caracteristicas-
maquinas.html">
        <file href="caracteristicas-maquinas.html"/>
    </resource>
    <resource identifier="RES-instrucciones-realizar-benchmarks" type=""
href="instrucciones-realizar-benchmarks.html">
        <file href="instrucciones-realizar-benchmarks.html"/>
    </resource>
    <resource identifier="RES-descripcion-benchmarks" type="" href="descripcion-
benchmarks.html">
        <file href="descripcion-benchmarks.html"/>
    </resource>
    <resource identifier="RES-benchmarking-tool" type="jnlpfile"
href="http://solon.tel.uva.es/services/clients/benchmarkingservice.jnlp">
        <dependency identifierref="RES-benchmarking-service"/>
    </resource>
    <resource identifier="RES-benchmarking-service" type="gridservice"
href="http://solon.tel.uva.es:8080/ogsa/services/BenchmarkingService"/>
    <resource identifier="RES-plantilla-benchmarking-1" type="" href="plantilla-
benchmarking-1.html">
        <file href="plantilla-benchmarking-1.html"/>
    </resource>
    <resource identifier="RES-formulario-benchmarking-1" type="imsldcontent"
href="formulario-benchmarking-1.xml">
        <file href="formulario-benchmarking-1.xml"/>
    </resource>
    <resource identifier="RES-articulo-overview" type="" href="overview.pdf">
        <file href="overview.pdf"/>
    </resource>
    <resource identifier="RES-articulo-dhrystone" type="" href="dhrystone.pdf">
        <file href="dhrystone.pdf"/>
    </resource>
    <resource identifier="RES-codigo-whetstone" type="" href="whetstone.html">
        <file href="whetstone.html"/>
    </resource>
    <resource identifier="RES-codigo-dhrystone" type="" href="dhrystone.html">
        <file href="dhrystone.html"/>
    </resource>
    <resource identifier="RES-instrucciones-estudiar-benchmarks" type=""
href="instrucciones-estudiar-benchmarks.html">
        <file href="instrucciones-estudiar-benchmarks.html"/>
    </resource>
    <resource identifier="RES-plantilla-valoracion-1" type="" href="plantilla-valoracion-
1.html">
        <file href="plantilla-valoracion-1.html"/>
    </resource>
    <resource identifier="RES-formulario-valoracion-1" type="imsldcontent"
href="formulario-valoracion-1.xml">
        <file href="formulario-valoracion-1.xml"/>
    </resource>

```

```
<resource identifier="RES-instrucciones-proponer-solucion" type=""
href="instrucciones-proponer-solucion.html">
  <file href="instrucciones-proponer-solucion.html"/>
</resource>
<resource identifier="RES-documento-benchmarking-1" type="imsldcontent"
href="documento-benchmarking-1.xml">
  <file href="documento-benchmarking-1.xml"/>
</resource>
<resource identifier="RES-documento-valoracion-1" type="imsldcontent"
href="documento-valoracion-1.xml">
  <file href="documento-valoracion-1.xml"/>
</resource>
<resource identifier="RES-plantilla-solucion-1" type="" href="plantilla-solucion-
1.html">
  <file href="plantilla-solucion-1.html"/>
</resource>
<resource identifier="RES-formulario-solucion-1" type="imsldcontent"
href="formulario-solucion-1.xml">
  <file href="formulario-solucion-1.xml"/>
</resource>
<resource identifier="RES-instrucciones-comprobar-resultados" type=""
href="instrucciones-comprobar-resultados.html">
  <file href="instrucciones-comprobar-resultados.html"/>
</resource>
<resource identifier="RES-revision-benchmarking-1" type="imsldcontent"
href="revision-benchmarking-1.xml">
  <file href="revision-benchmarking-1.xml"/>
</resource>
<resource identifier="RES-plantilla-benchmarking-2" type="" href="plantilla-
benchmarking-2.html">
  <file href="plantilla-benchmarking-2.html"/>
</resource>
<resource identifier="RES-formulario-benchmarking-2" type="imsldcontent"
href="formulario-benchmarking-2.xml">
  <file href="formulario-benchmarking-2.xml"/>
</resource>
<resource identifier="RES-instrucciones-discutir-benchmarks" type=""
href="instrucciones-discutir-benchmarks.html">
  <file href="instrucciones-discutir-benchmarks.html"/>
</resource>
<resource identifier="RES-revision-valoracion-1" type="imsldcontent" href="revision-
valoracion-1.xml">
  <file href="revision-valoracion-1.xml"/>
</resource>
<resource identifier="RES-plantilla-valoracion-2" type="" href="plantilla-valoracion-
2.html">
  <file href="plantilla-valoracion-2.html"/>
</resource>
<resource identifier="RES-formulario-valoracion-2" type="imsldcontent"
href="formulario-valoracion-2.xml">
  <file href="formulario-valoracion-2.xml"/>
</resource>
<resource identifier="RES-instrucciones-discutir-solucion" type=""
href="instrucciones-discutir-solucion.html">
  <file href="instrucciones-discutir-solucion.html"/>
</resource>
<resource identifier="RES-documento-benchmarking-2" type="imsldcontent"
href="documento-benchmarking-2.xml">
  <file href="documento-benchmarking-2.xml"/>
</resource>
<resource identifier="RES-documento-valoracion-2" type="imsldcontent"
href="documento-valoracion-2.xml">
  <file href="documento-valoracion-2.xml"/>
</resource>
<resource identifier="RES-revision-solucion-1" type="imsldcontent" href="revision-
solucion-1.xml">
  <file href="revision-solucion-1.xml"/>
</resource>
<resource identifier="RES-plantilla-solucion-2" type="" href="plantilla-solucion-
2.html">
  <file href="plantilla-solucion-2.html"/>
</resource>
<resource identifier="RES-formulario-solucion-2" type="imsldcontent"
href="formulario-solucion-2.xml">
  <file href="formulario-solucion-2.xml"/>
</resource>
```

```

    <resource identifier="RES-chat-tool" type="jnlpfile"
href="http://egeo.tel.uva.es/services/clients/chat-service.jnlp">
    <dependency identifierref="RES-chat-service-factory"/>
    </resource>
    <resource identifier="RES-chat-service-factory" type="gridservicefactory"
href="http://egeo.tel.uva.es:8080/ogsa/services/ChatUVAFactoryService"/>
    <resource identifier="RES-instrucciones-revisar" type="" href="instrucciones-
revisar.txt">
    <file href="instrucciones-revisar.txt"/>
    </resource>
    <resource identifier="RES-supervision-nivel-1" type="imsldcontent" href="supervision-
nivel-1.xml">
    <file href="supervision-nivel-1.xml"/>
    </resource>
    <resource identifier="RES-supervision-nivel-2" type="imsldcontent" href="supervision-
nivel-2.xml">
    <file href="supervision-nivel-2.xml"/>
    </resource>
  </resources>
</manifest>

```

A.2 Situación II

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<manifest xmlns="http://www.msglobal.org/xsd/imsdp_vlp1"
xmlns:imsld="http://www.msglobal.org/xsd/imsld_vlp0"
xmlns:imsmd="http://www.msglobal.org/xsd/imsmd_vlp2"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:schemaLocation="http://www.msglobal.org/xsd/imsdp_vlp1
http://www.msglobal.org/xsd/imsdp_vlp1p3.xsd http://www.msglobal.org/xsd/imsld_vlp0
http://www.msglobal.org/xsd/IMS_LD_Level_B.xsd http://www.msglobal.org/xsd/imsmd_vlp2
http://www.msglobal.org/xsd/imsmd_vlp2p2.xsd" identifier="JIGSAW-TTG-manifest">
  <organizations>

    <!--DISEÑO DE APRENDIZAJE-->
    <imsld:learning-design identifier="LD-JIGSAW-TTG" level="B" uri="">
      <imsld:title>JIGSAW TTG</imsld:title>

      <!--COMPONENTES-->
      <imsld:components>

        <!--ROLES-->
        <imsld:roles>
          <imsld:learner identifier="R-grupo" create-new="allowed" min-persons="2">
            <imsld:title>Grupo TTG</imsld:title>
          </imsld:learner>
          <imsld:learner identifier="R-experto1">
            <imsld:title>Experto 1</imsld:title>
          </imsld:learner>
          <imsld:learner identifier="R-experto2">
            <imsld:title>Experto 2</imsld:title>
          </imsld:learner>
          <imsld:staff identifier="R-profesor">
            <imsld:title>Profesor</imsld:title>
          </imsld:staff>
        </imsld:roles>

        <!--PROPIEDADES-->
        <imsld:properties>
          <imsld:locpers-property identifier="P-cuestionario1-individual">
            <imsld:title>Respuestas individuales al cuestionario 1</imsld:title>
            <imsld:datatype datatype="file"/>
          </imsld:locpers-property>
          <imsld:locrole-property identifier="P-cuestionario1-experto1">
            <imsld:title>Respuestas de grupo de expertos al cuestionario 1</imsld:title>
            <imsld:role-ref ref="R-experto1"/>
            <imsld:datatype datatype="file"/>
          </imsld:locrole-property>
          <imsld:locrole-property identifier="P-cuestionario1-experto2">
            <imsld:title>Respuestas de grupo de expertos al cuestionario 1</imsld:title>
            <imsld:role-ref ref="R-experto1"/>
            <imsld:datatype datatype="file"/>
          </imsld:locrole-property>

```

```

<imsld:locrole-property identifier="P-cuestionario2">
  <imsld:title>Respuestas de grupo al cuestionario 2</imsld:title>
  <imsld:role-ref ref="R-grupo"/>
  <imsld:datatype datatype="file"/>
</imsld:locrole-property>
</imsld:properties>

<!--ACTIVIDADES-->
<imsld:activities>

<!--ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE-->
<imsld:learning-activity identifier="LA-estudiar-mecanismos-1">
  <imsld:title>Estudio de mecanismos</imsld:title>
  <imsld:environment-ref ref="E-estudiar-mecanismos-1"/>
  <imsld:activity-description>
    <imsld:item identifierref="RES-instrucciones-estudiar-mecanismos"/>
  </imsld:activity-description>
  <imsld:complete-activity>
    <imsld:user-choice/>
  </imsld:complete-activity>
</imsld:learning-activity>
<imsld:learning-activity identifier="LA-estudiar-mecanismos-2">
  <imsld:title>Estudio de mecanismos</imsld:title>
  <imsld:environment-ref ref="E-estudiar-mecanismos-2"/>
  <imsld:activity-description>
    <imsld:item identifierref="RES-instrucciones-estudiar-mecanismos"/>
  </imsld:activity-description>
  <imsld:complete-activity>
    <imsld:user-choice/>
  </imsld:complete-activity>
</imsld:learning-activity>
<imsld:learning-activity identifier="LA-estudiar-variables-1">
  <imsld:title>Estudio de la influencia sobre variables</imsld:title>
  <imsld:environment-ref ref="E-estudiar-variables-1"/>
  <imsld:activity-description>
    <imsld:item identifierref="RES-instrucciones-estudiar-variables"/>
  </imsld:activity-description>
  <imsld:complete-activity>
    <imsld:user-choice/>
  </imsld:complete-activity>
</imsld:learning-activity>
<imsld:learning-activity identifier="LA-estudiar-variables-2">
  <imsld:title>Estudio de la influencia sobre variables</imsld:title>
  <imsld:environment-ref ref="E-estudiar-variables-2"/>
  <imsld:activity-description>
    <imsld:item identifierref="RES-instrucciones-estudiar-variables"/>
  </imsld:activity-description>
  <imsld:complete-activity>
    <imsld:user-choice/>
  </imsld:complete-activity>
</imsld:learning-activity>
<imsld:learning-activity identifier="LA-discutir-variables-1">
  <imsld:title>Discusion de la influencia sobre variables</imsld:title>
  <imsld:environment-ref ref="E-discutir-variables-1"/>
  <imsld:activity-description>
    <imsld:item identifierref="RES-instrucciones-discutir-variables"/>
  </imsld:activity-description>
  <imsld:complete-activity>
    <imsld:user-choice/>
  </imsld:complete-activity>
</imsld:learning-activity>
<imsld:learning-activity identifier="LA-discutir-variables-2">
  <imsld:title>Discusion de la influencia sobre variables</imsld:title>
  <imsld:environment-ref ref="E-discutir-variables-2"/>
  <imsld:activity-description>
    <imsld:item identifierref="RES-instrucciones-discutir-variables"/>
  </imsld:activity-description>
  <imsld:complete-activity>
    <imsld:user-choice/>
  </imsld:complete-activity>
</imsld:learning-activity>
<imsld:learning-activity identifier="LA-discutir-mecanismos">
  <imsld:title>Discusion de la influencia entre mecanismos</imsld:title>
  <imsld:environment-ref ref="E-discutir-mecanismos"/>
  <imsld:activity-description>
    <imsld:item identifierref="RES-instrucciones-discutir-mecanismos"/>
  </imsld:activity-description>

```

```

    <imsld:complete-activity>
      <imsld:user-choice/>
    </imsld:complete-activity>
  </imsld:learning-activity>
<imsld:learning-activity identifier="LA-estudiar-conjunta">
  <imsld:title>Estudio de la influencia conjunta sobre variables</imsld:title>
  <imsld:environment-ref ref="E-estudiar-conjunta"/>
  <imsld:activity-description>
    <imsld:item identifierref="RES-instrucciones-estudiar-conjunta"/>
  </imsld:activity-description>
  <imsld:complete-activity>
    <imsld:user-choice/>
  </imsld:complete-activity>
</imsld:learning-activity>

<!--ESTRUCTURAS DE APRENDIZAJE-->
<imsld:activity-structure identifier="AS-fase-individual-1" structure-
type="sequence">
  <imsld:learning-activity-ref ref="LA-estudiar-mecanismos-1"/>
  <imsld:learning-activity-ref ref="LA-estudiar-variables-1"/>
</imsld:activity-structure>
<imsld:activity-structure identifier="AS-fase-individual-2" structure-
type="sequence">
  <imsld:learning-activity-ref ref="LA-estudiar-mecanismos-2"/>
  <imsld:learning-activity-ref ref="LA-estudiar-variables-2"/>
</imsld:activity-structure>
<imsld:activity-structure identifier="AS-fase-puzzle" structure-
type="sequence">
  <imsld:title>Actividades colaborativas</imsld:title>
  <imsld:learning-activity-ref ref="LA-discutir-mecanismos"/>
  <imsld:learning-activity-ref ref="LA-estudiar-conjunta"/>
</imsld:activity-structure>

<!--ACTIVIDADES DE APOYO-->
<imsld:support-activity identifier="SA-revisar-documentos">
  <imsld:title>Revision de documentos generados</imsld:title>
  <imsld:environment-ref ref="E-revisar-documentos"/>
  <imsld:activity-description>
    <imsld:item identifierref="RES-instrucciones-revisar-documentos"/>
  </imsld:activity-description>
  <imsld:complete-activity>
    <imsld:user-choice/>
  </imsld:complete-activity>
</imsld:support-activity>

</imsld:activities>

<!--ENTORNOS-->
<imsld:environments>
  <imsld:environment identifier="E-estudiar-mecanismos-1">
    <imsld:title>Recursos disponibles</imsld:title>
    <imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-mecanismos-1-1">
      <imsld:title>Descripcion de ventana deslizante</imsld:title>
      <imsld:item identifierref="RES-ventana-deslizante"/>
    </imsld:learning-object>
  </imsld:environment>
  <imsld:environment identifier="E-estudiar-mecanismos-2">
    <imsld:title>Recursos disponibles</imsld:title>
    <imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-mecanismos-2-1">
      <imsld:title>Descripcion de inicio lento</imsld:title>
      <imsld:item identifierref="RES-inicio-lento"/>
    </imsld:learning-object>
    <imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-mecanismos-2-2">
      <imsld:title>Descripcion de evitacion de la congestion</imsld:title>
      <imsld:item identifierref="RES-evitacion-congestion"/>
    </imsld:learning-object>
  </imsld:environment>
  <imsld:environment identifier="E-estudiar-variables-1">
    <imsld:title>Recursos disponibles</imsld:title>
    <imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-variables-1-1">
      <imsld:title>Descripcion de ventana deslizante</imsld:title>
      <imsld:item identifierref="RES-ventana-deslizante"/>
    </imsld:learning-object>
    <imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-variables-1-2">
      <imsld:title>Cuestionario sobre los mecanismos</imsld:title>
      <imsld:item identifierref="RES-cuestionario-mecanismos-1"/>
    </imsld:learning-object>
  </imsld:environment>
</imsld:environments>

```

```

<imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-variables-1-3">
  <imsld:title>Escenarios de simulacion</imsld:title>
  <imsld:item identifierref="RES-escenarios-mecanismos-1"/>
</imsld:learning-object>
<imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-variables-1-4">
  <imsld:title>Herramienta de simulacion</imsld:title>
  <imsld:item identifierref="RES-herramienta-simulacion"/>
</imsld:learning-object>
<imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-variables-1-5">
  <imsld:title>Subir respuestas individuales a cuestionario 1</imsld:title>
  <imsld:item identifierref="RES-formulario-cuestionariol-individual"/>
</imsld:learning-object>
</imsld:environment>
<imsld:environment identifier="E-estudiar-variables-2">
  <imsld:title>Recursos disponibles</imsld:title>
  <imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-variables-2-1">
    <imsld:title>Descripcion de inicio lento</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-inicio-lento"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-variables-2-2">
    <imsld:title>Descripcion de evitacion de la congestion</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-evitacion-congestion"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-variables-2-3">
    <imsld:title>Cuestionario sobre los mecanismos</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-cuestionario-mecanismos-2"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-variables-2-4">
    <imsld:title>Escenarios de simulacion</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-escenarios-mecanismos-2"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-variables-2-5">
    <imsld:title>Herramienta de simulacion</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-herramienta-simulacion"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-variables-2-6">
    <imsld:title>Subir respuestas individuales a cuestionario 1</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-formulario-cuestionariol-individual"/>
  </imsld:learning-object>
</imsld:environment>
<imsld:environment identifier="E-discutir-variables-1">
  <imsld:title>Recursos disponibles</imsld:title>
  <imsld:learning-object identifier="LO-discutir-variables-1-1">
    <imsld:title>Descripcion de ventana deslizante</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-ventana-deslizante"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-discutir-variables-1-2">
    <imsld:title>Cuestionario sobre los mecanismos</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-cuestionario-mecanismos-1"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-discutir-variables-1-3">
    <imsld:title>Escenarios de simulacion</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-escenarios-mecanismos-1"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:service identifier="S-discutir-variables-1-1">
    <imsld:monitor>
      <imsld:role-ref ref="R-experto1"/>
      <imsld:title>Descargar ficheros de respuestas individuales a
cuestionario</imsld:title>
      <imsld:item identifierref="RES-revision-cuestionariol-experto1"/>
    </imsld:monitor>
  </imsld:service>
  <imsld:learning-object identifier="LO-discutir-variables-1-4">
    <imsld:title>Herramienta de simulacion</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-herramienta-simulacion"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:service identifier="S-discutir-variables-1-2">
    <imsld:conference conference-type="synchronous">
      <imsld:title>Herramienta de chat</imsld:title>
      <imsld:participant role-ref="R-experto1"/>
      <imsld:item identifierref="RES-chat"/>
    </imsld:conference>
  </imsld:service>
  <imsld:learning-object identifier="LO-discutir-variables-1-5">
    <imsld:title>Subir respuestas de expertos a cuestionario 1</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-formulario-cuestionariol-experto1"/>
  </imsld:learning-object>

```

```

</imsld:environment>
<imsld:environment identifier="E-discutir-variables-2">
  <imsld:title>Recursos disponibles</imsld:title>
  <imsld:learning-object identifier="LO-discutir-variables-2-1">
    <imsld:title>Descripcion de inicio lento</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-inicio-lento"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-discutir-variables-2-2">
    <imsld:title>Descripcion de evitacion de la congestion</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-evitacion-congestion"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-discutir-variables-2-4">
    <imsld:title>Cuestionario sobre los mecanismos</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-cuestionario-mecanismos-2"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-discutir-variables-2-5">
    <imsld:title>Escenarios de simulacion</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-escenarios-mecanismos-2"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:service identifier="S-discutir-variables-2-1">
    <imsld:monitor>
      <imsld:role-ref ref="R-experto2"/>
      <imsld:title>Descargar ficheros de respuestas individuales a
cuestionario</imsld:title>
      <imsld:item identifierref="RES-revision-cuestionario1-experto2"/>
    </imsld:monitor>
  </imsld:service>
  <imsld:learning-object identifier="LO-discutir-variables-2-6">
    <imsld:title>Herramienta de simulacion</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-herramienta-simulacion"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:service identifier="S-discutir-variables-2-2">
    <imsld:conference conference-type="synchronous">
      <imsld:title>Herramienta de chat</imsld:title>
      <imsld:participant role-ref="R-experto2"/>
      <imsld:item identifierref="RES-chat"/>
    </imsld:conference>
  </imsld:service>
  <imsld:learning-object identifier="LO-discutir-variables-2-7">
    <imsld:title>Subir respuestas de expertos a cuestionario 1</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-formulario-cuestionario1-experto2"/>
  </imsld:learning-object>
</imsld:environment>
<imsld:environment identifier="E-discutir-mecanismos">
  <imsld:title>Recursos disponibles</imsld:title>
  <imsld:service identifier="S-discutir-mecanismos-1">
    <imsld:conference conference-type="synchronous">
      <imsld:title>Herramienta de chat</imsld:title>
      <imsld:participant role-ref="R-grupo"/>
      <imsld:item identifierref="RES-chat"/>
    </imsld:conference>
  </imsld:service>
</imsld:environment>
<imsld:environment identifier="E-estudiar-conjunta">
  <imsld:title>Recursos disponibles</imsld:title>
  <imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-conjunta-1">
    <imsld:title>Descripcion de ventana deslizante</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-ventana-deslizante"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-conjunta-2">
    <imsld:title>Descripcion de inicio lento</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-inicio-lento"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-conjunta-3">
    <imsld:title>Descripcion de evitacion de la congestion</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-evitacion-congestion"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-conjunta-4">
    <imsld:title>Cuestionario sobre los mecanismos</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-cuestionario-mecanismos-3"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-conjunta-5">
    <imsld:title>Escenarios de simulacion</imsld:title>
    <imsld:item identifierref="RES-escenarios-mecanismos-3"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-conjunta-6">
    <imsld:title>Herramienta de simulacion</imsld:title>

```

```

    <imsld:item identifieref="RES-herramienta-simulacion"/>
  </imsld:learning-object>
  <imsld:service identifier="S-estudiar-conjunta-1">
    <imsld:conference conference-type="synchronous">
      <imsld:title>Herramienta de chat</imsld:title>
      <imsld:participant role-ref="R-grupo"/>
      <imsld:item identifieref="RES-chat"/>
    </imsld:conference>
  </imsld:service>
  <imsld:learning-object identifier="LO-estudiar-conjunta-7">
    <imsld:title>Subir respuestas de grupo a cuestionario 2</imsld:title>
    <imsld:item identifieref="RES-formulario-cuestionario2"/>
  </imsld:learning-object>
</imsld:environment>
<imsld:environment identifier="E-revisar-documentos">
  <imsld:title>Recursos disponibles</imsld:title>
  <imsld:service identifier="S-revisar-documentos-1">
    <imsld:monitor>
      <imsld:role-ref ref="R-experto1"/>
      <imsld:title>Respuestas generadas para el cuestionario 1 de los expertos
de tipo 1</imsld:title>
      <imsld:item identifieref="RES-supervision-experto1"/>
    </imsld:monitor>
  </imsld:service>
  <imsld:service identifier="S-revisar-documentos-2">
    <imsld:monitor>
      <imsld:role-ref ref="R-experto2"/>
      <imsld:title>Respuestas generadas para el cuestionario 1 de los expertos
de tipo 2</imsld:title>
      <imsld:item identifieref="RES-supervision-experto2"/>
    </imsld:monitor>
  </imsld:service>
  <imsld:service identifier="S-revisar-documentos-3">
    <imsld:monitor>
      <imsld:role-ref ref="R-grupo"/>
      <imsld:title>Respuestas generadas para el cuestionario 2</imsld:title>
      <imsld:item identifieref="RES-supervision-grupo"/>
    </imsld:monitor>
  </imsld:service>
</imsld:environment>
</imsld:environments>

</imsld:components>

<!--MÉTODO-->
<imsld:method>

  <!--OBRA-->
  <imsld:play identifier="P-1">
    <imsld:act identifier="A-1">
      <imsld:title>Fase individual</imsld:title>
      <imsld:role-part identifier="RP-1-A-1">
        <imsld:title>Role-part 1</imsld:title>
        <imsld:role-ref ref="R-experto1"/>
        <imsld:activity-structure-ref ref="AS-fase-individual-1"/>
      </imsld:role-part>
      <imsld:role-part identifier="RP-2-A-1">
        <imsld:title>Role-part 2</imsld:title>
        <imsld:role-ref ref="R-experto2"/>
        <imsld:activity-structure-ref ref="AS-fase-individual-2"/>
      </imsld:role-part>
      <imsld:complete-act>
        <imsld:when-role-part-completed ref="RP-1-A-1"/>
        <imsld:when-role-part-completed ref="RP-2-A-1"/>
      </imsld:complete-act>
    </imsld:act>
    <imsld:act identifier="A-2">
      <imsld:title>Fase de expertos</imsld:title>
      <imsld:role-part identifier="RP-1-A-2">
        <imsld:title>Role-part 1</imsld:title>
        <imsld:role-ref ref="R-experto1"/>
        <imsld:learning-activity-ref ref="LA-discutir-variables-1"/>
      </imsld:role-part>
      <imsld:role-part identifier="RP-2-A-2">
        <imsld:title>Role-part 2</imsld:title>
        <imsld:role-ref ref="R-experto2"/>
        <imsld:learning-activity-ref ref="LA-discutir-variables-2"/>
      </imsld:role-part>
    </imsld:act>
  </imsld:play>

```

```

    </imsld:role-part>
    <imsld:complete-act>
      <imsld:when-role-part-completed ref="RP-1-A-2"/>
      <imsld:when-role-part-completed ref="RP-2-A-2"/>
    </imsld:complete-act>
  </imsld:act>
  <imsld:act identifier="A-3">
    <imsld:title>Fase de puzzle</imsld:title>
    <imsld:role-part identifier="RP-1-A-3">
      <imsld:title>Role-part 1</imsld:title>
      <imsld:role-ref ref="R-grupo"/>
      <imsld:activity-structure-ref ref="AS-fase-puzzle"/>
    </imsld:role-part>
    <imsld:complete-act>
      <imsld:when-role-part-completed ref="RP-1-A-3"/>
    </imsld:complete-act>
  </imsld:act>
  <imsld:act identifier="A-4">
    <imsld:title>Fase de puzzle</imsld:title>
    <imsld:role-part identifier="RP-1-A-4">
      <imsld:title>Role-part 1</imsld:title>
      <imsld:role-ref ref="R-profesor"/>
      <imsld:support-activity-ref ref="SA-revisar-documentos"/>
    </imsld:role-part>
    <imsld:complete-act>
      <imsld:when-role-part-completed ref="RP-1-A-4"/>
    </imsld:complete-act>
  </imsld:act>
  <imsld:complete-play>
    <imsld:when-last-act-completed/>
  </imsld:complete-play>
</imsld:play>
<imsld:complete-unit-of-learning>
  <imsld:when-play-completed ref="P-1"/>
</imsld:complete-unit-of-learning>
</imsld:method>
</imsld:learning-design>
</organizations>
<!--RECURSOS-->
<resources>
  <resource identifier="RES-instrucciones-estudiar-mecanismos" type=""
href="instrucciones1.html">
    <file href="instrucciones1.html"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-instrucciones-estudiar-variables" type=""
href="instrucciones2.html">
    <file href="instrucciones2.html"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-instrucciones-discutir-variables" type=""
href="instrucciones3.html">
    <file href="instrucciones3.html"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-instrucciones-discutir-mecanismos" type=""
href="instrucciones4.html">
    <file href="instrucciones4.html"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-instrucciones-estudiar-conjunta" type=""
href="instrucciones5.html">
    <file href="instrucciones5.html"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-instrucciones-revisar-documentos" type=""
href="instrucciones6.html">
    <file href="instrucciones6.html"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-ventana-deslizante" type="" href="mecanismo1.pdf">
    <file href="mecanismo1.pdf"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-inicio-lento" type="" href="mecanismo2.pdf">
    <file href="mecanismo2.pdf"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-evitacion-congestion" type="" href="mecanismo3.pdf">
    <file href="mecanismo3.pdf"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-cuestionario-mecanismos-1" type=""
href="cuestionariol.doc">
    <file href="cuestionariol.doc"/>
  </resource>

```

```

    <resource identifier="RES-cuestionario-mecanismos-2" type=""
href="cuestionario2.doc">
    <file href="cuestionario2.doc"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-cuestionario-mecanismos-3" type=""
href="cuestionario3.doc">
    <file href="cuestionario3.doc"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-escenarios-mecanismos-1" type="" href="escenarios1.html">
    <file href="escenarios1.html"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-escenarios-mecanismos-2" type="" href="escenarios2.html">
    <file href="escenarios2.html"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-escenarios-mecanismos-3" type="" href="escenarios3.html">
    <file href="escenarios3.html"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-formulario-cuestionariol-individual" type="imsldcontent"
href="formulario-cuestionariol-individual.xml">
    <file href="formulario-cuestionariol-individual.xml"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-formulario-cuestionariol-experto1" type="imsldcontent"
href="formulario-cuestionariol-experto1.xml">
    <file href="formulario-cuestionariol-experto1.xml"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-formulario-cuestionariol-experto2" type="imsldcontent"
href="formulario-cuestionariol-experto2.xml">
    <file href="formulario-cuestionariol-experto2.xml"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-formulario-cuestionario2" type="imsldcontent"
href="formulario-cuestionario2.xml">
    <file href="formulario-cuestionario2.xml"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-revision-cuestionariol-experto1" type="imsldcontent"
href="revision-cuestionariol-experto1.xml">
    <file href="revision-cuestionariol-experto1.xml"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-revision-cuestionariol-experto2" type="imsldcontent"
href="revision-cuestionariol-experto2.xml">
    <file href="revision-cuestionariol-experto2.xml"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-supervision-experto1" type="imsldcontent"
href="supervision-experto1.xml">
    <file href="supervision-experto1.xml"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-supervision-experto2" type="imsldcontent"
href="supervision-experto2.xml">
    <file href="supervision-experto2.xml"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-supervision-grupo" type="imsldcontent" href="supervision-
grupo.xml">
    <file href="supervision-grupo.xml"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-chat" type="jnlpfile"
href="http://egeo.tel.uva.es/services/clients/chat-service.jnlp">
    <dependency identifierref="RES-chat-service-factory"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-chat-service-factory" type="gridservicefactory"
href="http://egeo.tel.uva.es:8080/ogsa/services/ChatUVAFactoryService"/>
  <resource identifier="RES-herramienta-simulacion" type="jnlpfile"
href="http://solon.tel.uva.es/services/clients/simulaciondummy-service.jnlp">
    <dependency identifierref="RES-simulacion-factory"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-simulacion-factory" type="gridservicefactory"
href="http://solon.tel.uva.es:8080/ogsa/services/SimulacionDummyFactoryService"/>
</resources>
</manifest>

```

A.3 Situación III

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<manifest xmlns="http://www.imsglobal.org/xsd/imscp_v1p1"
xmlns:imsld="http://www.imsglobal.org/xsd/imsld_v1p0"
xmlns:imsmd="http://www.imsglobal.org/xsd/imsmd_v1p2"

```

```

xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:schemaLocation="http://www.msglobal.org/xsd/imsdp_v1p1
http://www.msglobal.org/xsd/imsdp_v1p1p3.xsd http://www.msglobal.org/xsd/imsld_v1p0
http://www.msglobal.org/xsd/IMS_LD_Level_A.xsd http://www.msglobal.org/xsd/imsmd_v1p2
http://www.msglobal.org/xsd/imsmd_v1p2p2.xsd" identifier="TAPPS-STIV-manifest">
  <organizations>

    <!--DISEÑO DE APRENDIZAJE-->
    <imsld:learning-design identifier="LD-TAPPS-STIV" level="A" uri="">
      <imsld:title>TAPPS ST IV </imsld:title>

      <!--COMPONENTES-->
      <imsld:components>

        <!--ROLES-->
        <imsld:roles>
          <imsld:learner identifier="R-grupo" create-new="allowed" min-persons="2" max-
persons="2">
            <imsld:title>Grupo de TAPPS</imsld:title>
            <imsld:learner identifier="R-alumno1" match-persons="exclusively-in-roles">
              <imsld:title>Alumno 1</imsld:title>
            </imsld:learner>
            <imsld:learner identifier="R-alumno2" match-persons="exclusively-in-roles">
              <imsld:title>Alumno 2</imsld:title>
            </imsld:learner>
          </imsld:roles>

          <!--ACTIVIDADES-->
          <imsld:activities>

            <!--ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE-->
            <imsld:learning-activity identifier="LA-estudiar-manuales">
              <imsld:title>Estudio de manuales</imsld:title>
              <imsld:environment-ref ref="E-manuales"/>
              <imsld:activity-description>
                <imsld:item identifierref="RES-instrucciones-estudiar-manuales"/>
              </imsld:activity-description>
              <imsld:complete-activity>
                <imsld:user-choice/>
              </imsld:complete-activity>
            </imsld:learning-activity>
            <imsld:learning-activity identifier="LA-resolver-problema1">
              <imsld:title>Resolucion del problema 1</imsld:title>
              <imsld:environment-ref ref="E-documentos-problema1"/>
              <imsld:environment-ref ref="E-herramientas-problemas"/>
              <imsld:activity-description>
                <imsld:item identifierref="RES-instrucciones-resolver-problema"/>
              </imsld:activity-description>
              <imsld:complete-activity>
                <imsld:user-choice/>
              </imsld:complete-activity>
            </imsld:learning-activity>
            <imsld:learning-activity identifier="LA-seguir-resolucion1">
              <imsld:title>Seguimiento del problema 1</imsld:title>
              <imsld:environment-ref ref="E-documentos-problema1"/>
              <imsld:environment-ref ref="E-herramientas-problemas"/>
              <imsld:activity-description>
                <imsld:item identifierref="RES-instrucciones-seguir-resolucion"/>
              </imsld:activity-description>
              <imsld:complete-activity>
                <imsld:user-choice/>
              </imsld:complete-activity>
            </imsld:learning-activity>
            <imsld:learning-activity identifier="LA-resolver-problema2">
              <imsld:title>Resolucion del problema 2</imsld:title>
              <imsld:environment-ref ref="E-documentos-problema2"/>
              <imsld:environment-ref ref="E-herramientas-problemas"/>
              <imsld:activity-description>
                <imsld:item identifierref="RES-instrucciones-resolver-problema"/>
              </imsld:activity-description>
              <imsld:complete-activity>
                <imsld:user-choice/>
              </imsld:complete-activity>
            </imsld:learning-activity>
            <imsld:learning-activity identifier="LA-seguir-resolucion2">
              <imsld:title>Seguimiento del problema 2</imsld:title>

```

```

    <imsld:environment-ref ref="E-documentos-problema2"/>
    <imsld:environment-ref ref="E-herramientas-problemas"/>
    <imsld:activity-description>
      <imsld:item identifierrref="RES-instrucciones-seguir-resolucion"/>
    </imsld:activity-description>
    <imsld:complete-activity>
      <imsld:user-choice/>
    </imsld:complete-activity>
  </imsld:learning-activity>

  <!--ESTRUCTURAS DE ACTIVIDADES-->
  <imsld:activity-structure identifier="AS-itinerariol" structure-
type="sequence">
    <imsld:learning-activity-ref ref="LA-resolver-problema1"/>
    <imsld:learning-activity-ref ref="LA-seguir-resolucion2"/>
  </imsld:activity-structure>
  <imsld:activity-structure identifier="AS-itinerario2" structure-
type="sequence">
    <imsld:learning-activity-ref ref="LA-seguir-resolucion1"/>
    <imsld:learning-activity-ref ref="LA-resolver-problema2"/>
  </imsld:activity-structure>
</imsld:activities>

<!--ENTORNOS-->
<imsld:environments>
  <imsld:environment identifier="E-manuales">
    <imsld:title>Manuales de los dispositivos</imsld:title>
    <imsld:learning-object identifier="LO-manuales-1">
      <imsld:title>Manual del generador de patrones</imsld:title>
      <imsld:item identifierrref="RES-manual-generador"/>
    </imsld:learning-object>
    <imsld:learning-object identifier="LO-manuales-2">
      <imsld:title>Manual del osciloscopio</imsld:title>
      <imsld:item identifierrref="RES-manual-osciloscopio"/>
    </imsld:learning-object>
    <imsld:learning-object identifier="LO-manuales-3">
      <imsld:title>Manual del vectorscopio</imsld:title>
      <imsld:item identifierrref="RES-manual-vectorscopio"/>
    </imsld:learning-object>
  </imsld:environment>
  <imsld:environment identifier="E-documentos-problema1">
    <imsld:title>Documentacion</imsld:title>
    <imsld:learning-object identifier="LO-documentos-problema1-1">
      <imsld:title>Enunciado del problema 1</imsld:title>
      <imsld:item identifierrref="RES-enunciado-problema2"/>
    </imsld:learning-object>
    <imsld:environment-ref ref="E-manuales"/>
  </imsld:environment>
  <imsld:environment identifier="E-documentos-problema2">
    <imsld:title>Documentacion</imsld:title>
    <imsld:learning-object identifier="LO-documentos-problema2-1">
      <imsld:title>Enunciado del problema 2</imsld:title>
      <imsld:item identifierrref="RES-enunciado-problema2"/>
    </imsld:learning-object>
    <imsld:environment-ref ref="E-manuales"/>
  </imsld:environment>
  <imsld:environment identifier="E-herramientas-problemas">
    <imsld:service identifier="S-debate">
      <imsld:conference conference-type="synchronous">
        <imsld:title>Aplicación colaborativa de debate</imsld:title>
        <imsld:participant role-ref="R-grupo"/>
        <imsld:item identifierrref="RES-chat"/>
      </imsld:conference>
    </imsld:service>
    <imsld:learning-object identifier="LO-herramientas-problemas-1">
      <imsld:title>Banco de dispositivos</imsld:title>
      <imsld:item identifierrref="RES-banco-dispositivos"/>
    </imsld:learning-object>
  </imsld:environment>
</imsld:environments>
</imsld:components>

<!--MÉTODO-->
<imsld:method>

  <!--OBRA-->
  <imsld:play identifier="P-tapps">

```

```

<imsld:act identifier="A-1">
  <imsld:title>Fase individual</imsld:title>
  <imsld:role-part identifier="RP-1-A-1">
    <imsld:title>Role-part 1</imsld:title>
    <imsld:role-ref ref="R-grupo"/>
    <imsld:learning-activity-ref ref="LA-estudiar-manuales"/>
  </imsld:role-part>
  <imsld:complete-act>
    <imsld:when-role-part-completed ref="RP-1-A-1"/>
  </imsld:complete-act>
</imsld:act>
<imsld:act identifier="A-2">
  <imsld:title>Fase colaborativa</imsld:title>
  <imsld:role-part identifier="RP-1-A-2">
    <imsld:title>Role-part 1</imsld:title>
    <imsld:role-ref ref="R-alumno1"/>
    <imsld:activity-structure-ref ref="AS-itinerario1"/>
  </imsld:role-part>
  <imsld:role-part identifier="RP-2-A-2">
    <imsld:title>Role-part 1</imsld:title>
    <imsld:role-ref ref="R-alumno2"/>
    <imsld:activity-structure-ref ref="AS-itinerario2"/>
  </imsld:role-part>
  <imsld:complete-act>
    <imsld:when-role-part-completed ref="RP-1-A-2"/>
    <imsld:when-role-part-completed ref="RP-2-A-2"/>
  </imsld:complete-act>
</imsld:act>
<imsld:complete-play>
  <imsld:when-last-act-completed/>
</imsld:complete-play>
</imsld:play>
<imsld:complete-unit-of-learning>
  <imsld:when-play-completed ref="P-tapps"/>
</imsld:complete-unit-of-learning>
</imsld:method>
</imsld:learning-design>
</organizations>

<!--RECURSOS-->
<resources>
  <resource identifier="RES-instrucciones-estudiar-manuales" type=""
href="instrucciones1.html">
    <file href="instrucciones1.html"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-instrucciones-resolver-problema" type=""
href="instrucciones2.html">
    <file href="instrucciones2.html"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-instrucciones-seguir-resolucion" type=""
href="instrucciones3.html">
    <file href="instrucciones3.html"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-manual-generator" type="" href="manual1.pdf">
    <file href="manual1.pdf"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-manual-osciloscopio" type="" href="manual2.pdf">
    <file href="manual2.pdf"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-manual-vectorscopio" type="" href="manual3.pdf">
    <file href="manual3.pdf"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-enunciado-problema1" type="" href="problema1.pdf">
    <file href="problema1.pdf"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-enunciado-problema2" type="" href="problema2.pdf">
    <file href="problema2.pdf"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-chat" type="jnlppfile"
href="http://egeo.tel.uva.es/services/clients/chat-service.jnlp">
    <dependency identifierref="RES-chat-service-factory"/>
  </resource>
  <resource identifier="RES-chat-service-factory" type="gridservicefactory"
href="http://egeo.tel.uva.es:8080/ogsa/services/ChatUVAFactoryService"/>
  <resource identifier="RES-banco-dispositivos" type="jnlppfile"
href="http://solon.tel.uva.es/services/clients/dispositivosdummy-service.jnlp">
    <dependency identifierref="RES-dispositivos-factory"/>

```

```
    </resource>
    <resource identifier="RES-dispositivos-factory" type="gridservice"
href="http://solon.tel.uva.es:8080/ogsa/services/DispositivosDummyService"/>
  </resources>
</manifest>
```


Apéndice B

Esquema de categorías y encuestas

En este apéndice se incluyen el esquema de categorías y las dos encuestas que han sido utilizadas en el proceso de evaluación educativa del sistema de aprendizaje colaborativo maleable Gridcole.

B.1 Esquema de categorías

El esquema de categorías que recoge los conceptos que han sido estudiados en el proceso de evaluación educativa de Gridcole es el siguiente:

- 1- Experiencia previa
- 2- Colaboración
 - 2.1- Compartir información
 - 2.2- Debatir ideas
 - 2.3- Ayuda para resolver dudas
 - 2.4- Realizar un producto común
 - 2.5- Guiado
- 3- Sistema
 - 3.1- Flexibilidad de uso
 - 3.2- Herramientas
 - 3.2.1- Chat
 - 3.2.2- Benchmarking
 - 3.2.2- Otras
 - 3.3- Guiado
 - 3.4- Adecuación de uso
 - 3.4.1- Cara a cara con el sistema

3.4.2- Remotamente con el sistema

3.4.3- Cara a cara sin el sistema

4- Diseño educativo

4.1- Fomenta adquisición de contenidos

4.2- Facilita la evaluación

4.3- Facilita la consecución de objetivos

5- Problemas surgidos en la práctica

6- Mejoras

7- Impresión general

B.2 Encuestas

En esta sección se incluyen los diseños de las encuestas que respondieron los voluntarios que participaron en el proceso de evaluación de Gridcole. Estas encuestas fueron procesadas con la herramienta Quest [Gom02] que permite estructurar las preguntas de acuerdo a diferentes formatos: texto libre, elección simple y elección múltiple.

B.2.1 Encuesta inicial

Valoración de la experiencia

La siguiente pregunta te permite opinar sobre tus experiencias previas en el uso de herramientas, en la colaboración y en la realización de prácticas guiadas.

- 1- Valora tu experiencia previa, y la satisfacción que te ha producido, en el uso de chats para discutir asuntos relacionados con una práctica de tus estudios
 - Grado de experiencia (Elección simple)
 - a. NS/NC
 - b. Nunca
 - c. Muy pocas veces
 - d. Pocas veces
 - e. Regular
 - f. Bastantes veces
 - g. Muchas veces

-
- Grado de satisfacción (Elección simple)
 - a. NS/NC
 - b. Nada satisfecho
 - c. Muy poco satisfecho
 - d. Poco satisfecho
 - e. Algo satisfecho
 - f. Bastante satisfecho
 - g. Muy satisfecho

 - 2- Valora tu experiencia previa, y la satisfacción que te ha producido, en el uso de herramientas de benchmarking para la realización de prácticas de asignaturas
 - Grado de experiencia (Elección simple)
 - a. NS/NC
 - b. Nunca
 - c. Muy pocas veces
 - d. Pocas veces
 - e. Regular
 - f. Bastantes veces
 - g. Muchas veces

 - Grado de satisfacción (Elección simple)
 - a. NS/NC
 - b. Nada satisfecho
 - c. Muy poco satisfecho
 - d. Poco satisfecho
 - e. Algo satisfecho
 - f. Bastante satisfecho
 - g. Muy satisfecho

 - 3- ¿Consideras que se aprende más en las prácticas de asignaturas en las que se trabaja individualmente o en las que se colabora con compañeros?
 - Valoración (Elección simple)

-
- a. NS/NC
 - b. Mucho más individualmente
 - c. Bastante más individualmente
 - d. Algo más individualmente
 - e. Algo más colaborando
 - f. Bastante más colaborando
 - g. Mucho más colaborando
 - Comentarios adicionales (Texto libre)
- 4- ¿Consideras que es más fácil hacer las prácticas de asignaturas en las que se trabaja individualmente o en las que se colabora con compañeros?
- Valoración (Elección simple)
 - a. NS/NC
 - b. Mucho más individualmente
 - c. Bastante más individualmente
 - d. Algo más individualmente
 - e. Algo más colaborando
 - f. Bastante más colaborando
 - g. Mucho más colaborando
 - Comentarios adicionales (Texto libre)
- 5- ¿Consideras que se aprende más en las prácticas de asignaturas en las que se te indica paso a paso qué debes hacer para resolverlas
- Valoración (Elección simple)
 - a. NS/NC
 - b. Se aprende mucho menos
 - c. Se aprende bastante menos
 - d. Se aprende algo menos
 - e. Se aprende algo más
 - f. Se aprende bastante más
 - g. Se aprende mucho más

- Comentarios adicionales (Texto libre)

B.2.2 Encuesta final

Valoración de la experiencia

Esta sección recoge preguntas que indagan sobre tus sensaciones tras la experiencia.

- 1- ¿Consideras que la práctica que has realizado ha sido fácil o difícil? (Elección simple)
 - a. NS/NC
 - b. Muy difícil
 - c. Bastante difícil
 - d. Difícil
 - e. Fácil
 - f. Bastante fácil
 - g. Muy fácil
- 2- ¿Qué aspecto de la práctica te ha resultado más sencillo? (Texto libre)
- 3- ¿Qué aspecto de la práctica te ha resultado más difícil? (Texto libre)
- 4- ¿Crees que hubiera sido más fácil resolver la práctica si hubieras podido hablar con tus compañeros? (Elección simple)
 - a. NS/NC
 - b. Mucho más difícil
 - c. Bastante más difícil
 - d. Parecido, algo más difícil
 - e. Parecido, algo más fácil
 - f. Bastante más fácil
 - g. Mucho más difícil
- 5- ¿Consideras que el tiempo del que has dispuesto para la realización de la práctica ha sido poco o mucho? (Elección simple)
 - a. NS/NC
 - b. Faltaba mucho tiempo
 - c. Faltaba bastante tiempo

- d. Quizá faltaba algo de tiempo
- e. Quizá sobraba algo de tiempo
- f. Sobraba bastante tiempo
- g. Sobraba mucho tiempo

Valoración de la colaboración

Las siguientes preguntas pretenden evaluar distintos aspectos sobre la colaboración con tus compañeros en la experiencia.

1- ¿Cuánto has colaborado con tus compañeros para la realización de la práctica?
(Elección simple)

- a. NS/NC
- b. Nada
- c. Muy poco
- d. Bastante poco
- e. Algo
- f. Bastante
- g. Mucho

2- ¿Cómo valoras la colaboración con tus compañeros a la hora de realizar la práctica?
(Elección simple)

- a. NS/NC
- b. Muy negativa
- c. Bastante negativa
- d. Algo negativa
- e. Algo positiva
- f. Bastante positiva
- g. Muy positiva

3- En los momentos en los que has colaborado con tus compañeros, ¿con qué objetivo lo hacías?

- Debatir ideas (Elección simple)

- a. NS/NC

- b. Nunca
 - c. Muy pocas veces
 - d. Pocas veces
 - e. Regular
 - f. Bastantes veces
 - g. Muchas veces
- Acordar resultados (Elección simple)
 - a. NS/NC
 - b. Nunca
 - c. Muy pocas veces
 - d. Pocas veces
 - e. Regular
 - f. Bastantes veces
 - g. Muchas veces
- Compartir información (Elección simple)
 - a. NS/NC
 - b. Nunca
 - c. Muy pocas veces
 - d. Pocas veces
 - e. Regular
 - f. Bastantes veces
 - g. Muchas veces
- Resolver dudas sobre la práctica (Elección simple)
 - a. NS/NC
 - b. Nunca
 - c. Muy pocas veces
 - d. Pocas veces
 - e. Regular

- f. Bastantes veces
 - g. Muchas veces
 - Resolver dudas sobre el funcionamiento del sistema (Elección simple)
 - a. NS/NC
 - b. Nunca
 - c. Muy pocas veces
 - d. Pocas veces
 - e. Regular
 - f. Bastantes veces
 - g. Muchas veces
 - Otros objetivos (Elección simple)
 - a. NS/NC
 - b. Nunca
 - c. Muy pocas veces
 - d. Pocas veces
 - e. Regular
 - f. Bastantes veces
 - g. Muchas veces
- 4- ¿Consideras que las repuestas a las cuestiones que se planteaban en la práctica que has acordado con tus compañeros son más acertadas que las que tú habías pensado inicialmente en la fase individual? Proporciona comentarios explicativos
- Valoración (Elección simple)
 - a. NS/NC
 - b. Mucho peores que las individuales
 - c. Bastante peores que las individuales
 - d. Algo peores que las individuales
 - e. Algo mejores que las individuales
 - f. Bastante mejores que las individuales
 - g. Mucho mejores que las individuales

- Comentarios adicionales (Texto libre)
- 5- ¿Consideras que, en comparación con la actividad semejante que llevaste a cabo en el laboratorio normal de Arquitectura de Ordenadores, la colaboración ha sido menos o más satisfactoria?
- Valoración (Elección simple)
 - a. NS/NC
 - b. Mucho menos satisfactoria
 - c. Bastante menos satisfactoria
 - d. Algo menos satisfactoria
 - e. Algo más satisfactoria
 - f. Bastante más satisfactoria
 - g. Mucho más satisfactoria
 - Comentarios adicionales (Texto libre)

Valoración de las herramientas

Esta sección pregunta por tus sensaciones sobre las herramientas que proporciona el sistema para llevar a cabo la práctica.

- 1- ¿Consideras que las herramientas de chat era adecuada para la realización de la práctica? (Elección simple)
- a. NS/NC
 - b. Nada adecuada
 - c. Muy poco adecuada
 - d. Poco adecuada
 - e. Algo adecuada
 - f. Bastante adecuada
 - g. Muy adecuada
- 2- ¿Qué facilidades adicionales crees que debería ofrecer la herramienta de chat? (Texto libre)
- 3- ¿Consideras que las herramientas de benchmarking era adecuada para la realización de la práctica? (Elección simple)

- a. NS/NC
 - b. Nada adecuada
 - c. Muy poco adecuada
 - d. Poco adecuada
 - e. Algo adecuada
 - f. Bastante adecuada
 - g. Muy adecuada
- 4- ¿Qué facilidades adicionales crees que debería ofrecer la herramienta de benchmarking? (Texto libre)
- 5- ¿Qué otras herramientas debería ofrecer el sistema para facilitar la realización de la práctica? (Texto libre)

Valoración del sistema

Esta sección te pregunta por tu valoración global del sistema en esta práctica, y por tu opinión sobre su adecuación para futuras experiencias educativas.

- 1- ¿Consideras que el sistema ha servido para facilitar la realización de la práctica en colaboración con tus compañeros? (Elección simple)
- a. NS/NC
 - b. Nada
 - c. Muy poco
 - d. Poco
 - e. Algo
 - f. Bastante
 - g. Mucho
- 2- ¿Consideras que el hecho de que el sistema te indicara paso a paso qué debías hacer para resolver la práctica ha servido para facilitar la realización de la misma? (Elección simple)
- a. NS/NC
 - b. Nada
 - c. Muy poco

- d. Poco
 - e. Algo
 - f. Bastante
 - g. Mucho
- 3- Describe los tres aspectos del sistema que consideras que te han facilitado más la realización de la práctica y aquellos tres que te la han dificultado más
- Primer aspecto que más te ha facilitado la práctica (Texto libre)
 - Segundo aspecto que más te ha facilitado la práctica (Texto libre)
 - Tercer aspecto que más te ha facilitado la práctica (Texto libre)
 - Primer aspecto que más te ha dificultado la práctica (Texto libre)
 - Segundo aspecto que más te ha dificultado la práctica (Texto libre)
 - Tercer aspecto que más te ha dificultado la práctica (Texto libre)
- 4- Si tuvieras que repetir esta misma práctica, suponiendo que SÍ puedes reunirte físicamente con tus compañeros, ¿consideras que este sistema te facilitaría la realización de la práctica?
- Valoración (Elección simple)
 - a. NS/NC
 - b. Nada
 - c. Muy poco
 - d. Poco
 - e. Algo
 - f. Bastante
 - g. Mucho
 - Comentarios adicionales (Texto libre)
- 5- Si tuvieras que repetir esta misma práctica, suponiendo que NO puedes reunirte físicamente con tus compañeros, ¿consideras que este sistema te facilitaría la realización de la práctica?
- Valoración (Elección simple)
 - a. NS/NC

- b. Nada
- c. Muy poco
- d. Poco
- e. Algo
- f. Bastante
- g. Mucho

- Comentarios adicionales (Texto libre)

6- Si tuvieras que hacer otra práctica de Arquitectura de Ordenadores, suponiendo que SÍ puedes reunirte físicamente con tus compañeros y que el sistema proporciona las herramientas adecuadas, ¿consideras que este sistema te facilitaría la realización de la práctica?

- Valoración (Elección simple)

- a. NS/NC
- b. Nada
- c. Muy poco
- d. Poco
- e. Algo
- f. Bastante
- g. Mucho

- Comentarios adicionales (Texto libre)

7- Si tuvieras que hacer otra práctica de Arquitectura de Ordenadores, suponiendo que NO puedes reunirte físicamente con tus compañeros y que el sistema proporciona las herramientas adecuadas, ¿consideras que este sistema te facilitaría la realización de la práctica?

- Valoración (Elección simple)

- a. NS/NC
- b. Nada
- c. Muy poco
- d. Poco

- e. Algo
 - f. Bastante
 - g. Mucho
 - Comentarios adicionales (Texto libre)
- 8- Si tuvieras que hacer una práctica de otra asignatura, suponiendo que SÍ puedes reunirte físicamente con tus compañeros y que el sistema proporciona las herramientas adecuadas, ¿consideras que este sistema te facilitaría la realización de la práctica?
- Valoración (Elección simple)
 - a. NS/NC
 - b. Nada
 - c. Muy poco
 - d. Poco
 - e. Algo
 - f. Bastante
 - g. Mucho
 - Comentarios adicionales (Texto libre)
- 9- Si tuvieras que hacer una práctica de otra asignatura, suponiendo que NO puedes reunirte físicamente con tus compañeros y que el sistema proporciona las herramientas adecuadas, ¿consideras que este sistema te facilitaría la realización de la práctica?
- Valoración (Elección simple)
 - a. NS/NC
 - b. Nada
 - c. Muy poco
 - d. Poco
 - e. Algo
 - f. Bastante
 - g. Mucho
 - Comentarios adicionales (Texto libre)

Referencias

[Aar96] A. Aarsten, D. Brugali, and M. Giuseppe. Patterns for three-tier client/server applications. *Proceedings of the 3rd Conference on the Pattern Languages of Programs (PLoP'96)*, Urbana-Champaign, IL, USA, September 1996.

[Ade02] H.H. Adelsberger, B. Collis, and J.M. Pawloski. *Handbook on Information Technologies for education and training*, Berlin, Germany: Springer-Verlag, 2002.

[Adr93] W.R. Adrion. Research methodology in software engineering: summary of the Dagstuhl workshop on future directions on software engineering. *SIGSoft Software Engineering Notes*, vol. 18, num. 1, pp. 36-37, January 1993.

[All04] C. Allison, S.A. Cerri, M. Gaeta, and P. Ritrovato. Services, semantics and standards: elements of a learning grid infrastructure. *Proceedings of the International Workshop on Grid Learning Services 2004 (GLS'04), held in conjunction with the 7th International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS 2004)*, Maceio, Alagoas, Brasil, pp. 13-23, August 2004.

[All05] C. Allison, S.A. Cerri, P. Ritrovato, A. Gaeta, and M. Gaeta. Services, semantics and standards: elements of a learning grid infrastructure (accepted for publication). *Applied Artificial Intelligence Journal*, vol. 19, num. 8, September 2005.

[Ard04a] O. Ardaiz. *Application network deployment in the Internet*. PhD dissertation, Technical University of Catalonia, Spain, January 2004.

[Ard04b] O. Ardaiz, L. Díaz de Cerio, A. Gallardo, R. Messeguer, and K. Sanjeevan. ULabGrid framework for computationally intensive remote and collaborative learning laboratories. *Proceedings of the 1st International Workshop on Collaborative Learning Applications of Grid Technology (CLAG 2004), held in conjunction with the International Symposium on Cluster Computing and the Grid 2004 (CCGRID 2004)*, Chicago, IL, USA, pp. 119-125, April 2004.

- [Ard05a] O. Ardaiz-Villanueva. On-demand virtual studios and laboratories for project-based cooperative design and engineering. *Proceedings of the 9th International Conference on CSCW in design (CSCWD 2005)*, Coventry, UK, May 2005.
- [Ard05b] O. Ardaiz-Villanueva. On-demand virtual studios and laboratories based on grid technologies for virtual projects. *Proceedings of the 11th International Conference on Concurrent Enterprising (ICE 2005)*, Munich, Germany, June 2005.
- [Aro97] E. Aronson and S. Patmoe. *The jigsaw classroom; building cooperation in the classroom*, New York, USA: Addison Wesley Longman, 1997.
- [Bag03] A. Bagnasco and A.M. Scappola. A grid of remote laboratory for teaching electronics. *Proceedings of the 2nd LEGE-WG International Workshop on e-Learning and Grid Technologies*, Paris, France, March 2003.
- [Bag05] A. Bagnasco, A. Poggi, and A.M. Scapolla. Computational grids and online laboratories. *Proceedings of the 1st International Conference on Advanced Technology for Enhanced Learning*, Naples, Italy, March 2005.
- [Bak96] M. Baker and K. Lund. Flexibly structuring the interaction in a CSCL environment. *Proceedings of the European Conference on Artificial Intelligence in Education (EuroAIED'96)*, Lisbon, Portugal, pp. 401-407, October 1996.
- [Bal04] N. Baloian, H. Breuer, U. Hoppe, and J.A. Pino. Remote earthquakes: getting serious about authenticity in CSCL. *Proceedings of the 6th International Conference of the Learning Sciences (ICLS 2004)*, Los Angeles, CA, USA, June 2004.
- [Bar05] M. Bardeen, E. Gilbert, T. Jordan, P. Nepywoda, E. Quigg, M. Wilde, and Y. Zhao. The QuarkNet/Grid Collaborative Learning e-Lab. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Collaborative and Learning Applications of Grid Technology and Grid Education (CLAG+Grid.Edu 2005)*, held in conjunction with the International Symposium on Cluster Computing and the Grid 2005 (CCGRID 2005), Cardiff, UK, May 2005 .
- [Bas05] J. Basney, M. Humphrey, and V. Welch. The MyProxy online credential repository. *Software: Practice and Experience*, vol. 35, num. 9, pp. 801-816, July 2005.
- [BEA03] BEA Systems, IBM Corporation, Microsoft Corporation, SAP AG, and Siebel Systems. *Business Process Execution Language for Web Services version 1.1*, Technical Specification, May 2003.

- [Ber01] A. Berger, R. Moretti, P. Chastonay, P. Dillenbourg, A. Bchir, R. Baddoura, C. Bengondo, D. Scherly, P. Ndumbe, P. Farah, and B. Kayser. Teaching community health by exploiting international socio-cultural and economical differences. *Proceedings of the 1st European Conference on Computer Supported Collaborative Learning (EuroCSCL 2001)*, Maastricht, The Netherlands, pp. 97-105, March 2001.
- [Ber98] F. Berman. High-Performance Schedulers. En *The Grid: blueprint for a future computing infrastructure*, I. Foster and C. Kesselman (eds.), San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers, pp. 279-309, 1998.
- [Ber03] F. Berman, G. Fox, and A. Hey (eds.). *Grid computing: making the global infrastructure a reality*, Chichester, UK: John Wiley & Sons, 2003.
- [Bet03a] M.L. Betbeder and P. Tchounikine. Symba, a tailorable framework to support collective activities in a learning context. *Proceedings of the 9th International Workshop on Groupware (CRIWG 2003)*, Grenoble, France, Lecture Notes in Computer Science 2806, Springer-Verlag, pp. 90-98, September 2003.
- [Bet03b] M.L. Betbeder. *Symba: un environnement malléable support d'activités collectives en contexte d'apprentissage*. Thèse doctorale, Université du Maine, France, 2003.
- [Bot03a] M.L. Bote-Lorenzo, Y.A. Dimitriadis, and E. Gómez-Sánchez. Grid characteristics and uses: a grid definition. *Proceedings of the 1st European Across Grids Conference (AxGrids03)*, Santiago de Compostela, Spain, February 2003.
- [Bot03b] M.L. Bote-Lorenzo, Y. Dimitriadis, E. Gómez-Sánchez, J.I. Asensio-Pérez, L.M. Vaquero-González, y G. Vega-Gorgojo. Asignador de recursos grid para aplicaciones CSCL basadas en componentes. *Actas de las Jornadas de Ingeniería Telemática 2003 (JITEL 2003)*, Las Palmas de Gran Canaria, España, pp. 575-576, Septiembre 2003.
- [Bot03c] M.L. Bote-Lorenzo, J.I. Asensio-Pérez, Y. Dimitriadis, E. Gómez-Sánchez, L.M. Vaquero-González, y G. Vega-Gorgojo. Computación grid e Ingeniería del Software Basada en Componentes en CSCL. *Actas de la Taller de Trabajo en Grupo y Aprendizaje Colaborativo celebrado conjuntamente con la X Conferencia de la Asociación Española para la Inteligencia Artificial (TGACEP-CAEPIA'03)*, San Sebastián, España, pp. 59-64, Noviembre 2003.
- [Bot04a] M.L. Bote-Lorenzo, Y.A. Dimitriadis, and E. Gómez-Sánchez. Grid characteristics and uses: a grid definition (extended and revised version). *Postproceedings of the 1st European Across Grids Conference (AxGrids03)*, Santiago de Compostela, Spain, Lecture Notes in Computer Science 2970, Springer-Verlag, pp. 291-298, February 2004.

- [Bot04b] M.L. Bote-Lorenzo, L.M. Vaquero-González, G. Vega-Gorgojo, J.I. Asensio-Pérez, E. Gómez-Sánchez, and Y.A. Dimitriadis. GRIDCOLE: A Grid Collaborative Learning Environment. *Proceedings of the 1st International Workshop on Collaborative Learning Applications of Grid Technology (CLAG 2004), held in conjunction with the International Symposium on Cluster Computing and the Grid 2004 (CCGRID 2004)*, Chicago, IL, USA, pp. 105-112, April 2004.
- [Bot04c] M.L. Bote-Lorenzo, J.I. Asensio-Pérez, G. Vega-Gorgojo, L.M. Vaquero-González, E. Gómez-Sánchez, and Y. Dimitriadis. Grid computing and Component-Based Software Engineering in Computer Supported Collaborative Learning. *Proceedings of the International Conference on Computational Science 2004 (ICCS 2004)*, Kraków, Poland, Lecture Notes in Computer Science 3036, Springer-Verlag, pp. 495-498, June 2004.
- [Bot04d] M.L. Bote-Lorenzo, L.M. Vaquero-González, G. Vega-Gorgojo, Y.A. Dimitriadis, J.I. Asensio-Pérez, E. Gómez-Sánchez, and D. Hernández-Leo. A tailorable collaborative learning system that combines OGSA grid services and IMS-LD scripting. *Proceedings of the 10th International Workshop on Groupware (CRIWG 2004)*, San Carlos, Costa Rica, Lecture Notes in Computer Science 3198, Springer-Verlag, pp. 305-321, September 2004.
- [Bot04e] M.L. Bote-Lorenzo, D. Hernández-Leo, Y.A. Dimitriadis, J.I. Asensio-Pérez, E. Gómez-Sánchez, G. Vega-Gorgojo, and L.M. Vaquero-González. Towards reusability and tailorability in collaborative learning systems using IMS-LD and grid services. *International Journal on Advanced Technology for Learning*, vol. 1, num. 3, pp. 129-138, September 2004.
- [Bot05] M.L. Bote-Lorenzo, E. Gómez-Sánchez, G. Vega-Gorgojo, Y.A. Dimitriadis, J.I. Asensio-Pérez, y D. Hernández-Leo. Sistema maleable para el apoyo y guiado del aprendizaje colaborativo basado en servicios grid (aceptado para publicación). *Actas de las Jornadas de Ingeniería Telemática 2005 (JITEL'05)*, Vigo, España, Septiembre 2005.
- [Bou00] G. Bourguin. *Un support informatique à l'activité cooperative fondé sur la Théorie de l'Activité: le projet DARE*. Thèse doctorale, Université des Sciences et Technologies de Lille, France, 2000 .
- [Bou01] G. Bourguin and A. Derycke. Integrating the CSCL activities into virtual campuses: foundations of a new infrastructure for distributed collective activities. *Proceedings of the 1st European Conference on Computer Supported Collaborative Learning (EuroCSCL 2001)*, Maastricht, The Netherlands, pp. 123-130, March 2001.

- [Bra03] M. Brady, D. Gavaghan, A. Simpson, M. Mulet Parada, and R. Highnam. eDiamond: a grid-enabled federated database of annotated mammograms. En *Grid computing: making the global infrastructure a reality*, F. Berman, G. Fox, and A. Hey (eds.), Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons, pp. 923-943, 2003.
- [Bre04] P. Brezany, I. Janciak, A. Woehrer, and A.M. Tjoa. GridMiner: a framework for knowledge discovery on the grid - from a vision to design and implementation. *Proceedings of the 4th Cracow Grid Workshop (CGW'04)*, Cracow, Poland, December 2004.
- [Bri04] S. Britain. *A review of learning design: concept, specification and tools*, Technical Report, JISC e-learning pedagogy program, May 2004.
- [Cab04] S. Caballé, F. Xhafa, T. Daradoumis, and J.M. Marquès. Towards a generic platform for developing CSCL applications using grid infrastructure. *Proceedings of the 1st International Workshop on Collaborative Learning Applications of Grid Technology (CLAG 2004)*, held in conjunction with the *International Symposium on Cluster Computing and the Grid 2004 (CCGRID 2004)*, Chicago, IL, USA, pp. 200-207, April 2004.
- [Cab93] F. Cabrera, T. Donoso, y M.A. Marín. *Manual de formación pedagógica básica para formadores*, Barcelona, España: PPU SA, 1993.
- [Cae03] M. Caeiro, L. Anido, and M. Llamas. A critical analysis of IMS Learning Design. *Proceedings of the International Conference on Computer Support for Collaborative Learning (CSCL 2003)*, Bergen, Norway, pp. 363-367, June 2003.
- [Chak03] M. Chakroun. *ArgueGraph System*, 2003. URL: <http://tecfaseed.unige.ch/users/mourad/arguegraph/ArgueGraph.html>. (Última visita en Julio 2005)
- [Cha98] C.K. Chang and G.D. Chen. Learning flow and portfolio management for collaborative learning on the web. *International Journal of Educational Telecommunications*, vol. 4, num. 2-3, pp. 171-196, 1998.
- [Chi97] G. Chin, M. Rosson, and J. Carroll. Participatory analysis: shared development of requirements from scenarios. *Proceedings of the International Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'97)*, Atlanta, GE, USA, pp. 162-197, April 1997.
- [Chu03] J.-Y. Chung, K.-J. Lin, and R.G. Mathieu. Web services computing: advancing software interoperability. *Computer*, vol. 36, num. 10, pp. 35-37, October 2003.

- [Crow04] J. Crowcroft, T. Moreton, I. Pratt, and A. Twigg. Peer-to-peer technologies. En *The Grid 2: blueprint for a future computing infrastructure*, I. Foster and C. Kesselman (eds.), San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers, 2004.
- [Cur02] F. Curbera, M. Duftler, R. Khalaf, W. Nagy, N. Mukhi, and S. Weerawarana. Unraveling the web services web: an introduction to SOAP, WSDL, and UDDI. *IEEE Internet Computing*, vol. 6, num. 2, June 2002.
- [Cza05] K. Czajkowski, D. Ferguson, I. Foster, J. Frey, S. Graham, T. Maguirre, D. Snelling, and S. Tuecke. *From Open Grid Services Infrastructure to WS Resource Framework: refactoring & evolution*, Technical Report v1.1, May 2005.
- [DeR03] D. De Roure, M.A. Baker, N.R. Jennings, and N.R. Shadbolt. The evolution of the Grid. En *Grid computing: making the global infrastructure a reality*, F. Berman, G. Fox, and A. Hey (eds.), Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons, pp. 65-100, 2003.
- [DeF98] T. DeFanti and R. Stevens. Teleinmersion. En *The Grid: blueprint for a future computing infrastructure*, I. Foster and C. Kesselman (eds.), San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers, pp. 131-156, 1998.
- [Del03] C. Delium. OSCAR: a framework for structuring mediated communication by speech acts. *Proceedings of the 3rd International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'03)*, Athens, Greece, pp. 229-233, July 2003.
- [Des99] C. Despres and S. George. Computer-supported distance learning: an example in educational robotics. *Proceedings of the 9th International PEG Conference*, Exeter, UK, pp. 344-353, July 1999.
- [Dew01] P. Dewan. An integrated approach to designing and evaluating collaborative applications and infrastructures. *Computer Supported Cooperative Work*, vol. 10, num. 1, pp. 75-111, January 2001.
- [Dil95] P. Dillenbourg and D. Schneider. Collaborative learning and the Internet. *Proceedings of the 4th International Conference on Computer Assisted Instruction (ICCAI'95)*, Hsinchu, Taiwan, March 1995.
- [Dil99a] P. Dillenbourg (ed.). *Collaborative Learning: cognitive and computational approaches*, Oxford, UK: Elsevier Science, 1999.

- [Dil99b] P. Dillenbourg. What do you mean by "Collaborative Learning"? En *Collaborative Learning: cognitive and computational approaches*, P. Dillenbourg (ed.), Oxford, UK: Elsevier Science, pp. 1-19, 1999.
- [Dil01] P. Dillenbourg, A. Eurelings, and K. Hakkarainen (eds.). *Proceedings of the 1st European Conference on Computer-Supported Collaborative Learning (EuroCSCL 2001): European perspectives on Computer Supported Collaborative Learning*, Maastricht, The Netherlands: Maastricht MacLuhan Institute, 2001.
- [Dil02] P. Dillenbourg. Over-scripting CSCL: the risks of blending collaborative learning with instructional design. En *Three worlds of CSCL. Can we support CSCL*, P.A. Kirschner (ed.), Heerlen, Open Universiteit Nederland, pp. 61-91, 2002.
- [Dim03a] A. Dimitracopoulou and A. Petrou. Advanced collaborative distance learning systems for young students: design issues and current trends on new cognitive and metacognitive tools. *Themes in Education*, 2003.
- [Dim03b] T. Dimitrakos, D. Mac Randal, F. Yuan, M. Gaeta, G. Laria, P. Ritrovato, B. Serhan, S. Wesner, and K. Wulf. An emerging architecture enabling grid based application service provision. *Proceedings of the 7th International Distributed Object Computing Conference (EDOC'03)*, Brisbane, Queensland, Australia, pp. 240-251, September 2003.
- [Dim04a] T. Dimitrakos, D. Mac Randal, S. Wesner, B. Serhan, P. Ritrovato, and G. Laria. Overview of an architecture enabling grid based application service provision. *Postproceedings of the 2nd European Across Grids Conference (AxGrids04)*, Nicosia, Cyprus, Lecture Notes in Computer Science 3165, Springer Verlag, January 2004.
- [Dim01] Y. Dimitriadis, A. Martínez, and B. Rubia. Cooperative learning in Computer Architecture: an educational project and its network support. *Proceedings of the Frontiers in Education Conference (FIE 2001)*, Reno, NV, USA, pp. 13-18, 2001.
- [Dim02] Y. Dimitriadis, J.I. Asensio, J. Toquero, L. Estébanez, T.A. Martín, and A. Martínez. Hacia un sistema de componentes software para el dominio del aprendizaje colaborativo apoyado por ordenador. *Actas del Simposio de Informática y Telecomunicaciones 2002 (SIT 2002)*, Sevilla, Spain, 2002.
- [Dim03c] Y. Dimitriadis, J.I. Asensio, A. Martínez, and C. Osuna. Component Based Software Engineering and CSCL: component identification and dimensioning. *Upgrade (Digital Journal of European Professional Informatics Societies), Special Issue on E-Learning*, October 2003.

- [Dim04b] Y. Dimitriadis, J.I. Asensio-Pérez, E. Gómez-Sánchez, A. Martínez-Monés, M.L. Bote-Lorenzo, G. Vega-Gorgojo, and L.M. Vaquero-González. Middleware para CSCL: marco de componentes software y apoyo de tecnología grid. *Inteligencia Artificial*, vol. 7, num. 23, pp. 21-31, 2004.
- [Ell91] C.A. Ellis, S.J. Gibs, and G.L. Rein. Groupware: some issues and experiences. *Communications of the ACM*, vol. 34, num. 1, pp. 38-58, January 1991.
- [ELe04] European Learning Grid Infrastructure (ELeGI) project. *ELeGi project home page*, 2004. URL: <http://www.elegi.org/>. (Última visita en Julio 2005)
- [Fer05] L. Ferreira, F. Lucchese, T. Yasuda, C.Y. Lee, C.A. Queiroz, E. Minetto, and A. Mungoli. *Grid computing in research and education*, IBM Corporation, 2005.
- [Fos97] I. Foster and C. Kesselman. Globus: a metacomputing infrastructure toolkit. *International Journal of Supercomputer Applications*, vol. 11, num. 2, pp. 115-128, 1997.
- [Fos98a] I. Foster. Computational grids. En *The Grid: blueprint for a future computing infrastructure*, I. Foster and C. Kesselman (eds.), San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers, pp. 15-52, 1998.
- [Fos98b] I. Foster and C. Kesselman. The Globus Project: a status report. *Proceedings of IPPS/SPDP'98 Heterogeneous Computing Workshop*, Orlando, FL, USA, pp. 4-18, 1998.
- [Fos98c] I. Foster and C. Kesselman. *The Grid: blueprint for a future computing infrastructure*, San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers, 1998.
- [Fos01] I. Foster, C. Kesselman, and S. Tuecke. The anatomy of the Grid: enabling scalable virtual organizations. *International Journal of Supercomputer Applications and High Performance Computing*, vol. 15, num. 3, pp. 200-222, 2001.
- [Fos02a] I. Foster, C. Kesselman, J.M. Nick, and S. Tuecke. Grid services for distributed system integration. *Computer*, vol. 35, num. 6, pp. 37-46, June 2002.
- [Fos02b] I. Foster. What is the Grid? A three point checklist. *Grid Today*, vol. 1, num. 6, July 2002.
- [Fos03] I. Foster, C. Kesselman, J.M. Nick, and S. Tuecke. The physiology of the Grid. En *Grid computing: making the global infrastructure a reality*, F. Berman, G. Fox, and A. Hey (eds.), Chichester, UK: John Wiley & Sons, pp. 217-249, 2003.

- [Fos04a] I. Foster and C. Kesselman. Concepts and Architecture. En *The Grid 2: blueprint for a future computing infrastructure*, I. Foster and C. Kesselman (eds.), San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers, 2004.
- [Fos04b] I. Foster and C. Kesselman (eds.). *The Grid 2: blueprint for a future computing infrastructure*, San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers, 2004.
- [Fos04c] I. Foster, C. Kesselman, and S. Tuecke. The Open Grid Services Architecture. En *The Grid 2: blueprint for a future computing infrastructure*, I. Foster and C. Kesselman (eds.), San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers, 2004.
- [Fox03] G. Fox. Education and the enterprise with the grid. En *Grid computing: making the global infrastructure a reality*, F. Berman, G. Fox, and A. Hey (eds.), Chichester, UK: John Wiley & Sons, pp. 963-976, 2003.
- [Fre01] J. Frey, T. Tannenbaum, M. Livny, I. Foster, and S. Tuecke. Condor-G: a computation management agent for multiinstitutional grids. *Proceedings of the 10th International Symposium on High Performance Distributed Computing (HPDC 2001)*, San Francisco, CA, USA, pp. 55-63, August 2001.
- [Fri04] K. Friesen and N. Mazloumi. Integration of learning management systems and web applications using web services. *International Journal on Advanced Technology for Learning*, vol. 1, num. 1, pp. 16-24, 2004.
- [Gae05] A. Gaeta, P. Ritrovato, F. Orciuoli, and M. Gaeta. Enabling technologies for future learning scenarios: the semantic grid for human learning. *Proceedings of the the 2nd International Workshop on Collaborative and Learning Applications of Grid Technology and Grid Education (CLAG+Grid.Edu 2005)*, held in conjunction with held in conjunction with the *International Symposium on Cluster Computing and the Grid 2005 (CCGRID 2005)*, Cardiff, UK, May 2005.
- [Gam95] E. Gamma, R. Helm, R. Johnson, and Vlissides. J. *Design patterns: elements of a reusable object oriented software*, Reading, MA, USA: Addison-Wesley, 1995.
- [Gao03] Y. Gao, H. Rong, F. Tong, Z. Luo, and J. Huang. Adaptive job scheduling for a service grid using a genetic algorithm. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Grid and Cooperative Computing (GCC 2003)*, Shangai, China, Lecture Notes in Computer Science 3033, pp. 65-72, December 2003.

- [Geo01] S. George. *Apprentissage collectif à distance. SPLACH: un environnement informatique support d'une pédagogie de projet*. Thèse doctorale, Université du Maine, France, 2001.
- [GGF00] Global Grid Forum (GGF). *The GGF home page*, 2000. URL: <http://www.ggf.org/>. (Última visita en Julio 2005)
- [GGF03] Global Grid Forum (GGF). *Open Grid Services Infrastructure (OGSI) version 1.0*, Technical Specification, June 2003.
- [GGF04] Global Grid Forum (GGF). *Open Grid Services Architecture: second tier use case*, Draft Technical Report, March 2004.
- [Glo04a] Globus Alliance. *Globus Toolkit 3.2*, March 2004. URL: <http://www.globus.org/toolkit/docs/3.2/>. (Última visita en Julio 2005)
- [Glo04b] Globus Alliance. *The Web Services Resource Framework draft specification*, March 2004. URL: <http://www.globus.org/wsrf/>. (Última visita en Julio 2005)
- [Glo05] Globus Alliance. *Globus Toolkit 4*, 2005. URL: <http://www.globus.org/toolkit/docs/4.0/>. (Última visita en Julio 2005)
- [Gom02] E. Gómez-Sánchez, Y. Dimitriadis, B. Rubia-Avi, and A. Martínez Monés. Quest, a telematic tool for automatic management of student questionnaires in educational research. *Actas del 2º Congreso Europeo de Tecnologías de la Información en la Educación y la Ciudadanía (TIEC 2002)*, Barcelona, España, Junio 2002.
- [Gor04] D. Gorissen. *H2O metacomputing - Jini lookup and discovery*. MSc dissertation, University of Antwerp, Belgium, 2004.
- [Gos05] J. Gosling, B. Joy, G. Steele, and G. Bracha. *The Java language specification*, 3rd edition, Boston, MA, USA: Addison-Wesley, 2005.
- [Gou04] E. Gouli, A. Gogoulou, K. Papanikolaou, and M. Grigoriadou. COMPASS: an adaptive web-based concept map assessment tool. *Proceedings of the 1st International Conference on Concept Mapping (CMC 2004)*, Pamplona, Spain, September 2004.
- [Gri94] A.S. Grimshaw, J.B. Weissman, E.A. West, and E. Loyot. Metasystems: an approach combining parallel processing and distributed heterogeneous computing system. *Parallel and Distributed Computing*, vol. 21, num. 3, pp. 257-270, June 1994.

- [Gri97] A.S. Grimshaw and W.A. Wulf. The Legion vision of a worldwide virtual computer. *Communications of the ACM*, vol. 40, num. 1, pp. 39-47, January 1997.
- [Gri02] A.S. Grimshaw. What is a Grid? *Grid Today*, vol. 1, num. 26, December 2002.
- [Gru92] J. Grundin. CSCW: history and focus. *Computer*, vol. 29, num. 6, pp. 27-35, June 1992.
- [Haa03] J.M. Haake, T. Schümmer, A. Haake, M. Bourimi, and B. Landgraf. Two-level tailoring support for CSCL. *Proceedings of the 9th International Workshop on Groupware (CRIWG 2003)*, Grenoble, France, Lecture Notes in Computer Science 2806, Springer-Verlag, pp. 74-81, September 2003.
- [Haa04] J.M. Haake, T. Schümmer, A. Haake, M. Bourimi, and B. Landgraf. Supporting flexible collaborative distance learning in the CURE platform. *Proceedings of the 37th International Conference on System Sciences (HICSS'04)*, Big Island, HI, USA, January 2004.
- [Hal97] R. Hall, N. Miyake, and N. Enyedy (eds.). *Proceedings of the International Conference on Computer Support for Collaborative Learning (CSCL 1997)*, Toronto, ON, Canada, Mahwah, NJ, USA: Lawrence Erlbaum Associates, 1997 .
- [Hef04] M. Hefeeda. *Peer-to-peer systems*, Technical Report, Simon Fraser University, September 2004.
- [Hei01] G.T. Heineman and W.T. Council (eds.). *Component-based software engineering: putting the pieces together*, Boston, MA, USA: Addison-Wesley, 2001.
- [Her03] D. Hernández Leo. *De IMS-LD a MDA: aproximaciones al modelado de aplicaciones CSCL basadas en componentes*. Proyecto fin de carrera, Universidad de Valladolid, España, Noviembre 2003.
- [Her04] D. Hernández-Leo, J.I. Asensio-Pérez, and Y. Dimitriadis. IMS Learning Design Support for the Formalization of Collaborative Learning Patterns. *Proceedings of the 4th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2004)*, Joensuu, Finland, pp. 350-354, August 2004.
- [Her05] D. Hernández-Leo, J.I. Asensio-Pérez, Y. Dimitriadis, M.L. Bote-Lorenzo, and I.M. Jorrín-Abellán. Reusing IMS-LD formalized best practices in collaborative learning structuring (accepted for publication). *International Journal on Advanced Technology for Learning*, vol. 2, num. 3, October 2005.

- [Her06] D. Hernández-Leo, E.D. Villasclaras-Fernández, I.M. Jorrín-Abellán, J.I. Asensio-Pérez, Y. Dimitriadis, I. Ruiz-Requies, and B. Rubia-Avi. COLLAGE, a collaborative learning design editor based on patterns (accepted for publication). *Journal of Educational Technology & Society, Special Issue on Learning Design*, January 2006.
- [Hil04] J.R. Hiler y D. Palomar. Modelado de procesos de enseñanza-aprendizaje reutilizables con XML, UML e IMS-LD. *Actas del I Simposio Pluridisciplinar sobre Diseño, Evaluación y Descripción de Contenidos Educativos Reutilizables (SPDECE 2004)*, Guadalajara, España, Octubre 2004.
- [Hoa99] C. Hoadley (ed.). *Proceedings of the International Conference on Computer Support for Collaborative Learning (CSCL 1999)*, Palo Alto, CA, USA, Mahwah, NJ, USA: Lawrence Erlbaum Associates, 1999.
- [Hou99] R. Housley, W. Ford, and D. Solo. *Internet X.509 public key infrastructure*, RFC 2459, January 1999.
- [Hum05] M. Humphrey and G. Wasson. Architectural foundations of WSRF.NET. *International Journal of Web Services Research*, vol. 2, num. 2, pp. 83-97, April 2005.
- [IBM01] IBM Corporation. *Web Services Flow Language (WSFL 1.0)*, Technical Specification, May 2001.
- [IBM04] IBM Corporation. *IBM Grid Toolbox v3*, 2004. URL: http://www-1.ibm.com/grid/solutions/grid_toolbox.shtml. (Última visita en Julio 2005)
- [IEE02] IEEE Learning Technology Standards Committee. *IEEE standard for learning object metadata*, Technical Specification 1484.12.1-2002, November 2002.
- [IMS01] IMS Global Learning Consortium. *IMS Learning Resource Metadata information model v1.2.1*, Technical Specification, September 2001.
- [IMS03a] IMS Global Learning Consortium. *IMS Learning Design Information Model v1.0*, Technical Specification, January 2003.
- [IMS03b] IMS Global Learning Consortium. *IMS Content Packaging Information Model v1.1.3*, Technical Specification, June 2003.
- [Ios04] A. Iosup. *Monitoring methods and performance analysis criteria in grid for physical processes control*. MSc dissertation, University of Bucharest, Romania, May 2004.

- [Iri05] L. Iriarte-Navarro, M. Marco-Such, A. Sánchez-Díaz, D. Morón-Martín, and P. Pernías-Peco. Learning units design based in grid computing. *Proceedings of the 5th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2005)*, Kaohsiung, Taiwan, pp. 562-566, July 2005.
- [Jen03] N. Jensen, S. Seipel, W. Nejd, and S. Olbrich. COVASE: Collaborative visualization for constructivist learning. *Proceedings of the International Conference on Computer Support for Collaborative Learning (CSCL 2003)*, Bergen, Norway, pp. 249-253, June 2003.
- [Jer99] P. Jermann and P. Dillenbourg. An analysis of learner arguments in a collective learning environment. *Proceedings of the Conference on Computer Supported Collaborative Learning*, Palo Alto, CA, USA, pp. 265-273, 1999 .
- [Jon02] R. Johnson. J2EE architectures. En *J2EE design and development*, Chichester, UK: John Wiley & Sons, pp. 15-41, 2002.
- [Joh88] R.T. Johnson and D.W. Johnson. Cooperative Learning: two heads learn better than one. *Transforming Education*, num. 18, pp. 34-36, Winter 1988.
- [Joh94] R.T. Johnson and D.W. Johnson. An overview of cooperative learning. En *Creativity and collaborative learning: a practical guide to empowering students and teachers*, J.S. Thousand, A. Villa, and A. Nevin (eds.), Baltimore, MD, USA: Brookes Press, pp. 31-44, 1994.
- [Joh98] W. Johnston. Realtime widely distributed instrumentation systems. En *The Grid: blueprint for a future computing infrastructure*, I. Foster and C. Kesselman (eds.), San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers, pp. 75-104, 1998.
- [Jor05] I.M. Jorrín. *Propuesta de diseño de evaluación educativa de Gridcole*, Informe Técnico, Facultad de Educación, Universidad de Valladolid, España, Marzo 2005.
- [Kes04] C. Kesselman, I. Foster, and T. Prudhomme. Distributed telepresence: the NEEsgrid earthquake engineering collaboratory. En *The Grid 2: blueprint for a future computing infrastructure*, I. Foster and C. Kesselman (eds.), San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers, pp. 81-93, 2004.
- [Kop01] T. Koper. *Modeling units of study from a pedagogical perspective: the pedagogical meta-model behind EML*, Technical Report, Educational Technology Expertise Centre, Open University of the Netherlands, June 2001.

- [Kos96a] T. Koschmann (ed.). *CSCL: theory and practice of an emerging paradigm*, Mahwah, NJ, USA: Lawrence Erlbaum, 1996.
- [Kos96b] T. Koschmann. Paradigm shifts and instructional technology. En *CSCL: theory and practice of an emerging paradigm*, T. Koschmann (ed.), Mahwah, NJ, USA: Lawrence Erlbaum, pp. 1-23, 1996.
- [Kos05] T. Koschmann, D.D. Suthers, and T.W. Chan (eds.). *Proceedings of the International Conference on Computer Support for Collaborative Learning (CSCL 2005)*, Taipei, Taiwan, Lawrence Erlbaum Associates, 2005.
- [Kra02] K. Krauter, R. Buyya, and M. Maheswaran. A taxonomy and survey of grid resource management systems for distributed computing. *International Journal of Software: Practice and Experience*, vol. 32, num. 2, pp. 135-164, February 2002.
- [Kri04] S. Krishnan and D. Gannon. XCAT3: a framework for CCA components as OGSA services. *Proceedings of the 9th High-Level Parallel Programming Models and Supportive Environments (HIPS 2004)*, held in conjunction with the *International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS 2004)*, Santa Fe, NM, USA, pp. 90-97, April 2004.
- [LAM04] LAMS International. *Learning Activity Management System (LAMS) home page*, April 2004. URL: <http://www.lamsinternational.com/>. (Última visita en Julio 2005)
- [Lev04] D. Levine and M. Wirt. Interactivity with scalability: infrastructure for multiplayer games. En *The Grid 2: blueprint for a future computing infrastructure*, I. Foster and C. Kesselman (eds.), San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers, pp. 167-178, 2004.
- [Lin02] J. Lin, C. Ho, W. Sadiq, and M.E. Orlowska. Using workflow technology to manage flexible e-learning services. *Journal of Educational Technology & Society, Special Issue on Innovations in Learning Technology*, vol. 5, num. 4, pp. 116-123, October 2002.
- [Lip02] L. Lipponen. Exploring foundations for Computer-Supported Collaborative Learning. *Proceedings of the International Conference on Computer Support for Collaborative Learning (CSCL 2002)*, Boulder, CO, USA, pp. 72-78, January 2002.
- [Lor04] J.A. Lorenzo del Castillo. *Estudio de una taxonomía y aplicación al diseño de un servicio de información para herramientas CSCL basadas en servicios grid*. Proyecto fin de carrera, Universidad de Valladolid, España, Octubre 2004.

- [Lys92] P. Lyster, L. Bergman, P. Li, D. Stanfill, B. Crippe, R. Blom, and D. Okaya. CASA gigabit supercomputing network: CALCRUST three-dimensional real-time multi-dataset rendering. *Proceedings of Supercomputing'92*, Minneapolis, MN, USA, 1992.
- [Man03] V. Mann and M. Parashar. DISCOVER: a computational collaboratory for interactive grid applications. En *Grid computing: making the global infrastructure a reality*, F. Berman, G. Fox, and A. Hey (eds.), Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons, pp. 729-746, 2003.
- [Mar05] H. Martens and H. Vogten. A reference implementation of a learning design engine. En *A handbook on modelling and delivering networked education and training*, R. Koper and C. Tattersall (eds.), Berlin, Germany: Springer-Verlag, pp. 91-108, 2005.
- [Mar02] J.M. Martins Ferreira, G.R.C. Alves, R. Costa, and N. Hine. Collaborative learning in a web-accessible workbench. *Proceedings of the 8th International Workshop on Groupware (CRIWG 2002)*, La Serena, Chile, Lecture Notes in Computer Science 2440, Springer-Verlag, pp. 25-34, September 2002.
- [Mar04] S. Martín Toral. *Portal web de acceso al entorno grid colaborativo Gridcole*. Proyecto fin de carrera, Universidad de Valladolid, España, Octubre 2004.
- [Mar03a] A. Martínez Monés. *Método y modelo para el apoyo computacional a la evaluación en CSCCL*. Tesis doctoral, Universidad de Valladolid, España, 2003.
- [Mar03b] A. Martínez-Monés, Y. Dimitriadis, B. Rubia-Avi, E. Gómez-Sánchez, and P. Fuente-Redondo. Combining qualitative evaluation and social network analysis for the study of classroom social interactions. *Computers and Education*, vol. 41, num. 4, pp. 353-368, September 2003.
- [Mar05] A. Martínez-Monés, E. Gómez-Sánchez, Y. Dimitriadis, I.M. Jorrín-Abellán, B. Rubia-Avi, and G. Vega-Gorgojo. Multiple case studies to enhance project-based learning in a computer architecture course (accepted for publication). *IEEE Transactions on Education*, 2005.
- [Mes98] P. Messina. Distributed supercomputing applications. En *The Grid: blueprint for a future computing infrastructure*, I. Foster and C. Kesselman (eds.), San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers, pp. 55-74, 1998.
- [Mon03] P.B. Monday. *Web service patterns: Java edition*, New York, NY, USA: Apress, 2003.

- [Mor95] A. Morch. Three levels of end-user tailoring: customization, integration and extension. *Proceedings of the 3rd Decennial Aarhus Conference*, Aarhus, Denmark, pp. 41-45, August 1995.
- [Mor00] A. Morch and N.D. Mehandjiev. Tailoring as collaboration: the mediating role of multiple representations and application units. *Proceedings of the Conference on Computer Supported Cooperative Work (CSCW 2000)*, Philadelphia, PA, USA, pp. 75-100, December 2000.
- [Mul93] M. Muller and S. Kuhn. Participatory design. *Communications of the ACM*, vol. 36, num. 4, pp. 25-28, April 1993.
- [Nar96] Nardi B.A. *Context and consciousness: activity theory and human-computer interactions*, Cambridge, MA, USA: MIT Press, 1996.
- [Nat97] National Institute for Science Education. *Doing collaborative learning: collaborative learning structures*, 1997. URL: <http://www.wcer.wisc.edu/nise/CL1/CL/doingcl/clstruc.htm>. (Última visita en Julio 2005)
- [Nem03] Z. Németh and V. Sunderam. Characterizing grids: attributes, definitions, and formalisms. *Journal of Grid Computing*, vol. 1, num. 1, pp. 9-23, 2003.
- [NS05] Network Simulator 2 project. *ns-2 version 2.28*, February 2005. URL: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>. (Última visita en Agosto 2005)
- [Nie05] M.A. Nieto-Santisteban, J. Grayp, A.S. Szalay, J. Annis, A.R. Thakar, and W.J. O'Mullane. When database systems meet the grid. *Proceedings of the 2nd biennial Conference on Innovative Data Systems Research (CIDR 2005)*, Asilomar, CA, USA, January 2005.
- [OMG03] Object Management Group (OMG). *Model Driven Architecture (MDA) guide version 1.0.1*, Technical Report, June 2003.
- [Ora01] A. Oram (ed.). *Peer-to-peer: harnessing the power of disruptive technologies*, Sebastopol, CA, USA: O'Reilly & Associates, 2001.
- [OAS03] Organization for the Advancement of Structured Information (OASIS). *Web Services for Remote Portlets specification, version 1.0*, Technical Specification, August 2003.
- [OAS04a] Organization for the Advancement of Structured Information (OASIS). *OASIS Web Service Resource Framework technical committee web page*, 2004. URL: http://www.oasis-open.org/committees/tc_home.php?wg_abbrev=wsrf. (Última visita en Julio 2005)

- [OAS04b] Organization for the Advancement of Structured Information (OASIS). *UDDI version 3.0.2*, Technical Specification, October 2004.
- [Osu99] C.A. Osuna Gómez. *Delfos: un marco telemático educativo basado en niveles orientado a situaciones de aprendizaje cooperativo*. Tesis doctoral, Universidad de Valladolid, España, 1999.
- [Pan97] T. Panitz. Collaborative versus cooperative learning: comparing the two definitions helps understand the nature of interactive learning. *Cooperative Learning and College Teaching*, vol. 8, num. 2, Winter 1997 .
- [Pan03] V. Pankratius and G. Vossen. Towards e-learning grids: using grid computing in electronic learning. *Proceedings of the IEEE Workshop on Knowledge Grid and Grid Intelligence, held in conjunction with 2003 IEEE/WIC International Conference on Web Intelligence/Intelligent Agent Technology (WI 2003/ IAT 2003)*, Halifax, Nova Scotia, Canada, pp. 4-15, October 2003.
- [Pap03a] M.P. Papazoglou and D. Georgakopoulos. Service-oriented computing. *Communications of the ACM*, vol. 46, num. 10, pp. 25-28, October 2003.
- [Pap03b] M.P. Papazoglou. Service-oriented computing: concepts, characteristics and directions. *Proceedings of the 4th International Conference on Web Information Systems Engineering (WISE 2003)*, Roma, Italy, pp. 3-13, December 2003.
- [Pel03] S. Peltier, M.E. Martone, S. Lamont, A. Lin, D. Lee, T. Molina, L. Dai, M. Wong, S. Mock, and M.H. Ellisman. The Telescience portal for advanced tomography applications. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, vol. 63, num. 5, pp. 539-550, May 2003.
- [Pos05] PostgreSQL Global Development Group. *PostgreSQL home page*, 2005. URL: <http://www.postgresql.org>. (Última visita en Julio 2005)
- [PCR02] Proyecto de Compartición de Recursos para Aprendizaje Cooperativo (CRAC). *Descripción del proyecto CRAC*, 2002. URL: <http://research.ac.upc.es/crac/>. (Última visita en Julio 2005)
- [Ram95] M.K. Ramamurthy, R.B. Wilhelmson, R.D. Pea, M. Louis, and D.C. Edelson. CoVis: A national science education collaboratory. *Proceedings of the American Meteorological Society 4th Conference on Education* , Dallas, TX, USA, 1995.

- [Raw02] A. Rawlings, P. van Rosmalen, R. Koper, M. Rodríguez-Artacho, and P. Lefrere. *Survey of Educational Modelling Languages (EMLs)*, Technical Report, CEN/ISSS WS/LT, September 2002.
- [Ree00] G. Reese. Distributed application architecture. En *Database programming with JDBC and Java*, Boston, MA, USA: O'Reilly Media, pp. 126-145, 2000.
- [Rek03] V. Reklaitis, K. Baniulis, and T. Okamoto. Shaping e-learning applications for a service oriented grid. *Proceedings of 2nd International LEGE-WG Workshop on e-Learning and Grid Technologies*, Paris, France, March 2003.
- [REL05] Reload Project. *Reusable eLearning Object Authoring & Delivery (RELOAD) editor v2.0*, January 2005. URL: <http://www.reload.ac.uk>. (Última visita en Julio 2005)
- [Rob04] D. Robinson and K. Coar. *The Common Gateway Interface (CGI) version 1.1*, RFC 3875, October 2004.
- [Rod00] M. Rodríguez Artacho. *Una arquitectura cognitiva para el diseño de entornos telemáticos de enseñanza y aprendizaje*. Tesis doctoral, Universidad de Nacional de Educación a Distancia, España, 2000.
- [Rom02] E. Roman, S.W. Ambler, and T. Jewel. *Mastering Enterprise JavaBeans*, 2nd edition, New York, NY, USA: John Willey & Sons, 2002 .
- [Ros95] J. Roschelle and S.D. Teasley. The construction of shared knowledge in collaborative problem solving. En *Computer Supported Collaborative Learning*, C. O'Malley (ed.), New York, USA: Springer-Verlag, pp. 69-97, 1995.
- [Ros99] J. Roschelle, C. DiGiano, M. Koutlis, A. Repenning, J. Phillips, N. Jackiw, and D. Suthers. Developing educational software components. *Computer*, vol. 32, num. 9, pp. 50-58, September 1999.
- [Ros04] P.S. Rosenbloom. A new framework for computer science and engineering. *Computer*, vol. 37, num. 11, pp. 23-28, November 2004.
- [Rou97] M. Roussos, A. Johnson, J. Leigh, C. Barnes, C. Vasilakis, and T. Moher. NICE: combining constructionism, narrative, and collaboration in a virtual learning environment. *Proceedings of the 1997 SIGGRAPH Educator's Program*, Los Angeles, CA, USA, pp. 62-63, August 1997.

- [Sca94] M. Scardamalia and C. Bereiter. Computer support for knowledge-building communities. *The Journal of the Learning Sciences*, vol. 3, num. 3, pp. 265-283, 1994.
- [Sch95] J.L. Schnase and E.L. Cunniss (eds.). *Proceedings of the International Conference on Computer Support for Collaborative Learning (CSCL 1995)*, Bloomington, IN, EEUU, Mahwah, NJ, USA: Lawrence Erlbaum Associates, 1995.
- [Sin04] R.O. Sinnott, M. Atkinson, M. Bayer, D. Berry, A. Dominiczak, M. Ferrier, D. Gilbert, N. Hanlon, D. Houghton, E. Hunt, and D. White. Grid services supporting the usage of secure federated, distributed biomedical data. *Proceedings of UK e-Science All Hands Meeting*, Nottingham, UK, pp. 135-138, August 2004.
- [Sma92] L. Smarr and C. Catlett. Metacomputing. *Communications of the ACM*, vol. 35, num. 6, pp. 44-52, June 1992.
- [Sma04] L. Smarr. Grids in context. En *The Grid 2: blueprint for a future computing infrastructure*, I. Foster and C. Kesselman (eds.), San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Publishers, 2004.
- [Sol01] A.L. Soller. Supporting social interaction in an intelligent collaborative learning system. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, vol. 12, num. 4, pp. 40-62, 2001.
- [Sot03] B. Sotomayor. *Implementación de grid services con el Globus Toolkit 3*. Proyecto Fin de Carrera, Universidad de Deusto, España, Mayo 2003.
- [Spe01] M.J. Spector. An overview of progress and problems in educational technology. *Interactive Educational Multimedia*, num. 3, pp. 27-37, October 2001.
- [Sta02] G. Stahl (ed.). *Proceedings of the International Conference on Computer Support for Collaborative Learning (CSCL 2002)*, Boulder, CO, USA, Hillsdale, NJ, USA: Lawrence Erlbaum Associates, 2002.
- [Ste97] R. Stevens, P. Woodward, T. DeFanti, and C. Catlett. From the I-WAY to the National Technology Grid. *Communications of the ACM*, vol. 40, num. 11, pp. 50-60, November 1997.
- [Sun97] Sun Microsystems. *JavaBeans v1.0.1*, Technical Specification, August 1997.
- [Sun01a] Sun Microsystems. *Java Network Launching Protocol & API specification version 1.5*, Technical Specification JSR-56, May 2001.

- [Sun01b] Sun Microsystems. *JDBC 3.0 specification*, Technical Specification JSR-54, October 2001.
- [Sun03a] Sun Microsystems. *Java 2 platform Enterprise Edition specification v1.4*, Technical Specification JSR-151, November 2003.
- [Sun03b] Sun Microsystems. *Java servlet specification version 2.4*, Technical Specification JSR-154, November 2003.
- [Sun03c] Sun Microsystems. *JavaServer Pages specification version 2.0*, Technical Specification JSR-152, November 2003.
- [Sun04] Sun Microsystems. *Java Web Start version 1.5.0*, 2004. URL: <http://java.sun.com/j2se/1.5.0/docs/guide/javaws/index.html>. (Última visita en Julio 2005)
- [Sut97] D. Suthers and D. Jones. An architecture for intelligent collaborative educational systems. *Proceedings of the 8th World Conference on Artificial Intelligence in Education (AIED'97)*, Kobe, Japan, pp. 55-62, August 1997.
- [Szy03] C. Szyperski. Component technology - what, where and how? *Proceedings of the 25th International Conference on Software Engineering (ICSE'03)*, pp. 684-693, May 2003.
- [Süß02] C. Süß and B. Freitag. LMML - The Learning Material Markup Language framework. *Proceedings of the International Workshop on Interactive Computer Aided Learning (ICL 2002)*, Villach, Austria, September 2002.
- [Tal02] D. Talia. The Open Grid Services Architecture: where the grid meets the web. *IEEE Internet Computing*, vol. 6, num. 6, pp. 67-71, November 2002.
- [Tee02] G. Teege. Reuse of teaching materials in Targeteam. *Proceedings of the International Workshop on Interactive Computer Aided Learning (ICL 2002)*, Villach, Austria, September 2002.
- [Tou05] J. Touriño, M.J. Martín, J. Tarrío, and M. Arenaz. A grid portal for an undergraduate parallel programming course (accepted for publication). *IEEE Transactions on Education*, vol. 48, num. 3, 2005.
- [Van03a] T. Vantroys and Y. Peter. COW, a flexible platform for the enactment of learning scenarios. *Proceedings of the 9th International Workshop on Groupware (CRIWG 2003)*, Grenoble, France, Lecture Notes in Computer Science 2806, Springer-Verlag Heidelberg, pp. 168-182, September 2003.

- [Van03b] T. Vantroys. *Du langage métier au langage technique, une plate-forme flexible d'exécution de scénarios pédagogiques*. Thèse doctorale, Université des Sciences et Technologies de Lille, France, 2003.
- [Vaq05] L.M. Vaquero-González, D. Hernández-Leo, F. Simmross-Wattenberg, M.L. Bote-Lorenzo, J.I. Asensio-Pérez, Y. Dimitriadis, E. Gómez-Sánchez, and G. Vega-Gorgojo. The opportunity of grid services for CSCL application development. *Proceedings of the 13th Euromicro Conference on Parallel, Distributed and Network-based Processing (PDP'05)*, Lugano, Switzerland, pp. 4-11, February 2005.
- [Veg05a] G. Vega-Gorgojo, M.L. Bote-Lorenzo, E. Gómez-Sánchez, Y.A. Dimitriadis, and J.I. Asensio-Pérez. Semantic search of learning services in a grid-based collaborative system. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Collaborative and Learning Applications of Grid Technology and Grid Education (CLAG+Grid.Edu 2005), held in conjunction with the International Symposium on Cluster Computing and the Grid 2005 (CCGRID 2005)*, Cardiff, UK, May 2005.
- [Veg05b] G. Vega-Gorgojo, M.L. Bote-Lorenzo, E. Gómez-Sánchez, Y.A. Dimitriadis, and J.I. Asensio-Pérez. Semantic description of collaboration scripts for service oriented CSCL systems. *Proceedings of the the 12th International Conference on Artificial Intelligence in Education (AIED 2005)*, Amsterdam, The Netherlands, pp. 935-937, July 2005.
- [Vié02] C. Viéville. Learning activities in a virtual campus. En *Digital University - building a learning community*, R. Hazemi and S. Hailes (eds.), Springer-Verlag, pp. 215-227, 2002.
- [Vin02a] S. Vinoski. Web services interaction models, part 1: current practice. *IEEE Internet Computing*, vol. 6, num. 3, pp. 89-91, June 2002.
- [Vin02b] S. Vinoski. Putting the "web" into web services: web services interaction models, part 2. *IEEE Internet Computing*, vol. 6, num. 4, pp. 90-92, July 2002.
- [Vos03] G. Vossen and P. Westerkamp. E-learning as a web service. *Proceedings of the 7th International Engineering and Applications Symposium (IDEAS'03)*, Hong Kong SAR, China, pp. 242-249, July 2003.
- [Vos05] G. Vossen and P. Westerkamp. Provisioning in a service-based e-learning platform (accepted for publication). *Proceedings of the 2nd International Conference on Innovations in Information Technology (ITT 2005)*, Dubai, United Arab Emirates, September 2005.

- [Was98] B. Wasson. *Computer Supported Collaborative Learning: an overview*, Technical Report, University of Bergen, Norway, 1998.
- [Was03] B. Wasson (ed.). *Proceedings of the International Conference on Computer Support for Collaborative Learning (CSCL 2003)*, Bergen, Norway, Kluwer Academic Publisher, 2003.
- [Was04] G. Wasson, N. Beekwilder, M. Morgan, and M. Humphrey. OGSI.NET: OGSI-compliance on the .NET framework. *Proceedings of the International Symposium on Cluster Computing and the Grid 2004 (CCGRID 2004)*, Chicago, IL, USA, pp. 119-125, April 2004.
- [Wes02] S. Wesner, K. Wulf, and M. Müller. How grid could improve e-learning in the environmental science domain. *Proceedings of the 1st LEGE-WG International Workshop on e-Learning and Grid Technologies*, Laussane, Switzerland, September 2002.
- [WMC95] Workflow Management Coalition. *The workflow reference model*, Technical Specification, January 1995.
- [W3C01] World Wide Web Consortium (W3C). *Web Services Description Language (WSDL) 1.1*, Technical Specification, March 2001.
- [W3C03] World Wide Web Consortium (W3C). *SOAP version 1.2, part 1: messaging framework*, Technical Specification, June 2003.
- [Woz05] J.M. Wozniak, A. Striegel, D. Salyers, and J.A. Izaguirre. GIPSE: streamlining the management of simulation on the grid. *Proceedings of the 38th Annual Simulation Symposium (ANSS'05)*, San Diego, CA, USA, pp. 130-137, April 2005.
- [Xha04] F. Xhafa, S. Caballé, T. Daradoumis, and N. Zhou. A grid-based approach for processing activity log file. *Proceedings of the 1st Workshop on Grid computing and its Application to Data Analysis (GADA 2004)*, held in conjunction with *On the Move Federated Confernces 2004 (OTM'04)*, Nicosia, Cyprus, pp. 175-186, October 2004.
- [Xu03] X. Xu, Z. Yin, and Abdulmotaleb E.S. A web services oriented framework for dynamic e-learning systems. *Proceedings of the Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE 2003)*, Montreal, Canada, pp. 943-946, May 2003.
- [Zha04] L.J. Zhang, H. Li, and H. Lam. Services computing: grid applications for today. *IT Professional*, vol. 6, num. 4, pp. 3-7, July 2004.