



# Universidad de Alcalá

Departamento de  
Ciencias de la Computación

TESIS DOCTORAL

Propuesta de un sistema multi-agente para la  
adaptación de contenidos docentes a las  
competencias, contexto y dispositivo del usuario

Autor:  
D. Antonio García Cabot

2013





Dña. **Teresa Díez Folledo**, Profesora Titular de Universidad del Área de Lenguajes y Sistemas Informáticos, en calidad de Directora del Departamento de Ciencias de la Computación.

**CERTIFICO:** Que la Tesis Doctoral titulada “**Propuesta de un sistema multi-agente para la adaptación de contenidos docentes a las competencias, contexto y dispositivo del usuario**” realizada por D. Antonio García Cabot, dirigida por el Dr. D. José Antonio Gutiérrez de Mesa y co-dirigida por el Dr. D. Luis de Marcos Ortega, reúne los requisitos para su presentación y defensa pública.

Y para que así conste, firman la presente en Alcalá de Henares, a 20 de marzo de 2013.

La Directora del Departamento de Ciencias de la Computación

Dña. Teresa Díez Folledo







**Dr. D. José Antonio Gutiérrez de Mesa**, Titular de Universidad del Área de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial del Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Alcalá.

**Dr. D. Luis de Marcos Ortega**, Profesor Ayudante Doctor del Área de Ciencias de la Computación e Inteligencia Artificial del Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Alcalá.

HACEN CONSTAR:

Que, una vez concluido el trabajo de tesis doctoral titulado: **“Propuesta de un sistema multi-agente para la adaptación de contenidos docentes a las competencias, contexto y dispositivo del usuario”** realizado por D. Antonio García Cabot, dicho trabajo tiene suficientes méritos teóricos, que se han contrastado adecuadamente mediante validaciones experimentales y que son altamente novedosos. Por todo ello consideran que procede su defensa pública.

Y para que así conste, firman la presente en Alcalá de Henares, a 20 de marzo de 2013.

El Director de la Tesis

El Codirector de Tesis

Dr. José Antonio Gutiérrez de Mesa

Dr. Luis de Marcos Ortega



Universidad  
de Alcalá



Universidad  
de Alcalá





# Universidad de Alcalá

ESCUELA DE POSTGRADO

Programa de Doctorado

Ingeniería de la Información y del Conocimiento

TESIS DOCTORAL

Propuesta de un sistema multi-agente para la  
adaptación de contenidos docentes a las  
competencias, contexto y dispositivo del usuario

Autor:

D. Antonio García Cabot

Directores:

Dr. D. José Antonio Gutiérrez de Mesa

Dr. D. Luis de Marcos Ortega



A Eva por su incondicional  
ayuda y apoyo durante todo  
este tiempo... ¡Gracias!



# Agradecimientos

---

Quiero agradecer, en primer lugar, a los directores de la tesis, Dr. José Antonio Gutiérrez de Mesa y Dr. Luis de Marcos Ortega, su ayuda, paciencia, consejos y apoyo durante todos estos años.

También quiero expresar mi agradecimiento a las instituciones y al personal de las Universidades de Lund (Suecia), Oxford Brookes (Reino Unido) y Metropolia (Finlandia) que tan amablemente me han ofrecido sus instalaciones y ayuda durante mis estancias de investigación en el extranjero. Agradecimiento especial a los profesores Mario Natiello (Centre for Mathematical Sciences) y Fernando Flores (Institutionen för kulturvetenskaper) de la Universidad de Lund, a la profesora Rachel Harrison (Department of Computing and Communication Technologies) de la Universidad de Oxford Brookes, y al profesor Markku Karhu (School of Interation & Communication Technology) de la Universidad de Metropolia.

Finalmente quiero agradecer a todos los miembros de los grupos de investigación TIFyC (Tecnologías de la Información para la Formación y el Conocimiento) y PMI (Plataformas Móviles Inteligentes) del Departamento de Ciencias de la Computación de la Universidad de Alcalá su ayuda y apoyo durante todos estos años de trabajo.

# Acknowledgements

---

First of all I want to thank my thesis advisors, Dr. José Antonio Gutiérrez de Mesa y Dr. Luis de Marcos Ortega, for their help, patience, advice and support during these years.

Likewise I want to express my gratefulness to the institutions and people from the Lund University (Sweden), Oxford Brookes University (United Kingdom) and Metropolia University (Finland) that have kindly offered their facilities and help during my research stays outside of Spain. I specially appreciate the help provided by Professor Mario Natiello (Centre for Mathematical Sciences) and Professor Fernando Flores (Institutionen för kulturvetenskaper) from Lund University, Professor Rachel Harrison (Department of Computing and Communication Technologies) from Oxford Brookes University and Professor Markku Karhu (School of Interation & Communication Technology) from Metropolia University.

Finally I want to thank all the people of the ITEK (Information Technology for Education and Knowledge) and IMP (Intelligent Mobile Platforms) research groups in the Computer Science Department of the University of Alcalá for their help and support during these years of work.



# Resumen

---

El e-learning ha supuesto una revolución en los últimos años en el ámbito de la enseñanza. Esto, combinado con el incremento del uso de los dispositivos móviles ha propiciado la aparición del m-learning, y por consiguiente la aparición de nuevos problemas y retos en el ámbito de la enseñanza y de las nuevas tecnologías. Mostrar adecuadamente (teniendo en cuenta el tipo de dispositivo utilizado) los contenidos docentes al alumno o seleccionar aquellos materiales educativos más adecuados en base al contexto del mismo son algunos de los retos planteados en el presente trabajo.

El problema planteado en la presente tesis es la necesidad de dotar a los sistemas de formación de sensibilidad al contexto y al dispositivo móvil, de tal forma que se adapten los contenidos docentes al alumno en función de estos parámetros. Para resolver dicho problema, se propone el diseño de un nuevo sistema multi-agente capaz de adaptar los contenidos docentes al contexto, competencias y dispositivo móvil del alumno. A raíz del sistema propuesto se desarrolla un prototipo y se llevan a cabo tres casos de estudio: uno de tipo teórico y dos casos reales, con dispositivos móviles y alumnos reales. Los resultados muestran que el sistema propuesto tiene éxito en los tres casos de estudio y es capaz de resolver satisfactoriamente el problema planteado. Sin embargo, los resultados también indican que habría que seguir investigando, sobre todo en lo relativo a las cuestiones pedagógicas y la forma de integrar estos desarrollos en las acciones formativas, para que tengan impacto en los resultados académicos.

# Abstract

---

E-learning has been a revolution in recent years in the training field. This, combined with the increased use of the mobile devices has caused the emergence of the m-learning. Hence new problems and challenges have appeared in training and new technologies fields, such as showing correctly learning contents in a mobile device that has restricted features or taking into account the learner's context in the learning process.

The posed problem in this work is to build context-aware e-learning systems with adaptation to mobile devices for adapting learning contents to these parameters. For solving this problem, a new multi-agent system is proposed, which is able to adapt learning contents based on learner's context, competences and mobile device. Based on the designed system, a prototype has been developed and tested in three case studies: one theoretical case and two real cases, with real learners and mobile devices. Results show the proposed system succeeds the three case studies and it is able to solve the posed problem. However, results also indicate it is necessary to continue researching about pedagogical issues and how to integrate these systems in the learning process for improving the academic results.



## Tabla de contenidos / Table of Contents

English Abstract.....	7
1. Introduction.....	7
2. Background and related work.....	9
2.1. The use of mobile devices in training process .....	9
2.2. Context-based adaptation.....	11
2.3. Adaptation of contents for mobile devices.....	13
3. Multi-Agent system proposed.....	15
3.1. Logical Sequencing Agent.....	15
3.2. Federated Search Agent.....	17
3.3. Device Agent.....	17
3.4. Context Agent.....	18
3.5. Manager Agent.....	19
4. Cases study and results .....	19
4.1. Case study 1: Using the system with a real syllabus .....	20
4.1.1. Hypothetical learner 1 .....	22
4.1.2. Hypothetical learner 2 .....	23
4.1.3. Case study 1 results .....	24
4.2. Case study 2: Using the system with different mobile devices.....	25
4.3. Case study 3: Using the system in a real case .....	28
4.3.1. Introduction to the case study.....	28
4.3.2. Case study 3 results .....	29
4.3.2.1. System usage analysis.....	34
4.3.2.2. Experimental group satisfaction questionnaire.....	38
5. Conclusions and future work .....	40
References .....	42
1. Introducción .....	45

1.1.	Justificación de la investigación .....	45
1.2.	Objetivo de la tesis .....	47
1.3.	Metodología .....	47
1.4.	Estructura del documento.....	48
2.	Estado del Arte .....	51
2.1.	E-Learning.....	51
2.1.1.	Evolución Histórica .....	51
2.1.2.	Sistemas de Gestión del Aprendizaje .....	56
2.1.2.1.	Learning Management Systems.....	58
2.1.2.2.	Learning Content Management Systems.....	63
2.1.3.	Integración de los dispositivos móviles en el aprendizaje .....	68
2.1.4.	Estandarización .....	72
2.1.4.1.	Concepto de Estándar.....	72
2.1.4.2.	El proceso de estandarización .....	74
2.1.4.3.	Estándares de e-learning .....	75
2.1.4.4.	Tipos de estándares e-learning.....	76
2.1.4.5.	Beneficios de los estándares e-learning .....	77
2.1.4.6.	IEEE LTSA.....	79
2.1.4.7.	IEEE LOM .....	84
2.1.4.8.	SCORM .....	88
2.2.	Sistemas de Adaptación .....	91
2.2.1.	E-learning adaptativo .....	91
2.2.2.	Adaptación al contexto .....	94
2.2.2.1.	Definición de contexto.....	94
2.2.2.2.	Modelado del contexto.....	97
2.2.2.3.	Sistemas de adaptación al contexto .....	107
2.2.3.	Adaptación al dispositivo móvil.....	108
2.2.3.1.	Definición de características de los dispositivos móviles .....	109

2.3.	Sistemas Multi-agente.....	116
2.3.1.	Agentes Inteligentes.....	116
2.3.2.	Sistemas Multi-Agente .....	117
2.3.3.	Sistemas Multi-Agente en E-learning.....	118
3.	Aportación Propuesta .....	121
3.1.	Estudio sobre la utilización de los dispositivos móviles.....	121
3.2.	Diseño del Sistema Propuesto.....	125
3.2.1.	Agentes.....	126
3.2.1.1.	Agente de Secuenciación.....	127
3.2.1.2.	Agente de Búsqueda Federada.....	130
3.2.1.3.	Agente de Dispositivo .....	133
3.2.1.4.	Agente de Contexto .....	134
3.2.1.5.	Agente Gestor .....	135
3.2.2.	Diseño inicial propuesto.....	136
3.2.3.	Optimización y diseño final propuesto.....	139
3.3.	Prototipo del sistema .....	141
3.3.1.	Recolección de datos del alumno.....	142
3.3.2.	Secuenciación.....	143
3.3.3.	Selección del objeto docente .....	145
4.	Experimentación y Resultados .....	147
4.1.	Experimento 1: Utilización del sistema con un plan de estudios real.....	147
4.1.1.	Sujeto hipotético 1 .....	150
4.1.2.	Sujeto hipotético 2 .....	152
4.1.3.	Resultados del experimento 1.....	154
4.2.	Experimento 2: Utilización del sistema con diferentes dispositivos móviles	155
4.3.	Experimento 3: Utilización del sistema en un entorno de aprendizaje real.	160
4.3.1.	Planteamiento del experimento 3.....	161
4.3.2.	Resultados del experimento 3.....	162

4.3.2.1.	Análisis Grupo Experimental y Grupo de Control 1 .....	164
4.3.2.2.	Análisis Grupo Experimental y Grupo de Control 2 .....	169
4.3.2.3.	Análisis de uso del Sistema por parte del Grupo Experimental.....	173
4.3.2.4.	Encuesta de satisfacción del Grupo Experimental.....	183
5.	Conclusiones y Futuro Trabajo .....	185
5.1.	Conclusiones.....	185
5.2.	Futuro trabajo .....	190
	Referencias.....	193
	Anexo I: Instrumento del estudio .....	201

## Tabla de Figuras

Figura 1.	Esquema de componentes de un LMS.....	62
Figura 2.	Integración de LMS y LCMS.....	65
Figura 3.	Componentes de un LCMS .....	66
Figura 4.	Arquitectura General M-Learning (Trifonova and Ronchetti, 2004).....	69
Figura 5.	Áreas afectadas por los estándares de e-learning.....	76
Figura 6.	Capas de abstracción-implementación identificadas en el LTSA. ....	81
Figura 7.	Componentes del sistema en la LTSA.....	82
Figura 8.	Esquema base LOM.....	87
Figura 9.	Estructura general de SCORM.....	89
Figura 10.	Clasificación de los sistemas de aprendizaje adaptativo (Verdú et al., 2008).....	92
Figura 11.	Contexto categorizado (Kim et al., 2005).....	95
Figura 12.	Contextos más frecuentemente experimentados (Kim et al., 2005).....	96
Figura 13.	Ejemplo de perfil CSCP .....	98
Figura 14.	Ejemplo de clasificación del contexto usando UML (Bauer et al., 2003) .....	99
Figura 15.	Modelado de un hecho binario y terciario usando ORM (Henricksen et al., 2003) .	99
Figura 16.	Estudio, ¿cuántos dispositivos móviles utiliza habitualmente?.....	122
Figura 17.	Estudio, nivel de experiencia utilizando dispositivos móviles .....	122
Figura 18.	Estudio, ¿ha utilizado alguna vez un dispositivo móvil en e-learning?.....	123
Figura 19.	Estudio, ¿piensa que un dispositivo móvil puede serle de utilidad en e-learning? 123	
Figura 20.	Estudio, ¿para qué lo ha utilizado principalmente? .....	124
Figura 21.	Diseño general del Sistema Multi-Agente .....	126
Figura 22.	Intervalos de confianza para cada algoritmo (de-Marcos et al., 2011a) .....	129
Figura 23.	Arquitectura LORA-SC (Ortiz Baíllo, 2009).....	130
Figura 24.	Agente de búsqueda federada basado en LORA-SC .....	132
Figura 25.	Diseño inicial del Sistema Multi-Agente .....	136
Figura 26.	Ejemplo de resultados del Agente de Búsqueda Federada.....	137
Figura 27.	Diseño del sistema inicial (izquierda) y diseño del sistema optimizado (derecha) 139	
Figura 28.	Diseño final del sistema .....	140
Figura 29.	Selección del contexto del alumno.....	142
Figura 30.	Selección de las competencias del alumno.....	143
Figura 31.	Mostrado del plan de estudios personalizado.....	144
Figura 32.	Selección del objeto docente .....	145
Figura 33.	Visionado del objeto docente .....	146
Figura 34.	Grafo de la asignatura de Usabilidad.....	149
Figura 35.	Secuenciación simulada para el Sujeto 1.....	151
Figura 36.	Adaptación al contexto para el Sujeto 1.....	151

Figura 37.	<i>Secuenciación simulada para el Sujeto 2</i> .....	153
Figura 38.	<i>Adaptación al contexto para el Sujeto 2</i> .....	154
Figura 39.	<i>Porcentajes de aceptación de los diferentes formatos</i> .....	157
Figura 40.	<i>Blackberry 9360 (izda.), Blackberry 9860 (centro) y HTC Desire (dcha.)</i> .....	158
Figura 41.	<i>HTC Magic (izda.), HTC Radar (centro) y HTC Wildfire (dcha.)</i> .....	158
Figura 42.	<i>iPad 2 (izda.), iPhone 4 (centro) y LG L3 E400 (dcha.)</i> .....	159
Figura 43.	<i>Nokia Asha 302 (izda.), Nokia Lumia 610 (centro) y Nokia Lumia 710 (dcha.)</i> .....	159
Figura 44.	<i>Samsung G. Mini (izda.), Samsung G. SIII (centro) y Samsung G. Nexus (dcha.)</i> ...	159
Figura 45.	<i>Samsung Omnia W (izda.) y Sony Xperia U (dcha.)</i> .....	160
Figura 46.	<i>Gráfica de cajas del Test de Evaluación (Grupos E y C1)</i> .....	165
Figura 47.	<i>Gráfica de cajas del Trabajo Intermedio (Grupos E y C1)</i> .....	166
Figura 48.	<i>Gráfica de intervalos del Trabajo Intermedio (Grupos E y C1)</i> .....	166
Figura 49.	<i>Gráfica de cajas del Trabajo Final (Grupos E y C1)</i> .....	167
Figura 50.	<i>Gráfica de intervalos del Trabajo Final (Grupos E y C1)</i> .....	167
Figura 51.	<i>Gráfica de cajas de la Nota Final (Grupos E y C1)</i> .....	168
Figura 52.	<i>Gráfica de intervalos de la Nota Final (Grupos E y C1)</i> .....	168
Figura 53.	<i>Gráfica de cajas del Test de Evaluación (Grupos E y C2)</i> .....	170
Figura 54.	<i>Gráfica de cajas del Trabajo Intermedio (Grupos E y C2)</i> .....	171
Figura 55.	<i>Gráfica de intervalos del Trabajo Intermedio (Grupos E y C2)</i> .....	171
Figura 56.	<i>Gráfica de cajas del Trabajo Final (Grupos E y C2)</i> .....	172
Figura 57.	<i>Gráfica de intervalos del Trabajo Final (Grupos E y C2)</i> .....	172
Figura 58.	<i>Gráfica de cajas de la Nota Final (Grupos E y C2)</i> .....	173
Figura 59.	<i>Contextos disponibles en el sistema adaptativo</i> .....	174
Figura 60.	<i>Distribución del contexto: Motivo del aprendizaje</i> .....	174
Figura 61.	<i>Distribución del contexto: Nivel de motivación</i> .....	175
Figura 62.	<i>Distribución del contexto: Uso del dispositivo móvil</i> .....	175
Figura 63.	<i>Distribución del contexto: En movimiento</i> .....	176
Figura 64.	<i>Distribución del contexto: Distracciones visuales</i> .....	176
Figura 65.	<i>Distribución del contexto: Distracciones auditivas</i> .....	177
Figura 66.	<i>Distribución del contexto: Rodeado de otras personas</i> .....	177
Figura 67.	<i>Distribución del contexto: Interactuando con otras personas</i> .....	178
Figura 68.	<i>Distribución del contexto: Nivel de motivación (Alumnos móvil)</i> .....	179
Figura 69.	<i>Distribución del contexto: Uso del dispositivo móvil (Alumnos móvil)</i> .....	179
Figura 70.	<i>Distribución del contexto: En movimiento (Alumnos móvil)</i> .....	180
Figura 71.	<i>Distribución del contexto: Distracciones visuales (Alumnos móvil)</i> .....	180
Figura 72.	<i>Distribución del contexto: Distracciones auditivas (Alumnos móvil)</i> .....	181
Figura 73.	<i>Distribución del contexto: Rodeado de otras personas (Alumnos móvil)</i> .....	181
Figura 74.	<i>Distribución del contexto: Interactuando con otras personas (Alumnos móvil)</i> ....	182

# English Abstract

---

**Dissertation Title:** A proposal of a multi-agent system for adapting learning contents to user competences, context and mobile device

**Author:** Antonio García Cabot

**Advisors:** José Antonio Gutiérrez de Mesa, Ph.D., Luis de Marcos Ortega, Ph.D.

## 1. Introduction

E-Learning has brought a revolution in recent years in the field of education. It is based on using ICT (Information and Communications Technology), and its most important feature is the possibility of offering distance learning. This feature is usually highlighted as the main advantage of e-learning; however, the minimum hardware requirement is having a personal computer, which may involve a certain weakness of these systems relating to the location of the learner. The independence of the location is not fulfilled with a laptop, because a real independence in time and location means learning where and when a learner wants, having access to the contents at all times [1].

For these reasons mobile learning (m-learning) has appeared, which is an evolution of e-learning based on the use of mobile devices. One advantage of this kind of systems is the availability of these devices, because at present the majority of the population has a mobile device most of the day [2]. Nowadays there is a technologic revolution with the emergence of these devices, as people have incorporated them as one more tool in their daily lives, not only as a tool for social communication, but for leisure and work tasks, and in the learning process. From this point of view, the learner now may have different devices when learning, with different features and limitations.

These devices can be used anytime and anywhere, so the context of the learner also varies depending on his or her location.

Therefore, the problem presented in this doctoral thesis is the need to provide context and mobile device awareness to the learning systems, so that learning contents are adapted to the learner based on these parameters.

As indicated above, the m-learning emerges as mobile learning technology, so it could be a very powerful and important tool for learning, but it can also present some challenges and/or difficulties. Some of these challenges are listed below, since they have also been a motivation for writing this thesis.

- There are many types and models of mobile devices with different operating systems and features, this means that not all devices support and reproduce the same files and formats. Consequently, not all devices could show the same learning contents because they would depend on the device features. For example, if a learning content is a video and the learner's device does not support the video format, then the learning content cannot be shown. On the other hand, one of the most important disadvantages of mobile devices is their small size [3], which may pose some limitations for some learning contents, for example, large images, may be uncomfortable for a small device.
- The nature of mobile devices (the ability to use them anywhere) means that a learner can learn in different conditions and situations. This is usually called context [4]. For this reason, each learner has different contexts and situations where he/she can use his/her mobile device for learning. On the other hand, there may be some learning contents not suitable for certain contexts (for example, playing audio when the learner is around people or in a noisy environment).
- Learners have different competences previously acquired and it would be interesting to adapt the learning contents to these competences [5], because this way the learning process could be customized and optimized for the learner [6].

For all above, this doctoral thesis proposes the creation of a multi-agent system able to (1) adapt learning contents to different kinds of mobile devices and (2) to the learner's context, and also to (3) adapt subjects or courses to the competences of each learner.

Section 2 of this abstract shows the background and work related to the research topics (m-learning in training process, context-based adaptation and adaptation of contents for mobile devices). Section 3 describes the proposed system in order to solve the problem indicated in the introduction. Section 4 explains the results obtained after the completion of three experiments with the developed system and finally in Section 5 conclusions and future work are discussed.

## 2. Background and related work

The related work is subdivided in four groups: (1) the use of mobile devices in training process, (2) context-based adaptation, (3) contents adaptation for mobile devices and (4) competences-based adaptation.

### 2.1. The use of mobile devices in training process

Nowadays, training with e-learning must be done through LMS (Learning Management System) systems, but these systems usually do not support an appropriate access with a mobile device, e.g. the contents are huge for a small screen. So it is difficult to access using the web browser of the mobile device to view the learning contents [7].

Trifonova and Ronchetti [8] propose an architecture (Figure 1) for supporting the mobile devices in LMS systems. For this purpose, a learning environment should have at least these three new functionalities:

- Context Discovery
- Mobile Content Management and Presentation Adaptation
- Packaging and Synchronization

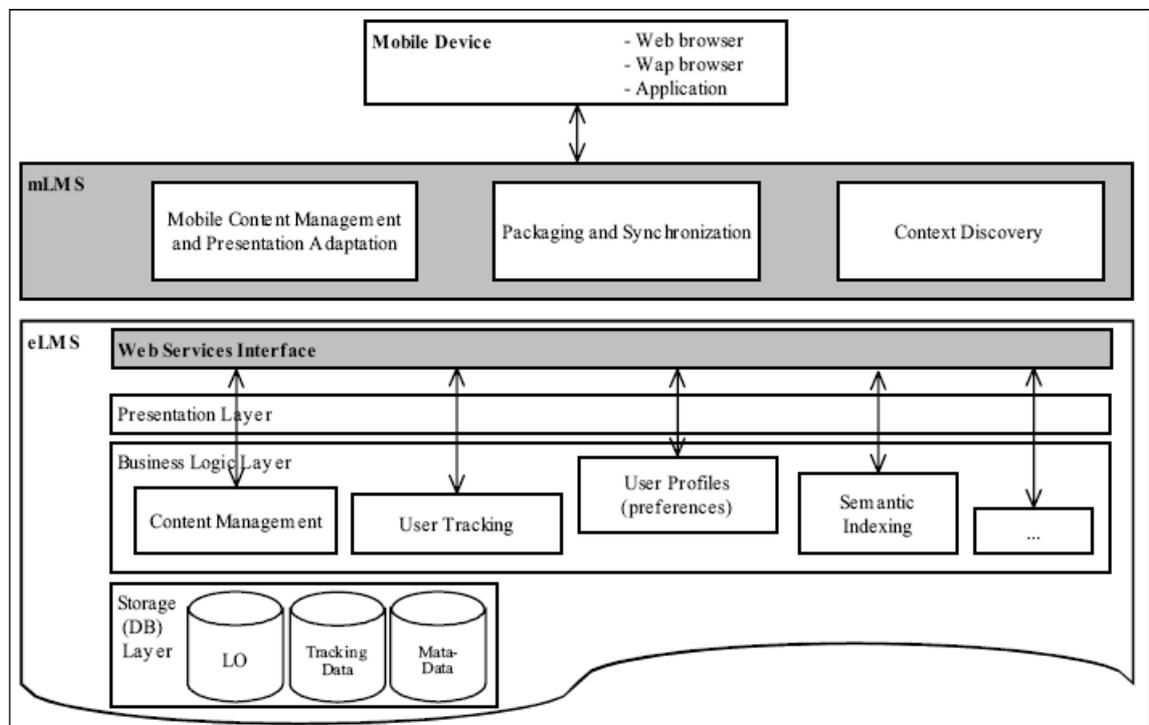


Figure 1. General m-Learning architecture [8]

The first functionality provides context information about the learner and his/her environment: features of the mobile device, location of the learner/device, temporal information, etc. The second functionality uses this information and adapts the contents to the learner and the device needs, and it can include adaptation of the structure, of the media format, quality or even type, etc. The third functionality allows keeping the contents uploaded when the learner is offline.

These authors have tested this architecture in a real project [9], called ELDIT (Elektronisches Lernerwörterbuch Deutsch-Italienisch). This is a real e-learning system for training in languages that has been adapted to support access through mobile devices.

The most important issue found by these authors is the difference in the level of connectivity of the learner between an e-learning system and a m-learning system. In an e-learner system the learner is usually connected to the system but in a m-learning system the learner would not always be connected to the system because he/she would have disconnection periods: connection cost, infrastructure problems, etc.

At this point it is worth mentioning the difference between the terms 'Adaptable' and 'Adaptive'. 'Adaptable' means that the adaptation of the contents is done manually and beforehand, while 'adaptive' means that the adaptation of the contents can be automatically done at the moment by the system. ELDIT is only adaptable but not adaptive.

Capuano *et al.* [10] propose an architecture called IWT (Intelligent Web Teacher). This architecture is flexible and easily expandable with new functions. It allows training with simple courses and intelligent courses, the latter having the possibility of being personalized for the learners. The engine of the platform adapts the content to the mobile devices using the tool called Microsoft Mobile Internet Toolkit, which allows building web contents using adapted controls for mobile devices. The contents are managed as 'pills' or packages based on SMSs (Short Message Service). A SMS can contain questionnaires and the learner can respond to these questions by sending a SMS to the platform.

Sharma [7] proposes a web services-based architecture for integrating mobile devices in the training process and introduces mobile devices as a tool that the teacher can use for distributing tasks to the learners.

According to Sharma, there are two approaches for m-learning: the first is a simple access with a mobile device to a traditional LMS system and therefore the e-learning becomes m-learning without any additional changes. The second approach is taking into account the

environment and the location of the learner when he/she connects to the LMS with a mobile device.

The architecture is divided in different layers:

- Application layer: different services are available for teachers and learners. This is the point of interaction between teachers and learners. The other layers are transparent to the students.
- Integration layer: it allows working with different providers of Web Services.
- Web layer: the network protocols used allow using the Internet as communication channel.
- Delivery devices layer: it is used for distributing the contents to the mobile devices. The content can be personalized depending on the mobile device.
- Human layer: teachers and administrators can use this layer to manage the different services of the platform.

## 2.2. Context-based adaptation

The general definition of the term 'context', as found on the Cambridge Dictionaries Online is "the situation within which something exists or happens, and that can help explain it". More specifically, in computing, the term 'context' can be defined as "any information that can be used to characterize the situation of an entity. An entity is a person, place, or object that is considered relevant to the interaction between a user and an application, including the user and applications themselves" [11]. In computing, another term related to context is also used, 'context-aware computing', which was first defined in 1994 by Schilit *et al.* as "One challenge of mobile distributed computing is to exploit the changing environment with a new class of applications that are aware of the context in which they are run. Such context-aware software adapts according to the location of use, the collection of nearby people, hosts, and accessible devices, as well as to changes to such things over time." [12]. Other authors indicate that a system or an application is 'context-aware' if "it uses context to provide relevant information and/or services to the user, where relevancy depends on the user's task." [11].

An empirical study was done by Kim *et al.* [13], whose main aim was to detect the relevant context used in mobile Internet. The context information was categorized in two types (Figure 2), (1) personal contexts and (2) environmental contexts. The first refers to information about the people who are using the mobile device, e.g. the emotional (joyful or depressed) and physical (moving or standing) states of the users are considered as personal

contexts. On the other hand, the second type describes the outer circumstances of mobile Internet users, e.g. the user's location as well as the number of people in close physical proximity to the user are considered environmental contexts.

Context	Personal Context	Internal Context	Goal
			Emotion
		External Context	Hand
			Leg
	Environmental Context	Physical Context	Visual Distraction
			Auditory Distraction
		Social Context	Co-location
			Interaction

Figure 2. Categorized context [13]

Personal context is subcategorized in Internal and External context. The first refers to intrinsic aspects on the user's minds, i.e., why the user uses mobile device and how he/she is feeling while using it. Therefore, the subcategories of Internal context are the purpose of use (Goal) and the state of feeling (Emotion). External context is related with the physical body of the user, and it is subcategorized in two components: Hand and Leg. Hand indicates the number of hands used to manipulate the mobile device, and Leg indicates if the user is moving or is not moving while he/she is using the mobile device.

Environmental context is divided into two categories: Physical and Social context. Physical context describes the distractions that surround the user, considering distraction as visual and auditory distraction. Visual distraction indicates how much visual information is around the user, e.g., using the mobile device while the user is watching TV, and auditory distraction refers to the degree of noise in the user's environment, e.g., listening to music or traffic noise.

On the other hand, the second component of the environmental context is the social context, which is subdivided in two components: Co-location and Interaction. Co-location refers to how many people are around the user and interaction indicates how much interaction he/she has with them.

The empirical study was completed with 1552 effective sessions of participants and these sessions were classified in 256 different contexts (8 potential contexts: Goal, Emotion, Hand, ..., with 2 possible values each,  $2^8=256$  potential contexts). The results showed that the

users used the mobile device most frequently in two specific contexts: the most frequent context was when participants had a hedonic goal, their emotional state was joyful, only one hand was used, their legs were not moving, visual and auditory distractions were low, few people were around them, and their interaction was low. The second most frequently experienced context was the same as the first one except that their goal was utilitarian rather than hedonic.

The results also showed that there are many potential contexts, 99 of 256, in which the users never used the mobile device.

Having context defined and categorized, some works about context-based adaptation have been reviewed for establishing a solid base for this work.

Martin *et al.* [14] propose a new system of context-based adaptation for m-learning. Here the contexts considered are the idle time of the user (e.g. time in which the user is waiting for a bus), the information related to the location of the user and the type of his/her mobile device.

The adaptation is implemented in three steps:

- Structure-based adaptation: the aim of this type of adaptation is supporting the selection of activities which are proposed to the learners. These activities can be different according to the learner and his/her requirements.
- Context-based general adaptation: this adaptation supports the inclusion/exclusion of activities from the activities list of a learner according to his/her particular context.
- Individual adaptation: this adaptation takes into account the specific conditions that must be met for an activity to take place.

Lemlouma *et al.* [4] indicate that an adaptation in a system is needed because the users' preferences change while he/she is using a system, this would be impossible with previous adaptation and it is necessary to use a dynamic adaptation mechanism. This mechanism is based in the use of the HTTP headers (Figure 5) for identifying the type of mobile devices and the use of scripts files and XSLT sheets for adapting the content to the requirements of the user and his/her mobile device.

## **2.3. Adaptation of contents for mobile devices**

The increase of multimedia technologies such as images, videos, audios, web contents, etc. has allowed for improving the learners' experience; however, many learning contents may

not be used in a m-learning environment due to mobile devices capabilities (reduced memory, limited screen sizes, etc.) [15]. Because of this, the contents adaptation to mobile devices is very important.

The mobile content adaptation, according to [16], commonly consists of content filtering, application filtering, polymorphic presentation and content classification.

- Content filtering: content is selected and presented taking into account the learning situation of the learner, e.g., a student sitting in a cafe may want to perform some learning task using his/her mobile device.
- Application filtering: depending on a learning method the same content is to be provided by different applications.
- Polymorphic presentation: learning content could be presented with different levels of detail (this could be considered as synonym of content transformation by some authors [17]), e.g., showing a complete content or a presentation as slides.
- Content classification: this method is based on content and application filtering, a list of learning contents are presented, from which the learner can decide what learning object he/she wants to achieve.

As part of this classification, different mobile adaptation approaches have been categorized by W3C (World Wide Web Consortium) [15]. This categorization is focused on where the adaptation is performed: client-side, server-side or proxy-based.

Based on the limited capabilities of an adaptation in a client-side and the opportunities that the distributed systems offer for content adaptation in the server-side, Gómez *et al.* [17][18] propose an adaptation process. This process is subdivided into two processes (1) adaptation process at design-time and (2) adaptation process at run-time.

The first sub-process uses IMS-LD (IMS-Learning Design) [19], a standard that provides a generic and flexible language to model and implement the learning design and expresses different pedagogies in XML language. This standard is used for making decisions of which learning objects may be showed or hid. So, this sub-process proposes a content transformation task with the main aim of changing the properties of some multimedia resources to others, e.g., WAV format files can be converted to MP3 formats or changing text to speech or vice-versa.

On the other hand, the adaptation at run-time is done when the learner is interacting with the LMS system. If the user uses a mobile device that does not meet the requirements for

showing the learning contents a new transcoding process must be carried out. In order to detect the learner's mobile device capabilities the specification WURFL (Wireless Universal Resource File) [20] is used.

WURFL is a based-XML repository of capabilities for mobile devices. It contains information about more than 7000 different mobile devices. For a particular mobile device, some interesting capabilities are showed, such as screen resolution (width and height), reproducible multimedia formats, etc.

There are some alternatives for describing the capabilities of mobile devices, e.g., UAProf (User Agent Profile) [21]. UAProf is based on CC/PP (Composite Capabilities/Preference Profiles) specification of W3C and its goal is to include, in the HTTP (Hypertext Transfer Protocol) header, a file reference where the capabilities are described. But this alternative presents some drawbacks, (1) the use of UAProf in the HTTP header depends on the manufacturer (not all mobile devices actually use UAProf in their HTTP headers) and (2) about 20% links are broken, according of the statistics of UAProf webpage.

### **3. Multi-Agent system proposed**

The main aim of this work is proposing a new design of a multi-agent system (Figure 3) able to adapt the learning contents to the learner's context, to his/her mobile device and to his/her competences. Five different agents have been designed to carry out this task, whose work collaboratively make up a multi-agent system.

The designed system has three elements as inputs: the learner's competences, the features of his/her mobile device, his/her current context and the learner's syllabus. The output will be a course adapted (a set of learning objects) to these parameters. Each of the agents is explained below with their inputs and outputs.

#### **3.1. Logical Sequencing Agent**

The logical sequencing agent establishes a sequence of the topics or subjects that the learner has in his/her syllabus. This problem is represented as a Permut-CSP (Constraint Satisfaction Problem) [22] where the topics/subjects are the elements to permute and their prerequisites and the competences obtained are the restrictions.

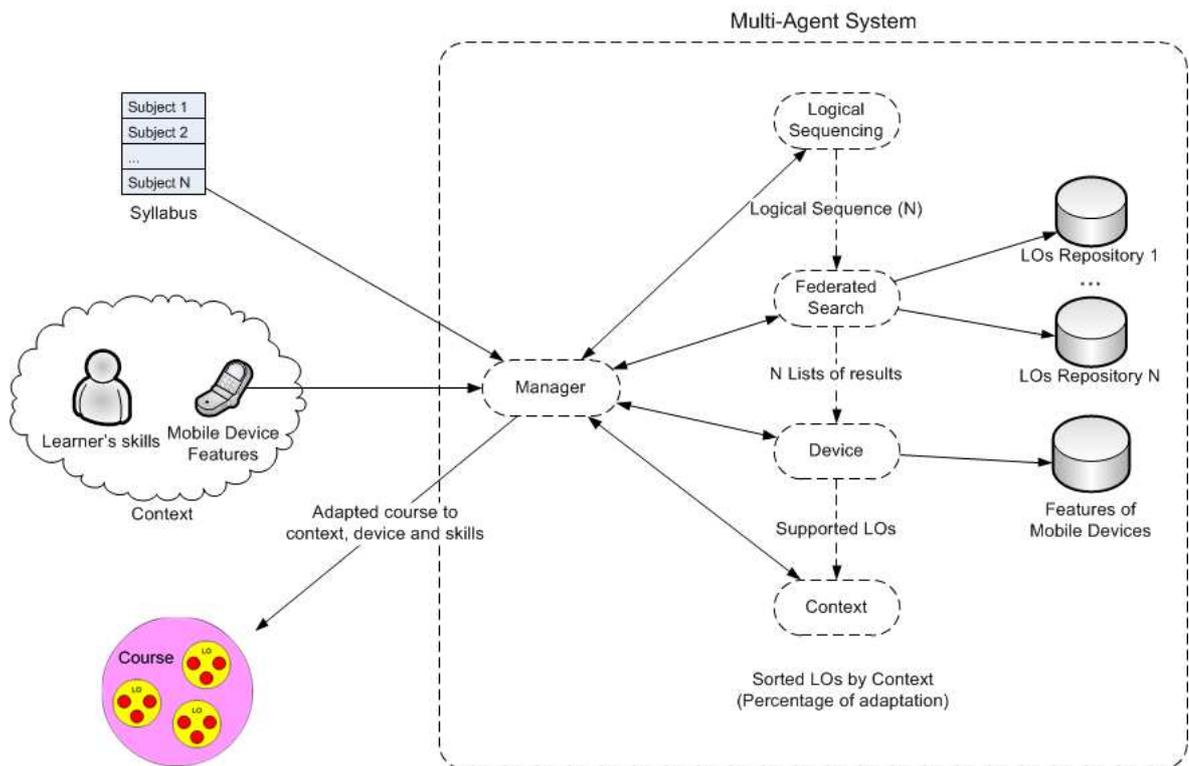


Figure 3. Designed multi-agent system

The inputs of this agent are the competences of the learner and his/her syllabus. The output is a sequence with the plan adapted to the learner. For example, a syllabus of a web developing program (Figure 4).

Subject name	Prerequisites	Competences obtained
1. Introduction to Web Developing	-	Basic knowledge of web developing
2. HTML	Basic knowledge of web developing	HTML knowledge
3. CSS	HTML knowledge	CSS
4. JavaScript	HTML knowledge	JavaScript
5. HTML 5	HTML knowledge, JavaScript knowledge	HTML 5
6. Java EE	HTML knowledge	Java EE

Figure 4. Example of syllabus of a web developing program

A learner could have acquired the competence of basic knowledge of web developing, so this subject is not taken into account to make the sequence of the syllabus (Figure 5).

Sequence 1	Sequence 2	Sequence 3
2. HTML	2. HTML	2. HTML
3. CSS	4. JavaScript	6. Java EE
4. JavaScript	5. HTML 5	3. CSS
5. HTML 5	3. CSS	4. JavaScript
6. Java EE	6. Java EE	5. HTML 5

Figure 5. Some examples of valid sequences for the web developing program

This might seem an easy problem but with a significant number of subjects in a syllabus this problem could become hard to solve. Some techniques of Artificial Intelligence have been studied in order to solve this type of problems, such as Genetic Algorithms and PSO (Particle Swarm Optimization) [5], heuristic and local search [23], although a study demonstrated that PSO is the most optimized technique when solving this problem [24].

### 3.2. Federated Search Agent

This agent performs a federated search in different learning objects repositories with each element of the result sequence of the previous agent. The specification SQI (Simple Query Interface) [25] is used to search in different learning repositories, the titles of the subjects/topics of the syllabus are used as keywords for the search. After searching in the learning repositories a list of learning objects is created with the results for each subject/topic, removing the duplicated LOs.

For example, for a sequence of N elements (topics or subjects), this agent would return N lists of learning objects (one for each topic or subject).

Only the LOs packaged with a LOM file are kept in the lists (the remaining of the LOs are discarded) because the next agents use this file to obtain information about the LO.

### 3.3. Device Agent

The main aim of this agent is filtering the learning objects that the learner's mobile device does not support, e.g., if a mobile device does not support Flash format, all learning objects in Flash format are removed from the list.

The inputs of this agent are the results obtained by the previous agent and the features of the learner's mobile device. These features are searched in WURFL using the User-Agent when the learner connects to the system. Once his/her mobile device is located in WURFL some features of this mobile device are obtained, e.g., the screen resolution can be found in

the 'resolution\_width' and 'resolution\_height' fields; the fields 'bmp', 'jpg', 'png', 'gif', etc. with true/false values represent if the mobile device shows or does not show this images format.

On the other hand, in the LOM file there is a field that shows the format of the LO, this field is called 'format' and it is within the 'technical' category, according to the specification 'this data element shall be used to identify the software needed to access the learning object'. The possible values are defined by the MIME (Multipurpose Internet Mail Extensions) standard, e.g., 'image/gif', 'text/html', 'video/mpeg', etc.

Each LO format is compared with the allowed formats of the learner's mobile device, discarding those incompatible learning objects.

### 3.4. Context Agent

Once all learning objects are supported by the learner's mobile device, these learning objects are sorted by context.

Each learning object is designed for a specific context, represented using IEEE LOM (Learning Object Metadata) [26], using the field number 5.6 'Context' of the specification. The possible values of this field are each of the specific contexts categorized by Kim *et. al* [13], e.g., 'hand: one, emotion: low', etc., in CSV (Comma Separated Values) format.

On the other hand, the learner's context is obtained from the learner through a questionnaire.

Taking into account the learner's context and the contexts of the LOs, the number of matches can be obtained, e.g., a learner could have a low level visual distraction and a specific learning object could be designed for low level visual distraction, this is a match.

Once the number of matches is established for each learning object, the percentage of adaptation to the context can be obtained as follows:

$$\text{Adaptation Context Percent} = \frac{\# \text{ matches with the learner's context}}{\# \text{ total of specific contexts of the LO}} * 100$$

This percentage is calculated for each learning object and later the LOs are sorted by this percentage in descending order. The first LO in the list will be the most adapted to the learner.

The sorted list is shown to the learner with the coefficient of adaptation of each LO, so he/she can choose one from the most adapted.

### **3.5. Manager Agent**

Its main aim is to manage other agents, since these are not aware of each other's presence. It is responsible of establishing that agents' inputs and outputs are running correctly. All agents are called by this manager agent and when they end their execution the manager agent receives the results and invokes the next agent (if it were necessary).

This agent also has the aim of interacting with the learner and it is also responsible of invoking the execution of an specific agent if any parameter of the learner is changed, e.g., if the learner changes his/her mobile device it is necessary a new execution of the 'Device Agent' for filtering again the learning objects, or if the learner's context is changed the 'Context Agent' should sort again the list of the LOs.

The execution's sequence of the four main agents (sequencing, federated search, device and context) has been established based on the probability of changing, e.g., the learner's context will probably change more than his/her mobile device because the learner can move from one place to another or he/she can change some component of his/her context while the mobile device will be the same in all situations.

## **4. Cases study and results**

In order to test the system in different contexts and with different levels of adaptation, a prototype is developed based on the functionality and design described in the previous section. It uses the object-oriented language called Java.

This section shows the cases study performed to validate the proposed system, as well as the results obtained.

The purpose of Case study 1 is to execute the system using a real syllabus and to test its operation. To do this, some simulated learners with different contexts are used, this way the responses of the system (in general) and the context adaptation (in particular) are checked.

Case study 2 aims to check the operation of the adaptation to mobile devices. For this purpose, some devices are selected and the system is tested with them to check that different learning objects are shown depending on the features of each device.

Finally, and perhaps most importantly, Case study 3 aims to check how the system behaves in a real learning environment, with different learners and mobile devices. Thus, the

overall operation is checked because it adapts to three factors: to the learner, to the device and to the context.

#### 4.1. Case study 1: Using the system with a real syllabus

The developed prototype has been deployed with a real syllabus, specifically with the course “Usability” of the Master in Software Engineering for Web, from the University of Alcalá. This course is made up of 14 topics (Table 1), 9 of which are mandatory (labeled as LX) for all learners and 5 of which are optional (labeled as OLX).

Lesson	Title
L1	Human-Computer Interaction
L2	User interfaces design
L3	Usability for homepages
L4	Content design
L5	Evaluation techniques and methods
L6	Evaluation by inspection
L7	Evaluation by inquiry
L8	Usability testing
L9	Accessibility
OL10	Human characteristics
OL11	Hardware and software characteristics
OL12	Elements of social context
OL3	Metaphors
OL14	Methods of evaluation beyond usability testing

Table 1. Syllabus of the subject “Usability”

First, for this syllabus it is necessary to establish the prerequisites for each lesson in the subject (Table 2). This is done with the collaboration of the two professors of the University of Alcalá that teach the subject, who also have been teaching it for several years and are experts in the subject.

Lesson	Title	Prerequisites
L1	Human-Computer Interaction	-
L2	User interfaces design	L1

L3	Usability for homepages	L1
L4	Content design	L1
L5	Evaluation techniques and methods	L2
L6	Evaluation by inspection	L5
L7	Evaluation by inquiry	L5
L8	Usability testing	L5
L9	Accessibility	L3, L4
OL10	Human characteristics	L1
OL11	Hardware and software characteristics	L1
OL12	Elements of social context	L1
OL3	Metaphors	OL10
OL14	Methods of evaluation beyond usability testing	L6, L7, L8

Table 2. Syllabus of the subject “Usability” with prerequisites of each lesson

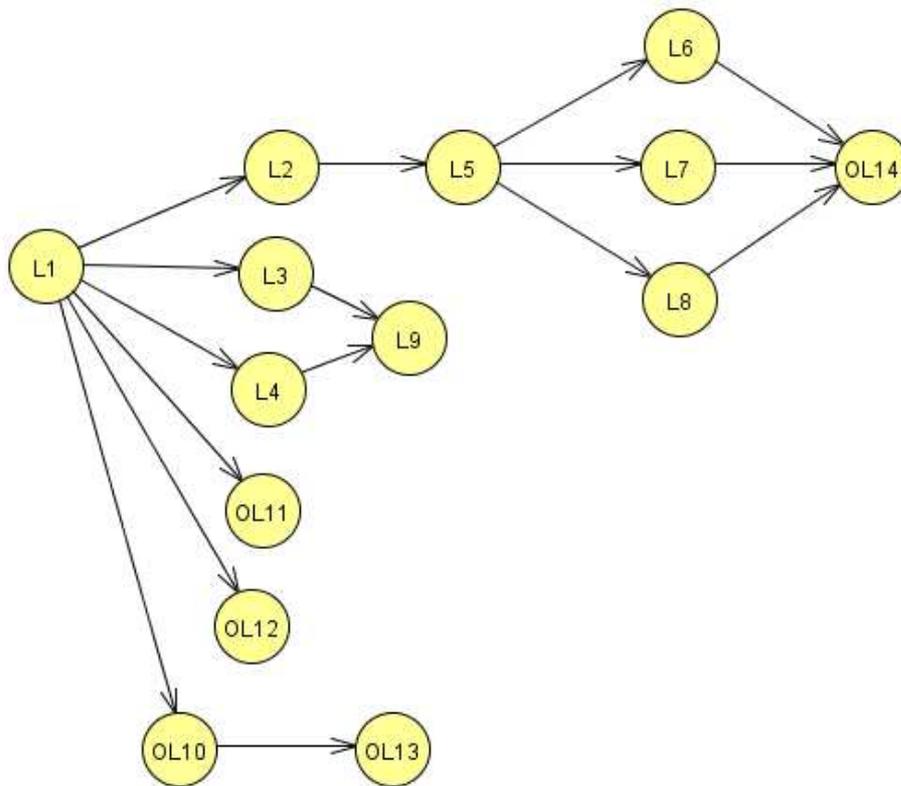


Figure 6. Graph of the subject “Usability”

Each lesson in the course is represented with its prerequisites, thus establishing restrictions that must be met before the learner can learn each of the lessons. As it can be seen in the table, there are some lessons that require that the learner has the competences

corresponding to other lessons. The order of precedence and requirements for each lesson can be seen more clearly in the following graph (Figure 6).

When the priority between lessons of the subject has been established, the system is ready to be used by learners. Two different simulated profiles of hypothetical learners have been designed for testing the system. For carrying out this case study, the syllabus of “Usability” subject and the learning contents of this course are used. The subject has different learning contents in different versions (documents, audio, video, and interactive presentations) for the learning process.

The objectives of this experiment are to simulate different hypothetic contexts and to try to access to the system with them, in order to observe the behavior of the system.

#### 4.1.1. Hypothetical learner 1

The first profile designed for this scenario would be a person located at home who wants to learn about the subject “Usability” to improve his/her training. This person has no previous competences on this topic.

The purpose of learning is hedonic because the learner wants to voluntarily improve his/her training and therefore he/she has a high level of motivation. Due to the learner being at home, a quiet and relaxed situation can be assumed, so he/she can use his/her mobile device with two hands and there are few visual and auditory distractions. The learner is also just around people and has little interaction with them.

The following table (Table 3) shows the hypothetical context detailed for this profile:

Context	Value
Goal	Utilitarian
Emotion	High
Hand	Two
Leg	Stopped
Visual Distraction	Low
Auditory Distraction	Low
Co-location	Low
Interaction	Low

Table 3. Hypothetical context of learner 1

Once the access to the adaptive system of this hypothetical learner 1 has been simulated, the result of the implementation is shown in the following pictures.



Figure 7. Simulated sequencing (left) and adaptation to the context (right) for learner 1 (in Spanish)

As shown in Figure 7 (lessons sequencing generated for the first learner), the system recommends to start with Lesson 1, due to the fact that the learner had no initial competences on the subject.

Looking at Figure 7 (right), it can be observed that the learning object that best fits the context has an 87% of adaptation, followed by three learning objects with a 75% of adaptation and finally a fifth learning object with a 62% of adaptation.

Section 4.1.3 will discuss these results compared to those obtained for learner 2.

#### 4.1.2. Hypothetical learner 2

On the other hand, hypothetical learner 2 has an opposite context to that of learner 1 (Table 4). We suppose that this new learner learns the usability subject with a hedonic goal and a low level of emotion. He/she uses his/her mobile device while he/she is moving and with one hand. He/she has a low visual distraction but has a high auditory distraction, and finally he/she has a high level of co-location and a low level of interaction with other people. We also suppose he/she has some competences in usability, for example, he/she already knows lessons 1 and 2.

Context	Value
Goal	Hedonic

Emotion	Low
Hand	One
Leg	Moving
Visual Distraction	Low
Auditory Distraction	High
Co-location	High
Interaction	Low

Table 4. Hypothetical context of learner 2

The execution of the system for this hypothetical subject is shown in Figure 8. This learner has more lessons as *recommended* (red lessons in Figure 8, left) because he/she has competences in lessons 1 and 2. This learner would have the possibility of learning six different lessons.

We suppose this learner chooses Lesson 12 “Elements of social context”, one of the recommended lessons. Figure 8 right shows the context adaptation of this learner, three learning contents have 50% of adaptation, followed by other two with 37% of adaptation. Next section shows a comparison between those results obtained for learner 1 and those obtained for learner 2.



Figure 8. Simulated sequencing (left) and adaptation to the context (right) for learner 2 (in Spanish)

### 4.1.3. Case study 1 results

Comparing both executions of the system, it can be seen that learner 1 has only one topic available (marked as *recommended*) and learner 2 has the possibility of choosing one of

six different topics. This is due to the first learner not having competences on the usability subject and the second learner having some competences. If we check these recommendations with the graph of the subject (Figure 6) we note the recommendations of the system are right for both hypothetical learners.

Secondly, if we compare the percentage of adaptation for both learners, the first one has higher values (the highest value for learner 1 is 87% of adaptation) than the second one (the highest value is 50%). This may be due to the context selected for the hypothetical learner 2, who had some distractions and co-location with people. So in this case we observe the learning contents are sorted based on the learner's context.

## 4.2. Case study 2: Using the system with different mobile devices

In this case study different mobile devices are used in order to test the adaptation of the device agent. To check the operation of the adaptive system it is necessary to simulate the learner context and competences so we use hypothetical learner 1's context and competences (details in previous section) with all mobile devices. These parameters, therefore, will not affect the results.

Table 5 shows the mobile devices used for this case study. It is important to highlight that the mobile devices have been selected with different screen sizes and operating systems to observe different results.

Mobile device	Screen size	Operating system
Blackberry Curve 9360	2,44"	Blackberry 7.1 OS
Blackberry Torch 9860	3,7"	Blackberry OS 7
HTC Desire	3,7"	Android 2.2
HTC Magic	3,2"	Android 2.2.1
HTC Radar	3,8"	Windows Phone 7.5
HTC Wildfire	3,2"	Android 2.3.5
iPad 2	9,7"	iOS 4
iPhone 4	3,5"	iOS 4
LG L3 E400	3,2"	Android 2.3.6
Nokia Asha 302	2,4"	Symbian S40 Asha
Nokia Lumia 610	3,7"	Windows Phone 7.5

Nokia Lumia 710	3,7"	Windows Phone 7.5
Samsung Galaxy Mini	3,14"	Android 2.2
Samsung Galaxy SIII	4,8"	Android 4.0
Samsung Google Galaxy Nexus	4,65"	Android 4.0
Samsung Omnia W	3,7"	Windows Phone 7.5
Sony Xperia U	3,5"	Android 2.3

Table 5. Mobile devices used for testing the adaptive system

Lesson 1 of Usability subject is selected with each mobile device (Figure 9). This lesson is available in five different learning contents with different formats (provided by the professors of the subject): A video with *Flash* format, an interactive learning object in *HTML*, an audio in *mp3* format and two documents in *PDF* and *Word* formats. Depending on the mobile device used, some learning objects are shown or hidden based on the device characteristics. Table 6 shows the learning objects that are visible for each mobile device.

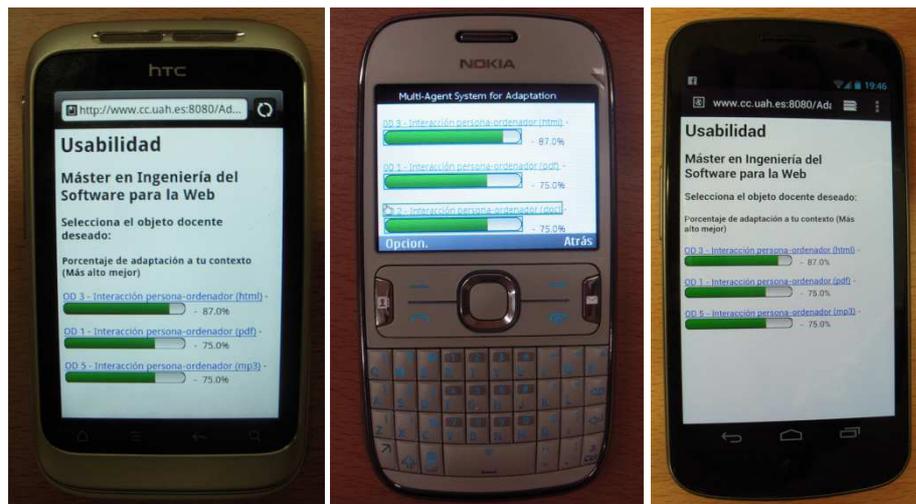


Figure 9. HTC Wildfire (left), Nokia Asha 302 (center) y Samsung G. Nexus (right)

Mobile device	Flash	HTML	MP3	PDF	Word
Blackberry Curve 9360		X			
Blackberry Torch 9860		X			
HTC Desire		X	X	X	
HTC Magic		X		X	
HTC Radar	X	X	X	X	X
HTC Wildfire		X	X	X	
iPad 2		X	X	X	

iPhone 4		X	X	X	
LG L3 E400	X	X	X	X	X
Nokia Asha 302	X	X	X	X	X
Nokia Lumia 610	X	X	X	X	X
Nokia Lumia 710	X	X	X	X	X
Samsung Galaxy Mini		X	X	X	
Samsung Galaxy SIII		X	X	X	
Samsung Google Galaxy Nexus		X	X	X	
Samsung Omnia W	X	X	X	X	X
Sony Xperia U		X	X	X	

Table 6. Results: available learning objects for each mobile device

The results show that most mobile devices accept the learning contents in HTML, MP3 and PDF formats, but Flash and Word learning contents are accepted only by a reduced number of mobile devices (Figure 10).

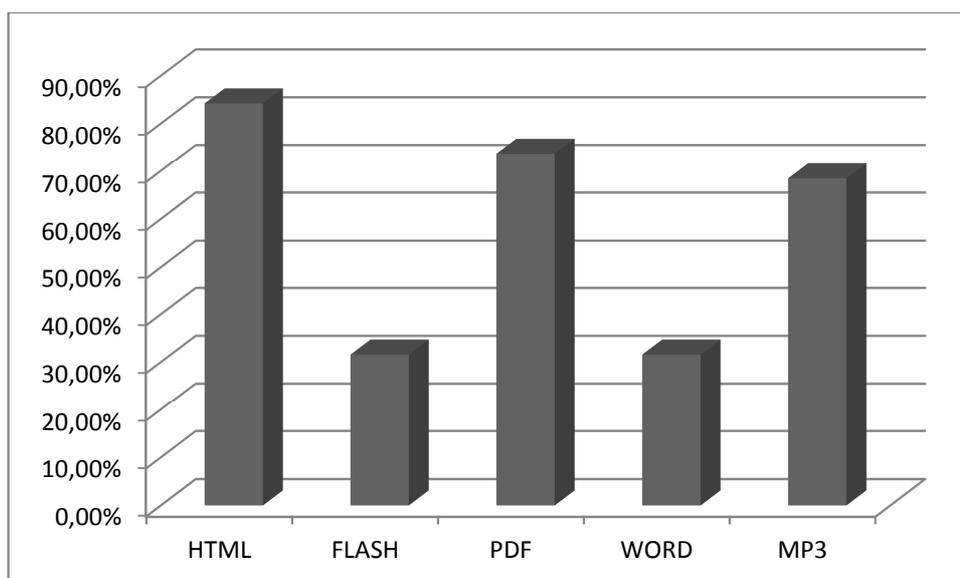


Figure 10. Adaptation percentage for different formats

The mobile device limitations were provided by WURFL [20] repository and some devices were marked as “not possible to reproduce flash” or “not ready for word document” but we observed that these devices were able to reproduce some versions of flash and word documents. In some cases it was necessary to install additional software on the devices.

Finally, we conclude that the adaptive system is able to adapt different learning contents in different formats to the mobile devices but it would be interesting to investigate

(and to improve the system) some other techniques and methods of knowing the limitations of the mobile devices.

### **4.3. Case study 3: Using the system in a real case**

The main aim of this case study is checking if learners improve their marks using this system, in contrast to learners that use a traditional e-learning system. An experimental group has been created in the Usability subject of the Master in Software Engineering in the University of Alcalá. This experimental group used the system to learn the subject.

This subject has 6 ECTS and has an online part and a lecture part. Assessment of learners is divided into: one intermediate work (30%), one final project (50%) and one test (20%). The purpose of these assessment tools is to check the degree of compliance of the subject objectives:

- Developing web systems applying user-centered design principles.
- Evaluating the usability of websites.
- Developing usable web software.
- Knowing standards and specifications of usability web.

#### **4.3.1. Introduction to the case study**

The learners of Usability subject in the academic year 2011-2012 are divided into two groups with the aim of measuring the marks obtained by learners in each of the groups. So there are two groups: an experimental group (using the proposed system) and a control group (using Blackboard LMS).

The learning method (proposed system or traditional e-learning) is selected as an independent variable, so 2 treatment levels are planned (the traditional e-learning method and the proposed adaptive system). Usability subject has 30 learners for the academic year 2011-2012, so the 30 learners are the subjects of the experiment. The dependent variable is the learning level, measured by the marks in the subject (Mark of 1 learner = 1 Measurement).

Other variables could have an impact on the marks, e.g., ability of the learners and professors. To avoid the first noise factor (ability of the learners) 14 repetitions (i.e. 14 learners) are planned for each treatment. Participation in the experimental group (using the proposed system) was voluntary. The second noise factor is avoided using the same professor for both treatment levels, avoiding the influence of the professor's ability in the results.

The hypothesis of this experiment is if the learning level (marks in the subject) is different using different methods (treatments), i.e. if using the system proposed influences the marks compared to the traditional e-learning system.

### 4.3.2. Case study 3 results

The marks obtained for each learner are showed below for the two groups: experimental group (Table 7) and control group (Table 8) in the evaluation methods (intermediate work (30%), final project (50%) and test (20%)) and the final mark of the subject (the sum of the three previous).

Name	Test	Intermediate work	Final project	Final mark
Learner (E) 1	8,00	8,50	7,50	7,90
Learner (E) 2	9,50	7,75	8,00	8,23
Learner (E) 3	9,00	8,25	8,38	8,46
Learner (E) 4	9,50	7,00	8,00	8,00
Learner (E) 5	9,00	6,50	7,88	7,69
Learner (E) 6	10,00	10,00	9,38	9,69
Learner (E) 7	8,00	9,50	8,88	8,89
Learner (E) 8	9,00	9,00	9,25	9,13
Learner (E) 9	8,00	8,25	8,38	8,26
Learner (E) 10	9,50	6,25	7,38	7,46
Learner (E) 11	10,00	10,00	9,88	9,94
Learner (E) 12	9,00	7,00	8,13	7,96
Learner (E) 13	9,00	8,50	8,25	8,48
Learner (E) 14	9,00	7,50	7,75	7,93

Table 7. Marks for the experimental group

Name	Test	Intermediate work	Final project	Final mark
Learner (C) 1	10,00	9,75	6,38	8,11
Learner (C) 2	7,50	7,50	6,63	7,06
Learner (C) 3	10,00	5,50	6,50	6,90
Learner (C) 4	7,00	7,00	7,88	7,44
Learner (C) 5	8,50	8,50	7,50	8,00
Learner (C) 6	8,00	5,00	7,88	7,04
Learner (C) 7	10,00	7,50	8,50	8,50

Learner (C) 8	9,50	9,00	7,75	8,48
Learner (C) 9	8,50	8,13	9,13	8,70
Learner (C) 10	7,00	8,63	8,00	7,99
Learner (C) 11	7,00	8,00	8,75	8,18
Learner (C) 12	8,50	5,13	7,63	7,05
Learner (C) 13	8,00	5,50	6,63	6,56
Learner (C) 14	10,00	8,25	8,63	8,79
Learner (C) 15	7,00	5,50	8,13	7,11
Learner (C) 16	9,50	7,50	5,63	6,96

Table 8. Marks for the control group

Firstly, a normality test has been done (Table 9), for selecting the suitable statistic method for analyzing the results.

	<i>p</i>	
	Experimental group	Control group
Test	0,028	0,047
Intermediate work	0,815	0,099
Final project	0,280	0,373
Final mark	0,151	0,067

Table 9. Normality test for experimental and control groups

According to the results, the evaluation Test fails the normality test ( $p < 0,05$ ), while Intermediate work, Final project and Final mark do not fail ( $p > 0,05$ ). For checking the statistical significance in the evaluation Test, Kruskal-Wallis non-parametric method is used. For the rest of evaluations (Intermediate work, Final project and Final mark) the ANOVA method is used. Kruskal-Wallis method returns  $p = 0,255$  ( $> 0,05$ ,  $H(1)=1,30$ ) so there is no statistical difference between the experimental and control group.

Figure 10 shows a boxplot with the results of both groups in evaluation Test. According to the figure the average and median are higher in the experimental group than in the control group, and the marks are less dispersed.

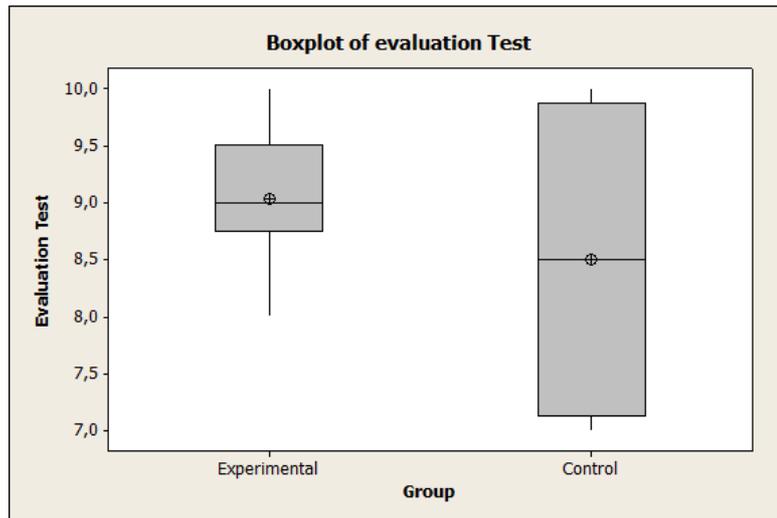


Figure 10. Boxplot of evaluation Test

A boxplot with the results of the Intermediate work for each group is showed in Figure 11. In this case, like in the Test case, the average and median are higher in experimental group than in control group. Also the marks are higher in the experimental group than in the control group.

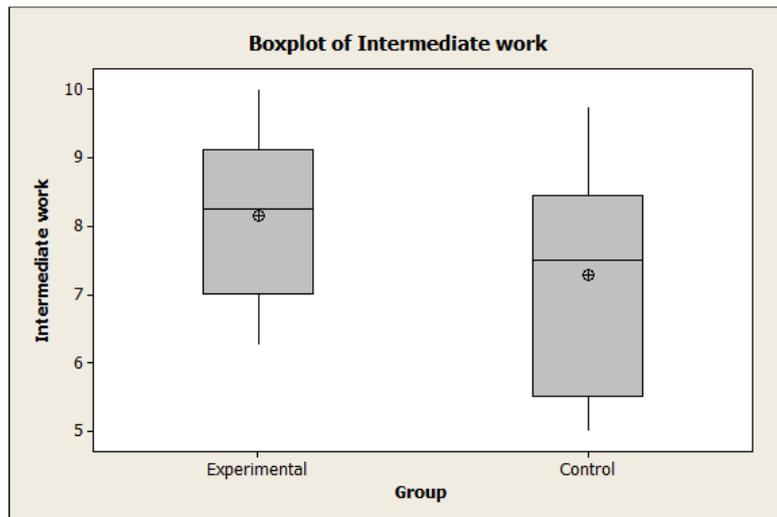


Figure 11. Boxplot of Intermediate work

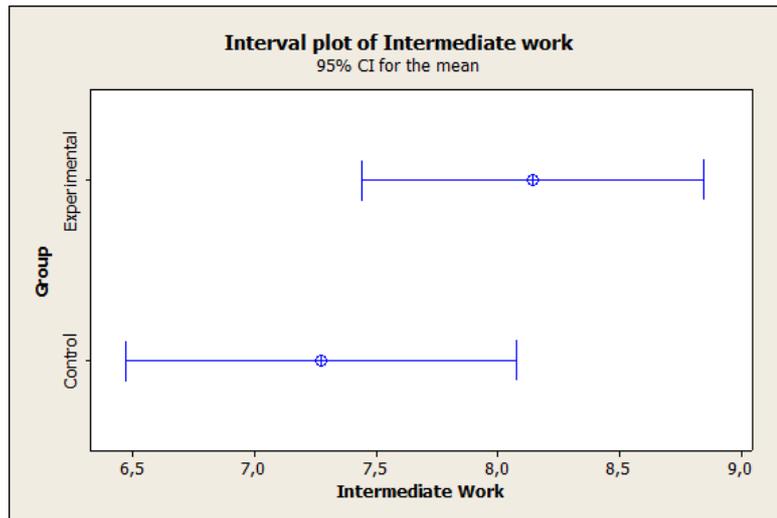


Figure 12. Interval plot of Intermediate work

The ANOVA method applied in this case shows a  $p$ -value of  $p = 0,096$ , so there is statistical significance with a confidence interval of 90% ( $p < 0,1$ ). In this case, there is a difference between using the proposed adaptive system and the traditional e-learning system.

Figure 13 shows a boxplot with the results of the Final project. The average and median are higher in the experimental group. Most of marks are in high values in the case of experimental group; with respect to the marks of the control group.

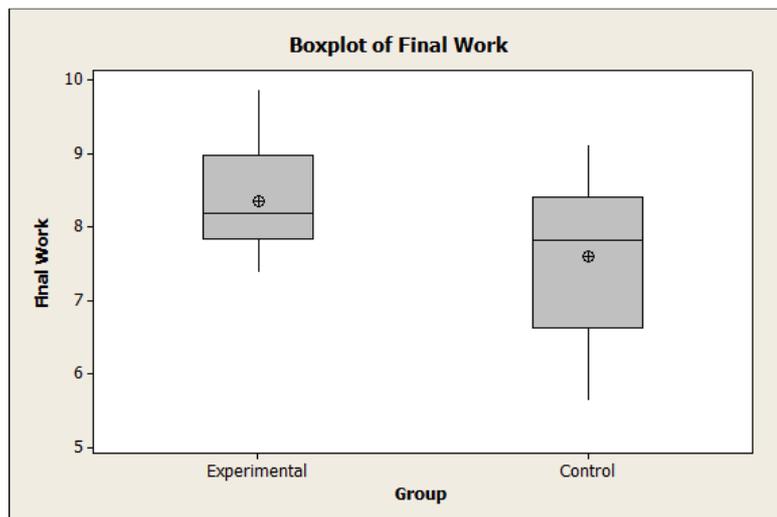


Figure 13. Boxplot of Final project

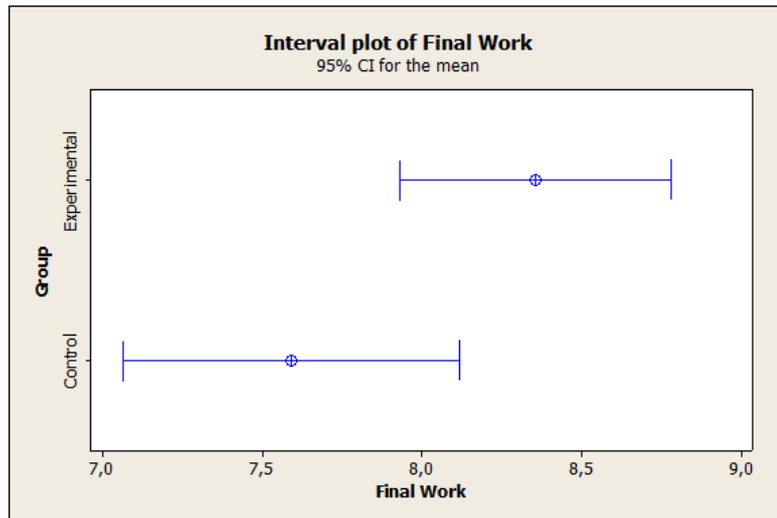


Figure 14. Interval plot of Final project

The ANOVA analysis (Figure 14) returns  $p = 0,025$ , so there is statistical significance with a confidence interval of 95% ( $p < 0,05$ ). In this case it can be affirmed that the learners who used the adaptive system had better marks than learners of the control group.

Figure 15 shows the boxplot with the results in Final mark. The average and median of the experimental group are higher than in control group. The marks of the experimental group are higher with respect to the marks of the control group, which are in lower values.

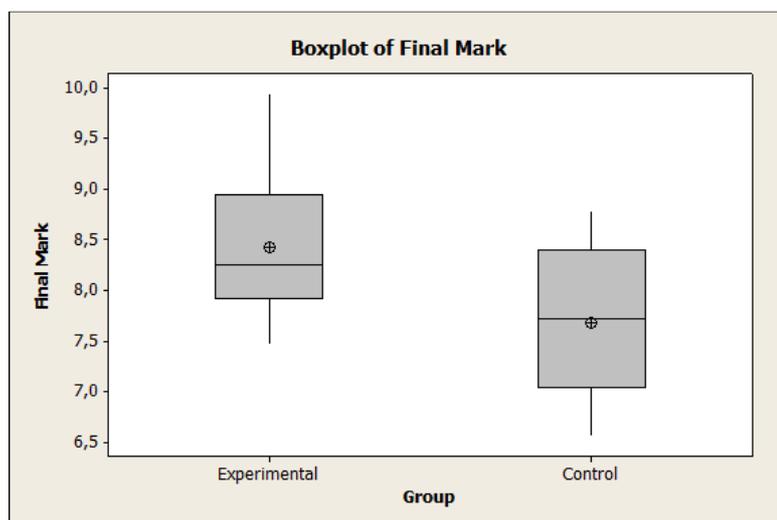


Figure 15. Boxplot of Final mark

Figure 16 shows the interval plot for both groups. The ANOVA analysis shows  $p = 0,010$ , so there is statistical significance with a confidence interval of 95% ( $p < 0,05$ ). In this case, similar to previous analyses, the learning method (adaptive system proposed or traditional e-learning) influences in the marks of the learners.

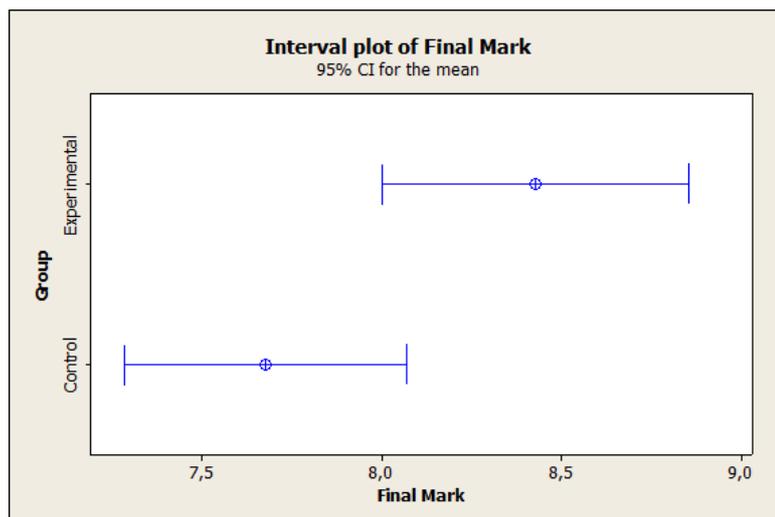


Figure 16. Interval plot of Final mark

Table 10 shows a summary of the results of ANOVA and Kruskal-Wallis analyses. Final mark is composed by others evaluations so we can determinate that there is a general statistical significance between experimental and control group (experimental group was higher than the control group in at least three of the four evaluations).

Evaluation	Experimental group			Control group			Significance
	Average	Std dev	Std err	Average	Std dev	Std err	<i>P</i>
Evaluation Test	9,0357	0,6640	0,177	8,5000	1,1972	0,299	0,255
Intermediate	8,143	1,216	0,325	7,273	1,508	0,377	0,096
Final work	8,3571	0,7352	0,196	7,5938	0,9879	0,247	0,025
Final mark	8,4286	0,7362	0,197	7,6789	0,7369	0,184	0,010

Table 10. Results of Kruskal-Wallis and ANOVA analyzes

Finally, as conclusion of this section, we can determine that the results are not entirely positive but neither negative. The results show a further investigation is needed especially based on the pedagogy issues.

#### 4.3.2.1. System usage analysis

The system prototype had a “log” system for monitoring the accesses to the system by the experimental group learners. According to the system log, there were 97 accesses to the system. At least 33% were done using mobile devices, the rest were with personal computers. The contexts of the learners were also monitored; they were asked when they accessed to the system. Table 11 shows the different contexts available for the learners.

Context	Value	Context	Value
<u>Goal</u>	Utilitarian	<u>Visual distraction</u>	Low
	Hedonic		High
<u>Emotion</u>	Low	<u>Auditory distraction</u>	Low
	High		High
<u>Hand</u>	One	<u>Co-location</u>	Low
	Two		High
<u>leg</u>	Stop	<u>Interaction</u>	Low
	Moving		High

Table 11. Available contexts in the adaptive system

An analysis of these contexts is showed below, taking into account the contexts specified by the learners when they accessed to the system.

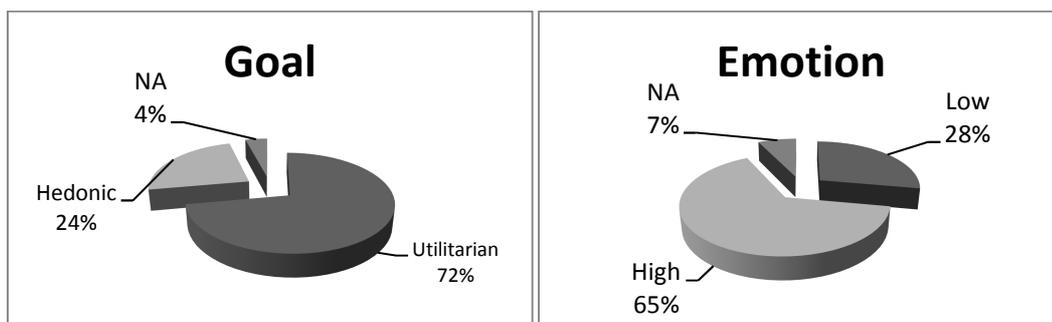


Figure 17. Context: Goal (left) and Emotion (right)

Figure 17 (left) shows the distribution of “Goal” context. In this case, the Utilitarian value has 72%: this could be because the case study has been done in a Master degree and the learners may feel in a utilitarian environment. The “Emotion” context (Figure 17, right) has 65% in High value.

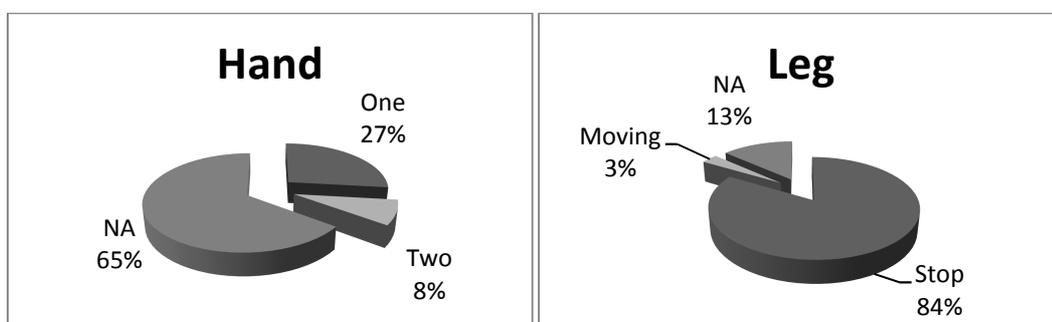


Figure 18. Context: Hand (left) and Leg (right)

In “Hand” context (Figure 18, left) the *Not applicable* has the 65% of the distribution, because (as seen above) the 33% of the accesses were with mobile devices, and the rest were with a personal computer. Figure 18 (right) shows “Moving” context with a value “Stop” of 84%.

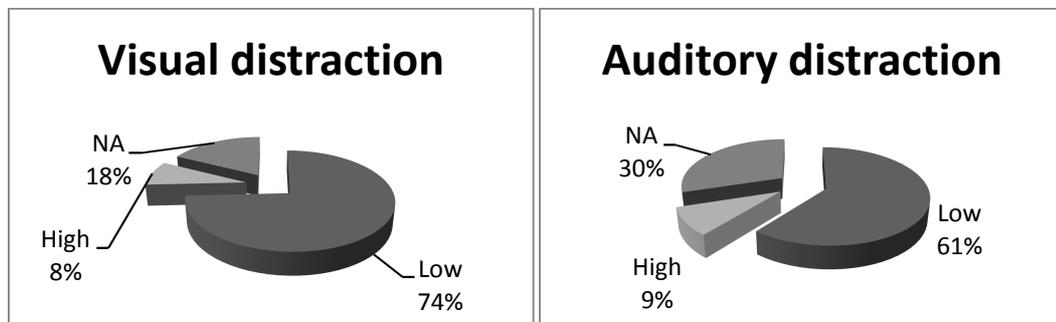


Figure 19. Context: Visual distraction (left) and Auditory distraction (right)

“Visual distraction” (Figure 19, left) and “Auditory distraction” (Figure 19, right) context distributions show the learners do not had distractions when they used the adaptive system.

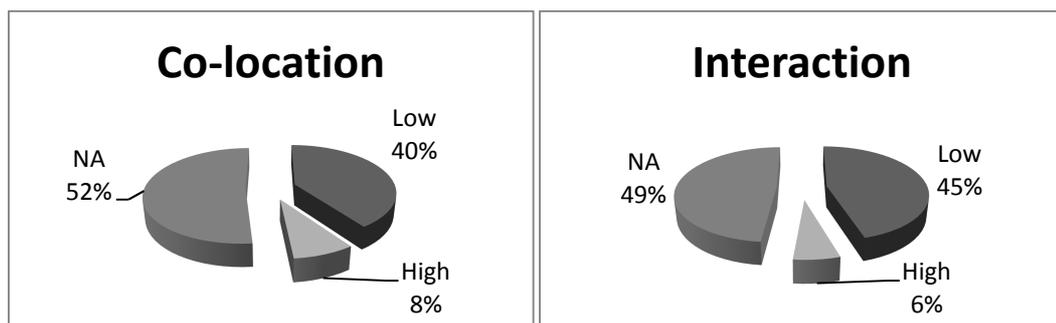


Figure 20. Context: Co-location (left) and Interaction (right)

Figure 20 shows “Co-location” and “Interaction” context distributions. Taking into account the sum of *Not applicable* value and *Low* value, "Co-location" context has 92% and "Interaction" context has 94% of the distribution. The results show the most of learners did not have interaction with other people when they used the adaptive system.

Next we focus only in the accesses using mobile devices. “Goal” context has been omitted for this second part of the analysis because it is not relevant and there is no difference with respect to the general distribution.

Figure 21 (left) shows “Emotion” context of the learners that used mobile devices. There is a 80% with *High* value versus a 65% in *High* value in Figure 17 (right). This increase may be due to the use of the new technologies like mobile devices.

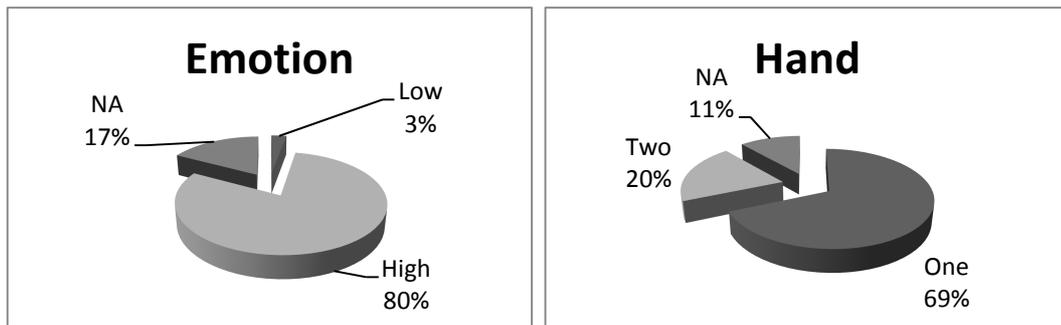


Figure 21. Context (Mobile): Emotion (left) and Hand (right)

Figure 21 (right) shows a 69% of *One* value using the mobile device with one hand, and 20% of learners used it with two hands.

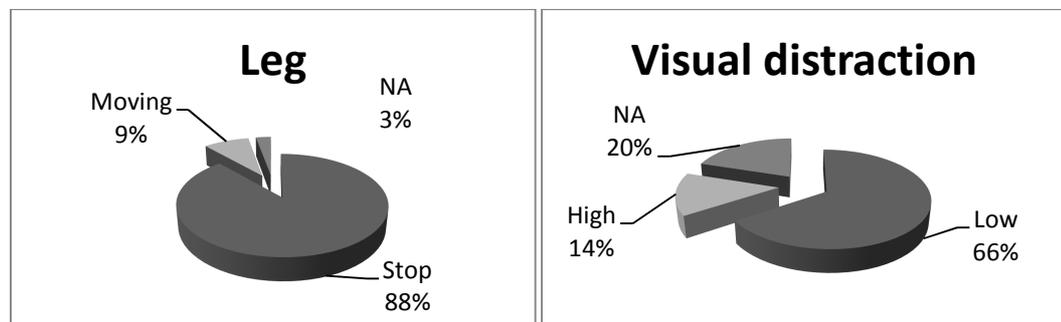


Figure 22. Context (Mobile): Leg (left) and Visual distraction (right)

88% of learners (Figure 22, left) said they were stopped when they used the adaptive system, even using mobile devices. Figure 22 (right) shows the “Visual distraction” and Figure 23 (left) shows the “Auditory distraction”, both have 66% and 63% for *Low* value, respectively.

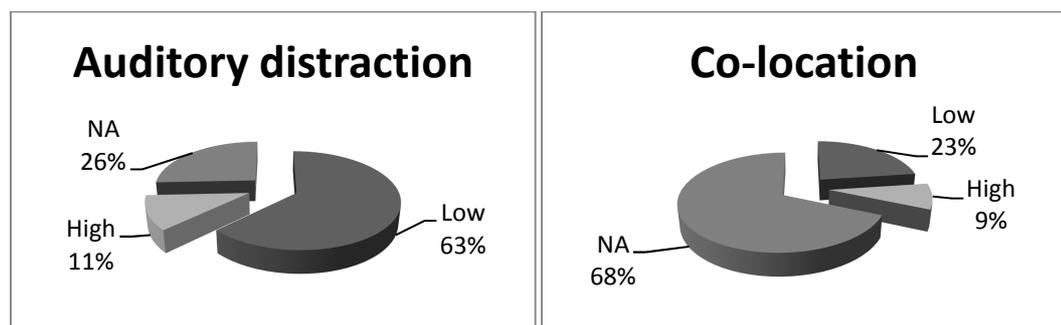


Figure 23. Context (Mobile): Auditory distraction (left) and Co-location (right)

Figure 23 (right) and Figure 24 show 91% for “Co-location” and “Interaction” contexts when adding the *Not applicable* and *Low* values, respectively.

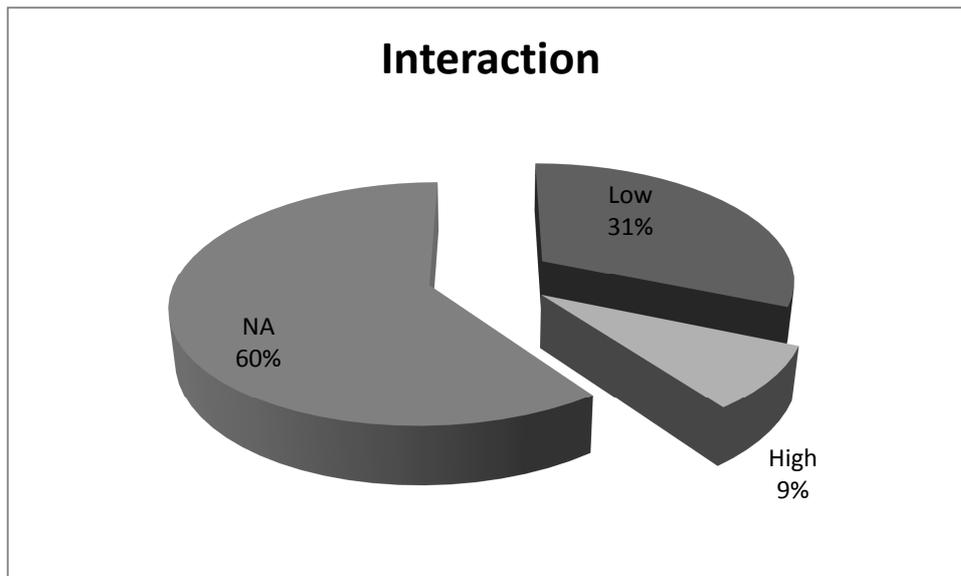


Figure 24. Context (Mobile): Interaction

As conclusion of this analysis, learners used the mobile devices for learning with low interaction with people and in quiet places.

Finally, it is needed to check if does it exist any correlation between the number of accesses and the level of learning, i.e., learners that have accessed more times they have learned better (they have obtained better marks than learners that have accessed less times to the system).

	Test	Intermediate work	Final work	Final mark
Pearson correlation	0,204	0,501	0,668	0,702
Valor $p$	0,449	0,048	0,005	0,002

Table 12. Correlations with the number of accesses to the system

Observing the  $p$ -values (Table 12) of Intermediate work, Final work and Final mark, there are values lower than 0,05 ( $p < 0,05$ ), so there is a positive correlation between the number of accesses and the learning level, i.e., the learners with more number of accesses have higher marks than learners with less accesses.

#### 4.3.2.2. Experimental group satisfaction questionnaire

The learners of the experimental group were asked by a satisfaction questionnaire with the following questions:

- Q1: The learning content has been showed with efficiency.
- Q2: I have learned about the subject.

- Q3: I have enjoyed the experience.
- Q4: To use the tool has been easy.
- Q5: The practical proposed has been easy.
- Q6: The amount of proposed exercise has been enough.
- Q7: Time for doing the exercises has been enough.
- Q8: I have been involved.
- Q9: I would like to learn more about the subject.
- Q10: I liked the learning experience.

All questions were answered with values from 1 to 5 (Likert scale), indicating the level of agreement with each question (1 = Not agree, 5 = Totally agree). This instrument has been used by other authors in different surveys [27][28].

Question	Mean	Mean Std. Err.	Std. Dev.	Min	Q1	Median	Q3	Max
Q1	4,250	0,279	0,965	2,000	4,000	4,500	5,000	5,000
Q2	4,250	0,179	0,622	3,000	4,000	4,000	5,000	5,000
Q3	3,583	0,229	0,793	2,000	3,000	4,000	4,000	5,000
Q4	4,417	0,288	0,996	2,000	4,000	5,000	5,000	5,000
Q5	4,333	0,188	0,651	3,000	4,000	4,000	5,000	5,000
Q6	3,583	0,288	0,996	2,000	3,000	4,000	4,000	5,000
Q7	3,750	0,305	1,055	1,000	3,250	4,000	4,000	5,000
Q8	3,9167	0,0833	0,2887	3,000	4,000	4,000	4,000	4,000
Q9	4,167	0,207	0,718	3,000	4,000	4,000	5,000	5,000
Q10	4,167	0,271	0,937	2,000	4,000	4,000	5,000	5,000

Table 13. Descriptive statistics results of the satisfaction questionnaire

Table 13 shows the descriptive statistics results of the satisfaction questionnaire. The average for each question is above 4 ("Agree"), and there are only three questions (Q3, Q6 and Q7) between 3,5 and 4.

A multivariable analysis shows *Cronbach's Alpha* = 0,6257 (<0,7) so, although it is lower than 0,7, the degree of internal reliability (of the questionnaire) is high, so all questions measure the same and they are going to the same direction.

Omitted variable	Adj. Total Mean	Adj. Total Std. Dev	Item-Adj. Total Corr	Squared Multiple Corr	Cronbach's Alpha
Q1	36,167	4,130	-0,262	0,251	0,728
Q2	36,167	3,563	0,636	0,907	0,544
Q3	36,833	3,589	0,421	0,965	0,573
Q4	36,000	3,247	0,674	0,969	0,490
Q5	36,083	3,630	0,487	0,987	0,568
Q6	36,833	3,589	0,284	0,970	0,605
Q7	36,667	3,339	0,516	0,708	0,537
Q8	36,500	3,989	-0,040	0,970	0,640
Q9	36,250	4,202	-0,377	0,988	0,715
Q10	36,250	3,194	0,805	0,988	0,456

Table 14. Statistics of questions omitted

Table 14 shows how changes the *Cronbach's Alpha* if each question was omitted. It is interesting to highlight that, omitting the questions Q1 and/or Q9, the *Cronbach's Alpha* would increase their value, exceeding the 0,7 value, value needed for affirming the internal reliability degree is high. So, we have to consider omitting questions Q1 and Q9 for further surveys or questionnaires.

## 5. Conclusions and future work

A system for adapting learning contents to the learner's competences, context and to his/her mobile device has been designed. This system presents some advantages with respect to other similar systems: it has been designed as a multi-agent system, allowing delimiting the functionality of each agent and being easily expandable with new functionality, if it would be necessary. On the other hand, the system takes into account a complex learner's context, according to context categorization of Kim *et al.* [13], showing learning contents to the learner in an accurate way and showing the percentage of adaptation of each learning content. In addition, the system filters the learning contents based on mobile devices features, removing the learning contents that cannot be shown.

On the other hand, a disadvantage has been detected in this system: it may be necessary to adapt the learning contents to the mobile devices changing its graphical interface, e.g., if a learning content is in HTML format but it is designed for a large screen, it would be interesting to adapt it to a small screen by transforming its appearance. Although this could be

solved by incorporating to the proposed system a new agent capable of transforming the learning contents using transformation languages, such as XSLT (Extensible Stylesheet Language Transformations) language for texts or other transformation mechanisms between different file formats, e.g., WAV to MP3, etc.

For demonstrating the system viability a prototype has been developed and three cases study have been done. The first one demonstrated the system is able to adapt learning contents taking into account different user's context and competences. In the second case study we observed the system is able to adapt learning contents based on mobile device characteristics but these characteristics sometimes are not well specified. In some cases, installing specific software is needed for viewing some format content.

The third case study was carried out with real learners in a real subject. The experiment demonstrated the adaptive system proposed is able to adapt learning contents to these learners. The experimental group (learners that used the adaptive system) obtained better marks than control group (learners that used a traditional system) in three of four measured evaluations (intermediate work, final work and final qualification). Experimental group did not have better marks in the Test evaluation, suggesting this kind of systems are not good for learning theoretical contents. In conclusion, more experiments and cases study need to be carried out.

The context analysis carried out showed the learners used the system in quiet environments, without interaction with people, stopped and without visual and auditory distractions. The satisfaction questionnaire showed an average of 4,250 (value between 4 "Agree" and 5 "Totally agree"), so in conclusion the experience was gratifying for learners.

Finally, as future work three new ways are proposed:

- Adaptation at run-time: the system proposed does not modify learning contents. So a new interesting research line would be to transform these contents according the mobile device characteristics using some technics for modifying the learning contents.
- Adaptation based on accessibility: a new intelligent agent could be added to the system for adapting the learning contents based on the learner accessibility. The learning contents would be shown to the learner taking into account if he/she has any accessibility issue.

- Automatic detection information: the information of the learner (competences, context, etc.) is provided to the system by questionnaires so a future work would be to get this information automatically, e.g., using sensors of mobile devices.

## References

[1] L. F. Motiwalla. Mobile learning: A framework and evaluation. *Computers & Education*, 49, 2007. 581–596.

[2] A. Becker. Electronic commerce: concepts, methodologies, tools and applications. Premier Reference Source, p. 2522, 2007.

[3] D. Zhang, B. Adipat. Challenges, methodologies, and issues in the usability testing of mobile applications. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 18, 293-308. 2005

[4] T. Lemlouma, N. Layaida. Adapted Content Delivery for Different Contexts. *Applications and the Internet*, 2003.

[5] L. de-Marcos, J.-J. Martinez, J.-A. Gutierrez, R. Barchino, J.-R. Hilera, S. Oton and J.-M. Gutierrez, Genetic algorithms for courseware engineering, *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, vol.7, no.7(A), pp.3981-4004, 2011.

[6] L. de-Marcos, R. Barchino, J. J. Martínez and J. A. Gutiérrez. A new method for domain in-dependent curriculum sequencing: A case study in a web engineering master program, *Int. J. of Engineering Education*, vol.25, no.4, pp.632-645, 2009.

[7] S. K. Sharma & F.L. Kitchens. Web Services Architecture for M-Learning. *Electronic Journal on e-Learning*, 2, 203-216. 2004

[8] A. Trifonova & M. Ronchetti. A General Architecture to Support Mobility in Learning. *IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'04)*. 2004.

[9] A. Trifonova, J. Knapp, M. Ronchetti & J. Gamper. Mobile ELDIT: Transition from an e-Learning to an m-Learning System. *World Conference on Educational Media and Technology (ED-MEDIA 04)*. 2004.

[10] N. Capuano, M. Gaeta, S. Miranda & L. Pappacena. A System for Adaptive Platform-Independent Mobile Learning. *Third European conference on mobile learning (MLEARN 04)*. 2004.

[11] A.K. Dey. Understanding and Using Context. Personal and Ubiquitous Computing, vol. 5. pp 4-7. 2001.

[12] B.N. Schilit & M.M. Theimer. Disseminating active map information to mobile hosts. IEEE Network 1994. Vol. 8. Issue 5. pp 22–32

[13] H. Kim, J. Kim, Y. Lee, M. Chae & Y. Choi. An Empirical Study of the Use Contexts and Usability Problems in Mobile Internet. Proceedings of the 35th Hawaii International Conference on System Sciences. 2002

[14] E. Martín, R.M. Carro, & P. Rodriguez. A Mechanism to Support Context-Based Adaptation in M-Learning. European Conference on Technology Enhanced Learning (EC-TEL). LNCS 4227, pp. 302 – 315. 2006

[15] W3C-MBP Mobile Web Best Practices 1.0, 2008. W3C [Online] Available at: <http://www.w3.org/TR/mobile-bp/> [Accessed 30 November 2011].

[16] B. Bomsdorf. Adaptation of learning spaces: supporting ubiquitous learning in higher distance education. Proceedings of the Mobile Computing and Ambient Intelligence: The Challenge of Multimedia. Schloss Dagstuhl, Germany. 2005

[17] S. Gómez & R. Fabregat. Context-Aware Content Adaptation in mLearning. Proc. of the 9th World Conference on Mobile and Contextual Learning (MLEARN2010). pp. 76-83. 2010.

[18] S. Gómez, C. Mejía, D. Huerva & R. Fabregat. Context-aware adaptation process to build units of learning based on IMS-LD standard. Proc. of the International Conference on Education and New Learning Technologies (EDULEARN2009), 2009.

[19] IMS Learning Design Specification (IMS-LD), Version 1.0 Final Specification, 2003. IMS Global Learning Consortium, [Online] Available at: <http://www.imsglobal.org/learningdesign/> [Accessed 30 November 2011].

[20] Wireless Universal Resource File (WURFL), 2008 [Online] Available at: <http://wurfl.sourceforge.net/> [Accessed 30 November 2011].

[21] User Agent Profile (UAProf ), 2001 [Online] Available at: <http://www.openmobilealliance.org/tech/affiliates/wap/wap-248-uaprof-20011020-a.pdf>. [Accessed 30 November 2011].

[22] L. de-Marcos, A. García-Cabot, E. García. Evolutionary Algorithms to Solve Loosely Constrained Permut-CSPs: A Practitioners Approach. *International Journal of Innovative Computing, Information & Control*, 8, 4771-4796. 2012

[23] A. García-Cabot, L. de-Marcos, E. García, J.A. Gutiérrez-de-Mesa. Courseware Sequencing Using Heuristic and Local Search. *International Conference on e-Learning, e-Business, Enterprise Information Systems, and e-Government (EEE'10)*. pp 70-75. 2010.

[24] L. de-Marcos, A. García-Cabot, E. García, J.-A. Medina and S. Otón. Comparing the performance of evolutionary algorithms for permutation constraint satisfaction. *Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO)*. pp 57-58. 2011.

[25] SQL: Simple query interface, European Committee for Standardization, <ftp://ftp.cenorm.be/PUBLIC/CWAs/e-Europe/WS-LT/cwa15454-00-2005-Nov.pdf>, 2005.

[26] IEEE 1484.12.1: Learning Object Metadata (LOM), IEEE Standards Association, New York, 2002.

[27] P. P. Garrido, A. Grediaga, B. Ledesma. VisualJVM: a visual tool for teaching Java technology. *Education, IEEE Transactions on*, 51, 86-92. 2008.

[28] L. de-Marcos, J.R. Hiler, R. Barchino, L. Jiménez, J.J. Martínez, J.A. Gutiérrez, J.M. Gutiérrez, S. Otón. An experiment for improving students performance in secondary and tertiary education by means of m-learning auto-assessment. *Computers & Education*, 55, 1069-1079. 2010.

# 1. Introducción

---

## 1.1. Justificación de la investigación

El E-Learning ha supuesto una revolución en los últimos años en el campo de la enseñanza, está basado en el uso de las TICs (Tecnologías de la Información y la Comunicación), y su característica más importante es la posibilidad de ofrecer enseñanza y aprendizaje a distancia. Esta característica es normalmente subrayada como la principal ventaja del aprendizaje electrónico; sin embargo, en un contexto tradicional de e-learning, el requisito hardware mínimo es disponer de un ordenador personal, lo que puede suponer una cierta debilidad de estos sistemas referente a la ubicación del alumno. Esta independencia de la ubicación ni siquiera se cumple con el uso de un ordenador portátil, ya que realmente una independencia en tiempo y ubicación significaría aprender donde y cuando un alumno quiera, teniendo acceso en todo momento a los contenidos (Motiwalla, 2007).

Por estas razones surge el mobile learning (m-learning), una evolución del e-learning basada en el uso de los dispositivos móviles. Una ventaja de este tipo de sistemas es la disponibilidad de estos dispositivos, ya que actualmente la mayoría de la población dispone de un dispositivo móvil en su poder la mayor parte del día (Becker, 2007). Nos encontramos actualmente en una situación de revolución tecnológica con la aparición de estos dispositivos, pues los hemos incorporado como un instrumento más de nuestra vida cotidiana, ya no sólo como herramienta para la comunicación social, sino para tareas de ocio y trabajo, y por supuesto en mayor o menor medida en el proceso de formación. Esto introduce una nueva variable desde el punto de vista formativo, puesto que ahora el alumno puede disponer de diferentes dispositivos a la hora de realizar su formación con diferentes características y limitaciones.

Así mismo, y por la propia filosofía intrínseca de los dispositivos móviles, estos pueden ser utilizados en cualquier lugar y/o ubicación por lo que desde el punto de vista del aprendizaje, el entorno (contexto) del alumno también varía dependiendo de su ubicación.

Por todo ello, el problema planteado en la presente tesis es la necesidad de dotar de sensibilidad al contexto y al dispositivo móvil a los sistemas de formación, de tal forma que se adapten los contenidos docentes al alumno en función de estos parámetros.

Como se indicó anteriormente, el m-learning surge como tecnología de aprendizaje móvil, por lo que podría ser una herramienta importante y muy potente para el aprendizaje, pero también puede presentar algunos retos y/o dificultades. Algunos de estos retos se enumeran a continuación, los cuales han servido también de motivación para la realización de la presente tesis.

- Existen muchos tipos y modelos de dispositivos móviles con diferentes sistemas operativos y características, esto significa que no todos los dispositivos aceptan y reproducen los mismos archivos y formatos. Por consiguiente, no todos los dispositivos podrían mostrar el mismo contenido de aprendizaje, ya que dependería de las características del propio dispositivo. Por ejemplo, si un contenido de aprendizaje es un video en un determinado formato y el alumno dispone de un dispositivo que no reproduce dicho formato, entonces el contenido docente no podría ser mostrado. Por otro lado, una de las desventajas más destacadas de los dispositivos móviles suele ser su reducido tamaño (Zhang and Adipat, 2005), lo que puede suponer algunas limitaciones para ciertos contenidos docentes, por ejemplo, imágenes de gran tamaño, quizá incómodas para un dispositivo reducido.
- La naturaleza de los dispositivos móviles (la posibilidad de utilizarlos en cualquier lugar) significa que un alumno pueda aprender en diferentes situaciones y condiciones. Esto es lo que habitualmente se denomina *contexto* (Lemlouma and Layaïda, 2003). Por esta razón, cada alumno tiene diferentes contextos y situaciones donde poder utilizar su dispositivo móvil para el aprendizaje. Por otro lado, pueden existir algunos contenidos docentes que no sean apropiados para determinados contextos (por ejemplo, reproducir un audio cuando el alumno está rodeado de gente o en un entorno ruidoso).
- Los alumnos poseen diferentes competencias adquiridas previamente y sería interesante adaptar los contenidos de aprendizaje a estas competencias (de-Marcos *et al.*, 2011b), porque de esta forma el proceso de aprendizaje se podría personalizar y optimizar para el alumno (de Marcos *et al.*, 2010).

Por todo lo mencionado anteriormente, la presente tesis propone la creación de un sistema multi-agente capaz de (1) adaptar contenidos docentes a diferentes tipos de dispositivos móviles y (2) al contexto de los alumnos, y también (3) adaptar las asignaturas o cursos a las competencias de cada alumno. En el siguiente apartado se describe más en detalle el objetivo de la tesis.

## 1.2. Objetivo de la tesis

El objetivo general de esta tesis es el siguiente:

*Proponer un sistema multi-agente para la adaptación de contenidos docentes a dispositivos móviles, al contexto y a las competencias del alumno.*

Se definirá un sistema capaz de llevar a cabo este objetivo, girando siempre en torno a tres grandes bloques: dispositivos móviles, contexto y competencias del alumno.

Para la consecución del objetivo general, arriba enunciado, se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Definir un modelo capaz de encuadrar diferentes agentes de adaptación en un sistema multi-agente de alto nivel.
2. Representar el contexto y las características de los dispositivos móviles de forma que permitan una integración interoperable con los sistemas actuales.
3. Definir y diseñar un agente capaz de adaptar contenidos docentes a las competencias de un alumno.
4. Definir y diseñar un agente capaz de adaptar contenidos docentes a las características de un dispositivo móvil.
5. Definir y diseñar un agente capaz de seleccionar contenidos docentes para un determinado contexto de un alumno.
6. Integrar todos los componentes en un sistema multi-agente, al mismo tiempo que se mantiene el mayor grado de interoperabilidad con las normas y estándares existentes, para crear contenidos finales integrables en los sistemas que actualmente se emplean.
7. Desarrollar un prototipo del sistema multi-agente.
8. Realizar experimentos teóricos y empíricos con el prototipo del sistema propuesto.

## 1.3. Metodología

En esta sección se describen brevemente las cuatro fases de la metodología seguida en la investigación realizada.

Fase 1: Estudio sobre la utilización de los dispositivos móviles (Sección 3.1)

En la primera fase se llevó a cabo un estudio sobre la utilización de los dispositivos móviles en la enseñanza así como el entorno en el que los alumnos utilizaban estos dispositivos.

#### Fase 2: Diseño del sistema propuesto (Sección 3.2)

El objetivo de esta segunda fase es proponer el diseño de un sistema capaz de resolver el problema planteado.

#### Fase 3: Implementación del prototipo del sistema (Sección 3.3)

En la siguiente fase se implementa un prototipo del sistema, basándose en la funcionalidad descrita en el diseño para validar la viabilidad del sistema y que posteriormente servirá para realizar diferentes experimentos.

#### Fase 4: Experimentación (Sección 4)

Por último, en la cuarta fase, se pone a prueba el sistema a través del prototipo, realizándose diferentes experimentos a niveles diferentes de adaptación con el objetivo de comprobar su correcto funcionamiento y su eficacia.

En los apartados y capítulos indicados estas fases son descritas con mayor detalle, explicando sus objetivos y resultados obtenidos en cada una de ellas.

## **1.4. Estructura del documento**

El documento está organizado en cinco capítulos. El capítulo 1, *introducción*, que concluye con este apartado, presenta una serie de cuestiones fundamentales que enmarcan el presente trabajo, incluyendo la justificación de la investigación y los objetivos de la misma.

En el capítulo 2, *estado del arte*, y como su propio nombre indica, se presenta una revisión actualizada del estado de la cuestión en los tres campos que están directamente relacionados con esta investigación, que son:

- E-Learning. Supone una revisión de los principales sistemas, técnicas y estándares sobre educación virtual, ya que uno de los objetivos específicos de la presente tesis es desarrollar el sistema cumpliendo con las normas y estándares actuales en el ámbito e-learning.

- Sistemas de Adaptación. Este apartado se encuentra a su vez dividido en tres partes fundamentales: E-learning adaptativo, adaptación al contexto y adaptación a los dispositivos móviles; entre las cuales destacan las revisiones sobre representación del contexto y de las características de los dispositivos móviles.
- Sistemas Multi-Agente. En este último bloque se presenta una revisión de diferentes arquitecturas y sistemas multi-agente focalizados, en su mayoría, en la adaptación en la enseñanza virtual.

En el capítulo 3, *aportación propuesta*, se presenta de manera detallada la principal contribución del presente trabajo. Se comienza definiendo y modelando cada uno de los agentes que intervendrán en el sistema, así como los diferentes modelos utilizados para la representación de la información del contexto y de los dispositivos móviles. A continuación se propone un diseño general preliminar del sistema multi-agente y se proponen diferentes optimizaciones del mismo para que sea más operable. También, en este capítulo 3, se describe brevemente el desarrollo del prototipo que implementa el sistema diseñado.

En el capítulo 4, *experimentación y resultados*, se presentan los resultados obtenidos tras la realización de tres experimentos con el sistema desarrollado. El primero de los experimentos tiene por objetivo comprobar el correcto funcionamiento del sistema en un entorno teórico, pues se prueba el sistema con diferentes perfiles de alumnos hipotéticos. En el segundo experimento se pone a prueba el funcionamiento del sistema con una batería de pruebas realizadas con diferentes dispositivos móviles reales. Por último, en el tercer experimento se prueba el sistema en un entorno de aprendizaje real, en una asignatura del Máster de Ingeniería del Software para la Web de la Universidad de Alcalá.

Para terminar, el capítulo 5, *conclusiones y futuro trabajo*, ofrece las conclusiones de la investigación que se ha llevado a cabo, junto con los resultados más importantes derivados de la misma hasta el momento. Se proponen, igualmente, futuras líneas de investigación directamente relacionadas con el trabajo realizado.



## 2. Estado del Arte

---

En este capítulo se presenta el estado del arte de los principales temas abordados en la presente tesis. El trabajo llevado a cabo contempla el estudio en tres diferentes áreas, las cuales están estrechamente relacionadas. En primer lugar se presenta un estudio de los diferentes sistemas y agentes que intervienen en el proceso de formación a través de Internet (e-learning), haciendo especial hincapié en la integración de los dispositivos móviles en el proceso de aprendizaje (m-learning), dado que la aportación propuesta pretende adaptar contenidos docentes a los dispositivos móviles. En segundo lugar se describen diferentes técnicas y sistemas de adaptación al contexto y dispositivo móvil, ya que el objetivo principal de la tesis es proponer un sistema capaz de adaptar contenidos docentes basándose en el contexto del alumno, las competencias que este tiene y el dispositivo móvil que está utilizando. Por último, pero no menos importante, se muestra una revisión sobre sistemas multi-agente, ya que el resultado final es un sistema multi-agente por lo que deben ser descritas las técnicas utilizadas para la propuesta y diseño finales.

### 2.1. E-Learning

#### 2.1.1. Evolución Histórica

La educación es un dominio en el que históricamente se han intentado aprovechar las capacidades introducidas por el desarrollo de la tecnología. Se podría decir que los cursos por correspondencia postal iniciados por Sir Isaac Pitman en 1840 (Horton, 2001) fueron los primeros, ya que constituyeron el primer intento de utilizar las comunicaciones para extender la formación más allá de la comunicación verbal humana.

Muchos de los conceptos que forman la base de la teleformación estaban ya presentes entonces: el alumno podía marcar su propio ritmo de aprendizaje, éste podía llevarse a cabo sin contacto directo cara a cara, y un elevado número de estudiantes podían seguir el curso con una programación diferente.

En la década de los años 60 del pasado siglo, el uso de los ordenadores como soporte al proceso educativo y/o pedagógico propicia el nacimiento de las primeras (y primitivas) aplicaciones de educación asistida por computador (conocidas por el acrónimo CAI, que en inglés significa *Computer Assisted Instruction*), en la universidad de Stanford. Eran aplicaciones

para el aprendizaje de las matemáticas, que permitían individualizar dicho aprendizaje liberando al alumno de la asistencia a clase en grupos tradicionales. Estas aplicaciones poseían mecanismos de retro-alimentación a través de preguntas y respuestas de los propios alumnos, que permitían a los mismos participar activamente en su propia formación (Molnar, 1990). Los costes, tanto económicos como de tiempo de desarrollo, eran el mayor obstáculo para la expansión de estos métodos. Inicialmente se trataba de ordenadores *mainframe* programados en ensamblador o incluso lenguaje máquina, lo cual hacía larga y tediosa su programación, con lo que el uso de estos medios fue reducido y más bien experimental.

En los años 70 empieza a aparecer un conjunto de aplicaciones que hacen uso de técnicas avanzadas, como la Inteligencia Artificial o la Ciencia Cognitiva, y que suponen un gran adelanto en la forma en que se realizaba el aprendizaje asistido por computador (Brown *et al.*, 1989). El término más ampliamente aceptado para designar a estas aplicaciones es el de “sistemas de tutorización inteligentes” o “aplicaciones inteligentes de enseñanza asistida por computador” (“*Intelligent Computer Assisted Instruction*” -ICAI-). El objetivo era conseguir sistemas que literalmente “entendiesen” un dominio de conocimiento y fuesen capaces de orientar al alumno a la hora de articular sus propias ideas y estrategias de funcionamiento.

En la década de los 80, con la aparición del ordenador personal (PC), cuando los ordenadores comenzaron a ser habituales en los hogares y en las oficinas, se empezaron a implantar los primeros métodos de aprendizaje por medio de éstos de una forma amplia. Empresas como IBM o Digital comenzaron a crear los primeros cursos para ser usados por medio de un ordenador. Estos cursos eran bastante sencillos, constaban fundamentalmente de texto y estaban distribuidos en forma de capítulos para ser seguidos de forma secuencial. Los cursos instruían sobre el manejo de aplicaciones de interés general, tales como procesadores de texto y hojas de cálculo; solían distribuirse junto con la aplicación relacionada y generalmente usando un disco magnético como soporte; con esto se conseguía que el futuro usuario de la aplicación pudiera aprender por sí mismo. Se trataba de cursos de autoestudio y prácticamente lo único que cambiaba con respecto a un libro era el soporte (de papel a soporte magnético). Esto fue el origen de lo que hoy se conoce como aprendizaje asistido por ordenador, *Computer Based Training* - CBT<sup>1</sup>.

Seguidamente surgieron empresas particulares que se dedicaron de forma específica a crear materiales didácticos para ser utilizados por medio de ordenador. Generalmente los

---

<sup>1</sup> Existen otros términos similares de equivalente significado, como son, el ya citado CAI - *Computer Assisted Instruction*, CBI - *Computer Based Instruction* o CAL - *Computer Assisted Learning*.

temas tratados estaban relacionados con la propia Informática, como son los sistemas operativos, lenguajes de programación o uso de aplicaciones. Los soportes utilizados para la distribución fueron discos magnéticos y posteriormente discos ópticos (como CD-ROMS), incluso llegando a hacer uso de redes de comunicación, tanto locales como globales.

En la actualidad, Internet se nos ha presentado como el gran paradigma de los nuevos tiempos, su abrumadora y acelerada penetración en nuestras vidas ha derivado en lo que se conoce como la Sociedad de la Información y del Conocimiento. Los espacios educativos no han escapado a ello y han venido aplicando esta nueva tecnología de manera poco planificada y de una forma tal que muchos la ven como poco efectiva y deficiente. Como nueva tecnología, trata de ganar terreno al impulsar prácticas y procesos que le ayuden a superar un inicio poco claro. La combinación de la telecomunicación y la enseñanza ha permitido acuñar el término “*e-learning*” (Anido *et al.*, 2002). El e-learning, concepto adoptado para denominar el proceso enseñanza–aprendizaje que generalmente usa Internet en la educación, trata de formalizarse a través de métodos y herramientas de calidad. Los estándares e-learning están llamados a ser uno de los pilares fundamentales que ayudarán a gestionar con eficiencia uno de los activos más preciados de la denominada nueva economía: el conocimiento.

Este tipo de formación es realmente parte de lo que tradicionalmente se ha conocido como “Enseñanza Asistida por Ordenador” (EAO), si bien haciendo uso exhaustivo de las tecnologías de telecomunicación, por lo que el concepto de EAO está inevitablemente unido a la teleformación, como así lo refleja la siguiente definición de Lanfranco y Utsumi (Lanfranco and Utsumi, 1993), “*la enseñanza asistida por computadora es la organización y combinación de los recursos educativos y tecnológicos para permitir el tele-aprendizaje por parte de los alumnos*”.

El e-learning aporta a la educación la desaparición real de los problemas de espacio y de horarios: los alumnos pueden realizar su aprendizaje desde cualquier sitio y a cualquier hora (los sistemas de enseñanza asistida por computador están disponibles 24 horas al día). El e-learning proporciona un canal de comunicación entre los propios alumnos, y entre éstos y los profesores. Hiltz y Norwood (Hiltz and Norwood, 1994) concluyen que la participación de los estudiantes puede llegar a ser superior en un entorno como éste que en un aula convencional. Además, el canal de comunicación que se establece puede utilizarse con finalidades de seguimiento y tutorización de los alumnos por parte de los profesores, y la información extraída de este seguimiento puede ser empleada posteriormente para labores de evaluación.

Dado que, habitualmente, el ámbito de actuación de estos sistemas es universal, los alumnos pueden elegir entre una gran diversidad de materias, cursos y especialidades; que son preparados por los mejores especialistas en cada materia, para ser distribuidos a un conjunto amplio de estudiantes dispersos geográficamente. De esta manera, no sólo aquellos alumnos cercanos físicamente a ellos se benefician de estos conocimientos.

El profundo cambio que ha supuesto Internet en el campo de las aplicaciones educativas no sólo afecta a aspectos puramente tecnológicos: también los paradigmas educativos se están alterando como consecuencia de las nuevas demandas sociales, en las que las redes globales de comunicación juegan un papel esencial. Actualmente se imponen los modelos educativos centrados en el alumno, creciendo la demanda hacia una formación continua y “de por vida”, en contraposición a los métodos educativos tradicionales en los que la formación se recibe en periodos determinados y centros específicos: se trata de formar a alumnos con poco tiempo disponible y que necesitan obtener un elevado rendimiento.

Por otro lado, en este análisis no podemos dejar de lado el componente principal de cualquier aplicación educativa: los contenidos educativos. Parece evidente que, en última instancia, el éxito de una aplicación educativa radica en la calidad de sus contenidos. Por lo general, en la mayoría de las aplicaciones disponibles los cursos se crean con el fin de cubrir una necesidad de aprendizaje concreta. Sin embargo, producir desde cero materiales educativos de alta calidad es una labor ardua que lleva mucho tiempo, requiere del conocimiento de diversos expertos en distintos campos y supone un elevado coste.

La gestión del conocimiento se ha convertido en un tema recurrente en informática. En este contexto, el conocimiento no sólo se identifica como un nuevo factor de producción de las sociedades industrializadas, sino como un producto en sí mismo. Para poder determinar su valor de cambio, el conocimiento debe ser creado, almacenado y gestionado, razón por la cual emergen las tecnologías de la información y comunicación como soporte a la gestión del conocimiento (Doderó, 2002).

En este sentido, como forma de compartir el conocimiento, una de las pretensiones en el ámbito del e-learning es la aplicación de procedimientos que permitan la reutilización efectiva de material docente ya desarrollado e, idealmente, que faciliten dicha reutilización no sólo dentro del mismo entorno del e-learning para distintos cursos, sino entre aplicaciones diferentes con herramientas de creación de contenidos y plataformas distintas.

La Tabla 1 (adaptada de (Singh, 2001)) muestra una comparación entre los requisitos de los sistemas educativos tradicionales asistidos por ordenador (*Computer Based Training*) y los de las nuevas aplicaciones e-learning derivados de la utilización masiva de Internet como medio de distribución de información y comunicación, así como del cambio de mentalidad asociado a la adquisición del conocimiento y la formación en la sociedad actual.

<b>Actividad</b>	<b>Sistemas CBT</b>	<b>Sistemas E-Learning</b>
<b>Creación de contenidos</b>	Realizado por el instructor. Los cursos se crean desde cero de principio a fin	Realizado por el instructor / diseñador del curso. Necesita conocimientos sobre la herramienta. Los cursos se crean recomblando material existente con nuevo material: incremento del valor del contenido
<b>Distribución</b>	Cara y complicada	Internet. Barato
<b>Modelo Educativo</b>	Centrado en el instructor	Centrado en el alumno
<b>Objetivo</b>	Distribuir conocimiento	Distribuir y capturar conocimiento
<b>Elemento o pieza de distribución / creación</b>	Cursos completos	Módulos u Objetos Educativos (Learning Objects)
<b>Actualizaciones</b>	Reconstruir el curso y reenviarlo	Actualizar módulo
<b>Velocidad</b>	Depende del tamaño de la audiencia y de la extensión del contenido	Dependiente de la extensión del contenido y de la velocidad de la red de acceso
<b>Tiempo típico</b>	4 – 6 meses	4 – 6 semanas
<b>Medidas de la efectividad</b>	Observaciones del instructor	Sistemas de seguimiento y evaluación interactivos
<b>Fuentes del conocimiento</b>	Se crean todas	Buscar si existe material reutilizable y ensamblarlo (idealmente sin necesidad de adaptar cambios)

Tabla 1. Comparativa entre las aplicaciones CBT y los sistemas e-learning

Teniendo en cuenta todo lo anterior, a partir de este punto del documento, consideramos lo siguiente:

*“Teleformación es la aplicación de Tecnologías de la Información y Comunicación para desarrollar, gestionar y distribuir cursos de formación.”*

Cuando se habla de “*aplicación de Tecnologías de la Información y Comunicación*”, nos referimos en particular a las que se encuentren relacionadas con Internet. El término “e-learning” no sólo cubre la distribución del curso, sino que también cubre el seguimiento, la programación, la gestión y otros aspectos del proceso de la enseñanza. Es decir, los sistemas de e-learning no sólo comprenden el contenido del curso, sino la plataforma tecnológica que lo distribuye y lo gestiona, y los servicios que soportan el mantenimiento. De hecho, las mayores compañías de e-learning no desarrollan el contenido, sino que se centran en las tecnologías (plataformas, gestión de desarrollo de contenidos, etc.) y servicios que permiten que el contenido sea eficazmente diseñado, distribuido y gestionado.

Se hacen necesarias, por tanto, nuevas tecnologías y sistemas que faciliten y permitan llevar a cabo todos esos aspectos a través de Internet de una manera rápida y eficaz. A continuación se describen estos sistemas, junto con sus principales características, así como algunos de los desarrollos más relevantes en este ámbito. Se parte de una descripción de los principales tipos y funcionalidades de sistemas para la formación a distancia a través de Internet, haciendo especial énfasis en los LMSs.

### **2.1.2. Sistemas de Gestión del Aprendizaje**

Dentro del mundo del e-learning existen una inmensa cantidad de siglas, herramientas, arquitecturas, sistemas y tipos diferentes de aplicativos que han aparecido en los últimos diez años. Además, las diferencias y límites entre unas denominaciones y otras no están siempre claros. Los sistemas empleados en entornos e-learning se pueden encuadrar dentro de la clasificación realizada por Gram (Gram *et al.*, 1998). Ésta divide las herramientas para el desarrollo y distribución de materiales existentes en cinco categorías, que son las siguientes:

1. Herramientas de creación de contenidos: Para crear y editar documentos HTML, PDF y otros formatos de texto, y de creación de gráficos (como Photoshop o Gimp), animaciones, audio y vídeo.
2. Herramientas de creación de contenidos Web: Editores de los formatos que se usan para ser publicados en Internet, como HTML. Es un subgrupo de la categoría anterior.

3. Herramientas de comunicación: Aplicaciones de conversación de texto (chat), videoconferencia y otras de comunicación, tanto síncrona como asíncrona. Son ejemplo de este grupo programas como NetMeeting, Lotus Notes o Skype.
4. Herramientas de autor para Internet: Permiten la creación de contenidos y su publicación en la Web, incluso de forma simultánea. Se incluyen en este grupo herramientas como Authorware o Toolbook.
5. Entornos educativos integrados distribuidos: Enfocados a la distribución y gestión de materiales, que a veces facilitan la administración de participantes, gestión de pruebas, etc. Son ejemplo de esta categoría entornos como WebCT, Blackboard o Learning Space.

Jackson (Jackson, 2001) propone dos clasificaciones para los entornos y sistemas e-learning. En primer lugar, éstos se pueden clasificar en función de la forma en la cual se realiza el aprendizaje: entornos de estudio individual, de aprendizaje liderado por el instructor y de aprendizaje colaborativo. La segunda clasificación se centra en la funcionalidad de los entornos. Esta segunda clasificación es más interesante dado que permite encuadrar fácilmente los sistemas más habituales en las distintas iniciativas e-learning. Se incluyen tres tipos de sistemas:

1. Educational Delivery Systems (Sistemas de Distribución)  
Estos productos facilitan la publicación y distribución de contenidos online, pero no se centran en la creación de los mismos y no contienen mecanismos para medir el rendimiento o administrar recursos.
2. Learning Content Management Systems (LCMS) (Sistemas de Gestión de Contenidos)  
Estos entornos combinan la creación y distribución de materiales educacionales con sistemas para medir el resultado y monitorizar el progreso de los estudiantes.
3. Learning Management Systems (LMS) (Sistemas de Gestión del Aprendizaje)  
Son similares a los LCMS pero dan a los estudiantes y a las organizaciones una visión integrada de todos los trabajos activos en múltiples cursos. Se centran más en la distribución de materiales y en el seguimiento y control de todos los elementos involucrados en el proceso educativo.

La diferencia entre los LCMS y los LMS es sutil. Los primeros permiten tanto la distribución como la creación de materiales y pretenden que los educadores creen sus propios

materiales online, mientras que los LMS se centran en la distribución y control de los materiales y no suelen incluir herramientas de creación de contenidos, o estas suelen ser muy simples, por tanto los materiales deben ser creados externamente. Los LMS permiten siempre la creación de materiales o cursos completos exteriormente y después su integración al sistema. Con la implantación de los estándares, será incluso posible migrar los cursos de una plataforma a otra con todos sus contenidos.

### **2.1.2.1. Learning Management Systems**

Podemos pues recapitular en una definición lo que entendemos por Sistemas de Gestión del Aprendizaje como aquel sistema software que permite la distribución y gestión de conocimientos online. Un LMS permite realizar el aprendizaje habilitando métodos para ello y permitiendo la distribución de materiales docentes y contenidos. Además ofrece funcionalidades para gestionar y administrar todos los componentes que forman parte del proceso educativo.

La Web EduTools<sup>2</sup> se encarga de realizar una evaluación independiente de los distintos proveedores de herramientas de e-learning del mercado, fijándose en sus principales funcionalidades, siendo algunas de ellas las siguientes:

- Gestión e informe de los alumnos. Permite a los administradores organizar a los participantes (administradores, educadores y estudiantes) en grupos, y monitorizar e informar sobre su progreso y actividades:
  - Creación de registros de los alumnos y asignación de derechos de acceso.
  - Reparto de responsabilidades y funcionalidades entre varios administradores.
  - Creación de informes.
  - Mensajería.
- Gestión de recursos y eventos de aprendizaje. Permite a los administradores organizar los cursos y eventos en catálogos, al igual que gestionar todos los recursos que componen cada curso, incluyendo contenidos, instructores, “aulas virtuales”, etc. También permite comunicarse a estudiantes y administradores e informar sobre las actividades de los alumnos:
  - Herramientas de creación y gestión de recursos.
  - Distribución de derechos de acceso y del resto de permisos de los cursos.
  - Gestión de recursos y contenidos en los cursos. Incluye la gestión de eventos, exámenes, discusiones, etc.

---

<sup>2</sup> EduTools Product Information: <http://www.edutools.info/static.jsp?pj=8&page=HOME>

- Infraestructura para la distribución de cursos online. Permite a los administradores habilitar métodos para llevar a cabo el aprendizaje:
  - Medios síncronos, todos los participantes se reúnen a la misma hora y los eventos son dirigidos por un instructor.
  - Medios asíncronos, los materiales se encuentran a disposición de los alumnos y estos se responsabilizan de su propio aprendizaje.

Se incluye también la creación del plan de estudios del curso y el calendario del mismo.

- Herramientas de creación y publicación de contenidos. Los cursos pueden ser creados dentro del propio entorno o exteriormente al mismo, se deben tener en cuenta ambos tipos.
  - Para cursos creados exteriormente:
    - Permitir la publicación de contenidos creados en formatos Web estándar.
    - Ajustarse en lo posible a los estándares existentes.
  - En las herramientas de creación propias:
    - Integración de los sistemas de creación y publicación.
    - Flexibilidad en las plantillas de creación de contenidos.

Por otra parte, se debe permitir importar y exportar cursos en un único paso.

- Evaluación de conocimientos y habilidades. Permite valorar las habilidades de los estudiantes, bien para determinar el curso o el plan de estudios que más se ajusta a sus necesidades, o bien para saber el nivel de conocimientos adquiridos en el aprendizaje.
  - Creación de tests y pruebas, y su distribución y asignación temporal.
  - Generación de informes sobre la realización y resultados de las pruebas.
- Bases de conocimiento. En el LMS, un sistema específico de gestión de recursos accesible desde todos los cursos, que incluye contenidos de cualquier tipo en diversos formatos. También permite acceder a recursos externos como complemento a los cursos online.

En todo caso, aunque muy publicitada, esta funcionalidad está escasamente desarrollada y se detectan carencias de formalización, estructuración y conexión entre sus elementos.

- Personalización del entorno centrada en el alumno. Hace que el entorno reconozca al alumno y de esta manera le entregue sus mensajes y noticias, liste sus cursos, etc. También posibilita que los participantes personalicen el entorno, el idioma, la posición de los menús, etc. Esto en cuanto al alumno, pero además debe ser posible que la organización personalice el entorno añadiendo su imagen corporativa, colores y demás elementos característicos. Finalmente, debe existir un sistema de ayuda online sobre el funcionamiento del entorno.

Además de estos grupos de funcionalidades genéricamente implementadas, aunque en muy diverso grado, en los diferentes sistemas de gestión del aprendizaje existen otras características importantes que tratan aspectos menos funcionales, y sí más técnicos desde el punto de vista de la implementación:

- Integración del LMS con otros sistemas. A pesar de que los LMS ofrecen una amplia gama de posibilidades, puede resultar útil a algunas organizaciones la integración con otros sistemas, como otros LMS, bases de datos, entornos de creación de contenidos, etc. Estas integraciones suelen ser muy triviales en el sentido de que no van más allá del intercambio de datos poco estructurados, por ejemplo, los datos de los alumnos. En cualquier caso, a veces proporcionan el medio a través del cual se pueden construir módulos que se integran con los LMS.
- Seguridad del LMS. El entorno debe mantener y guardar la seguridad de los participantes y los contenidos. Se debe asegurar que nadie sin permiso entre en el sistema, y para ello se utilizarán identificadores de entrada y contraseñas.
- Fiabilidad del LMS. Si se pretende que los conocimientos estén siempre disponibles, el entorno debe ser fiable: no debe fallar ni ante ataques externos ni ante errores internos.

Según Morrison (Morrison, 2003), un software LMS puede tener otras funcionalidades como:

- Administración. Debe permitir al administrador iniciar, dirigir, controlar y generar información de las clases, los estudiantes y los grupos. Un administrador puede configurar todas las opciones del sistema, controlar los costes de los cursos, establecer y modificar los campos definidos por los usuarios, especificar los requisitos de certificación y periodos de notificación (cuando el usuario deba ser avisado), gestionar los accesos, importar registros existentes y toda la información necesaria, añadir,

borrar, modificar e importar toda la información de los cursos, controlar grupos de gestores, usar todas las herramientas de información, establecer las opciones de seguridad, etc.

- Gestión “on-line”. Permitir a los profesores documentar, controlar e informar sobre las clases, los estudiantes y los grupos de estudiantes asignados a cada gestor “on-line”, autorizado por el administrador. Un gestor “on-line” puede gestionar una serie de recursos asignados tales como cursos, estudiantes, grupos de estudiantes, control del uso de los cursos, ver e imprimir los informes de los estudiantes, monitorizar su progreso, asignarles cursos y currículos, añadir y modificar su información.
- Gestión de estudiante “on-line”. Se trata de una herramienta a través de la cual el estudiante registrado en el sistema puede acceder a los cursos, ver las tareas, y toda la información referente al curso. Un estudiante puede emplear su navegador Web para acceder a una interfaz, simple e intuitiva, donde ver el catálogo de cursos “on-line”, ver información detallada de los cursos, planificaciones, ejecutar informes personales, acceder a las lecciones de los cursos, ver su información personal, cancelar el registro, etc.
- Conectividad e Interoperabilidad. Son dos conceptos que han de estar muy presentes cuando un LMS puede ofertar, gestionar y medir las actividades de un curso: ejecución, control, puntuación, ejecutar cualquier tipo de recurso electrónico del curso (presentaciones, archivos, vídeos, etc.) desde el navegador, descargar cursos, etc. dado que todas estas actividades suelen necesitar de intercambio de ficheros.
- Notificación vía e-mail automática. Sirve para informar sobre los próximos cursos, los cursos completados, matrículas, clases y cursos superados, para el envío de documentos necesarios, etc.
- Gestión de base de datos embebida. En ocasiones se precisa de una base de datos para las necesidades de algunos clientes. Esta es generalmente embebida, aunque cabe la posibilidad de emplear una base de datos externa al sistema.

De esta manera el LMS maneja todas las tareas administrativas del e-learning, lo cual resulta muy útil, puesto que dichas tareas pueden ser verdaderamente complicadas cuando se trabaja con centenares de cursos y miles de estudiantes.

Desde el punto de vista técnico, un LMS es un software basado en un sistema servidor que controla el e-learning. Al acceder los usuarios normalmente vía navegador Web, el sistema es sencillo de manejar.

De acuerdo con Piskurich (Piskurich, 2003), existen tres tipos fundamentales de LMS:

- Proprietarios. Son sistemas muy herméticos y generalmente con poca interoperabilidad con otros componentes e-learning.
- Basados en estándares. Aquellos sistemas que soportan los estándares e-learning, proporcionando interoperabilidad, pero que se ven limitados por las propias carencias de los estándares que soportan.
- Basados en sistemas de arquitecturas abiertas. Proporcionan una interoperabilidad muy elevada gracias al conocimiento de su funcionamiento interno.

Como se aprecia en la Figura 1, los componentes de un LMS tradicional, según Henderson (Henderson, 2003), son:

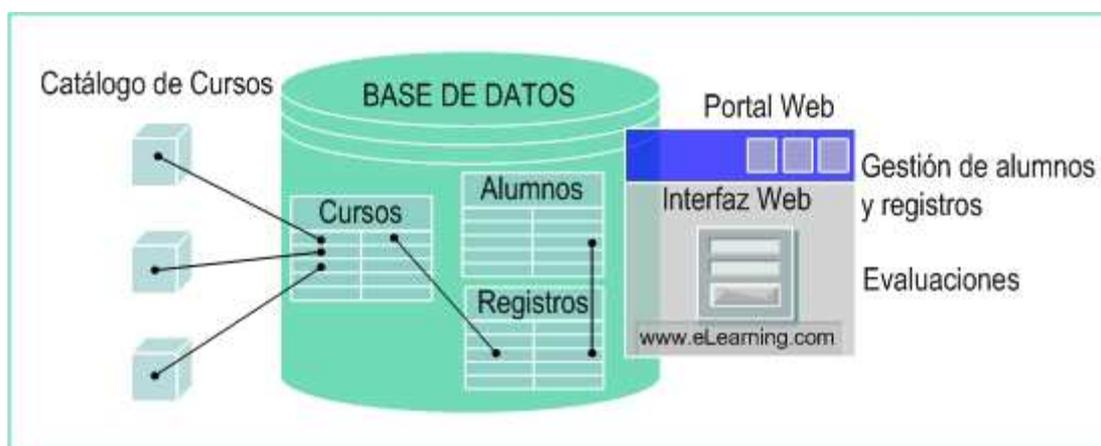


Figura 1. Esquema de componentes de un LMS

- Portal Web. El sitio Web al que los usuarios acceden para aprender. Se puede considerar como la “puerta principal” del LMS, que conduce al catálogo de los cursos disponibles y a las demás partes del LMS. En ocasiones también incluye noticias, anuncios y otra información.
- Catálogo de cursos. Se trata de una descripción de cada uno de los cursos e-learning que están disponibles en el sistema. Los alumnos pueden seleccionar aquellos cursos que deseen cursar.
- Gestión de alumnos y registros. Se trata de la parte administrativa del LMS y gestiona los registros de los alumnos, a la vez que proporciona informes a los administradores.
- Evaluaciones (preguntas, test). Muchos LMS incluyen la funcionalidad de realizar test sobre los cursos, algunos incluyen evaluaciones de temas concretos, en las que los estudiantes pueden realizar evaluaciones “on-line” de los conocimientos adquiridos y,

mediante las mismas, obtener recomendaciones de cursos que pueden realizar, para mejorar en aquellas áreas en las que sus resultados fueron bajos.

### 2.1.2.2. Learning Content Management Systems

La definición más sencilla de un sistema de gestión de contenidos (LCMS) es la que describe a éste como un sistema que permite la creación, almacenamiento, gestión y desarrollo de los contenidos e-learning bajo la forma de objetos de aprendizaje, para servir las necesidades de los individuos.

Los sistemas de gestión de contenidos, en adelante LCMS, aparecen por dos razones fundamentales: primero por la necesidad de algunos usuarios de LMS que precisaban crear y manipular contenidos y, en segundo lugar, por el rápido incremento de las prestaciones que se le exigían al sistema y para las cuales los LMSs no tenían la respuesta adecuada.

Los LMS y LCMS tienen una naturaleza complementaria: los segundos no fueron diseñados para reemplazar a los primeros, sino para proporcionar a los clientes que así lo requerían la capacidad de gestionar también los contenidos de aprendizaje. Los LCMS facilitan a los profesores la división de los cursos en unidades cada vez más pequeñas (granulación), y de esta manera fomentan la reutilización de contenidos y simplifican la creación de los cursos.

La Tabla 2 muestra cómo los resultados establecen las diferentes funcionalidades de los dos tipos de sistemas.

	LMS	LCMS
<b>Usuarios principales</b>	Gestores del aprendizaje, Profesores, Administradores	Desarrolladores de contenidos y diseñadores de contenidos educativos
<b>Provee herramientas para la gestión primaria de...</b>	Estudiantes	Contenidos educativos
<b>Realiza gestión de las clases, del aprendizaje...</b>	Sí, pero no siempre	No
<b>Realización de informes del aprendizaje...</b>	Es una de las tareas principales	Es una tarea secundaria
<b>Colaboración con el estudiante</b>	Sí	Sí

<b>Guarda datos de los perfiles de los estudiantes</b>	Sí	No
<b>Comparte los datos de los usuarios con otros sistemas</b>	Sí	No
<b>Planificación de eventos</b>	Sí	No
<b>Control de competencias, análisis de las habilidades</b>	Sí	Sí, en algunos casos
<b>Capacidades de creación de contenidos</b>	No	Sí
<b>Organización de contenidos reutilizables</b>	No	Sí
<b>Creación de preguntas de evaluación y gestión de test</b>	Sí, un 73% de los LMS tienen esta capacidad	Sí, un 92% de los LCMS tienen esta capacidad
<b>Pre-evaluación dinámica y enseñanza adaptable</b>	No	Sí
<b>Herramientas de gestión de aprendizaje para el proceso de desarrollo de contenidos</b>	No	Sí
<b>Entrega de los contenidos, proporcionando controles de navegación e interfaces para el alumno</b>	No	Sí

Tabla 2. Comparación de las funcionalidades de un LMS y un LCMS

Habitualmente los LCMS proporcionan módulos para la creación de contenidos, la creación de evaluaciones, publicación, administración, repositorio de datos, y un módulo para la personalización del entorno de trabajo.

El LCMS simplifica y acelera el proceso de creación de contenidos facilitando a expertos en cualquier materia, pero no necesariamente expertos en el desarrollo de software, las funciones para diseñar, crear, distribuir y controlar la calidad del proceso de aprendizaje de una forma sencilla, rápida y eficiente. Es debido a esta funcionalidad por lo que se puede pensar que los LCMS disponen de potencial suficiente para emplearse como herramienta autónoma capaz de compartir y gestionar los conocimientos, reemplazando así, en cierto modo, al LMS. Pero los LMS y LCMS no son excluyentes, sino complementarios (Figura 2): han de trabajar conjuntamente para así intercambiar entre ambos la información, resultando un aprendizaje más enriquecedor para el alumno y una herramienta más completa para el

administrador del e-learning. El LMS gestiona los grupos de usuarios, permitiendo a cada uno de ellos el acceso a los objetos apropiados almacenados y gestionados por el LCMS. A su vez, el LCMS también guarda los progresos individuales de cada alumno y sus notas en las evaluaciones, pasándole los datos al LMS para realizar informes.

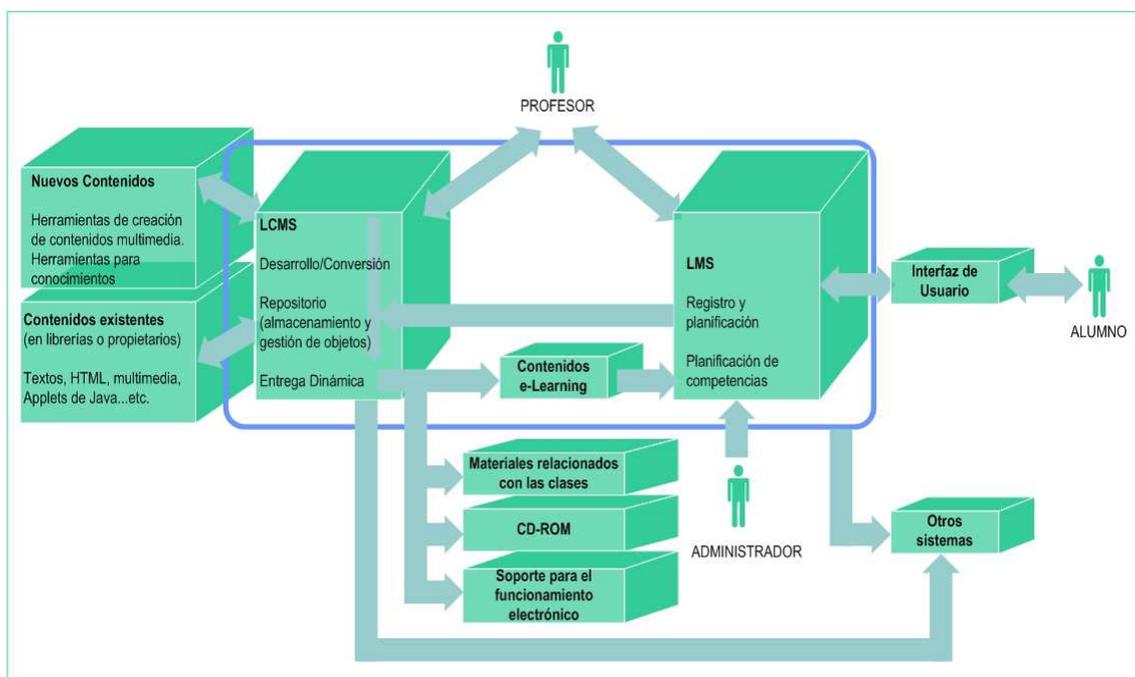


Figura 2. Integración de LMS y LCMS

Los LCMS se construyen en torno a una base de datos central en la que se almacenan los elementos que constituyen los contenidos de los cursos; dichos elementos se presentan en formatos portables (reutilizables) y generalmente incluyen herramientas de creación y publicación de contenidos. Estos sistemas, que funcionan en un entorno Web, pueden crearse con una estructura y apariencia diferentes unos de otros; además, sus contenidos pueden ser fácilmente actualizados por usuarios sin conocimientos especiales en aspectos técnicos y de mantenimiento de entornos Web.

Dichos contenidos pueden ser usados por más de un sitio Web, de manera que se reduzca el esfuerzo del desarrollo al poder reutilizar los mismos contenidos para diferentes cursos. Son estas posibilidades las que han popularizado el uso de las plataformas e-learning entre los profesores que han necesitado poner material de los cursos a disposición de los estudiantes (a distancia, por el método tradicional, o de ambas formas) de una manera rápida y fácil.

La Figura 3 muestra algunos de los componentes de un LCMS y cómo se relacionan entre ellos.

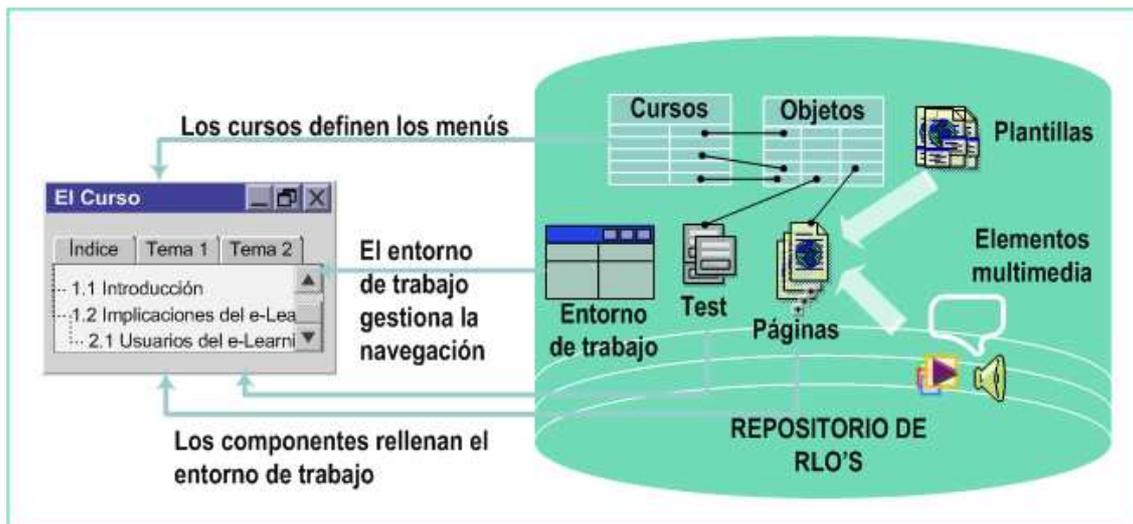


Figura 3. Componentes de un LCMS

Los creadores de contenidos crean los elementos multimedia, las evaluaciones y todos los componentes necesarios para la creación de un curso, y los almacenan en el repositorio.

Sirviéndose de plantillas ya existentes, o comenzando desde cero, se agrupan los componentes almacenados que se precisen para responder a un requerimiento de un usuario. Esos grupos de componentes se etiquetan en términos de los objetivos buscados y de los contenidos que se necesitan para alcanzar dichos objetivos, constituyendo así la materia de los cursos. Las lecciones y los cursos se definen en términos de los objetos de aprendizaje que contienen.

Los creadores de contenidos deben también definir el entorno de trabajo, para controlar la navegación y proporcionar la interfaz de usuario del curso. Cuando se necesita un curso, se realiza una copia del entorno de trabajo; mediante la definición del curso, se genera el menú correspondiente y los estudiantes seleccionan de dicho menú las páginas y cualesquiera otros componentes del curso, disponibles en el entorno de trabajo.

Por lo tanto, una plataforma LCMS, además de garantizar el control del proceso de aprendizaje, debe facilitar la creación, almacenamiento y reparto de los contenidos, ateniéndose a las siguientes características:

- Proporcionar herramientas sencillas que faciliten la creación de contenidos, en forma de aplicaciones o software de autor embebidas en el sistema, incluyendo editores para la creación de contenido Web, con el fin de eliminar la necesidad de manejar editores HTML o XML.

- Emplear sistemas flexibles de diseño y distribución de los recursos que permitan adaptarse a las necesidades de la organización y a los diferentes sistemas y ritmos de aprendizaje de los usuarios.
- Posibilitar la reutilización de los objetos de aprendizaje; de hecho, cada elemento de aprendizaje debiera ser tratado como un objeto de aprendizaje reutilizable y mantenido a disposición de los profesores, quienes pueden aprovecharse de esta facilidad para emplear el mismo objeto en cursos diferentes, de manera que se minimice el esfuerzo de desarrollo, o actualización.
- Proporcionar herramientas para la administración del sistema que permita las matriculaciones, el seguimiento del aprendizaje, controlar el uso de los tiempos, el seguimiento de los usuarios, la adecuación de contenidos, etc.
- Proporcionar herramientas para la evaluación, tanto inicial como de la evolución de los aprendizajes que se produzca a lo largo del curso, ya sea en lo que se refiere a los cursos en general, y a los objetos de aprendizaje en particular, el sistema debe proveer recursos suficientes para valorar los aprendizajes bajo distintos niveles de dificultad y diferentes modalidades de medición.
- Permitir la conectividad con otros LMSs y la adecuación a los estándares más importantes.
- Disponer de herramientas para la comunicación y el aprendizaje en colaboración, incluyendo recursos, tanto síncronos como asíncronos, que faciliten la comunicación sencilla entre iguales y con el profesorado y, asimismo, recursos para el aprendizaje en colaboración que permita compartir conocimiento y realizar trabajos en grupo.
- Establecer mecanismos de seguridad y protección del conocimiento almacenado. Dicha seguridad dependerá del uso de los privilegios de los diferentes usuarios y de las diversas funciones que los mismos desarrollan dentro de la organización, y afectará a las cargas y descargas de documentación, así como al acceso a la misma.
- Simplificar la migración de contenidos para facilitar la adaptación a las diferentes necesidades y escenarios de formación que se puedan presentar.
- Facilitar el proceso de instalación de manera que haga innecesarias las adaptaciones, localizaciones, personalización y demás tareas que encarecen el producto y retrasan ese proceso.

Viendo las características y funcionalidades de cada sistema, se puede decir que la principal diferencia de los LMS con respecto a los LCMS radica en que para los primeros el elemento con el que trabajan es la totalidad de un curso ya existente, sin entrar en el detalle

de los contenidos que constituyen dicho curso; mientras que para un LCMS su elemento de trabajo son dichos contenidos, vistos como componentes aislados de cursos, sea de cursos ya existentes o de cursos que podrán crearse en un futuro.

La necesidad de respetar esas características y proporcionar esas funcionalidades de forma satisfactoria en términos de eficiencia y seguridad obligó a los desarrolladores a potenciar el uso generalizado de técnicas sin las cuales puede decirse que el e-learning no alcanza los objetivos para los que ha sido concebido.

Por otro lado, con el avance de las nuevas tecnologías, el uso de los dispositivos móviles en la vida cotidiana es cada día más común: trabajo, relaciones sociales, aprendizaje, ocio, etc. No obstante, algunos de los sistemas mencionados anteriormente no permiten (o si lo permiten, es con cierta dificultad) el uso de dispositivos móviles. Por lo tanto, es necesario presentar algunos de los principales esfuerzos para la inclusión de los dispositivos móviles en los procesos de aprendizaje. El siguiente apartado muestra algunas aportaciones de arquitecturas y sistemas que permiten integrar los dispositivos móviles en la educación.

### **2.1.3. Integración de los dispositivos móviles en el aprendizaje**

Actualmente el aprendizaje mediante e-learning debe ser realizado a través de sistemas LMS (o LCMS), pero estos sistemas habitualmente no soportan un acceso apropiado con un dispositivo móvil (por ejemplo, los contenidos aparecen enormes en una pantalla de reducido tamaño). Además, el acceso al sistema para visualizar los contenidos docentes mediante el navegador web del dispositivo móvil se plantea realmente difícil, tal y como indica Sharma (Sharma and Kitchens, 2004). A continuación se muestran algunos de los principales sistemas y arquitecturas que permiten integrar adecuadamente los dispositivos móviles en los sistemas LMS.

Trifonova y Ronchetti (Trifonova and Ronchetti, 2004) proponen una arquitectura (Figura 4) para soportar los dispositivos móviles en sistemas LMS. Para ello, indican que un entorno de aprendizaje debería tener al menos estas tres nuevas funcionalidades:

- Context Discovery (Descubrimiento del contexto).
- Mobile Content Management and Presentation Adaptation (Gestión del contenido móvil y adaptación de la presentación).
- Packaging and Synchronization (Empaquetado y sincronización).

La primera funcionalidad provee información contextual sobre el alumno y su entorno: características del dispositivo móvil, localización del alumno y del dispositivo, información temporal, etc. La segunda funcionalidad usa esta información y adapta los contenidos a las necesidades del alumno y del dispositivo: puede incluir adaptación de la estructura, del formato multimedia, calidad, e incluso tipo, etc. La tercera funcionalidad permite mantener los contenidos actualizados mientras el alumno está desconectado (ausencia de conexión a Internet, etc.).

Estos autores han probado esta arquitectura en un proyecto real (Trifonova *et al.*, 2004), llamado ELDIT (Elektronisches Lernerwörterbuch Deutsch-Italienisch). Se trata de un sistema e-learning real para el aprendizaje de idiomas que ha sido adaptado para soportar el acceso mediante dispositivos móviles.

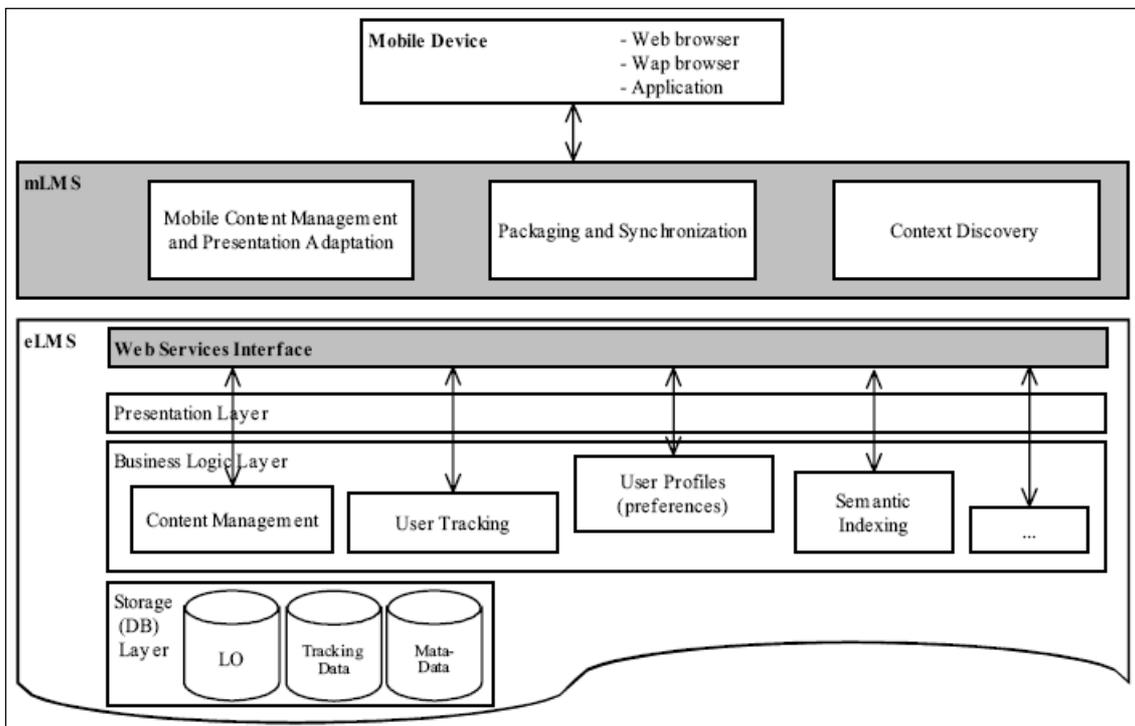


Figura 4. Arquitectura General M-Learning (Trifonova and Ronchetti, 2004)

La cuestión más importante encontrada por estos autores es la diferencia entre el nivel de conectividad de un alumno con un sistema e-learning y un sistema m-learning: en un sistema e-learning el alumno está normalmente siempre conectado al sistema, mientras que en un sistema m-learning el alumno puede no estar siempre conectado al sistema porque puede sufrir periodos de desconexión por diferentes razones (coste de la conexión, problema de infraestructura, etc.).

En este punto merece la pena mencionar que los autores también hacen especial hincapié en la diferencia entre los términos “Adaptable” y “Adaptive”. “Adaptable” significa que la adaptación de los contenidos es realizada manualmente y previamente al aprendizaje, mientras que “Adaptive” significa que la adaptación de los contenidos podría ser realizada automáticamente en el momento por el sistema. El sistema ELDIT es solamente “Adaptable”, pero no “Adaptive”.

Capuano *et al.* (Capuano *et al.*, 2005) proponen una arquitectura llamada IWT (Intelligent Web Teacher). Esta arquitectura es flexible y escalable fácilmente con nuevas funciones. Permite el aprendizaje mediante cursos simples y cursos inteligentes, estos últimos pueden ser personalizados para los alumnos. El motor de la plataforma adapta los contenidos a los dispositivos móviles utilizando una herramienta llamada Microsoft Mobile Internet Toolkit, la cual permite construir contenidos web utilizando controles adaptados para dispositivos móviles. Los contenidos son gestionados como “píldoras” o paquetes basados en SMSs (Short Message Service). Un SMS puede contener también cuestionarios, pudiendo el alumno responder a estos cuestionarios contestando mediante otro SMS a la plataforma.

Por otro lado, Sharma y Kitchens (Sharma and Kitchens, 2004) proponen una arquitectura basada en Servicios Web para integrar los dispositivos móviles en el proceso de aprendizaje y, además, presenta los dispositivos móviles como una herramienta que el profesor puede utilizar para distribuir tareas entre los alumnos.

Según Sharma y Kitchens, hay dos enfoques para un sistema m-learning: el primero es un simple acceso con un dispositivo móvil a un LMS tradicional, y por lo tanto el e-learning se convierte en m-learning sin nada adicional. El segundo enfoque es tener en cuenta el entorno y localización del alumno cuando se conecta al LMS con un dispositivo móvil.

La arquitectura que propone está dividida en diferentes capas:

- Capa de aplicación: hay diferentes servicios disponibles para los profesores y alumnos. Este es el punto de interacción entre ambos. Las otras capas son transparentes para los estudiantes.
- Capa de integración: permite trabajar con diferentes proveedores de Servicios Web.
- Capa web: los protocolos de red utilizados permiten utilizar Internet como canal de comunicación.

- Capa de distribución a los dispositivos: es utilizada para distribuir contenidos a los dispositivos móviles. El contenido puede ser personalizado dependiendo del tipo de dispositivo móvil.
- Capa humana: profesores y administradores pueden utilizar esta capa para gestionar los diferentes servicios de la plataforma.

El uso de los dispositivos móviles también ha sido empleado para el refuerzo de acciones formativas mediante auto-evaluación, tal y como muestra de-Marcos *et al.* (de-Marcos *et al.*, 2010) en un experimento realizado para la mejora de rendimiento en alumnos de educación secundaria y terciaria mediante el uso de dispositivos móviles. Los autores afirman que es posible desarrollar aplicaciones móviles orientadas al aprendizaje, pero que también es importante evaluar que estas aplicaciones funcionan en realidad. Por lo tanto, proponen una nueva herramienta diseñada para reforzar los conocimientos de los alumnos por medio de la auto-evaluación. La mejora lograda por los estudiantes fue evaluada y también se llevó a cabo un estudio de motivación para averiguar las actitudes de los alumnos hacia esta nueva herramienta. Se seleccionaron tres diferentes grupos experimentales para llevar a cabo esta investigación, con alumnos de entre 14 y 21 años de edad, incluyendo estudiantes de instituto y de universidad. Los resultados muestran que este tipo de herramientas mejora el rendimiento del alumno, especialmente entre los alumnos más jóvenes, con un impacto relativamente bajo en las actividades actuales de enseñanza y la metodología.

Estos sistemas son empleados en la mayoría de las acciones formativas a través de Internet. Existen sistemas con licencias y sistemas de libre distribución que centralizan todas las actividades. Por lo tanto, es fundamental conocer sus características y generar productos para integrarlos en acciones formativas que estos sistemas acepten. De lo contrario la aplicabilidad de las aportaciones realizadas y de los contenidos que estas generen carecerá de una componente práctica. Algunas de las herramientas para la creación y publicación de contenidos antes mencionadas citan por primera vez el concepto de estándar. Muchos de estos sistemas incorporan la posibilidad de importar contenidos desarrollados conforme a estándares que aseguran la interoperabilidad. Por lo tanto, otra forma de conseguir sistemas con un alto grado de aplicabilidad práctica es diseñarlos para que produzcan salidas conforme con estos estándares. En el apartado 2.1.4 del presente documento se describen los principales esfuerzos y resultados obtenidos en el ámbito de la estandarización en estos sistemas.

## 2.1.4. Estandarización

Poco después del surgimiento de los primeros sistemas e-learning se vio la necesidad de establecer normas que asegurasen la interoperabilidad entre plataformas y contenidos. La amplia difusión inicial de sistemas propietarios incrementaba los costes de desarrollo de contenidos y dificultaba el progreso de la parte de la industria ligada a este mercado. Esto hizo crecer el nivel de concienciación de los distintos grupos de interés que lideraron procesos de estandarización con el objetivo de asegurar la interoperabilidad en el e-learning. Las organizaciones más relevantes se introducen en la Tabla 3. No obstante, el nivel de conformidad con los estándares es pequeño, dado que muchos sistemas, tanto comerciales como de libre distribución, suelen ofrecer únicamente la funcionalidad mínima relacionada con la interoperabilidad de contenidos. Esto puede deberse, en parte, a la proliferación de las propias especificaciones. De cualquier manera existen ya varias aproximaciones, por ejemplo (de Blas *et al.*, 2008), que presentan modelos de ciclo de vida de los objetos docentes, contenidos y e-learning basados al completo en estándares.

Nombre de la organización	Página Web
ISO/IEC JTC1 SC36	<a href="http://jtc1sc36.org">http://jtc1sc36.org</a>
IEEE LTSC	<a href="http://ltsc.ieee.org">http://ltsc.ieee.org</a>
CEN/ISSS WS-LT	<a href="http://www.cenorm.be">http://www.cenorm.be</a>
ADL	<a href="http://www.adlnet.org">http://www.adlnet.org</a>
AICC	<a href="http://www.aicc.org">http://www.aicc.org</a>
IMS	<a href="http://www.imspjproject.org">http://www.imspjproject.org</a>
European Schoolnet	<a href="http://eunbrux02.eun.org">http://eunbrux02.eun.org</a>
ARIADNE	<a href="http://www.ariadne-eu.org">http://www.ariadne-eu.org</a>
PROMETEUS	<a href="http://www.prometeus.org">http://www.prometeus.org</a>
GEM	<a href="http://www.geminfo.org">http://www.geminfo.org</a>
EdNA Online	<a href="http://www.edna.edu.au">http://www.edna.edu.au</a>
DCMI	<a href="http://dublincore.org">http://dublincore.org</a>

Tabla 3. Organizaciones dedicadas a la estandarización en el ámbito del e-learning

El objetivo de este subapartado es presentar el conjunto de normas (y en su caso, las instituciones) que son más relevantes para la presente tesis por conformar el conjunto de especificaciones en los que se basa el sistema propuesto (capítulo 0) y que aseguran la interoperabilidad de los agentes desarrollados con los sistemas existentes.

### 2.1.4.1. Concepto de Estándar

Los estándares son acuerdos internacionales documentados o normas establecidas por consenso mundial. Contienen las especificaciones técnicas y de calidad que deben reunir todos

los productos y servicios para cumplir satisfactoriamente con las necesidades para las que han sido creados y para poder competir internacionalmente en condiciones de igualdad. El objetivo primordial al crear un estándar es impedir que en el mercado se impongan determinadas tecnologías ofrecidas por las empresas de un ámbito industrial concreto, evitando así que imperen intereses económicos privados.

Las diferentes organizaciones internacionales de estandarización ofrecen definiciones oficiales de lo que es un estándar. De acuerdo a la Organización Internacional de Normalización (ISO)<sup>3</sup>, estándar se define como lo que *“contribuye para hacer la vida más fácil, y para incrementar la confiabilidad y efectividad de los bienes y servicios que utilizamos”*. También, según la ISO, se trata de *“acuerdos documentados que contienen especificaciones técnicas u otros criterios, para ser utilizados constantemente como reglas o definiciones de características, para asegurar que materiales, productos, procesos y servicios son adecuados para sus propósitos”*.

Por su parte, el BSI (British Standard Institute)<sup>4</sup> describe un estándar como *“una especificación publicada que establece un lenguaje común, y contiene una técnica u otro criterio, que está diseñado para ser usado constantemente, como una regla o una definición”*.

Los estándares ofrecen:

- Una base de comparación.
- Una medida de la calidad, cantidad o nivel.
- Un consenso de opiniones entre individuos, grupos u organizaciones.

Los estándares son desarrollados por organizaciones oficiales con ánimo de evitar que intereses privados determinen normas y garantizar la comunicación entre los diferentes dispositivos y/o plataformas con los denominados estándares oficiales o “de jure”. En contraposición a éstos estándares se encuentran los designados “de facto”, los cuales sin estar impuestos por ninguna organización, y a veces sin estar emitidos por ninguna norma, hacen que se conviertan en estándares al usarse de manera repetitiva. El estado ideal de un estándar es cuando un estándar de jure es también de facto.

Existe cierta confusión sobre los términos estándar y especificación. La diferencia fundamental entre ambos es que las especificaciones son desarrolladas por comités no acreditados. Algunos de los más conocidos son: IETF (Internet Engineering Task Force), W3C

---

<sup>3</sup> ISO (International Organization for Standardization). <http://www.iso.org>

<sup>4</sup> BSI (British Standard Institute). <http://www.bsigroup.com>

(World Wide Web Consortium), OMG (Object Management Group) o IMS (Instructional Management Systems). Por el contrario, un estándar es una especificación desarrollada y acreditada por comités de estandarización específicos. Ejemplo de este tipo de comités incluye a: IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), ISO, ANSI (American National Standards Institute), BSI, AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación), etc. En algunas industrias, el producto no puede ser vendido hasta que no recibe la certificación necesaria o es aprobada por el gobierno pertinente, como en el caso de los productos y servicios eléctricos o electrónicos, acreditados por IEEE.

Por lo tanto, una especificación es una descripción documentada de una tecnología. Las especificaciones son recomendaciones técnicas y de calidad que no se han adoptado de manera oficial en un ámbito tecnológico o de cualquier otra índole, es decir, no es obligatorio su uso. La mayoría de los estándares tampoco son obligatorios, ya que sólo lo son cuando los impone la ley.

#### **2.1.4.2. El proceso de estandarización**

El proceso de elaboración de un estándar es similar al de creación y aprobación de las leyes: una vez se ha realizado el grueso del trabajo, éste debe ser ratificado por un organismo oficial. Puede parecer un proceso lento y poco efectivo, pero hay que tener en cuenta que el éxito de un estándar radica en su nivel de aceptación, por lo que un grupo de estandarización debe ser un organismo que se encargue de recopilar requisitos de múltiples fuentes y elabore con ellos una especificación consensuada.

Algunas especificaciones acaban convirtiéndose en estándar, lo que significa que han recibido una acreditación oficial.

Para que una especificación evolucione hacia estándar debe pasar por un proceso, el cual tiene sus fases. Entre las principales fases en el diseño y desarrollo de estándares, y según Masie (Masie, 2002), podemos mencionar las siguientes:

- Fase 1- Requisitos: El proceso comienza con grupos denominados consorcios y formados por gobiernos, empresas, individuos, académicos, etc. Se recogen requisitos e ideas y experiencias de la comunidad de usuarios, instituciones académicas, la industria y demás entes involucrados.
- Fase 2- Especificaciones: Expertos en realizar especificaciones preparan un borrador técnico del tema en cuestión, donde se presentan las principales ideas de la especificación que se desea desarrollar.

- Fase 3- Prueba y uso: Se desarrollan modelos de referencias y documentos específicos para ser usados y validados por grupos específicos de usuarios.
- Fase 4- Estándar: Si la especificación generada es válida y ampliamente aceptada después del período de prueba, puede ser enviada a cuerpos especializados para someterlos a su aprobación como estándar. Algunas oficinas de acreditación en e-learning son: IEEE LTSC (Learning Technology Standards Committee), ANSI (American National Standards Institute) o el CEN/ISSS (European Committee for Standardization / Information Society Standardization System). Una vez aprobada, la especificación será reconocida como un estándar (por ejemplo, ISO).

### **2.1.4.3. Estándares de e-learning**

Hay estándares genéricos apoyados por diferentes organismos que, desde hace años, establecieron sus propias especificaciones. Actualmente se está produciendo una convergencia hacia estándares comunes e intercambiables que soportan la definición de recomendaciones y nuevos estándares para campos de actividad específicos como en el caso del e-learning.

Las principales razones que impulsan la creación de estándares en el área de e-learning son (Rehak, 2003):

- Protección de la inversión ante quiebra de proveedores.
- Portabilidad de contenidos de cursos entre diferentes tecnologías de adiestramiento y/o plataformas e-learning.
- Integración de iniciativas e-learning con sistemas de Recursos Humanos Corporativos, Sistemas de Control o Administración de gestión académica.
- Integración de plataformas e-learning en la infraestructura tecnológica existente.
- En definitiva, la mejora del e-learning.

Los objetivos que persiguen cumplir los estándares e-learning son (Hodgins, 2001):

- Durabilidad: Que la tecnología desarrollada con el estándar evite la obsolescencia de los cursos.
- Interoperabilidad: Que se pueda intercambiar información a través de una amplia variedad de LMS o LCMS.
- Accesibilidad: Que se permita un seguimiento del comportamiento de los alumnos.
- Reutilización: Que los distintos cursos y objetos de aprendizaje puedan ser reutilizados con diferentes herramientas y en distintas plataformas.

- Adaptabilidad: Los estándares se refieren al hecho de poder facilitar la adaptación o personalización del entorno de aprendizaje.
- Productividad: Si los proveedores de tecnología e-learning desarrollan sus productos siguiendo estándares comúnmente aceptados, la efectividad de e-learning se incrementa significativamente y el tiempo y costos se reducen.

#### 2.1.4.4. Tipos de estándares e-learning

En el mercado existen tanto LMS como LCMS de muchos fabricantes distintos. Por ello se hace necesaria una normativa que compatibilice los distintos sistemas y cursos a fin de lograr dos objetivos:

- Que un curso de cualquier fabricante pueda ser cargado en cualquier LMS de otro fabricante.
- Que los resultados de la actividad de los usuarios en el curso puedan ser registrados por el LMS.

Los distintos estándares que se desarrollan hoy en día para la industria del e-learning se pueden clasificar (Figura 5) en los siguientes tipos:

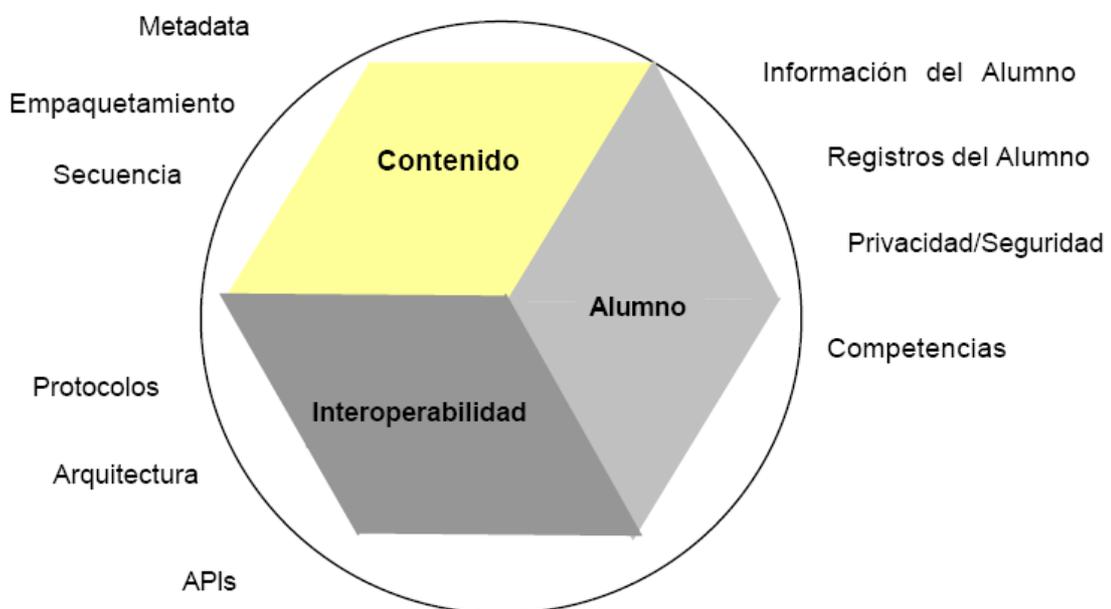


Figura 5. Áreas afectadas por los estándares de e-learning

- Sobre el Contenido o Curso: Estructuras de los contenidos, empaquetamiento de contenidos, seguimiento de los resultados.
- Sobre el Alumno: Almacenamiento e intercambio de información del alumno, competencias (habilidades) del alumno, privacidad y seguridad.
- Sobre la Interoperabilidad: Integración de componentes del LMS, interoperabilidad entre múltiples LMS.

Al hablar sobre un estándar e-learning nos estamos refiriendo a un conjunto de reglas en común para las compañías dedicadas a la tecnología e-learning. Estas reglas especifican cómo los fabricantes pueden construir cursos on-line y las plataformas sobre las cuales son impartidos estos cursos de tal manera que puedan interactuar unas con otras. Estas reglas proveen modelos comunes de información para cursos e-learning y plataformas LMS, que básicamente permiten a los sistemas y a los cursos compartir datos o comunicarse con otros. Esto también ofrece la posibilidad de incorporar contenidos de distintos proveedores en un solo programa de estudios.

Estas reglas, además, definen un modelo de empaquetamiento estándar para los contenidos. Los contenidos pueden ser empaquetados como objetos de aprendizaje (*learning objects* o LO), de tal forma que permita a los desarrolladores crear contenidos que puedan ser fácilmente reutilizados e integrados en distintos cursos.

Si se consigue la estandarización de esta tecnología, desarrolladores de cursos *on-line* y constructores de componentes y plataformas e-learning beneficiarían a toda la comunidad de usuarios, ya que además de facilitar la interoperabilidad de componentes, preservaría las inversiones que se realizaran en este campo. La vida de los cursos *on-line* se vería incrementada al poder intercambiarse cursos virtuales entre diferentes plataformas, sin la necesidad de realizar costosas modificaciones.

Los estándares han iniciado el camino hacia una forma cómoda y viable de empaquetar los recursos y los contenidos, tanto para los estudiantes que cambian de sistema, como para los docentes que utilizan en distintos contextos estos materiales y para los desarrolladores que tienen que construir nuevas herramientas y mejorar las vigentes.

#### **2.1.4.5. Beneficios de los estándares e-learning**

Los estándares en e-learning no son totalmente sólidos ni están definidos en estos momentos. La madurez de la industria presionará por estándares claros y bien definidos. Existe

una gran confusión en la proliferación de consorcios, especificaciones e individuos que desean ganar terreno en la nueva industria que se vislumbra.

Salvaguardar las inversiones realizadas, garantizar la interoperabilidad de los componentes tecnológicos que se adquieran, y el acceso a la información desde diferentes puntos de vista, es una tarea prioritaria para las personas involucradas en el e-learning.

Las instituciones educativas deben estar atentas a las iniciativas de estandarización de su tecnología, ya que sería muy costoso quedar con contenido aislado en un mundo cada vez más interconectado y que clama por la colaboración institucional como mecanismo para garantizar una educación de calidad.

Una industria que nace y carece de estándares es atractiva para incorporar nuevas maneras y formas de trabajar sistematizadas y organizadas. Por ello, educarse y fomentar la cultura de los estándares es imperativo, la experimentación debe dar paso a la organización y consolidación de una industria que nace y se fortalece cada día.

No sólo el uso y aplicación de estándares es propicio para el desarrollo de contenidos y materiales educacionales: es de igual importancia la utilización de estándares en los llamados portales educacionales. Un portal, la puerta virtual de acceso a la institución, debe reflejar consistencia y organización coherentes que guíen a los visitantes a las distintas instancias de información a las cuales deseen acceder. Como consecuencia, una imagen institucional sería de mayor beneficio para los visitantes del portal, que múltiples imágenes esparcidas a lo largo del mismo.

Los estándares e-learning proporcionan beneficios multifacéticos, esto incluye instituciones académicas, corporaciones, individuos y a la industria en general. He aquí algunos casos:

- La industria e-learning como un todo. La interoperabilidad entre diferentes componentes tecnológicos de e-learning elimina temores de inversión en la tecnología, al mismo tiempo que incentiva la adopción más generalizada del e-learning, lo cual facilita el desarrollo de la industria como un todo.
- Proveedores de tecnología. Con un sistema de estándares, los proveedores pueden ver expandidos sus mercados. Los contenidos y las plataformas basadas en estándares son más sostenibles a largo plazo. Los proveedores de contenido podrán fácilmente reutilizar contenidos entre diferentes programas. De igual manera, las herramientas estándares facilitan el desarrollo de contenidos y de nuevas funcionalidades.

- Instituciones Académicas. Compartir contenidos de cursos será mucho más fácil para profesores. Teniendo como estándar un navegador de Internet, los estudiantes y los profesores podrán intercambiar información fácilmente. Los estándares e-learning ayudan a preservar el capital invertido en tecnología y desarrollo de profesores. Transferir contenidos y evaluaciones entre instituciones será mucho más sencillo.
- Corporaciones. El poder de adquirir una gran gama de contenidos y que puedan funcionar correctamente en cualquier plataforma expande las potencialidades de formación de las empresas. La rapidez de puesta en marcha de cursos y programas enriquece los programas de formación corporativos. Todo esto trae consigo una mejor rentabilidad de la inversión realizada en e-learning.
- Individuos. Personas independientes tendrán acceso a mucho más conocimiento en diferentes formatos y lenguajes, lo que conlleva una reducción en costes de formación.

En los siguientes apartados se presentan algunas de las especificaciones y estándares más importantes del ámbito e-learning que han sido utilizados en la presente tesis.

#### **2.1.4.6. IEEE LTSA**

El *Learning Technology Standards Committee (LTSC)*<sup>5</sup> es creado por el *Computer Society Standards Activity Board* de IEEE para desarrollar normas técnicas, prácticas recomendadas y guías para la tecnología de aprendizaje o *learning technology*. El LTSC se coordina formal e informalmente con otras organizaciones que producen otros estándares y normas con propósitos similares. Este desarrollo de estándares es llevado a cabo mediando grupos de trabajo que combinan las reuniones cara a cara, conferencias a distancia e intercambios en grupos y foros de discusión.

El estándar 1484.1 LTSA (IEEE, 2003) define la arquitectura de alto nivel de los sistemas educativos con el objeto de conseguir el mayor grado de interoperabilidad posible entre estos sistemas y los subsistemas y objetos que forman parte de ellos. Hay que tener en cuenta que el resto de los estándares (desarrollados o bajo desarrollo por el LTSA) se encuadran en algún lugar dentro de la arquitectura de alto nivel que aquí se describe, por ello en este apartado pretendemos dar una visión global de este documento y encuadrar dos de los estándares de este grupo que desempeñan un rol importante en el desarrollo de la presente tesis.

---

<sup>5</sup> LTSC: <http://ieeeltsc.org/>

Este estándar (1484.1) especifica una arquitectura de alto nivel para sistemas de educación, aprendizaje y entrenamiento basados en tecnologías de la información. Igualmente describe el diseño de alto nivel de estos sistemas y sus componentes. Este estándar cubre una amplia gama de sistemas, normalmente conocidos como tecnologías de aprendizaje, tecnologías de educación y entrenamiento, aprendizaje basado en ordenadores, instrucción asistida por ordenador, tutoría inteligente, meta-datos, etc. El estándar se define como neutral (1) pedagógicamente, (2) en cuanto a contenidos (Content-Neutral), (3) culturalmente, (4) y con respecto a la plataforma (Platform-Neutral).

Los objetivos de este estándar son:

1. Proveer un marco de trabajo común para entender sistemas ya existentes y futuros.
2. Fomentar la interoperabilidad y portabilidad identificando las interfaces críticas de los sistemas.

Este estándar incorpora un horizonte técnico de adopción o de aplicabilidad de entre 5 y 10 años, durante el cual los sistemas existentes se adaptarán a él. El estándar no se considera preceptivo ni exclusivo.

### ***Propósito***

En general, el propósito de desarrollar arquitecturas de sistemas es descubrir el marco de trabajo de alto nivel necesario para entender ciertos tipos de sistemas, sus subsistemas y la interacción con los sistemas relacionados. Hay que tener en cuenta que puede existir más de una arquitectura.

Una arquitectura no es un catálogo de reglas y pasos para diseñar un solo sistema, sino que es un marco para diseñar un amplio rango de sistemas, y para analizar y comparar estos sistemas.

Al identificar los componentes compartidos por los diferentes sistemas a un nivel de generalidad adecuado, una arquitectura promueve el diseño e implementación de componentes y subsistemas que son reusables y adaptables a un coste efectivo.

El marco de la arquitectura desarrollada en este estándar no aborda los detalles específicos de implementación de las tecnologías (Por ejemplo, lenguajes de programación, herramientas de autor o sistemas operativos) necesarios para crear los componentes del sistema, o los sistemas de gestión (Por ejemplo, del ciclo de vida del material de aprendizaje,

del aseguramiento de la calidad, del control de acceso o de la administración de usuarios) necesarios para gestionar un sistema de aprendizaje.

El estándar identifica los objetivos de las acciones humanas y los procesos computacionales incluyendo las categorías de conocimiento relacionadas. Por ejemplo, es posible identificar los protocolos y métodos de cooperación y colaboración.

### Arquitectura

El estándar divide la arquitectura del sistema en cinco capas (Figura 6, extraída de (IEEE, 2003)), de las cuales sólo la capa tres (componentes del sistema) es normativa, siendo el resto informativas. Cada capa describe el sistema a un nivel diferente. Las capas inferiores son implementaciones de las superiores, y las capas superiores son abstracciones de las inferiores.

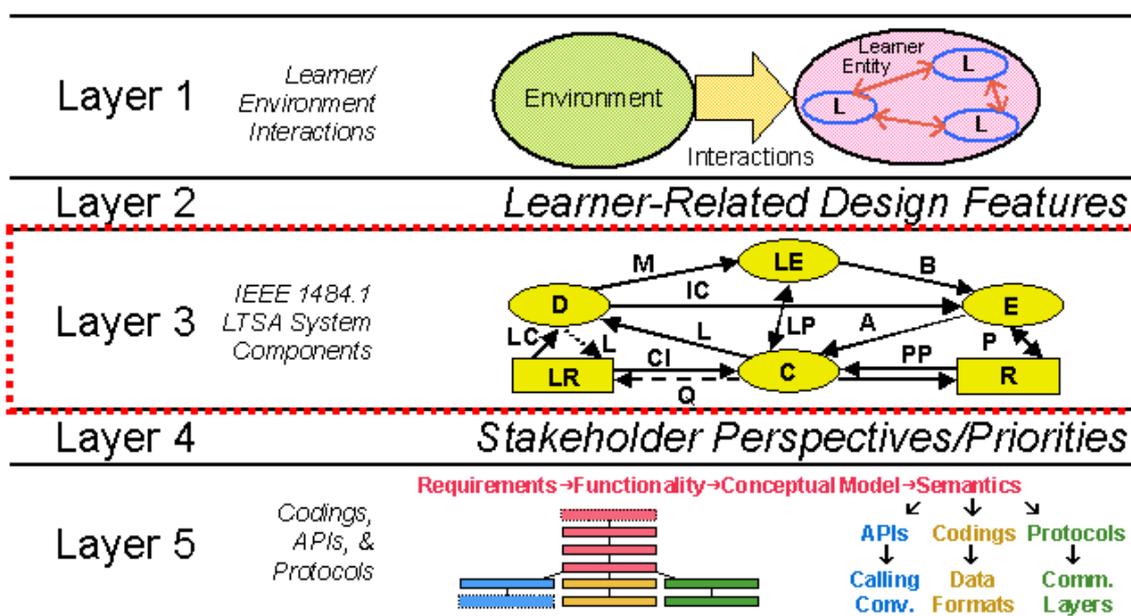


Figura 6. Capas de abstracción-implementación identificadas en el LTSA.

Esta arquitectura es aplicable a un amplio rango de escenarios educativos. Las capas ordenadas del nivel superior al inferior son las siguientes:

- **Learner and Environment Interactions.** Esta capa trata todo lo relacionado con cómo el alumno adquiere, intercambia, descubre, etc. conocimiento y/o información con el sistema.
- **Learner-Related Design Features.** En esta capa se tiene en cuenta el efecto que tienen los alumnos en el diseño del sistema educativo.
- **Systems Components.** Describe la arquitectura de componentes del sistema.

- **Stakeholder Perspectives and Priorities.** Describe las tecnologías educativas desde una variedad de perspectivas, por referencia a subconjuntos o a partes de la capa de componentes del sistema (capa 3).
- **Operational Components and Interoperability. Codings, APIs, Protocols.** Describe componentes genéricos (capaces de interactuar entre sí y con el sistema) e interfaces de sistemas educativos basados en tecnologías de la información.

### ***Componentes del sistema***

La capa 3 (la única normativa dentro de la especificación) describe la arquitectura de componentes del sistema (Figura 7, extraída de (IEEE, 2003)). Los componentes quedan clasificados en tres grupos, los cuales se explican a continuación.

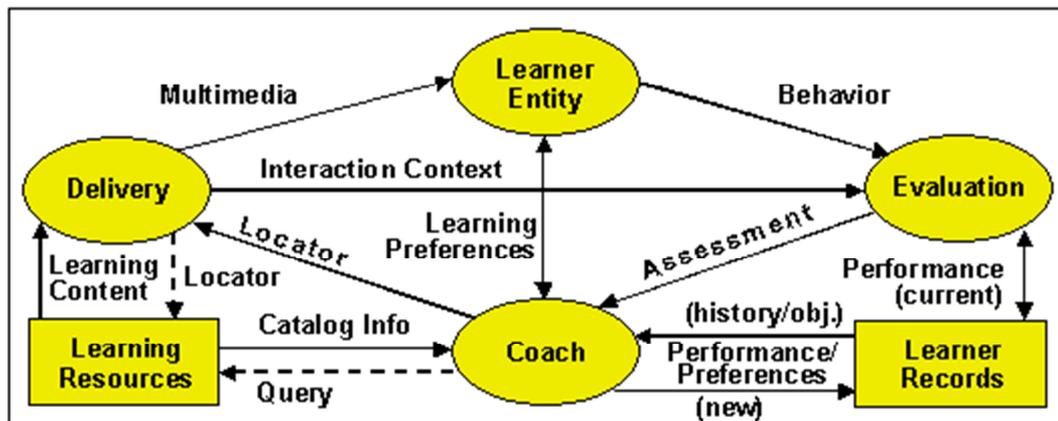


Figura 7. Componentes del sistema en la LTSA.

Por una parte identifica cuatro procesos:

- Learner entity. Entidad de estudiante o grupo de estudiantes.
- Evaluation. Evaluación.
- Coach. Educador o instructor.
- Delivery process. Proceso de distribución.

Los procesos no tienen por qué ser necesariamente programas o mecanismos automáticos o informáticos, puede que su funcionalidad sea realizada por una persona física, organización o un grupo de ellas.

Por otra parte se tienen dos bases de datos que almacenan distintos tipos de información:

- Learner records. Registros de alumnos.
- Learning resources. Recursos educativos.

Y finalmente se cuenta con trece flujos de información entre estos componentes:

Behavioral observations, assessment information, performance and preferences information, query, catalog info, locator, learning content, multimedia, interaction context y learning preferences.

Los procesos son mostrados mediante óvalos y representan subsistemas que reciben una o varias entradas y las transforman en salidas. Los almacenes representan sitios para guardar la información, y se utiliza un rectángulo para representarlos. Los flujos (flechas en el diagrama) representan conexiones entre subsistemas (procesos y almacenes), y el movimiento/trasiego de información que se produce entre ellos se distingue entre flujos de una y dos direcciones.

A continuación se presenta un breve resumen de la operativa habitual de los sistemas que implementan la arquitectura, la cual engloba la participación de todos los componentes en una acción formativa:

1. Los estilos educativos, estrategias, métodos etc. son negociados entre los estudiantes y el resto de grupos involucrados y se le comunican al sistema como "learning preferences" (preferencias educativas).
2. El comportamiento del estudiante es observado y evaluado en un contexto multimedia.
3. La evaluación produce valoraciones y/o información de rendimiento (assessment).
4. Los datos de la evaluación se almacenan en los correspondientes registros de alumnos de la base de datos.
5. El educador revisa la evaluación del alumno, las preferencias, el rendimiento pasado y, posiblemente, los objetivos futuros.
6. El educador busca los recursos educativos mediante peticiones (query) más apropiados a las necesidades de alumno, y los datos se le devuelven en forma de información de catálogo (catalog info).
7. El educador extrae los localizadores (Locators) de la información de catálogo disponible y se los envía al proceso de distribución (Delivery process) en forma de plan de estudios.
8. El proceso de distribución extrae el contenido educativo indicado de la base de datos donde se encuentran almacenados los recursos educativos y lo transforma para que sea presentado de forma adecuada al alumno (generalmente se

presenta contenido Multimedia). También establece el contexto de interacción (Interaction context) que dará lugar a una nueva evaluación.

9. De nuevo, el comportamiento del estudiante es evaluado y el rendimiento se almacena en el registro correspondiente de la base de datos (Learner Records), volviendo a comenzar el ciclo otra vez (si es necesario) o finalizando el proceso educativo.

La arquitectura del sistema tiene en cuenta que se pueden dar múltiples roles y múltiples experiencias educativas. Múltiples roles implica que no se tiene que dar una correspondencia uno a uno entre cada componente del sistema y una persona o elemento individual. Una persona puede representar más de un componente del sistema en una situación dada, por ejemplo, en sistemas auto-educativos el alumno adopta además de su papel el de educador. De igual manera, más de una persona puede representar un único componente del sistema, por ejemplo la entidad de estudiante (Learner Entity) puede estar representada por una única persona o por un grupo trabajando como un equipo.

Por otra parte, la existencia de múltiples experiencias educativas implica que pueden darse diferentes procesos de aprendizaje en una única situación. Por ejemplo, pueden existir cursos idénticos que pertenezcan a itinerarios diferentes (el mismo curso de álgebra puede ser válido para estudiantes de matemáticas y de informática), o puede darse que el educador, aparte de realizar su tarea, también aprenda durante el curso (puede adquirir experiencia, aprender a usar las nuevas tecnologías, etc.).

#### **2.1.4.7. IEEE LOM**

Los metadatos son información (otros datos) sobre los propios objetos docentes. Se trata de que cada objeto lleve asociada una información estandarizada para que las diferentes plataformas y tecnologías sean capaces de incorporarlo independientemente de su origen, o dicho de otra manera, el estándar pretende obtener la mayor interoperabilidad posible. LOM (Learning Object Metadata) es en realidad una familia de normas que engloba las siguientes especificaciones:

- 1484.12.1: IEEE Standard for Learning Object Metadata (IEEE, 2002)
- 1484.12.2: Standard for ISO/IEC 11404 binding for Learning Object Metadata data model<sup>6</sup>.

---

<sup>6</sup> <http://ltsc.ieee.org/wg12/par1484-12-2.html>

- 1484.12.3: Standard for XML binding for Learning Object Metadata data model (IEEE, 2005)
- 1484.12.4: Standard for Resource Description Framework (RDF) binding for Learning Object Metadata data model<sup>7</sup>.

### ***Estándar para metadatos de objetos educativos***

Los metadatos son información sobre un objeto, sea éste físico o digital. Al tiempo que el número de objetos continúa creciendo exponencialmente y que nuestras necesidades de aprendizaje aumentan igualmente de forma drástica, la falta de información o de metadatos sobre los objetos limita de manera fundamental y crítica nuestra capacidad para la búsqueda, la gestión y el uso de objetos.

Este estándar afronta este problema definiendo una estructura para la descripción interoperable de objetos educativos.

#### Ámbito y propósito

Este estándar especifica un esquema conceptual de datos que define la estructura de una instancia de metadatos para un objeto educativo. Un objeto educativo se define como *“cualquier entidad, digital o no, susceptible de ser usada en aprendizaje, educación o formación”*.

Una instancia de metadatos para un objeto educativo describe las características relevantes del objeto educativo al que se aplica. Dichas características se pueden agrupar en diversas categorías, como se verá más adelante. El esquema conceptual de datos definido en este estándar permite la diversidad lingüística tanto de los objetos educativos como de las instancias de metadatos que los describan.

Este estándar define un modelo conceptual de datos, pero no define la implementación de dicho modelo. Se asume que dichas implementaciones serán descritas en otros estándares (1484.12.2, 1484.12.3 y 1484.12.4) que definirán descripciones de implementación del esquema de datos, de manera que una instancia de metadatos para un objeto de aprendizaje pueda ser usada por un sistema basado en tecnología educativa para gestionar, localizar, evaluar o intercambiar objetos educativos. Tampoco se define cómo un sistema basado en tecnología educativa representará o usará una instancia de metadatos de un objeto educativo.

---

<sup>7</sup> <http://ltsc.ieee.org/wg12/par1484-12-4.html>

El propósito de este estándar es facilitar la búsqueda, evaluación, adquisición y uso de los objetos educativos, por ejemplo, por alumnos, profesores o procesos automáticos de software. Este estándar también facilita el intercambio y uso compartido de objetos educativos, permitiendo el desarrollo de catálogos e inventarios al tiempo que se toman en consideración la diversidad cultural y los contextos lingüísticos en los que los objetos educativos y sus metadatos serán reutilizados.

Especificando un esquema conceptual de datos común, esta norma asegura que las implementaciones de los Metadatos de Objetos Educativos tendrán un alto grado de interoperabilidad semántica. Como consecuencia, se simplificarán las transformaciones entre implementaciones. Igualmente, el estándar especifica un esquema base que puede extenderse a medida que se avanza en su desarrollo práctico.

#### Esquema base LOM

Como se mencionó anteriormente, un objeto docente está definido por un conjunto de elementos de datos. Los objetos de datos que describen cada objeto docente están agrupados en nueve categorías (Figura 8, extraída de (IMS, 2002)), que son las siguientes:

- a. General: Agrupa la información general que describe un objeto educativo de manera global.
- b. Ciclo de Vida: Agrupa las características relacionadas con la historia y el estado actual del objeto educativo, y aquellas que le han afectado durante su evolución.
- c. Meta-Metadatos: Agrupa la información sobre la propia instancia de Metadatos (en lugar del objeto educativo descrito por la instancia de metadatos).
- d. Técnica: Agrupa los requerimientos y características técnicas del objeto educativo.
- e. Uso Educativo: Agrupa las características educativas y pedagógicas del objeto.
- f. Derechos: Agrupa los derechos de propiedad intelectual y las condiciones para el uso del objeto educativo.
- g. Relación: Agrupa las características que definen la relación entre este objeto educativo y otros objetos educativos.
- h. Anotación: Permite incluir comentarios sobre el uso educativo del objeto, e información sobre cuándo y por quién fueron creados dichos comentarios.
- i. Clasificación: Describe este objeto educativo en relación a un determinado sistema de clasificación.

Conjuntamente, todas estas categorías forman el Esquema Base LOM v1.0. La última categoría, Clasificación, permite a un usuario final clasificar un objeto educativo de acuerdo con una estructura de clasificación arbitraria. Dado que puede hacerse referencia a cualquier sistema de clasificación, esta categoría se proporciona como un mecanismo de extensión.

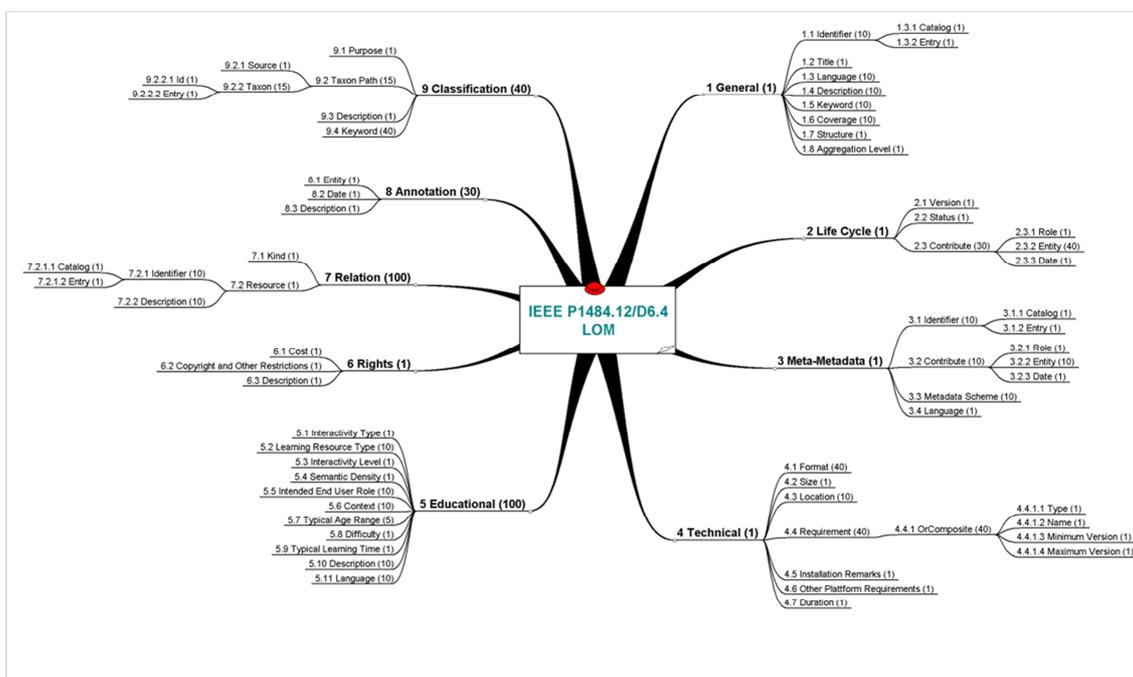


Figura 8. Esquema base LOM

## Implementaciones

El resto de estándares que forman parte de la familia de LOM se encargan de definir las implementaciones del mismo de acuerdo a diferentes tecnologías. A continuación se referencia brevemente cada uno de ellos.

### 1484.12.2 ISO/IEC 11404 Binding

El propósito de este estándar es el de proporcionar una implementación precisa del modelo de datos de acuerdo a la notación definida en el estándar ISO/IEC 11404. El uso de este estándar garantiza la interoperabilidad semántica describiendo una serie de registros que forman la estructura del Learning Object Metadata (LOM).

### 1484.12.3 XML Binding

Este estándar se desarrolla con la intención de hacer compatibles la gran cantidad de sistemas de e-Learning que se encuentran en el mercado (ya sean gratuitos o de pago), mediante la representación de sus objetos de una manera en la que puedan ser intercambiados. Con este objetivo, este estándar provee un conjunto de etiquetas con el formato XML y explica su función.

Este estándar define una instancia del Lenguaje de Marcado Extensible (XML) del World Wide Web Consortium (W3C) para representar un modelo de datos LOM definido en IEEE 1484.12.1 Standard for Learning Object Metadata. Una implementación que siga el estándar IEEE 1484.12.3 debe cumplir el estándar IEEE 1484.12.1. El cometido que tiene este estándar es el de permitir la creación de instancias de LOM escritas en XML. Este estándar usa el esquema del lenguaje W3C XML para la codificación. Esto permite la interoperabilidad y el intercambio de instancias de LOM entre diferentes sistemas.

#### 1484.12.4 RDF Binding

Este estándar define la estructura RFD (Resource Description Framework) para el intercambio de instancias de metadatos entre sistemas. RDF<sup>8</sup> está también respaldado por el W3C.

### **2.1.4.8. SCORM**

Advanced Distributed Learning<sup>9</sup> es una iniciativa creada por el departamento de defensa estadounidense para desarrollar estándares, herramientas y contenidos en el ámbito del e-learning. Fruto de su trabajo surgió SCORM (Shareable Content Object Referente Model), una colección de estándares y especificaciones adaptados de múltiples fuentes que posibilita la interoperabilidad, accesibilidad y reusabilidad de contenidos docentes Web (ADL, 2004b). Para ello se definen un conjunto de estándares, especificaciones y directrices técnicas interrelacionadas que determinan las características que deben cumplir los contenidos, herramientas y plataformas. De este modo, SCORM es un conjunto de especificaciones que describen:

- Cómo crear contenidos e-learning basados en la Web, los cuales pueden ser enviados y seguidos por diferentes sistemas que cumplan con los requisitos de SCORM.
- Qué debe hacer un sistema que cumpla con los requisitos de SCORM para enviar y seguir contenidos e-learning.

SCORM también divide al mundo de la tecnología e-Learning en componentes funcionales. Los principales componentes son: LMS (Learning Management System) y SCO (Sharable Content Object). Este último se refiere a los objetos intercambiables (estandarizados). Las herramientas que permiten crear los SCOs y los ensamblan en unidades

---

<sup>8</sup> <http://www.w3.org/RDF/>

<sup>9</sup> <http://www.adlnet.gov/>

de aprendizaje más grandes (un curso, por ejemplo) son otros componentes en el modelo SCORM.

SCORM ha sido dividido en cuatro partes distintas, que en la propia nomenclatura de SCORM se denominan libros (Figura 9, extraída de (ADL, 2004b)):

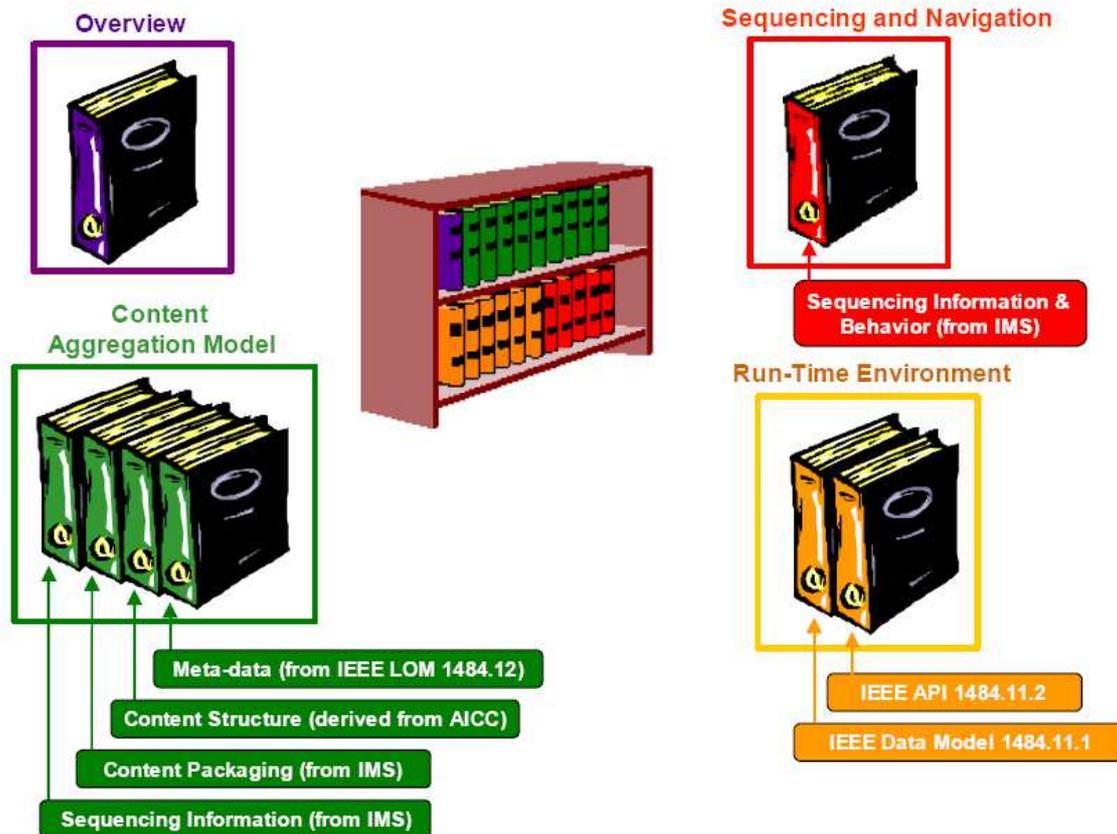


Figura 9. Estructura general de SCORM

- SCORM Overview (ADL, 2004b). Contiene una descripción general de la iniciativa de ADL, un análisis de SCORM, y un resumen de las especificaciones técnicas contenidas en las siguientes secciones.
- SCORM Content Aggregation Model (CAM) (ADL, 2004a). Describe el modelo de empaquetado de contenidos para que estos sean interoperables entre plataformas. Esto incluye una estructura jerárquica de los mismos en forma de árbol de navegación, junto con un conjunto de archivos normalizados que describen tanto los contenidos como la propia estructura.
- SCORM Run-Time Environment (RTE) (ADL, 2004c). Incluye una guía para distribuir contenidos y realizar un seguimiento de los mismos orientada a un entorno Web. Incluye un protocolo específico que describe la comunicación entre el contenido y el

LMS, junto con un modelo de datos que define el flujo de información intercambiada entre el entorno LMS y el contenido que se ejecuta en el entorno.

- SCORM Sequencing and Navigation (SN) (ADL, 2004d). Este libro describe cómo el contenido debe ser secuenciado a través del sistema, junto con los eventos de navegación. El contenido puede ser descrito como un conjunto de actividades predefinidas, identificadas durante el diseño.

### ***SCORM Content Aggregation Model***

El Content Aggregation Model de SCORM (ADL, 2004a) puede considerarse como el núcleo de la especificación. Contiene una guía para identificar y agregar recursos dentro de contenidos de aprendizaje estructurado. Describe una nomenclatura para el contenido de aprendizaje, junto con las responsabilidades y requerimientos para construir agregaciones de contenidos, como pueden ser cursos, lecciones, módulos, etc. Contiene información acerca de la creación de contenidos aplicando metadatos y sobre la secuenciación y navegación en el contexto del empaquetamiento de los contenidos (SCORM Content Packaging).

Los metadatos SCORM describen los diferentes componentes del Scorm Content Aggregation Model (Agregaciones de contenidos, Actividades, SCOs y Assets). Los metadatos son una forma de etiquetar esos componentes para facilitar su búsqueda. Un paquete de contenido, en un sentido general, une objetos de contenido con la organización de los mismos, lo cual es descrito en un manifiesto. El manifiesto (imsmanifest.xml) es la parte esencial de un paquete SCORM y está definido en XML. Detalla los contenidos del paquete y puede incluir una descripción de la estructura del contenido, aunque ésta es opcional. Los contenidos se estructuran en forma de árbol jerárquico, el cual queda definido en el manifiesto.

Cabe reseñar que cuando los sistemas actuales proclaman su conformidad con SCORM, en la práctica totalidad de los casos, lo que realmente ofrecen es compatibilidad con el Content Aggregation Model; ofreciendo habitualmente la posibilidad de importar cursos empaquetados con SCORM y, en ocasiones, también de exportar contenidos en forma de paquetes SCORM.

### ***SCORM Sequencing and Navigation***

Una de las normas que forman parte de SCORM es 'SCORM Sequencing and Navigation' (ADL, 2004d) (S&N o SN de forma abreviada). Esta especificación describe cómo presentar (en qué secuencia) el contenido docente al alumno, como resultado de un conjunto de eventos de navegación iniciados por el propio usuario o por el sistema. El desarrollador de contenidos

(autor, profesor, instructor, etc.) debe definir previamente el conjunto de actividades que forman parte de la experiencia educativa, especificando el flujo y bifurcaciones que se puedan producir en los contenidos. “SCORM Sequencing and Navigation” se basa en la norma de IMS<sup>10</sup> “Simple Sequencing” (IMS, 2005). Esta norma es aplicada y extendida al entorno SCORM.

## 2.2. Sistemas de Adaptación

En este apartado se pretende mostrar una revisión de las principales técnicas y sistemas que permiten adaptar contenidos, teniendo en cuenta las competencias y el contexto del usuario, así como el dispositivo móvil utilizado. Esta revisión está enfocada a las técnicas y sistemas de adaptación de contenidos en general, y a la adaptación de contenidos docentes en particular.

El objetivo de realizar una revisión del estado del arte sobre estos tres tipos de adaptación (basada en competencias, contexto y dispositivo móvil) es establecer una base teórica sólida, ya que el sistema propuesto en la presente tesis tiene como propósito principal la adaptación en estos tres niveles.

### 2.2.1. E-learning adaptativo

El e-learning adaptativo ha sido estudiado por múltiples disciplinas, incluyendo magisterio, psicología y ciencias de la computación, y cada una de estas disciplinas utiliza su propia terminología para etiquetar conceptos similares.

Brusilovsky (Brusilovsky, 1996) presenta la definición y taxonomía más citada de sistemas adaptativos. Comienza definiendo un sistema adaptativo como aquel que recoge información sobre el usuario y la mantiene actualizada para generar un modelo de usuario que se emplea para adaptar la salida que ofrece el sistema. Los sistemas adaptativos se pueden adaptar a los conocimientos, objetivos, experiencia y/o preferencias del usuario. Si los sistemas adaptativos funcionan en un entorno hipermedia que ofrece distintos tipos de contenidos interactivos enlazados, entonces nos encontramos ante sistemas adaptativos hipermedia.

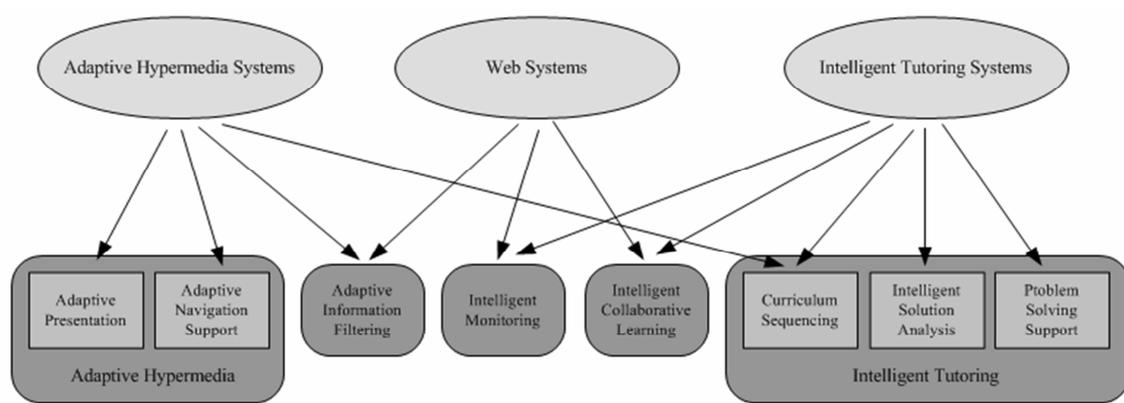
A la hora de analizar la literatura existente sobre aprendizaje adaptativo puede haber confusión, ya que la mayoría de las veces los sistemas educativos adaptativos son referenciados como sistemas educativos inteligentes (Verdú *et al.*, 2008). Sin embargo, ambos

---

<sup>10</sup> <http://www.imsglobal.org/>

términos no siempre son sinónimos. Los sistemas adaptativos “intentan adaptarse a los diferentes estudiantes y grupos de estudiantes teniendo en cuenta información acumulada de los modelos de ese estudiante individual o grupo de estudiantes” (Brusilovsky and Peylo, 2003); mientras que los sistemas inteligentes aplican técnicas del campo de la Inteligencia Artificial (IA) para proporcionar un mayor y mejor soporte a los usuarios de sistemas educativos basados en TICs (Brusilovsky and Peylo, 2003).

En la Figura 10 se muestra una clasificación de los sistemas de aprendizaje adaptativo propuesta por Verdú *et al.* (Verdú *et al.*, 2008) y basada en (Brusilovsky and Peylo, 2003).



**Figura 10. Clasificación de los sistemas de aprendizaje adaptativo (Verdú *et al.*, 2008)**

En esta clasificación destacan dos grandes categorías: *Adaptive Hypermedia Systems* (AHS) e *Intelligent Tutoring Systems* (ITS). Los AHS intentan combinar sistemas educativos adaptativos y basados en hipertexto, mientras que los ITS imitan el proceso de aprendizaje que ocurre entre el profesor y el estudiante. Por último, se incluye una tercera categoría para tecnologías basadas en Web (*Web Systems*) como *Intelligent Collaborative Learning* (ICL). Para la categoría de ITS Brusilovsky y Peylo (Brusilovsky and Peylo, 2003) definen tres tecnologías: *Curriculum Sequencing*, *Interactive Problem Solving Support* e *Intelligent Solution Analysis*.

A continuación vamos a centrarnos en una de las técnicas que forman parte de estos sistemas adaptativos, concretamente en la más popular, según el propio Brusilovsky. Nos referimos a la secuenciación curricular.

Algunas aportaciones en este ámbito durante los últimos años han incluido el uso de técnicas de otras disciplinas, como la inteligencia artificial, para realizar la secuenciación curricular en base a competencias (de-Marcos *et al.*, 2011b, de Marcos *et al.*, 2010).

En (de Marcos *et al.*, 2010), se representa la secuenciación curricular como un problema de permutaciones y de satisfacción de restricciones donde los prerrequisitos (competencias) para cursar los objetos docentes son las restricciones y los propios objetos docentes son los elementos a permutar en base a las restricciones. Una vez planteado el problema se establecen diferentes técnicas y algoritmos para resolverlo, y para ello se propone la utilización de algoritmos genéticos y de técnicas de enjambre de partículas (de-Marcos *et al.*, 2011b). Más información sobre estos trabajos puede encontrarse en la tesis doctoral de de-Marcos (de Marcos, 2009).

Autores como Chen (Chen, 2008) y Hwang *et al.* (Hwang *et al.*, 2010) centran también sus esfuerzos en el uso de algoritmos genéticos y heurísticos para conseguir un sistema capaz de adaptar diferentes caminos de aprendizaje al alumno, ya que un mismo itinerario de aprendizaje puede no ser adecuado para todos los alumnos.

Lau *et al.* (Lau *et al.*, 2009) ilustran un nuevo mecanismo de generación de mapas de conceptos mediante la utilización de un algoritmo ontológico de extracción de dominio difuso. El mecanismo propuesto puede construir automáticamente mapas de conceptos basándose en los mensajes publicados por los alumnos en los foros online.

Otros esfuerzos van dirigidos a la investigación de arquitecturas y sistemas adaptativos, como Hammami *et al.* (Hammami *et al.*, 2009), que proponen un sistema multi-agente para construir un sistema adaptativo a través del uso de la plataforma LMS Blackboard. Dicho sistema establece diferentes capas de agentes inteligentes que cooperan entre sí, incluyendo a la propia plataforma LMS como un agente inteligente. Brusilovsky (Brusilovsky, 2004) también ha realizado aportaciones en este sentido, proponiendo una arquitectura distribuida, llamada *KnowledgeTree*, para un aprendizaje adaptativo, basándose en actividades de aprendizaje inteligentes y reutilizables.

Por otro lado, existen diferentes estudios que intentan demostrar la utilidad y eficacia de los sistemas de aprendizaje adaptativos. Van Seters *et al.* (van Seters *et al.*, 2012) muestran datos de un estudio empírico acerca de cómo los estudiantes difieren su aprendizaje cuando se utilizan materiales e-learning adaptativos. Contaron con la participación de 94 estudiantes de diferentes grados. Determinaron las características de un grupo de estudiantes heterogéneos mediante la recopilación de datos demográficos, la medición de la motivación y el conocimiento previo. También midieron las rutas de aprendizaje seguidas por los estudiantes y las estrategias de aprendizaje que se utilizan cuando se trabaja con material de e-learning adaptativo en un curso de biología molecular, y observaron que los estudiantes siguieron

diferentes rutas de aprendizaje. El género no tuvo ningún efecto, pero difería la motivación intrínseca de los estudiantes de Grado (BSc) y los estudiantes de Máster (MSc). Esto también influía en las vías de aprendizaje y las estrategias seguidas en la utilización de e-learning adaptativo.

Monguet *et al.* (Monguet Fierro *et al.*, 2010) presentan un estudio sobre la influencia de utilizar un sistema hipermedia adaptativo (SHA) en el aprendizaje combinado. El sistema genera diferentes planes de trabajo para cada estudiante, según su perfil, utilizando un algoritmo, el cual permite adaptar los contenidos a sus necesidades y estructura los mismos de forma que den lugar a múltiples recorridos de aprendizaje. La muestra para realizar el estudio fueron 26 estudiantes de grado de una asignatura de Sistemas de Información. Los resultados sugieren que el sistema implementado influye de forma positiva en el proceso de aprendizaje.

Otros autores, como por ejemplo Casparini *et al.* (Casparini *et al.*, 2010) y Hwang *et al.* (Hwang *et al.*, 2010), introducen el uso del contexto dentro del e-learning adaptativo. Por ello, el siguiente apartado se centra en presentar una revisión relacionada con la adaptación basada en el contexto.

## **2.2.2. Adaptación al contexto**

Esta sección presenta, en primer lugar, una definición del término contexto, posteriormente se muestran algunas formas del modelado del contexto mediante un computador y finalmente se muestra una revisión de diferentes sistemas de adaptación al contexto.

### **2.2.2.1. Definición de contexto**

La definición general del término *contexto*, tal y como se puede encontrar en el Cambridge Dictionaries Online<sup>11</sup>, es “la situación en la que algo sucede o existe, y que puede ayudar a explicarlo”. Más específicamente, en computación, el término *contexto* puede ser definido como “cualquier información que puede ser utilizada para caracterizar la situación de una entidad. Una entidad es una persona, un lugar o un objeto que es considerado relevante en la interacción entre un usuario y una aplicación, incluyendo al usuario y la aplicación en sí mismos” (Dey, 2001). En computación, un término muy utilizado y relacionado con el contexto es “computación sensible al contexto” (context-aware computing), el cual fue presentado por primera vez en 1994 por Schilit y Theimer (Schilit and Theimer, 1994): “Un reto de la computación móvil distribuida es aprovechar los cambios de entorno con una nueva clase de

---

<sup>11</sup> Cambridge Dictionaries Online - <http://dictionary.cambridge.org/>

aplicaciones que son sensibles al contexto en el que se ejecutan. Tal software sensible al contexto se adapta de acuerdo a la localización de uso, el conjunto de personas, anfitriones, y dispositivos de acceso, así como los cambios en todas estas cosas a lo largo del tiempo”. Otros autores, como Dey (Dey, 2001), indican que un sistema o una aplicación es *sensible al contexto* si “utiliza el contexto para distribuir información relevante y/o servicios al usuario, donde la relevancia depende de las tareas del usuario”.

Por otro lado, un estudio empírico fue realizado por Kim *et al.* (Kim *et al.*, 2005), cuyo objetivo principal fue el detectar los contextos relevantes utilizados en el uso de Internet en dispositivos móviles. La información contextual fue categorizada en dos tipos (Figura 11): (1) el contexto personal y (2) el contexto de entorno. El primero se refiere a la información sobre la persona que está interactuando con el dispositivo móvil. Por ejemplo, el estado emocional (alegre o deprimido) y físico (en movimiento o parado) son considerados como contexto personal. Por otra parte, el segundo tipo describe circunstancias externas de los usuarios que utilizan Internet móvil. Por ejemplo, la localización del usuario así como el número de personas cercanas físicamente al usuario son considerados aspectos del contexto de entorno.

Context	Personal Context	Internal Context	Goal
			Emotion
		External Context	Hand
			Leg
	Environmental Context	Physical Context	Visual Distraction
			Auditory Distraction
		Social Context	Co-location
			Interaction

Figura 11. Contexto categorizado (Kim *et al.*, 2005)

A su vez, el contexto personal es subdividido en contexto interno (Internal Context) y externo (External Context). El primero se refiere a aspectos intrínsecos de la mente del usuario, por ejemplo, el motivo de uso y cómo se siente mientras está utilizando Internet móvil. Por lo tanto, las subcategorías de contexto interno son el motivo de uso (Goal) y el estado emocional (Emotion). El contexto externo está relacionado con el cuerpo físico del usuario y está subdividido a su vez en dos componentes: el número de manos que utiliza y el movimiento del usuario. El primero indica el número de manos que utiliza el usuario para manipular el dispositivo móvil (Hand), y el segundo indica si el usuario está en movimiento o no mientras está utilizando el dispositivo (Leg).

El contexto de entorno está dividido en dos categorías: contexto físico (Physical Context) y social (Social Context). El contexto físico describe las distracciones que rodean al usuario, considerando dos tipos: visual y auditiva. La distracción visual indica cuánta información visual está alrededor del usuario, por ejemplo, utilizar un dispositivo móvil mientras el usuario está viendo la televisión. La distracción auditiva se refiere al grado de ruido en el entorno del usuario, por ejemplo, escuchar música o ruido producido por el tráfico de los coches.

Por otro lado, la segunda componente del contexto de entorno es el contexto social, el cual está dividido en dos componentes: cohabitación (Co-localition) e interacción (Interaction). La cohabitación se refiere a cuánta gente está alrededor del usuario, e interacción indica cuánto interactúa el usuario con ellos.

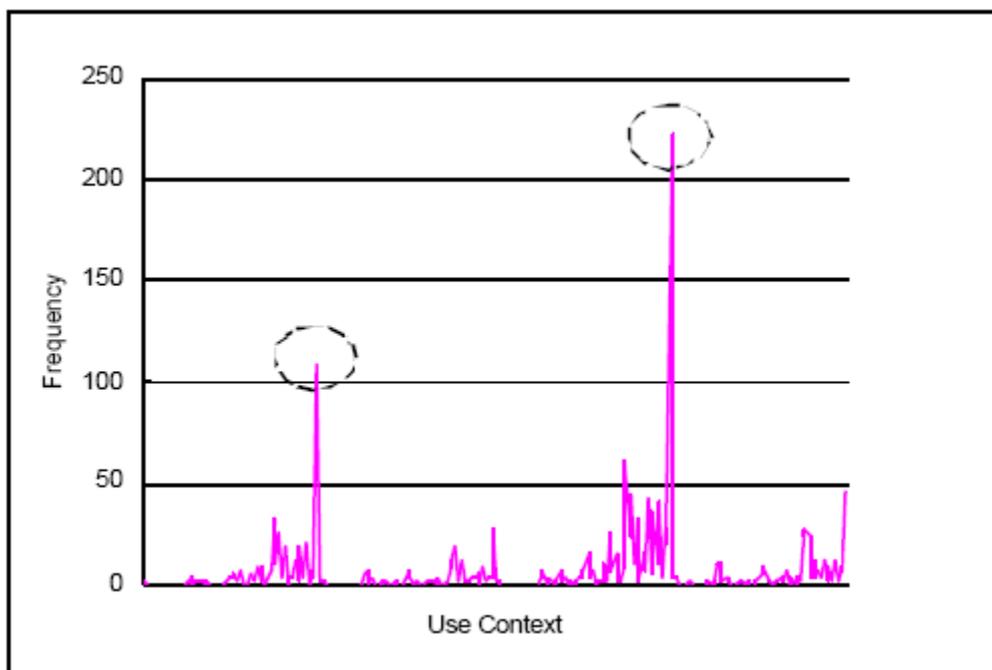


Figura 12. Contextos más frecuentemente experimentados (Kim *et al.*, 2005)

El estudio empírico fue llevado a cabo con 1552 sesiones efectivas de participantes, las cuales fueron clasificadas en 256 diferentes contextos (8 contextos potenciales: *Goal*, *Emotion*, *Hand*, etc., con dos posibles valores cada una,  $2^8=256$  diferentes contextos). Los resultados mostraron que los usuarios usaban el dispositivo móvil con mayor frecuencia en dos contextos específicos (Figura 12): el contexto más frecuente era cuando los usuarios utilizaban el dispositivo móvil por placer, su nivel emocional era alegre, utilizaban una única mano para manejarlo, no estaban en movimiento, con pocas distracciones visuales y auditivas, poca gente alrededor y con poca o ninguna interacción con ellos. El segundo contexto más frecuente

experimentado fue exactamente el mismo que el primero, exceptuando que el objetivo de uso era por obligación y no por placer.

Los resultados también mostraron que hay muchos contextos potenciales, 99 de 256, en los cuales los usuarios nunca utilizaron el dispositivo móvil.

### **2.2.2.2. Modelado del contexto**

La sensibilidad al contexto es uno de los conductores del paradigma de la computación ubicua. No obstante, un buen diseño del modelado del contexto es la clave para cualquier sistema que sea sensible al contexto (Strang and Linnhoff-Popien, 2004).

Un estudio realizado por Strang y Linnhoff-Popien (Strang and Linnhoff-Popien, 2004) muestra los enfoques más relevantes para el modelado del contexto en la computación ubicua. Se revisaron numerosos enfoques, que se clasificaron en función de sus elementos básicos y se evaluaron con respecto a su idoneidad para la computación ubicua.

Los diferentes modelados son clasificados en base al esquema de estructuras de datos usadas para representar e intercambiar información contextual en el sistema. Obviamente algunos de ellos podrían ser clasificados en más de una categoría.

#### ***Modelos Clave-Valor***

El modelo de pares clave-valor es la estructura de datos más simple para modelar información contextual.

Schilit *et al.* (Schilit *et al.*, 1994) ya utilizaron los pares de clave-valor para modelar el contexto de proporcionar el valor de una información contextual (por ejemplo, la información de localización) en una aplicación como un entorno variable. El modelo de clave-valor es utilizado con frecuencia en marcos de servicios distribuidos (Samulowitz *et al.*, 2002). En estos marcos, los servicios en sí mismos son habitualmente descritos con una lista de atributos simples con una forma de clave-valor, y se emplean procedimientos de descubrimiento de servicios (Strang and Linnhoff-Popien, 2003) que operan un algoritmo para la coincidencia exacta de estos atributos.

En particular, los modelos clave-valor son fáciles de manejar, pero carecen de capacidades para una estructuración sofisticada que permita ejecutar algoritmos eficientes de recuperación del contexto.

## ***Modelos de Esquema de Marcado***

Se basa en utilizar una estructura de datos jerárquica consistente en etiquetas de marcado con atributos y contenidos. En particular, el contenido de las etiquetas de marcado es normalmente definido recursivamente por otras etiquetas.

Las representaciones típicas de este tipo de enfoques de modelado del contexto son los *perfiles* (profiles) a través del lenguaje XML. Algunos de ellos son definidos como extensión de los estándares *Composite Capabilities / Preferences Profile* (CC/PP) (W3C, 2004a) y *User Agent Profile* (UAProf), los cuales pueden ser descritos mediante RDF (Resource Description Framework) y RDFS (Resource Description Framework Schema).

Un ejemplo de este enfoque son los *Comprehensive Structured Context Profiles* (CSCP) por Held *et al.* (Held *et al.*, 2002), aunque en este caso Held *et al.* han tomado como contexto el hardware utilizado por el usuario, como se puede observar en el ejemplo (Figura 13).

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<rdf:RDF
  xmlns:rdf="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#"
  xmlns:cscp="context-aware.org/CSCP/CSCPProfileSyntax#"
  xmlns:dev="context-aware.org/CSCP/DeviceProfileSyntax#"
  xmlns:net="context-aware.org/CSCP/NetworkProfileSyntax#"
  xmlns="context-aware.org/CSCP/SessionProfileSyntax#"
  <SessionProfile rdf:ID="Session">
    <cscp:defaults rdf:resource=
      "http://localContext/CSCPProfile/previous#Session"/>
    <device><dev:DeviceProfile>
      <dev:hardware><dev:Hardware>
        <dev:memory>9216</dev:memory>
      </dev:Hardware></dev:hardware></dev:DeviceProfile>
    </device>
  </SessionProfile>
</rdf:RDF>
```

Figura 13. Ejemplo de perfil CSCP

A diferencia de CC/PP, CSCP no define una jerarquía fija, sino que más bien refuerza la total flexibilidad de RDFS para expresar estructuras naturales de perfiles de información como requisito para la información contextual.

## ***Modelos Gráficos***

Un instrumento de modelado de propósito general bien conocido es el UML (*Unified Modeling Language*), el cual tiene una fuerte componente gráfica (los diagramas UML). Debido

a su genérica estructura, UML es también apropiado para modelar el contexto. Esto es mostrado por Bauer *et al.* (Bauer *et al.*, 2003), donde se modelan, mediante extensiones UML, aspectos contextuales relevantes en la gestión del tráfico aéreo (Figura 14).

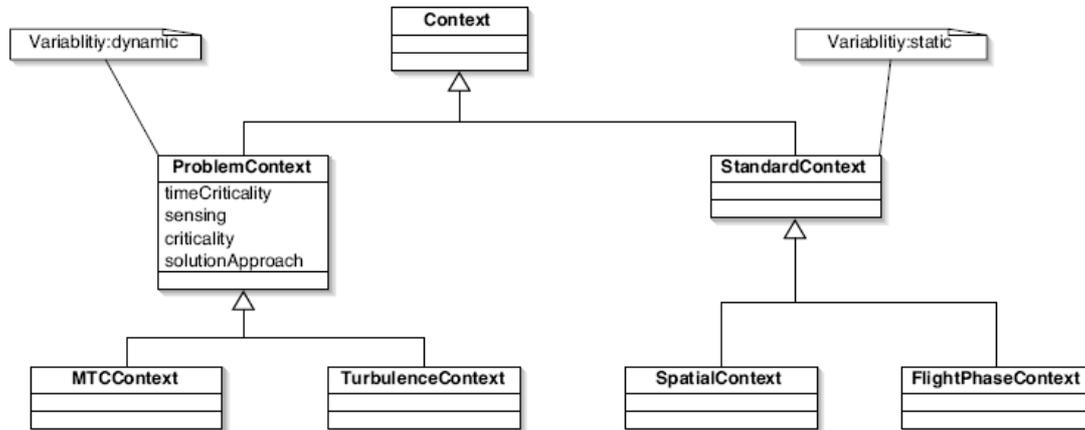


Figura 14. Ejemplo de clasificación del contexto usando UML (Bauer *et al.*, 2003)

Otro ejemplo es modelo de contexto orientado a gráficos, presentado por Henricksen *et al.* (Henricksen *et al.*, 2003), el cual es una extensión contextual del enfoque ORM (Object-Role Modeling). La base fundamental de ORM y de esta extensión es el “hecho”, los cuales sirven para definir los modelados (Figura 15).

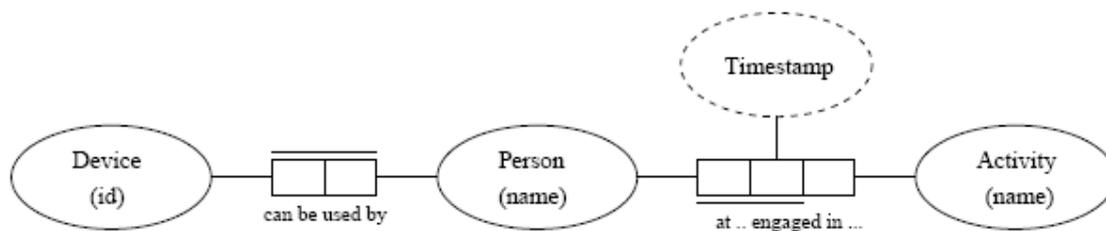


Figura 15. Modelado de un hecho binario y terciario usando ORM (Henricksen *et al.*, 2003)

### **Modelos Orientados a Objetos**

La intención de los enfoques de modelado mediante orientación a objetos es emplear los principales beneficios del enfoque orientado a objetos (herencia, encapsulación, reutilización, etc.) para cubrir parte de los problemas derivados de la dinámica del contexto en entornos ubicuos. Se utilizan clases e instancias para representar datos contextuales concretos. Además, este tipo de modelos favorecen la distribución y compartición gracias a la encapsulación de los datos contextuales como objetos y una validación parcial a nivel de compilador. Es común que muchos de los tipos de modelos aquí presentados acaben siendo

mapeados a un lenguaje de programación orientado a objetos para poder tratarlos de forma programática.

### ***Modelos Basados en Lógica***

Una lógica define las condiciones en las cuales una expresión concluyente o un hecho podría ser derivado (un proceso conocido como razonamiento o inferencia) de un conjunto de otras expresiones o hechos. Se aplica un sistema formal para describir estas condiciones como un conjunto de reglas. En un modelo contextual basado en lógica el contexto es definido como hechos, expresiones y reglas. Comúnmente, todos los modelos basados en lógica tienen un alto grado de formalidad.

Dos de los primeros en emplear modelos lógicos para definir el contexto fueron McCarthy y Buvac (McCarthy and Buvac, 1997), los cuales introdujeron el contexto como entidad matemática abstracta con propiedades útiles en inteligencia artificial.

### ***Modelos Ontológicos***

Los modelos basados en descripciones ontológicas representan el contexto en forma de conceptos y relaciones, y se tratan con una aproximación con un alto nivel de formalidad y expresividad, que permiten fácilmente la aplicación de distintas técnicas ontológicas de razonamiento. Habitualmente se utiliza el lenguaje ontológico OWL (Web Ontology Language) (W3C, 2004b) para definir ontologías.

Observamos que en cada uno de los diferentes tipos de modelado vistos anteriormente existen ventajas y desventajas específicas, por lo que es habitual encontrar sistemas sensibles al contexto que utilizan una combinación de dos o más tipos de modelado del contexto (Baldauf *et al.*, 2007).

Por último conviene mencionar la existencia una norma que recoge la representación de las características y preferencias de los usuarios, la ISO/IEC 24751:2008 (ISO, 2008a), y que precisamente durante el desarrollo de la presente Tesis se ha publicado su traducción en español y será presentada como UNE-EN ISO/IEC 24751:2012. Es importante adelantar que esta norma está principalmente focalizada en los campos de la adaptabilidad y accesibilidad, y que su ámbito de aplicación es muy amplio. La relevancia de esta norma en la presente Tesis radica en la posibilidad futura de ampliar el sistema hacia una adaptación basada en la accesibilidad, por lo tanto se incluye una breve revisión de la misma.

## ***ISO/IEC 24751***

La norma ISO/IEC 24751:2008 se presenta como multiparte, estando constituida por tres partes: en la primera (ISO, 2008a) se presentan el marco y modelo de referencia; la segunda parte (ISO, 2008b) contiene las especificaciones de las necesidades y preferencias de los usuarios, en concreto incluye cómo han de presentarse, estructurarse, controlarse y operarse los recursos digitales. Además, deben indicarse los recursos digitales suplementarios o alternativos. Y la tercera parte (ISO, 2008c) contiene las Descripciones de los Recursos Digitales de Acceso para Todos (DRD), en concreto incluye las modalidades sensoriales utilizadas en el recurso, la forma de adaptación del recurso, el método de entrada que acepta y las alternativas disponibles.

### Parte 1: Marco y modelo de referencia

En la Parte 1 de la norma se presenta el objetivo de la misma que consiste en satisfacer las necesidades de toda persona en un contexto de deficiencia, ya sea personal o de entorno, lo cual permite al usuario individual elegir el recurso digital deseado si estuviera disponible (ISO, 2008a). Como campo de aplicación se indica que la norma puede ser de utilidad en el cumplimiento de la legislación que requiere el acceso igualitario en materia de educación.

Para la correcta definición de las necesidades y preferencias del usuario, en esta primera parte se anuncia el uso de los siguientes mecanismos:

- Aplicaciones software de ayuda que guíen al usuario mediante preguntas.
- Sistemas de e-learning que lean las necesidades y preferencias a fin de configurar tanto interfaz de usuario como recursos digitales.
- Dispositivos de almacenamiento que permitan el almacenaje y recuperación de los datos.

Para que las Descripciones de los Recursos Digitales de Acceso para Todos (DRD) se adecúen a las necesidades y preferencias de los usuarios, se recomienda la utilización de metadatos cuyas especificaciones previas, unidas a las directrices de accesibilidad existentes, determinarán si un recurso es o no accesible.

La norma se basa en un marco interoperable para la adaptación, ampliación o sustitución de un recurso requerido por las necesidades o preferencias del usuario individual. El IEEE define interoperabilidad como la habilidad de dos o más sistemas o componentes para intercambiar información y utilizar la información intercambiada (IEEE, 1990). La interoperabilidad cobra especial relevancia en este campo, pues multitud de personas

dependen de dispositivos especializados o de tecnologías de ayuda, es decir, sistemas externos donde la única forma de llevar a cabo su tarea es la interoperabilidad. Esto es además especialmente relevante pues existe una gran variedad de dispositivos (lector de pantalla, sistema de reconocimiento de voz, dispositivo braille, teclados ampliados, etc.) que necesitan interactuar con una amplia gama de aplicaciones e interfaces.

Para conseguir una correspondencia entre una necesidad o requisito del usuario y un recurso se requiere una correspondencia exacta entre ambos. A este respecto la norma sigue un enfoque estricto de manera que se consiga la máxima interoperabilidad y el mínimo coste.

### Parte 2: Necesidades y preferencias para la prestación digital del “Acceso para todos”

La Parte 2 de la norma muestra un modelo común de información para definir y describir las necesidades y preferencias del estudiante o usuario con discapacidad o que se encuentre en un contexto de discapacidad.

Esta parte de la norma es de aplicación independiente en el caso de ajuste de la interfaz deseada, o bien de aplicación conjunta con la Parte 3 de esta misma norma, para proporcionar los recursos digitales adecuados a las necesidades y preferencias del estudiante (ISO, 2008b). Se describe como una declaración de Necesidades y Preferencias Personales (PNP) del tipo acceso para todos, asociable a una sola persona. Para conseguir tal declaración, se recomienda diseñar un formulario interactivo, cuyas respuestas darán lugar a una descripción de las necesidades y preferencias del usuario. Una vez generada ésta, debe ser susceptible de cambios por parte del usuario, por ejemplo para la ampliación, sustitución o eliminación de la descripción, creación de múltiples conjuntos PNP para su alternancia, o traslado de la descripción a nuevos sistemas para su reutilización, todo ello de acuerdo a las necesidades del usuario.

En este modelo, las necesidades y preferencias se aplican a tres categorías:

- Presentación (display): formas de presentación de la información.
- Control: modo de control de los dispositivos.
- Contenido: distintos tipos de contenidos requeridos (alternativos, adaptados, mejorados o suplementarios).

Cada categoría está dividida en subcategorías que representan los posibles usos de los diferentes elementos conocidos, en materia de accesibilidad, para las PNP de un usuario. A continuación se muestra la clasificación establecida en el modelo de información:

1. Presentación
  - 1.1. Lector de pantalla
  - 1.2. Mejora de pantalla
  - 1.3. Resalte de texto leído
  - 1.4. Braille
  - 1.5. Táctil
  - 1.6. Alerta visual
  - 1.7. Presentación estructural
  - 1.8. Estilo de fuente
2. Control
  - 2.1. Mejora de teclado
  - 2.2. Teclado en pantalla
  - 2.3. Teclado alternativo
  - 2.4. Emulación del ratón
  - 2.5. Señalización alternativa
  - 2.6. Reconocimiento de voz
  - 2.7. Entrada codificada
  - 2.8. Predicción
  - 2.9. Navegación estructural
  - 2.10. Teclas automantendidas
  - 2.11. Teclas de repetición
  - 2.12. Teclas de enlentecimiento
  - 2.13. Antirrebote
  - 2.14. Selección apuntar y click (Point and Click)
  - 2.15. Selección apuntar y mantener (Point and Dwell)
  - 2.16. Barrido automático
  - 2.17. Barrido inverso
  - 2.18. Barrido dirigido
  - 2.19. Selección del código
  - 2.20. Teclas ajustables en tamaño
  - 2.21. Señalización relativa
  - 2.22. Selección de mantener
  - 2.23. Comando y control
  - 2.24. Terminación del código
  - 2.25. Asignación del conmutador

### 3. Contenido

#### 3.1. Preferencias de adaptación

Cada caso o subcategoría viene definido por sus atributos. A su vez, por cada atributo, se establece el número de incidencias permitidas y el tipo de dato necesario para almacenar dicho atributo.

#### Parte 3: Descripción de recurso digital “Acceso para todos”

Esta parte de la norma, de carácter informativo, tiene por objeto facilitar la búsqueda y uso del recurso más adecuado a cada usuario, a través de la definición de los metadatos de accesibilidad, los cuales se encargan de expresar la capacidad de un recurso con el objetivo de relacionarlo con las necesidades y preferencias de un usuario asociadas con discapacidades personales y de contexto (ISO, 2008c).

La Parte 3 proporciona un modelo de información, organizado en cuatro categorías, para describir recursos de aprendizaje, incluyendo cómo pueden ser percibidos, entendidos o interactuados por los usuarios, de manera que las necesidades y preferencias individuales del estudiante, descritas de acuerdo a la Parte 2 (ISO, 2008b), puedan ajustarse a las interfaces de usuario, herramientas y recursos de aprendizaje apropiados dentro de un medio de aprendizaje basado en ordenador.

La norma presenta, también, información acerca de tres aspectos:

#### *Recursos originales y adaptados*

Se presentan dos categorías de recursos: recurso original y recurso adaptado. Un recurso original se corresponde con un recurso inicial; mientras que un recurso adaptado mantiene el contenido intelectual del recurso original, pero difiere en la forma, por ejemplo, en un modo sensorial diferente o con una semántica más o menos densa. Un ejemplo podría ser un archivo de vídeo como recurso original y los subtítulos de éste como recurso adaptado.

A continuación se presentan las distintas relaciones existentes entre recursos originales y adaptaciones:

1. Los recursos originales pueden tener cualquier número de adaptaciones.
2. Una adaptación puede ser aplicada a más de un recurso original, aunque se requiere DRD para cada una de las adaptaciones.
3. Una adaptación puede ser derivada de otra adaptación y, en ese caso, ambas deben ser definidas como adaptaciones del recurso original.

4. Las adaptaciones pueden ser utilizadas para reemplazar a un recurso original, o bien para ampliarlo. Usualmente, un recurso y su adaptación están separados, no obstante, en algunos casos, un recurso original contiene una adaptación suplementaria.

5. Las adaptaciones pueden ser, o no, alternativas completas a un recurso original. Es decir, una adaptación puede ser una alternativa para una parte de un recurso original. Por ejemplo, si consideramos como recurso original un vídeo que contiene dos modos: audio y vídeo, los subtítulos de este son una adaptación que supone una alternativa a una parte del recurso original, en este caso al audio. Una descripción del vídeo es otra adaptación que también supone una alternativa a una parte del recurso original, en este caso al vídeo.

6. Una adaptación siempre debe indicar los modos de acceso que soporta en aras de posibilitar un acoplamiento preciso entre recursos y PNP.

7. Un recurso original que contenga una adaptación (vídeo y subtítulos) debe indicar en sus metadatos la DRD original y de la adaptación.

8. Un recurso original puede ser parte de otro recurso.

El método utilizado para alcanzar el objetivo es la introducción de metadatos, por parte de los autores, de los recursos digitales. La norma establece las siguientes características a incluir en los metadatos:

Para los recursos originales:

- Modo de acceso: si el usuario requiere visión, audición y/o alfabetización para acceder al recurso.
- Uso del modo de acceso: si el contenido de cada modo de acceso es informativo u ornamental.
- Presentación: docilidad de un recurso a la transformación de la presentación.
- Control: flexibilidad de control de un recurso.
- Adaptaciones: cualquier adaptación conocida.

y, allá donde sea conveniente, debe incluir además:

- Componentes: cualquier parte que componga este recurso (un archivo de sonido, una imagen, etc.) o un recurso compuesto del cual este recurso forme parte.
- Riesgos: cualquier característica peligrosa.

- Herramientas de ayuda: herramientas electrónicas asociadas con el recurso (calculadora, diccionario, etc.).

En el caso de los recursos adaptados será necesario incluir todos los metadatos del recurso origen de la adaptación, añadiendo además los siguientes:

- Identidad del recurso original: el recurso para el cual es una adaptación.
- Tipo: tipo de adaptación, como por ejemplo subtítulo o lenguaje de signos.
- Extensión: determina la cantidad de contenido intelectual del recurso original que hay presente en la adaptación. Su espacio de valores es: todo o parte. La norma presenta el ejemplo siguiente: una adaptación podría usar texto para transmitir el contenido de una pista de audio de un vídeo (un subtítulo). En este caso la extensión sería parte.
- Descripción detallada de la adaptación: descripción de las características necesarias para relacionar las características del recurso a las PNP.

#### *Modo de acceso*

El modo de acceso de un recurso depende de su formato y de su género. A modo de ejemplo, una imagen de una poesía tiene formato visual pero su género es texto, texto que no podrá ser leído por un lector de pantalla si está bloqueado en la imagen.

Para ampliar los modos de acceso se debe atender a los modos sensoriales: vista, sonido, tacto y un modo adicional especial textual que incluye la alfabetización o acceso al contenido del texto, bien escuchándolo o bien sintiéndolo mediante braille o a través de una transformación a un lenguaje simbólico o de signos.

#### *Adaptabilidad*

Para transformar un recurso se requiere que tanto el contenido como la estructura del mismo sean independientes de la presentación del contenido. Así, las directrices WCAG (W3C, 2008b), señalan la necesidad de mantener separados el marcado estructural y de presentación para conseguir dicha transformación. En este caso la presentación se puede transformar usando mecanismos de estilo (por ejemplo, hojas de estilo en cascada, ajustes del sistema, XSLT u otros). La transformación puede consistir en: color de fuente, tamaño de la fuente, color de fondo, diseño, tamaño de la imagen, etc. y se realiza con herramientas de reparación y de evaluación de contenido Web disponibles.

Otro factor necesario para una buena adaptabilidad es la flexibilidad en el control del recurso. El recurso debe soportar varios métodos de control de sus funciones (teclado, ratón y/o dispositivos de emulación del teclado como sistemas de barrido). Para una mejor

determinación de la flexibilidad en el control, se utilizarán herramientas de comprobación de la accesibilidad.

La norma insta a los autores a que cumplan la normativa incluyendo la información básica necesaria para posibilitar la realización de futuras adaptaciones. Por información básica se entiende:

- Identificar modos de acceso.
- Definir si la presentación y métodos de control del recurso pueden ser transformados.
- Indicar si existe alguna adaptación conocida.

Los metadatos para describir los dos últimos puntos pueden generarse usando herramientas de evaluación de la accesibilidad.

Una vez definido el término *contexto*, revisado los diferentes tipos de modelado que existen para construir sistemas sensibles al contexto y revisada la norma ISO/IEC 24751:2008, se hace necesario revisar algunos de los sistemas y *frameworks* existentes sensibles al contexto. En el siguiente apartado se muestra una revisión de algunos sistemas de adaptación al contexto.

### **2.2.2.3. Sistemas de adaptación al contexto**

Martín *et al.* (Martín *et al.*, 2006) proponen un nuevo sistema basado en adaptación al contexto para m-learning. Aquí el contexto considerado son el tiempo de inactividad del usuario (por ejemplo, tiempo que el usuario está esperando un autobús), la información relacionada con la ubicación del usuario y el tipo de dispositivo que utiliza.

La adaptación es implementada en tres pasos:

- Adaptación basada en la estructura: el objetivo principal de este tipo de adaptación es soportar la selección de actividades que son propuestas a los alumnos. Estas actividades pueden ser diferentes en función del alumno y de sus requisitos.
- Adaptación general basada en el contexto: esta adaptación soporta la inclusión/exclusión de tareas de una lista de actividades de un alumno de acuerdo al contexto particular del mismo.
- Adaptación individual: esta adaptación tiene en cuenta condiciones específicas que deben ser cumplidas por una actividad.

Otros autores, como Lemlouma y Layaïda (Lemlouma and Layaïda, 2003), indican que una adaptación en un sistema se hace necesario porque las preferencias de los usuarios cambian mientras están utilizando un sistema. Esto podría ser posible con una primera adaptación previa y posteriormente usar un mecanismo de adaptación. Este mecanismo estaría basado en el uso de cabeceras HTTP (HyperText Transfer Protocol) para identificar el tipo de dispositivo móvil y el uso de ficheros de script con hojas XSLT (Extensible Stylesheet Language Transformations) para adaptar el contenido a los requisitos del usuario y a su dispositivo móvil.

### **2.2.3. Adaptación al dispositivo móvil**

El incremento de tecnologías multimedia como imágenes, vídeos, audios, contenidos web, etc. ha permitido mejorar la experiencia de los alumnos en los procesos de aprendizaje. Sin embargo, muchos contenidos docentes podrían no ser útiles en un entorno m-learning, debido a las características de los dispositivos móviles (memoria reducida, tamaño de pantalla limitado, etc.) (W3C, 2008a). Por ello, la adaptación de contenidos a dispositivos móviles es muy importante.

La adaptación de contenidos a dispositivos móviles, de acuerdo con Bomsdorf (Bomsdorf, 2005), consiste comúnmente en filtrado de contenido, filtrado de aplicación, presentación polimórfica y clasificación de contenido.

- Filtrado de contenido: el contenido es seleccionado y presentado teniendo en cuenta la situación del alumno. Por ejemplo, un estudiante sentado en una cafetería podría querer realizar alguna tarea de aprendizaje utilizando su dispositivo móvil.
- Filtrado de aplicación: dependiendo del método de aprendizaje, el mismo contenido docente es servido al alumno por diferentes aplicaciones.
- Presentación polimórfica: el contenido docente puede ser presentado con diferentes niveles de detalle (esto podría ser considerado como sinónimo de transformación de contenidos según otros autores (Gómez and Fabregat, 2010)). Por ejemplo, mostrar un contenido completo con todo nivel de detalle o solamente un breve esquema en forma de transparencias.
- Clasificación de contenido: este método está basado en el filtrado de contenido y de aplicación. Se muestra un listado de contenidos docentes desde el cual el alumno puede decidir qué objeto docente prefiere visualizar.

A parte de esta clasificación, otros diferentes enfoques de adaptación móvil han sido categorizados por el W3C (World Wide Web Consortium) (W3C, 2008a). Esta categorización está enfocada a dónde se realiza la adaptación: en el lado del cliente, en el lado del servidor o basado en proxy.

Basándose en las limitaciones de las características de una adaptación en el lado del cliente (en cuanto a un dispositivo móvil se refiere) y las oportunidades que ofrecen los sistemas distribuidos para una adaptación basada en el lado del servidor, Gómez *et al.* (Gómez *et al.*, 2009) proponen un proceso de adaptación que se describe a continuación. Este proceso está subdividido en dos procesos: (1) proceso de adaptación en tiempo de diseño y (2) proceso de adaptación en tiempo de ejecución.

El primer subproceso utiliza el estándar IMS-LD (IMS-Learning Design) (IMS, 2003), el cual provee un lenguaje genérico y flexible para modelar e implementar el diseño formativo y expresar diferentes pedagogías en lenguaje XML (Extensible Markup Language). Este estándar es utilizado para realizar decisiones sobre qué objetos docentes podrían ser mostrados u ocultados al alumno. Además, este subproceso propone una tarea de transformación de contenido con el principal objetivo de cambiar las propiedades de algunos recursos multimedia a otros, por ejemplo, cambiar un recurso de formato WAV (Waveform Audio Format) a formato MP3 o, por ejemplo, cambiar de texto a una narración o viceversa.

Por otro lado, la adaptación en tiempo de ejecución es realizada cuando el alumno está interactuando con el sistema LMS. Si el usuario utiliza un dispositivo móvil que no cumple los requisitos para mostrar algún contenido docente, entonces se debe realizar un nuevo proceso de transcodificación, es decir, reconvertir el recurso docente a alguno de los formatos compatibles con el dispositivo móvil. Para detectar las capacidades del dispositivo móvil del alumno se utilizó la especificación WURFL (Wireless Universal Resource File) (WURFL, 2008).

Llegados a este punto, en el siguiente apartado se muestra una revisión de las diferentes especificaciones que existen para definir las características de un dispositivo móvil aceptados por la W3C en (W3C, 2006).

### **2.2.3.1. Definición de características de los dispositivos móviles**

En este apartado se pretende presentar una revisión de las diferentes especificaciones existentes para representar las características de los dispositivos móviles.

## **WURFL**

WURFL (Wireless Universal Resource File) es un proyecto originariamente Open Source de SourceForge.net creado por Passani y Trasatti (Passani and Trasatti, 2004), consistente en un repositorio de descripciones de dispositivos (Device Description Repository –DDR-), cuyo objetivo es ser un repositorio independiente para facilitar la presentación de contenido en las aplicaciones Web dirigidas a diferentes dispositivos inalámbricos (teléfonos móviles, PDAs, Tablets, etc.).

WURFL está constituido por un fichero XML que actúa de repositorio conteniendo la descripción y características (capacidades) de prácticamente todos los dispositivos móviles que hay en el mercado, así como una relación de APIs (Application Programming Interface) sobre diferentes lenguajes que permiten explotarla. Dicha información de los dispositivos es proporcionada por una amplia comunidad de usuarios que utilizan esta iniciativa, siendo el fichero actualizado frecuentemente para proporcionar la información de los últimos dispositivos que aparecen en el mercado.

Actualmente, y según sus creadores, WURFL es utilizado ampliamente en el mundo empresarial, por compañías como Facebook y Google, lo que da una noción evidente de la potencia y fiabilidad que contiene la información que presenta, permitiendo además que crezca el número de desarrolladores que apuestan por esta iniciativa y que se convierten en potenciales contribuidores de información, aumentando cada día el tamaño de “informadores” de dispositivos.

Por otro lado, la W3C recoge esta iniciativa en uno de sus Working Draft publicados titulado “Device Description Landscape” (W3C, 2007), publicación que discute diferentes aspectos para describir las capacidades de un dispositivo y el concepto de responder de acuerdo con ellas.

### Origen

El proyecto comenzó en 2002 con el objetivo, según sus creadores, de “reunir a los desarrolladores móviles alrededor de un esfuerzo común de compartir la información de dispositivos y abordar los problemas de la fragmentación de dispositivos juntos” (ScientiaMobile, 2012).

Por otro lado, en otras fuentes, como en publicaciones del creador de MyWebMobile (MyMobileWeb, 2011), se indica que una de las razones que hubo para comenzar esta

iniciativa fue para solucionar los problemas que tenían las iniciativas que había en ese momento, como UAProf (User Agent Profile).

En el año 2011 se formó la compañía ScientiaMobile para establecer relaciones con los productores, así como para proporcionar soporte comercial a WURFL. Debido a la formación de esta compañía, el uso del fichero WURFL para fines comerciales está actualmente sujeto a la adquisición de una licencia.

Actualmente el repositorio WURFL contiene más de 7.000 dispositivos diferentes, sin contar las posibles variaciones de móviles en diferentes firmwares.

### Características de WURFL

Tal y como se ha comentado anteriormente, lo principal que ofrece WURFL es una manera rápida y cómoda de obtener fácilmente todas las características necesarias y útiles sobre un dispositivo que puede necesitar un desarrollador para construir aplicaciones basadas en Web, sin recurrir a la construcción de toda una librería de funciones para el manejo de un repositorio similar, así como la necesidad de conseguir esa información de manera centralizada.

Esto permite construir las “adaptaciones” de las aplicaciones de una manera tan sencilla como (sintaxis en JSP (JavaServer Pages)) se muestra en el siguiente ejemplo:

```
<c:if test="${device.getCapabilities().get("streaming_video")}">
</c:if>
```

El código anterior permitiría mostrar un vídeo mediante streaming, en el caso de que el dispositivo soporte esta opción. Otro ejemplo sería el siguiente:

```
<c:if test="${device.getCapabilities().get("xhtml_supports_iframe")}">
</c:if>
```

Las líneas anteriores permitirían mostrar contenidos mediante *iframes*, en el caso de que el dispositivo pudiera soportarlos. El ejemplo anterior es para el caso de que el dispositivo soporte el formato XHTML.

Además, desde la página Web que alberga el proyecto se puede descargar el fichero repositorio actualizado, lo que permite mantener de una forma sencilla la fuente de datos al día.

## Capacidades

Las características de los dispositivos dentro de WURFL se llaman “capacidades”. Las capacidades de los dispositivos más importantes definidas por WURFL incluyen características de la pantalla o aspectos de seguridad y formatos de imagen aceptados por el dispositivo.

Las capacidades tienen nombres en la mayoría auto-contenidos para facilitar la lectura humana, y están reunidas en grupos.

Actualmente, en WURFL hay definidas 531 capacidades diferentes organizadas en 29 grupos distintos.

A continuación (debido a la cantidad de los mismos), se muestran algunos de los diferentes grupos de características que pueden obtenerse en el fichero WURFL:

- product\_info: agrupa información general sobre el dispositivo.
- xhtml\_ui: indica el soporte de distintas características del estándar XHTML.
- css: agrupa el soporte de características del estándar CSS.
- display: agrupa características de la pantalla.
- image\_format: agrupa la información sobre los formatos de imagen aceptados.
- sound\_format: agrupa la información sobre los formatos de sonido aceptados.
- flash\_lite: agrupa el soporte Flash del dispositivo.
- pdf: agrupa el soporte del formato PDF.

Algunos ejemplos de estas capacidades son mostrados a continuación en las siguientes tablas, como los grupos “product\_info” (Tabla 4) y “display” (Tabla 5).

Capacidad	Valor	Descripción
brand_name	string	Marca
model_name	string	Modelo
marketing_name	string	Nombre comercial
is_wireless_device	true/false	Indica si es un dispositivo móvil
is_tablet	true/false	Indica si es una tablet
pointing_method	joystick, stylus, touchscreen, clickwheel, "" (empty string)	Indica el mecanismo de puntero del dispositivo
nokia_series	Integer	Indica la serie de Nokia (si lo fuere)
nokia_edition	Integer	Indica la edición de Nokia (si lo fuere)
nokia_feature_pack	0,1,2,3,4,5,6,7,8	Indica las features pack de Nokia (si lo fuere)
device_os	String	Información acerca del Sistema Operativo
device_os_version	String	Versión del Sistema Operativo
mobile_browser	String	Información sobre el navegador Web

mobile_browser_version	String	Versión del navegador
------------------------	--------	-----------------------

**Tabla 4. Capacidades del grupo product\_info**

Capacidad	Valor	Descripción
resolution_width	Cualquier número entero	Representa la anchura de la pantalla en píxeles
resolution_height	Cualquier número entero	Representa la altura de la pantalla en píxeles
columns	Cualquier número entero	Número de columnas presentadas
rows	Cualquier número entero	Número de líneas presentadas
max_image_width	Cualquier número entero	Anchura de las imágenes visible (utilizable) expresado en pixeles.
max_image_height	Cualquier número entero	Altura de las imágenes visible (utilizable) expresado en pixeles.
physical_screen_width	Cualquier número entero	Anchura de la pantalla en milímetros
physical_screen_height	Cualquier número entero	Altura de la pantalla en milímetros
dual_orientation	true/false	Si el dispositivo permite cambio de orientación: vertical u horizontal.

**Tabla 5. Capacidades del grupo display**

### Funcionamiento

La organización del repositorio WURFL se basa en la consideración de que los dispositivos que provienen de un mismo fabricante son normalmente evoluciones en parte del hardware o software.

De esta manera, el fichero se organiza en una jerarquía de dispositivos, siendo todos los dispositivos hijos de un dispositivo genérico que tiene predefinidos los valores de las capacidades. Así, cada versión del dispositivo redefine sus capacidades propias, heredando de sus dispositivos padres el resto de capacidades.

Los dispositivos se localizan a través de la cabecera de una petición HTTP (Hypertext Transfer Protocol) “user\_agent” (contiene la información del software del dispositivo que accede al recurso web), a través de la cual extraen un valor único (id) que va a identificar al dispositivo en el repositorio WURFL.

A través del siguiente ejemplo (WURFL, 2008) se puede comprender mejor la organización del fichero: El fabricante de dispositivos Nokia tiene varias versiones del teléfono móvil 7110, por eso algunos de ellos no soportan las tablas en el lenguaje WML (Wireless Markup Language), pero algunos modelos sí las soportan. El modelo de WURFL conoce este hecho a través de la organización descrita anteriormente, llamado “mecanismo fall\_back”.

En primer lugar, el dispositivo genérico especifica la capacidad “table\_support” (en WML):

```
<device fall_back="root" id="generic" user_agent="">
  <group id="WML_ui">
    <capability name="table_support" value="true" />
  </group>
```

Por defecto, los dispositivos de la familia Nokia soportan las tablas en WML debido a que lo heredan mediante fall\_back del dispositivo genérico:

```
<device user_agent="Nokia" fall_back="generic" id="nokia_generic">
</device>
```

A continuación se muestran una serie de dispositivos de Nokia del modelo 7110 con diferentes versiones:

```
<device user_agent="Nokia7110/1.0 (04" fall_back="nokia_generic"
id="nokia_7110_ver1">
  <group id="WML_ui">
    <capability name="table_support" value="false" />
  </group>
</device>
<device user_agent="Nokia7110/1.0 (04.67)" fall_back="nokia_7110_ver1"
id="nokia_7110_ver1_sub467" />
<device user_agent="Nokia7110/1.0 (04.69)" fall_back="nokia_7110_ver1"
id="nokia_7110_ver1_sub469" />
<device user_agent="Nokia7110/1.0 (04.94)" fall_back="nokia_7110_ver1"
id="nokia_7110_ver1_sub494" />
<device user_agent="Nokia7110/1.0 (05" fall_back="nokia_7110_ver1"
id="nokia_7110_ver2">
  <group id="WML_ui">
    <capability name="table_support" value="true" />
  </group>
</device>
<device user_agent="Nokia7110/1.0 (05.00)" fall_back="nokia_7110_ver2"
id="nokia_7110_ver1_sub500" />
<device user_agent="Nokia7110/1.0 (05.01)" fall_back="nokia_7110_ver2"
id="nokia_7110_ver1_sub501" />
```

Como se puede apreciar, el dispositivo identificado como “nokia\_7110\_ver1” redefine el valor de “table\_support” a *false*. Así, los dispositivos que tienen como fall\_back *nokia\_7110\_ver1* sin la redefinición de esa capacidad, no soportan las tablas en el estándar

WML. Sin embargo, el dispositivo con el id nokia\_7110\_ver2 vuelve a redefinir la capacidad a *true*, indicando que todos los dispositivos que hereden de él soportan las tablas en WML.

### ***UAProf***

UAProf (User Agent Profile) fue definida por la OMA (Open Mobile Alliance)<sup>12</sup> como una especificación y marco común para que los fabricantes pudieran describir las características de sus dispositivos.

UAProf está basada en la norma CC/PP (W3C, 2004a), recomendación promulgada por el W3C que permite especificar tanto las características de los dispositivos como las preferencias de un usuario.

La mayoría de fabricantes de dispositivos móviles han adoptado esta especificación para divulgar de esta manera las características de sus dispositivos.

El funcionamiento de UAProf es como sigue: en la cabecera de la petición HTTP se encuentra una cabecera que indica la URL (Uniform Resource Locator) donde se encuentra el fichero de especificaciones de UAProf del dispositivo. De esta manera se puede obtener un fichero XML con las especificaciones de cada dispositivo (Glover and Davies, 2005).

Esta iniciativa, a priori, tiene varias ventajas:

- Es una iniciativa cuya especificación está promovida por grandes organismos, como son OMA y W3C, lo que puede sugerir robustez y refuerzo para su utilización.
- En la aplicación Web no se necesita esfuerzo de mantenimiento o de actualización de los datos, ya que cuando un dispositivo desconocido se conecta, simplemente se tiene que obtener el fichero UAProf de características y tratar su información a través de manejo de ficheros XML.
- La información de UAProf la proporciona el propio fabricante, por lo que a priori debería ser correcta y actualizada.

Pero a su vez, este sistema tiene algunas desventajas:

- No todos los dispositivos usan UAProfs, incluyendo algunos dispositivos lanzados recientemente.
- No existe ninguna garantía de que la información de UAProf sea fiable. Algunos fabricantes disponen el mismo fichero para distintos dispositivos o existen errores en

---

<sup>12</sup> Open Mobile Alliance - <http://www.openmobilealliance.org/>

las características. Aunque iniciativas como WURFL también pueden contener errores, disponen de un mecanismo para que si algún usuario descubre un error puede remitirlo para ser corregido.

- Algunos ficheros de UAProf pueden no estar disponibles.
- No existe un organismo o institución que controle y formalice el formato de los datos a introducir en los campos del fichero UAProf.

## **2.3. Sistemas Multi-agente**

Este apartado presenta algunas de las técnicas para la creación de sistemas multi-agente y pretende mostrar una revisión de algunos de los sistemas multi-agente aplicados a la enseñanza.

### **2.3.1. Agentes Inteligentes**

En términos generales, un agente es una entidad que actúa o tiene la autoridad para actuar, buscando satisfacer los intereses de otra. De la misma forma, en términos de las ciencias de la computación, un agente es una entidad computacional que actúa en favor de un usuario humano, entidad software u otro agente (Celorrio Aguilera, 2010). Los agentes nacen de la investigación en el terreno de la Inteligencia Artificial.

Distintos autores (Wooldridge and Jennings, 1995, Franklin and Graesser, 1997) proponen una lista de características que debe tener un agente para ser considerado inteligente:

- Autonomía: Los agentes operan sin la intervención directa de cualquier otra entidad (humana o de otro agente), ya que poseen cierto control sobre sus acciones.
- Habilidad Social: Los agentes se comunican y colaboran con otras entidades (incluidos posibles agentes humanos), vía algún tipo de lenguaje de comunicación de agentes.
- Reactividad: Los agentes perciben el entorno (que puede ser el mundo real, una interfaz gráfica de usuario, etc.) y reaccionan a los cambios de éste de forma apropiada.
- Pro-actividad: Los agentes muestran un comportamiento orientado a objetivos por el cual son capaces de tomar la iniciativa.
- Capacidad de inferencia: Los agentes pueden tomar decisiones basándose en su conocimiento actual sobre ellos mismos, su entorno y sus objetivos generales.

- Persistencia temporal: Los agentes tienen atributos a modo de identidad y de estado interno que se mantienen y evolucionan durante el tiempo.

Otros atributos que, en ocasiones, son discutidos en el ámbito de los agentes inteligentes son los siguientes (Wooldridge and Jennings, 1995):

- Movilidad: Es la capacidad de un agente de moverse alrededor de una red electrónica, es decir, trasladar su comportamiento de un dispositivo o nodo a otro diferente.
- Veracidad: Es la suposición de que un agente no comunicará conscientemente información falsa.
- Benevolencia: Es la suposición de que los agentes no tienen objetivos en conflicto, y que cada agente, por lo tanto, siempre trata de hacer lo que se pide de él.
- Racionalidad: Es el supuesto de que un agente actúe con el fin de cumplir sus objetivos, y no actúe de manera tal como para impedir que sus objetivos se logren.

### 2.3.2. Sistemas Multi-Agente

Los agentes raramente existen de forma aislada en las aplicaciones, ya que usualmente forman una comunidad de agentes que recibe el nombre de Sistema Multi-Agente o SMA (en inglés Multi-Agent System o MAS). La tecnología de agentes ofrece todo su potencial cuando se diseñan y desarrollan sistemas en los cuales distintos agentes colaboran entre sí para perseguir los objetivos del sistema.

Existen una gran cantidad de plataformas para el desarrollo de SMA: dos de las más importantes plataformas son JADE (Java Agent Development Environment) (Bellifemine *et al.*, 2008, Bellifemine *et al.*, 2007) y FIPA-OS (Foundation for Intelligent Physical Agents - Open Source) (Poslad *et al.*, 2000). Ambas plataformas están basadas en los estándares FIPA (Foundation for Intelligent Physical Agents) para la comunicación entre agentes.

FIPA (O'Brien and Nicol, 1998) es una fundación que promueve la estandarización de las tecnologías basadas en agentes y la interoperabilidad entre éstas. FIPA tiene distintas iniciativas encaminadas a definir la estandarización de agentes, como la definición de una arquitectura estándar (FIPA, 2002a) o la gestión de agentes (FIPA, 2000), pero la mayoría de sus esfuerzos se centran en la definición de mecanismos y protocolos de comunicación entre agentes (FIPA, 2002c, FIPA, 2002b).

En el siguiente apartado se muestran algunas arquitecturas y sistemas multi-agente aplicados al ámbito de la enseñanza, concretamente en el aprendizaje electrónico.

### 2.3.3. Sistemas Multi-Agente en E-learning

Diferentes esfuerzos han sido llevados a cabo por distintos autores con el fin de desarrollar sistemas, arquitecturas y plataformas basadas en multi-agentes en el ámbito de la enseñanza, en algunos casos con el objetivo de ofrecer una formación personalizada, y en otros casos con el objetivo de crear una arquitectura flexible y escalable. A continuación se muestra una revisión de algunos de estos sistemas y arquitecturas que son relevantes para el desarrollo de la presente tesis.

Alvarez *et al.* (Alvarez *et al.*, 2004) proponen una arquitectura llamada MAGADI (Sistema de adaptación educativa basado en un agente multi-dominio). El objetivo principal de esta arquitectura es ofrecer al alumno dos diferentes tipos de accesos: exploración libre y exploración guiada. Se definen diferentes agentes que deben intervenir en función del acceso del alumno, por ejemplo: si el alumno accede mediante una exploración libre, tendrá acceso a todos los contenidos sin ningún tipo de planificación; mientras que si accede mediante una exploración guiada entrarían en juego una serie de agentes que permitirían definir un camino guiado de los contenidos. En este mismo sentido, Baldoni *et al.* (Baldoni *et al.*, 2002) proponen un sistema de tutorización inteligente basado en web a través de una arquitectura multi-agente que utiliza el protocolo FIPA-like para la comunicación entre los agentes implicados. ABALS (Agent-Based Adaptive Learning System) es otra arquitectura propuesta por Chen y Zhang (Chen and Zhang, 2006), la cual permite adaptar el aprendizaje al alumno y está dividida en cuatro agentes: dos agentes del alumno, un agente del tutor y un agente de información.

Otros esfuerzos se centran en proponer arquitecturas multi-agente que permiten la integración del lenguaje XML y de dispositivos móviles. Por ejemplo, Casalino *et al.* (Casalino *et al.*, 2006) presentan MX-learn, inicialmente basada en la arquitectura denominada *X-learn* (De Meo *et al.*, 2003). Esta arquitectura está formada por cuatro agentes:

- Usuario-dispositivo: es el encargado de manejar una conexión e-learning llevada a cabo por un usuario con un dispositivo móvil.
- Gestor de competencias: soporta que los usuarios determinen las competencias de sus intereses, así como las asignaturas que ya ha cursado.
- Programa de aprendizaje: genera programas de aprendizaje personalizados para cada usuario.
- Compresión de XML: permite realizar una posible compresión de documentos XML para minimizar la transferencia de datos.

La principal aportación de MX-learn es la incorporación de los dispositivos móviles en la arquitectura y la inclusión de un compresor de ficheros XML para reducir la transferencia de datos entre los agentes implicados.

En este mismo sentido, Esmahi y Babidi (Esmahi and Badidi, 2004) proponen un framework basado en agentes para un aprendizaje personalizado cuando el alumno utiliza dispositivos móviles. Su aportación principal es el uso del lenguaje WML (Wireless Markup Language) para suministrar los contenidos docentes al alumno.

Por otro lado, Celorrio (Celorrio Aguilera, 2010), en su tesis, propone una arquitectura distribuida (DAEDALUS, por sus siglas en inglés, Distributed Agent-based EDucational Architecture for Learning using Ubiquitous Systems) basada en agentes inteligentes para un aprendizaje ubicuo. Dicha arquitectura hace uso del paradigma de sistemas multi-agente para dar soporte al aprendizaje mediante dispositivos móviles y sistemas ubicuos en general.

DAEDALUS está diseñado como un sistema multi-agente. Los agentes son capaces de observar el entorno de aprendizaje, analizarlo y actuar en consecuencia. La arquitectura de DAEDALUS está basada en ICARO-T, una plataforma para el desarrollo de sistemas multi-agente, y se estructura a lo largo de varios niveles: nivel de infraestructura, nivel de semántica y contexto, nivel de organización educativa y nivel de interacción.

Otros autores (Jurado *et al.*, 2012, Hammami *et al.*, 2009) proponen arquitecturas y sistemas multi-agente, pero colaborativos, basados en la metáfora de la pizarra (*blackboard metaphor*).



## 3. Aportación Propuesta

---

El objetivo principal de este trabajo es proponer un nuevo diseño de un sistema multi-agente capaz de adaptar contenidos docentes al contexto del alumno, a su dispositivo móvil y a sus competencias.

En la presente sección se mostrará la aportación propuesta a través de los siguientes sub-apartados. El primer sub-apartado muestra los resultados de un primer estudio realizado sobre la utilización de los dispositivos móviles en la enseñanza.

El segundo sub-apartado pretende mostrar el diseño lógico del sistema, así como las alternativas que se han estudiado y la justificación de la solución aportada al problema. El último apartado presenta el prototipo que se ha desarrollado para validar el sistema propuesto.

### 3.1. Estudio sobre la utilización de los dispositivos móviles

En el curso 2009-2010, al comienzo de la presente investigación, se llevó a cabo un estudio informal mediante encuesta sobre el uso de nuevas tecnologías en la enseñanza en la que participaron 106 alumnos de posgrado de la Universidad de Alcalá.

El objetivo del estudio era comprobar la utilización de los dispositivos móviles en el proceso de aprendizaje, así como descubrir el entorno que rodeaba a los alumnos en la utilización de los mismos.

En el Anexo I del presente documento se muestra el instrumento completo utilizado en este estudio. A continuación se muestran los principales resultados obtenidos en el estudio llevado a cabo.

De entre todas las preguntas del estudio destaca la de “¿Cuántos dispositivos móviles utiliza habitualmente?” (Figura 16) y cuyos resultados ayudan a reafirmar la teoría de que *la gran mayoría de la población, hoy día, posee o utiliza al menos un dispositivo móvil*. Tan sólo un 3% de los alumnos encuestados indicó que no utilizaba ningún dispositivo móvil, afirmando un 97% de los alumnos que al menos utiliza un dispositivo.

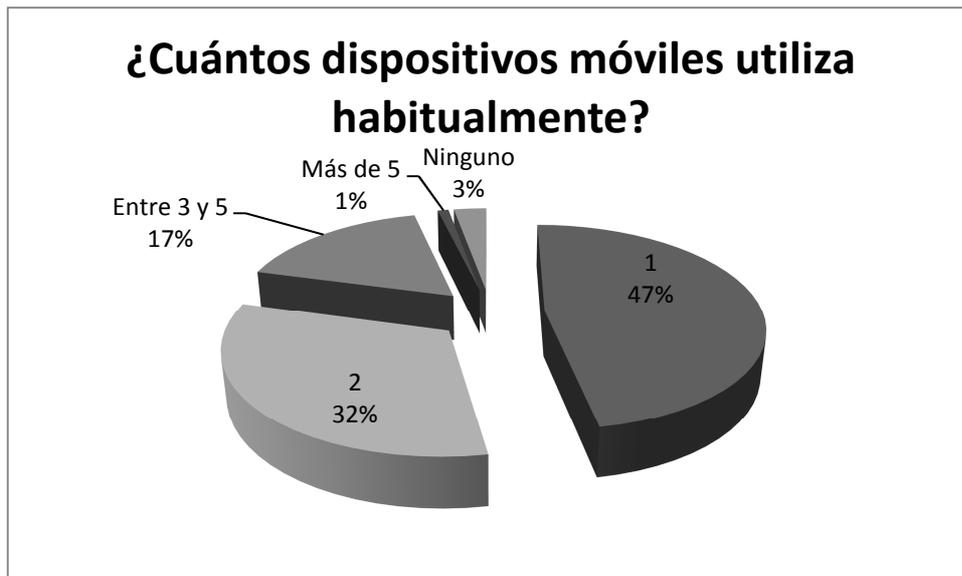


Figura 16. Estudio, ¿cuántos dispositivos móviles utiliza habitualmente?

Otra de las preguntas que mostró resultados interesantes fue “Indique su nivel de experiencia como usuario de dispositivos móviles” (Figura 17), a la cual, el 96% de los alumnos, respondieron que eran usuarios *Experto* (56%) o usuarios *Medio* (40%) en el uso de los dispositivos móviles. Esto demuestra que *la gran mayoría de los alumnos se encuentran más que familiarizados con el uso de los dispositivos móviles.*

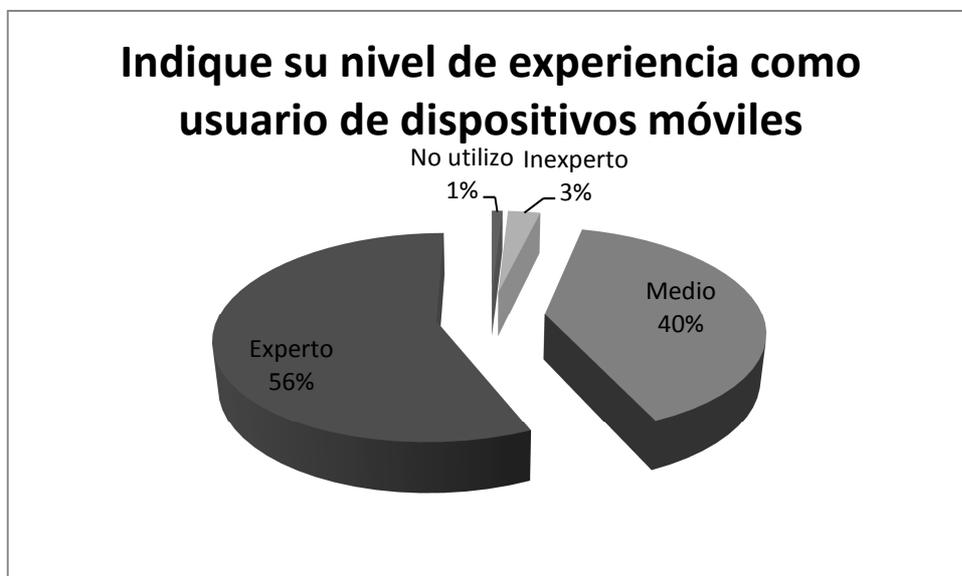


Figura 17. Estudio, nivel de experiencia utilizando dispositivos móviles

Dos preguntas que también presentaron resultados relevantes fueron las siguientes: “¿Ha utilizado alguna vez un dispositivo móvil en alguna actividad de formación?” (Figura 18) y “¿Piensa que un dispositivo móvil puede serle de utilidad en actividades docentes?” (Figura

19). Con respecto a la primera pregunta, el 66% de los alumnos afirmaron que, o bien *nunca* (42%), o bien *rara vez* (24%), habían utilizado un dispositivo móvil para actividades de formación. Esto supone dos tercios de los alumnos encuestados.

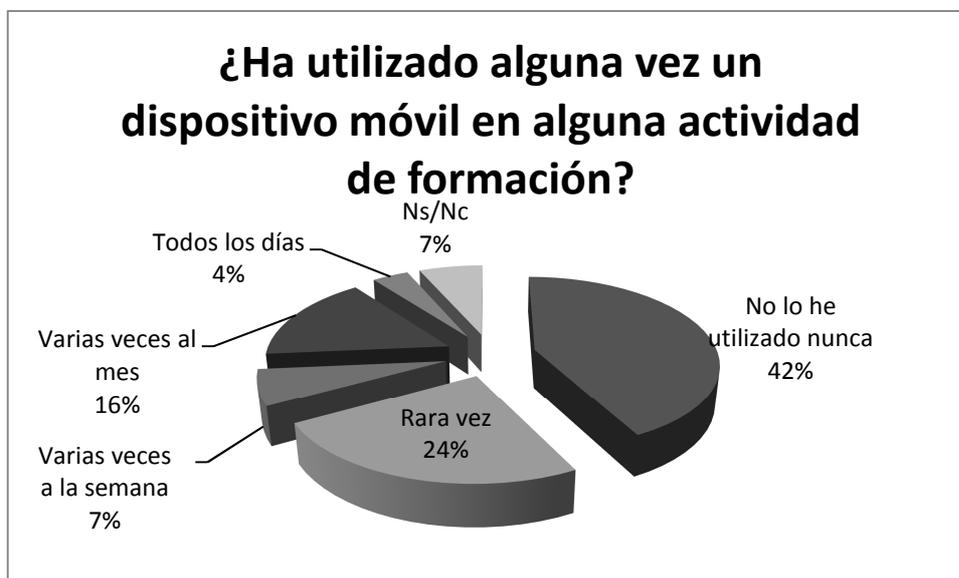


Figura 18. Estudio, ¿ha utilizado alguna vez un dispositivo móvil en e-learning?



Figura 19. Estudio, ¿piensa que un dispositivo móvil puede serle de utilidad en e-learning?

En la pregunta “¿Piensa que un dispositivo móvil puede serle de utilidad en actividades docentes?” un 66% de los alumnos indicaron que *Sí* creían que los dispositivos móviles podrían ser de utilidad en actividades docentes; sin embargo, curiosamente esto contrasta con los resultados de la anterior pregunta (Figura 18), la cual mostraba que bastantes pocos alumnos habían utilizado los dispositivos móviles para este fin.



**Figura 20. Estudio, ¿para qué lo ha utilizado principalmente?**

Para terminar, otra pregunta que mostró resultados relevantes para la presente investigación fue la de “¿Para qué lo ha utilizado principalmente?” (Figura 20), refiriéndose a aquellos alumnos que habían utilizado los dispositivos móviles como herramienta de aprendizaje. El 40% de estos afirmó haber utilizado los dispositivos principalmente para leer y consultar documentación docente, y el 32% para acceder al correo o a los mensajes con el profesor.

Los datos de este estudio muestran que la mayoría de los alumnos rara vez o nunca han utilizado dispositivos móviles en actividades formativas y sin embargo, los datos también muestran que la mayoría de los alumnos piensa que los dispositivos móviles pueden ser de utilidad en la enseñanza.

Los resultados obtenidos en este estudio motivaron principalmente el esfuerzo de realizar nuevas investigaciones en el ámbito del m-learning, concretamente focalizar la investigación hacia la adaptación de los contenidos y promover la inclusión de los dispositivos móviles en el proceso de aprendizaje.

En el siguiente sub-apartado se muestra el proceso de diseño del sistema multi-agente propuesto para resolver el problema enunciado en la presente Tesis.

## 3.2. Diseño del Sistema Propuesto

Para diseñar el sistema se va a utilizar un enfoque *top-down*, es decir, comenzaremos definiendo el sistema de forma abstracta y después profundizaremos en el sistema hasta definir cada uno de los componentes involucrados.

En primer lugar, definimos las entradas y salidas que tiene el sistema. De esta forma podemos observar qué componentes son necesarios para su funcionamiento y además cuáles de ellos son externos al sistema (Tabla 6).

<u>Entradas</u>	<u>Salidas</u>
Plan de Estudios	Contenido docente adaptado
Competencias del alumno	
Contexto del alumno	
Características del dispositivo móvil	

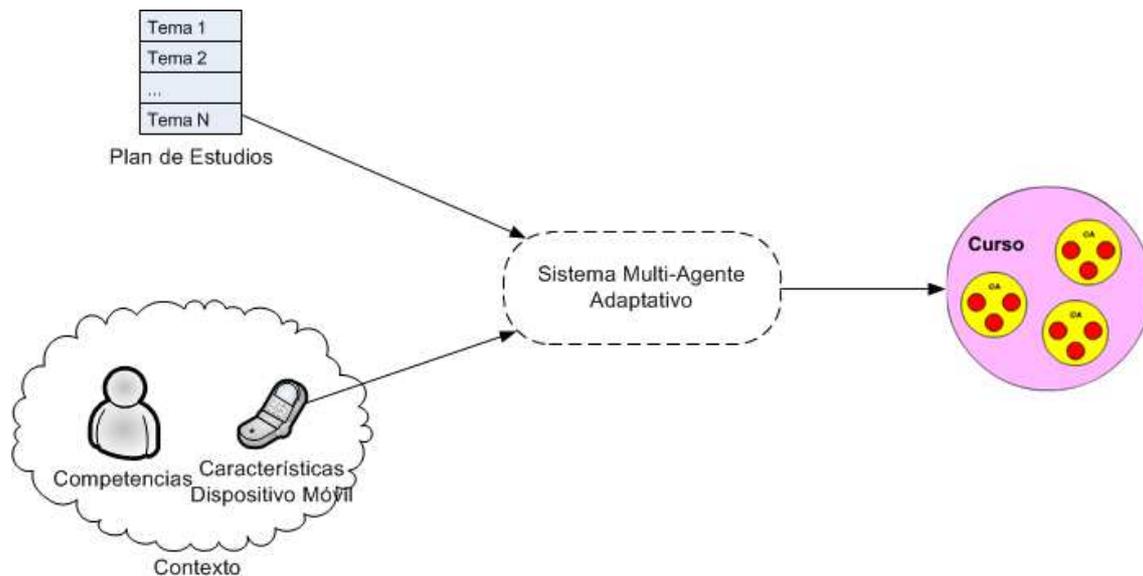
Tabla 6. Entradas y salidas del sistema propuesto

Podemos observar que el sistema tendrá cuatro entradas y una única salida. A continuación describimos brevemente cada una de estas entradas y la salida del sistema.

- Competencias del alumno (Información de entrada): son los conocimientos que el alumno ya posee sobre una materia o curso en concreto. La información de esta entrada provendrá del propio alumno.
- Contexto del alumno (Información de entrada): es la información sobre el entorno que rodea al mismo. Este es un concepto muy amplio, pues puede ser desde una situación general hasta una descripción detallada de lo que el alumno tiene alrededor. Al igual que el punto anterior, esta información provendrá del propio alumno.
- Características del dispositivo móvil (Información de entrada): son aquellas limitaciones hardware o software que tiene el dispositivo que utiliza el alumno, por ejemplo: sistema operativo, modelo, tamaño de pantalla, formatos de ficheros aceptados, etc.
- Plan de estudios (Información de entrada): es el listado de asignaturas o temas que el alumno debe seguir para lograr con éxito su formación. El origen de esta última entrada no será el alumno, sino más bien el profesor o tutor que esté guiando al aprendizaje del alumno.

- Contenido docente adaptado (Información de salida): la salida del sistema será el contenido docente adaptado a los diferentes parámetros de entrada descritos anteriormente.

Una vez definidas las entradas y salidas del sistema estamos en disposición de diseñar de forma general la estructura del mismo (Figura 21).



**Figura 21. Diseño general del Sistema Multi-Agente**

A continuación entraremos en detalle sobre los diferentes agentes que componen el Sistema Multi-Agente. El sistema está compuesto por cinco agentes: tres de ellos son los encargados de la adaptación en tres niveles (Competencias, Contexto y Dispositivo Móvil), un cuarto es el encargado de buscar objetos docentes en base al plan de estudios que tiene como entrada el sistema y, por último, un quinto agente encargado de gestionar la ejecución de los otros cuatro. Los cuatro primeros agentes descritos son independientes entre sí, es decir, no tienen conciencia sobre la existencia de los otros agentes, por ello es necesario la inclusión de un agente gestor, cuya misión será la de orquestar la ejecución de los cuatro agentes.

En los siguientes puntos se muestra una descripción en detalle sobre cada uno de los agentes involucrados, así como de los diferentes diseños de trabajo.

### 3.2.1. Agentes

En este apartado se mostrará en detalle cada uno de los agentes que han sido diseñados para trabajar en el sistema. A priori puede parecer que no existe relación entre algunos de los

agentes, pero a medida que se muestran los diferentes diseños de cómo trabajan estos agentes se podrá comprender perfectamente el papel de cada uno de ellos.

### 3.2.1.1. Agente de Secuenciación

El agente de secuenciación establece una secuencia de temas o asignaturas que el alumno tiene en su plan de estudios. Es decir, el alumno tiene un plan de estudios que debe seguir durante su formación y este agente es el encargado de secuenciarlo en función de las competencias que el alumno posee.

Para abordar una solución a este problema nos vamos a basar en el trabajo previo realizado por de Marcos (de Marcos, 2009) en su tesis doctoral, donde propone un agente inteligente para la secuenciación de contenido docente adaptado en base a competencias.

El problema planteado se puede representar como un *Permut-CSP* (Problema de satisfacción de restricciones mediante permutaciones) (de-Marcos *et al.*, 2011b, de-Marcos *et al.*, 2012). Cada asignatura o tema es definida con una serie de prerequisites y competencias que genera, es decir, para poder acceder al aprendizaje de una determinada asignatura o tema es necesario tener unos conocimientos previos (prerequisites) y tras realizar el aprendizaje de dicho tema o asignatura, ésta genera unas competencias que el alumno ha adquirido. Por lo tanto, en el problema planteado, los temas o asignaturas son los elementos a permutar y los prerequisites y competencias son tomados como las restricciones.

A continuación (Tabla 7) se muestra un ejemplo de secuenciación en un hipotético plan de estudios de un programa de desarrollo web.

<u>Asignatura</u>	<u>Prerrequisitos</u>	<u>Competencias</u>
1. Introducción al desarrollo web	-	Conocimientos básicos de desarrollo web
2. HTML	Conocimientos básicos de desarrollo web	Conocimientos de HTML
3. CSS	Conocimientos de HTML	Conocimientos de CSS
4. JavaScript	Conocimientos de HTML	Conocimientos de JavaScript
5. HTML 5	Conocimientos de HTML y Conocimientos de JavaScript	Conocimientos de HTML 5
6. Java EE	Conocimientos de HTML	Conocimientos de Java EE

Tabla 7. Ejemplo de plan de estudios de un programa de desarrollo web

Continuando con el ejemplo, supongamos que para este hipotético curso de desarrollo web hubiese tres alumnos con conocimientos previos diferentes (Tabla 8).

<u>Alumno</u>	<u>Conocimientos</u>
Alumno 1	Conocimientos básicos de desarrollo web
Alumno 2	Conocimientos básicos de desarrollo web y de HTML
Alumno 3	Sin conocimientos previos

**Tabla 8. Ejemplo de alumnos para los que se realiza la secuenciación**

Para estos tres alumnos, este agente de secuenciación generaría tres planes diferentes para cada uno de ellos (Tabla 9), tomando en cuenta sus conocimientos previos.

<u>Alumno 1</u>	<u>Alumno 2</u>	<u>Alumno 3</u>
2. HTML	3. CSS	1. Introducción al desarrollo web
6. Java EE	4. JavaScript	2. HTML
3. CSS	5. HTML 5	3. CSS
4. JavaScript	6. Java EE	4. JavaScript
5. HTML 5		5. HTML 5
		6. Java EE

**Tabla 9. Algunos ejemplos válidos de secuenciación para diferentes alumnos**

Podemos observar cómo la secuencia del plan de estudios para el Alumno 1, que ya tenía conocimientos previos sobre desarrollo web, empezaría por “HTML” y no por “Introducción al desarrollo web”. El Alumno 2, en cambio, empezaría directamente por “CSS”, ya que posee conocimientos de HTML y de desarrollo web. Y por último, el Alumno 3 tendría el plan de estudios completo ya que no poseía conocimientos previos.

Es importante destacar que no existe una única secuencia válida, sino que pueden existir varias siempre y cuando cumplan las restricciones. Se trata de un algoritmo estocástico, es decir, ante una única entrada puede generar diferentes salidas distintas y válidas. Por ejemplo, para el Alumno 1, que posee conocimientos previos de desarrollo web, podrían plantearse diferentes secuencias válidas (Tabla 10) tal y como se muestra en la siguiente tabla.

<u>Secuencia 1</u>	<u>Secuencia 2</u>	<u>Secuencia 3</u>
2. HTML	2. HTML	2. HTML

3. CSS	4. JavaScript	6. Java EE
4. JavaScript	5. HTML 5	3. CSS
5. HTML 5	3. CSS	4. JavaScript
6. Java EE	6. Java EE	5. HTML 5

Tabla 10. Ejemplos de secuencias válidas para un mismo alumno

Como se puede comprobar en el ejemplo anterior, todas las secuencias serían válidas para ese alumno.

Esto podría parecer un problema fácil de resolver, pero con un número significativo de asignaturas o temas en un plan de estudios, este problema podría llegar a ser complejo para obtener una solución. Por ello, algunas técnicas de Inteligencia Artificial han sido estudiadas y aplicadas para resolver este tipo de problemas, como la utilización de Algoritmos Genéticos y de Optimización de Enjambre de Partículas (de-Marcos *et al.*, 2011b), e incluso Búsqueda Heurística y Local (Garcia-Cabot *et al.*, 2010). Todas estas técnicas aplicadas dan una solución al problema, aunque un estudio realizado por de-Marcos *et al.* (de-Marcos *et al.*, 2011a) ha demostrado que el algoritmo que mejor rendimiento tiene, respecto al tiempo, es la Optimización de Enjambre de Partículas (PSO).

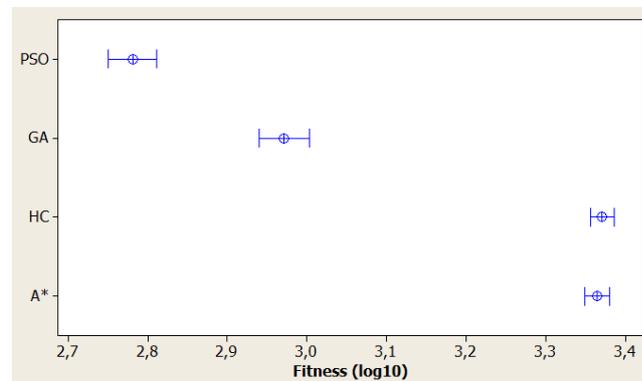


Figura 22. Intervalos de confianza para cada algoritmo (de-Marcos *et al.*, 2011a)

El estudio fue llevado a cabo mediante la ejecución de los cuatro algoritmos con una secuencia compuesta por 24 elementos. Cada uno de estos algoritmos fue ejecutado 100 veces y se llevó a cabo un test de ANOVA. El resultado final del estudio demuestra que el algoritmo PSO es la mejor opción para resolver este problema (Figura 22).

Por todo lo anterior, y ya que el sistema propuesto, en su mayoría, es un sistema interactivo con personas humanas, prima la ausencia de tiempos de espera para el usuario,

siempre y cuando sea posible, por lo que se ha optado por utilizar el algoritmo PSO para resolver el problema que se le presenta a este agente.

### 3.2.1.2. Agente de Búsqueda Federada

La misión principal del Agente de Búsqueda Federada es la de localizar objetos docentes para cada uno de los temas o asignaturas propuestos en el plan de estudios que tiene como entrada el sistema. El primer agente, revisado anteriormente, trabajaba con el concepto “abstracto” que representa un tema o una asignatura. El agente del presente sub-apartado será el encargado de realizar una búsqueda en múltiples repositorios de objetos docentes: esto es lo que se conoce como “búsqueda federada”.

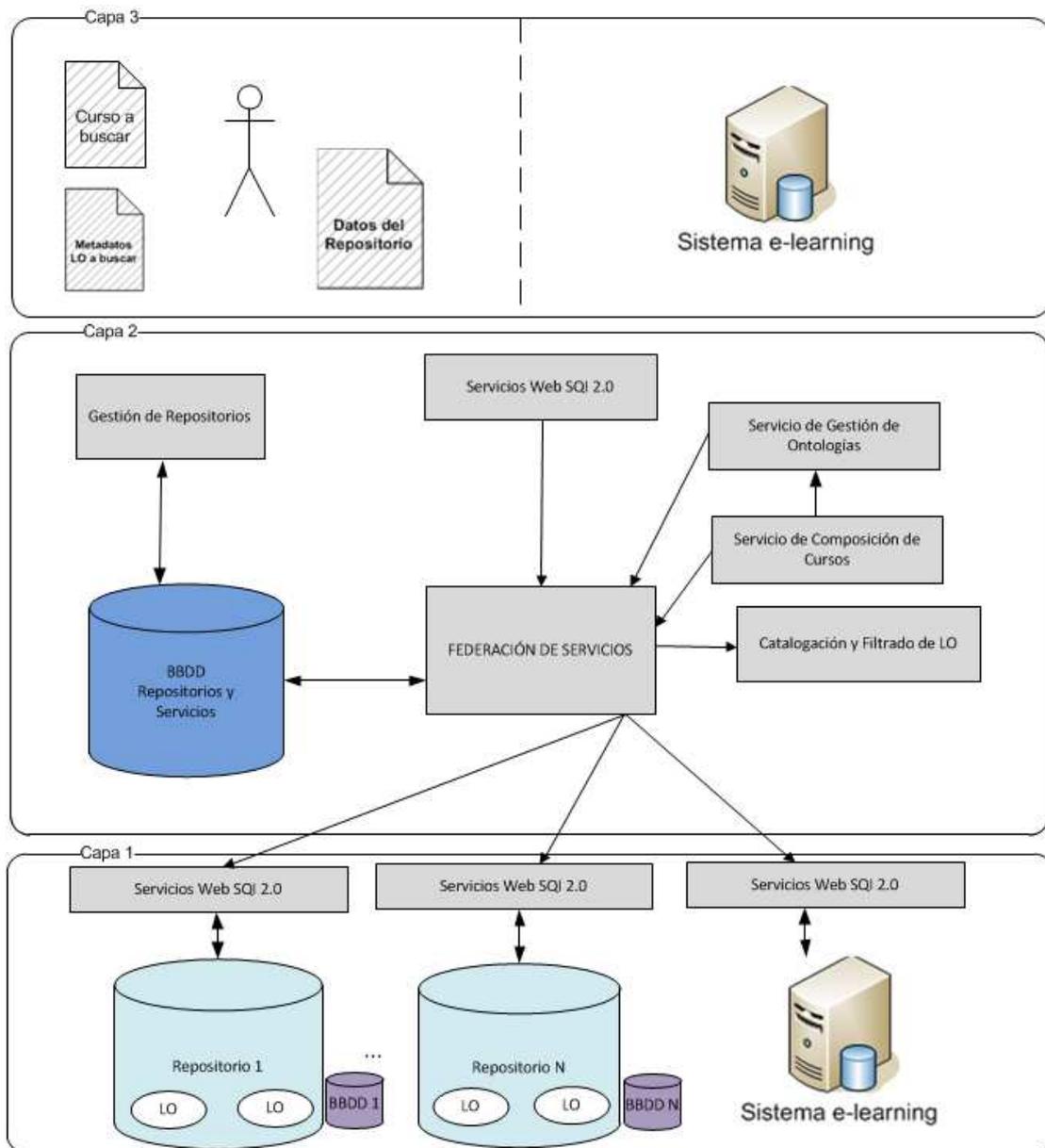


Figura 23. Arquitectura LORA-SC (Ortiz Baíllo, 2009)

Para el diseño de este agente vamos a apoyarnos en la arquitectura, que permite una búsqueda federada y semántica, propuesta por Ortiz Baílo (Ortiz Baílo, 2009) en su tesis doctoral. Dicho autor propone una arquitectura (llamada LORA - Learning Object Reusability Architecture) estructurada en niveles o capas, basada en los principales estándares y recomendaciones existentes hasta la fecha, de forma que se garanticen su eficiencia e interoperabilidad.

Esta arquitectura ha ido sufriendo continuas mejoras y evoluciones debido a la ampliación de funcionalidad o a la aparición de nuevos estándares. En nuestro caso nos centraremos en la última versión de la misma, denominada LORA-SC, por incluir agregación semántica.

En la Figura 23 se muestra un esquema general de la arquitectura y a continuación se describen cada una de las capas o niveles que forman parte de la misma.

#### Capa 1: Repositorios SQI

Es la capa más baja de la arquitectura y está ligada a los repositorios de objetos docentes. En el primer nivel se encuentran todos los repositorios sobre los que se realizarán búsquedas utilizando el interfaz SQI (Simple Query Interface) (CEN, 2005). Lleva incorporados diferentes Servicios Web para la gestión de sesión y consultas a través de SQI, e incluso cuenta con un método de descarga que posibilitará la descarga del objeto de aprendizaje en cuestión; así el servicio Web asociado al repositorio se ha denominado “Servicio Web SQI 2.0”, haciendo referencia al uso de la nueva propuesta de interfaz de consulta SQI 2.0.

#### Capa 2: Federación de servicios

Este nivel lo componen la parte de federación de servicios y la interfaz SQI con la que cuenta esta arquitectura, tanto en el sentido de “fuente” de consultas (sobre los repositorios del nivel 1) como en el sentido de “destino” de consultas SQI (consultas provenientes de otros sistemas de búsqueda). Esto quiere decir que, de la misma forma que antes, cualquier sistema que implemente la especificación SQI puede realizar búsquedas en LORA-SC, lo que significa realizar búsquedas en todos los repositorios registrados en él. Además, este nivel incorpora un servicio de gestión de ontologías. Este servicio será el encargado de acceder a la ontología requerida en función de la temática buscada, y así obtener el listado de clases y propiedades presentes en la misma y permitir la búsqueda semántica de términos en las consultas realizadas a través de esta arquitectura.

### Capa 3: Acceso y presentación

Esta capa ha sido diseñada para prestar acceso a los usuarios y presentar la información. Esta capa será encargada de la parte de gestión de repositorios en la cual se podrán registrar los repositorios o sistemas que implementen SQI para realizar búsquedas sobre los mismos y de esta manera aumentar la cantidad, calidad y diversidad de los resultados obtenidos en las consultas. En cuanto a las operaciones SQI disponibles en la arquitectura, el usuario podrá personalizar las consultas siempre respetando la especificación, pero con total libertad para parametrizar dichas consultas.

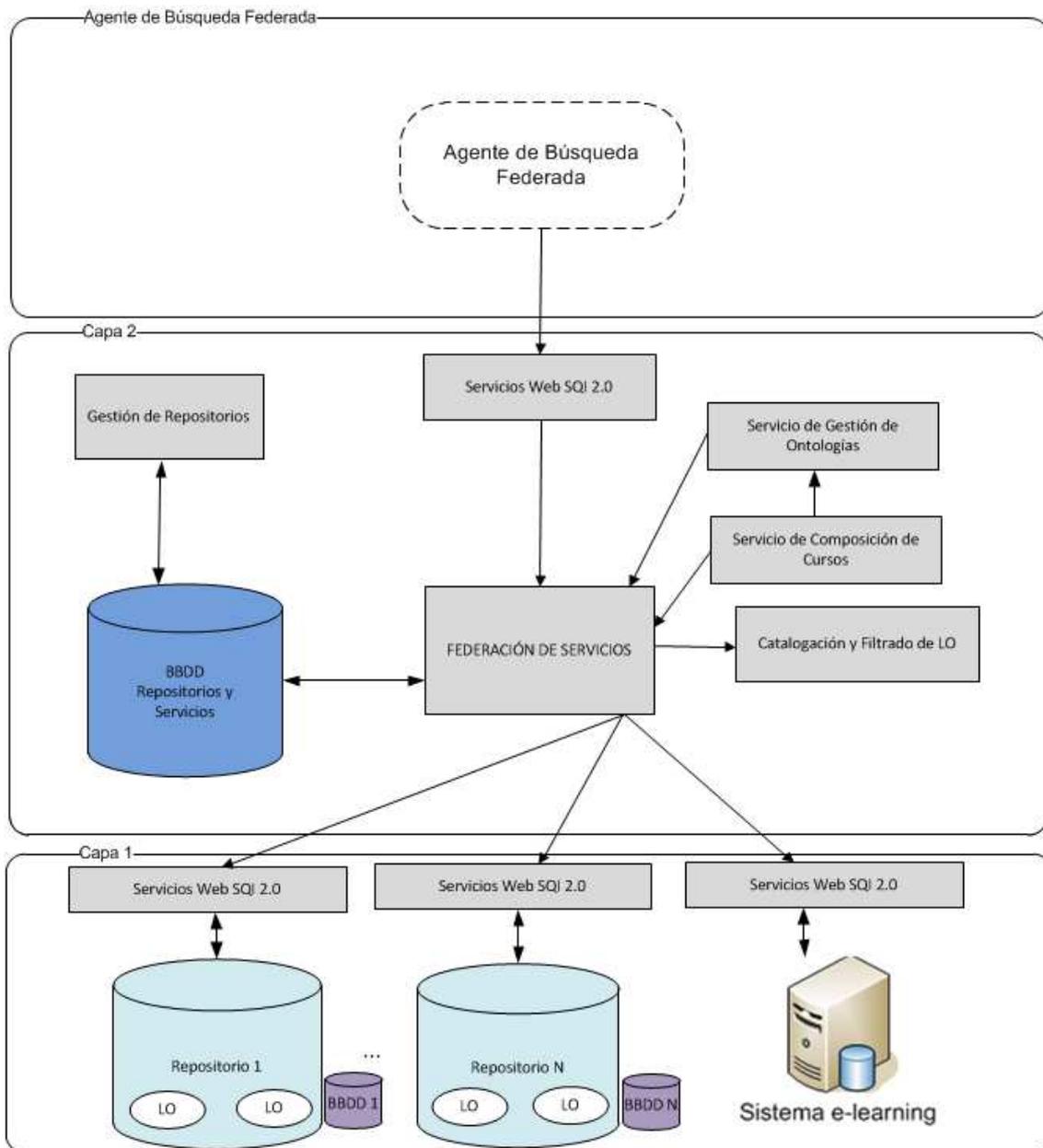


Figura 24. Agente de búsqueda federada basado en LORA-SC

Esta arquitectura ha sido presentada en diversas conferencias y revistas (Otón *et al.*, 2010, Hilera *et al.*, 2009, Otón *et al.*, 2009), en sus diferentes formas y versiones.

Volviendo al Agente de Búsqueda Federada, nuestro agente estará apoyado sobre esta arquitectura LORA-SC. El Agente de Búsqueda Federada lanzará búsquedas a través de la arquitectura obteniendo los diferentes objetos docentes buscados.

En la Figura 24 se puede observar cómo el agente hará uso de la arquitectura LORA para lanzar búsquedas en los diferentes repositorios de objetos docentes con el fin de obtener recursos educativos. Posteriormente estos objetos docentes serán tratados por otros agentes, y en última instancia serán los que sirvan al alumno para realizar su formación.

### **3.2.1.3. Agente de Dispositivo**

Es importante destacar en este punto que los Agentes de Secuenciación y de Búsqueda Federada están basados en trabajos anteriores (de Marcos, 2009, Ortiz Baíllo, 2009), no siendo así en el caso de los agentes de Dispositivo y Contexto que han sido diseñados en la presente Tesis y por tanto queda pendiente, para futuras investigaciones, probarlos en profundidad y actuar en consecuencia en caso de ser necesario.

El objetivo principal de este agente es filtrar aquellos objetos docentes que el dispositivo del alumno no es capaz de visualizar o reproducir. Por ejemplo, si un dispositivo móvil no soporta el formato de la tecnología Flash, todos aquellos objetos docentes que incorporen Flash serían borrados de la lista.

Las entradas de este agente son (1) una lista de objetos docentes y (2) las características del dispositivo móvil del alumno.

Este agente actúa en tres fases diferentes para lograr con éxito su objetivo, (1) identificación del dispositivo del alumno, (2) identificación de los formatos de los objetos docentes y (3) filtrado de objetos docentes incompatibles.

#### Fase 1: Identificación del dispositivo del alumno

Para identificar las características del dispositivo del alumno se hace uso de alguno de los repositorios de dispositivos móviles existentes, como por ejemplo WURFL (WURFL, 2008). Una vez obtenidas las características del dispositivo móvil, podremos saber su resolución, formatos aceptados, etc.

### Fase 2: Identificación de los formatos de los objetos docentes

Por otro lado, referente a la lista de objetos docentes, cada uno de ellos debe incorporar una especificación de metadatos LOM (IEEE, 2002). Esto permite conocer más información sobre el propio objeto docente. En este caso nos interesa especialmente un campo llamado “4.1 format”, incluido en la categoría de “technical”. De acuerdo con la especificación, este campo se utiliza para conocer cuál es el software necesario para acceder al objeto docente. Sus posibles valores son definidos mediante el estándar MIME (Multipurpose Internet Mail Extensions), como por ejemplo: “image/gif”, “text/html”, “video/mpeg”, etc.

### Fase 3: Filtrado de los objetos docentes incompatibles

Una vez que el agente ha identificado las características del dispositivo móvil y los formatos de los objetos docentes, éste procede a filtrar aquellos objetos docentes que no son compatibles con el dispositivo móvil.

La salida del agente es un subconjunto de la lista de entrada pero habiendo filtrado aquellos que son incompatibles para el dispositivo. De esta forma se asegura que cualquier objeto servido al alumno podrá ser visualizado a través de su dispositivo móvil.

## **3.2.1.4. Agente de Contexto**

El objetivo principal de este agente es establecer una lista ordenada de objetos docentes en base al contexto del alumno, estableciendo primeramente aquellos objetos docentes que más se ajustan al contexto o situación del alumno.

Este agente tiene dos entradas: por un lado una lista de objetos docentes y, por otro lado, el contexto del alumno. El comportamiento de este agente lo podemos definir en tres fases: (1) identificación del contexto de los objetos docentes, (2) identificación del contexto del alumno y (3) ordenación de los objetos docentes en base al contexto del alumno.

### Fase 1: Identificación del contexto de los objetos docentes

Cada objeto docente de la lista de entrada, al igual que sucedía en el agente de dispositivo, debe incorporar una especificación LOM, ya que en este fichero de metadatos se incluye el contexto para el cual el objeto docente ha sido definido. En otras palabras, en el fichero de metadatos se especifica para qué situación o situaciones es adecuado utilizar ese objeto docente.

Para llevar a cabo esto, se utiliza el campo número 5.6 de la especificación LOM, denominado “Context”. Los posibles valores de este campo son abiertos, por lo que se puede

utilizar cualquiera de las categorizaciones del contexto vistas en el capítulo “2.2.2.2 Modelado del contexto” del presente documento.

#### Fase 2: Identificación del contexto del alumno

El contexto del alumno deberá venir especificado utilizando el mismo modelado de contexto que se use en los objetos docentes.

#### Fase 3: Ordenación de los objetos docentes en base al contexto del alumno

Una vez identificados los contextos de los objetos docentes y el del alumno, se pueden establecer coincidencias. Por ejemplo, un alumno podría tener una distracción visual leve y un objeto docente específico podría estar diseñado precisamente para distracciones visuales leves: esto sería una coincidencia.

Para cada objeto docente se establecería un número de coincidencias con el contexto del alumno, y de esta forma se puede establecer el porcentaje de adaptación al contexto para cada uno. Es decir, cada objeto docente tendría asociado un porcentaje de adaptación que se calcula de la siguiente forma:

$$\% \text{ de adaptación al contexto} = \frac{N^{\circ} \text{ de coincidencias con el contexto del alumno}}{N^{\circ} \text{ total de contextos del OD}} * 100$$

Este porcentaje es calculado para cada objeto docente, y posteriormente se ordena la lista de objetos docentes, en orden descendiente, en base a este porcentaje. De esta forma, el primer objeto docente de la lista es el más adecuado para el alumno, es decir, se ajusta más a su situación o contexto.

### **3.2.1.5. Agente Gestor**

El objetivo principal de este agente es gestionar a los otros agentes, ya que ellos no tienen consciencia de la existencia de los demás. Es el responsable de establecer las entradas y salidas de cada agente para que estos se ejecuten correctamente. Todos los agentes son invocados por el agente gestor y, cuando un agente finaliza su ejecución, es el encargado de recibir los resultados y de invocar al siguiente agente (si fuera necesario).

Este agente también tiene como objetivo recibir los datos procedentes del alumno y además es responsable de invocar la ejecución de un agente específico si cualquier parámetro del alumno cambia, por ejemplo: si el alumno cambia su dispositivo móvil es necesario ejecutar otra vez el “Agente de dispositivo” para filtrar de nuevo los objetos docentes; o si por

ejemplo el contexto del alumno varía, el “Agente de contexto” debe ser invocado nuevamente para reordenar la lista de objetos docentes en función del nuevo contexto.

### 3.2.2. Diseño inicial propuesto

Una vez descritos todos los agentes involucrados en el sistema, es el momento de definir el diseño del mismo. En un primer esfuerzo para dar solución al problema planteado en la tesis, se propone un diseño inicial (Figura 25). En este primer diseño se muestran todos los agentes que han sido descritos en el anterior apartado.

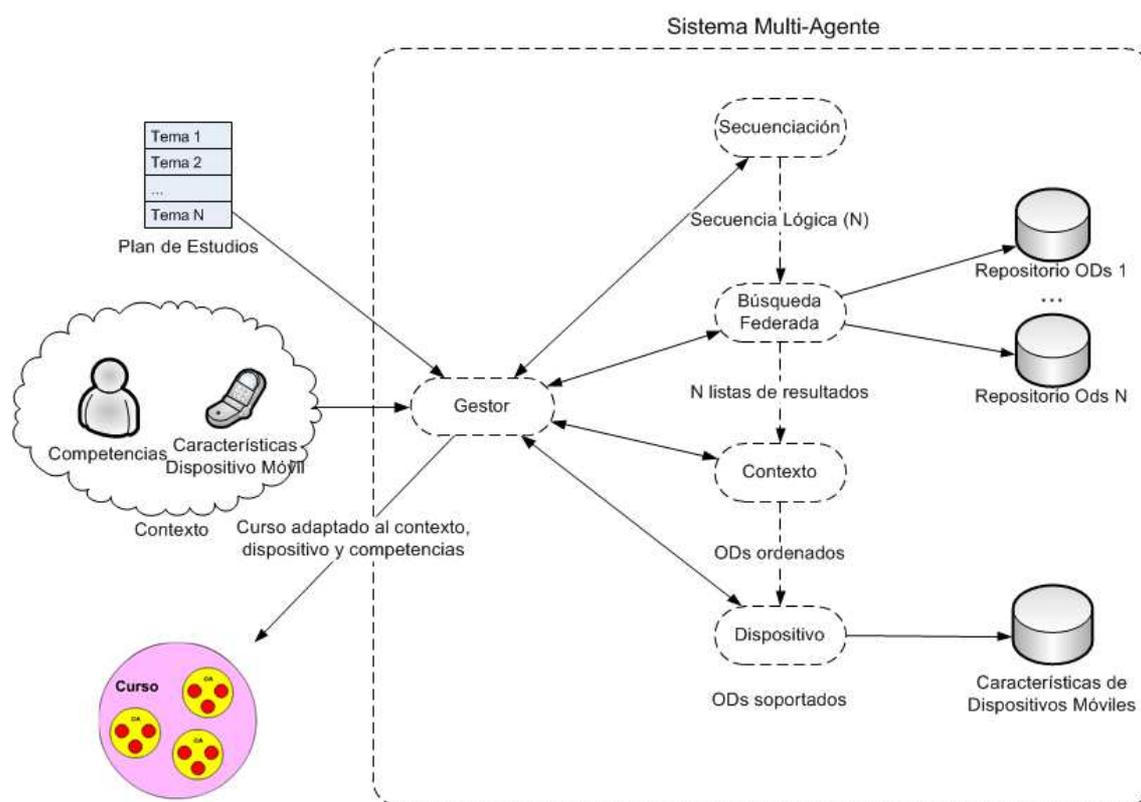


Figura 25. Diseño inicial del Sistema Multi-Agente

En este primer diseño podemos observar cómo todos los agentes son orquestados a través del agente gestor, que será el encargado del correcto funcionamiento del sistema, en general.

El funcionamiento del sistema en general se describe a continuación. El sistema tendría tres entradas: el plan de estudios que debe seguir el alumno, las competencias del alumno y las características de su dispositivo móvil.

El primer agente en entrar en juego sería el agente de secuenciación, ya que sería el encargado de establecer una secuencia del plan de estudios adaptado a las competencias que

dispone el alumno. De esta forma se consigue que alumnos que ya posean conocimientos previos que están contemplados dentro del plan de estudios no tengan que volver a pasar por ellos, pudiendo centrarse en otros aspectos que tuvieran pendientes. Este agente, en principio, está diseñado para ejecutarse una única vez para cada alumno, y sólo se requeriría de una nueva ejecución en caso de que el plan de estudios variase.

Una vez establecida la secuencia que debe seguir el alumno, pasaría a entrar en juego el agente de búsqueda federada, que sería el encargado de realizar búsquedas en diferentes repositorios de objetos docentes, obteniendo como resultado diferentes listas de objetos docentes correspondientes a cada componente del plan de estudios. A continuación se muestra un ejemplo del funcionamiento general con los resultados que obtendría para un posible plan de estudios.

Supongamos que tenemos un plan de estudios de un curso de desarrollo de aplicaciones web compuesto por 5 temas, tal y como se muestra a continuación.

- **Plan de estudios**
  - 1. HTML
  - 2. CSS
  - 3. JavaScript
  - 4. HTML 5
  - 5. Java EE

Para cada uno de estos temas, el agente de búsqueda federada realizaría la búsqueda en diferentes repositorios, obteniendo listas de resultados para cada uno de ellos (Figura 26).

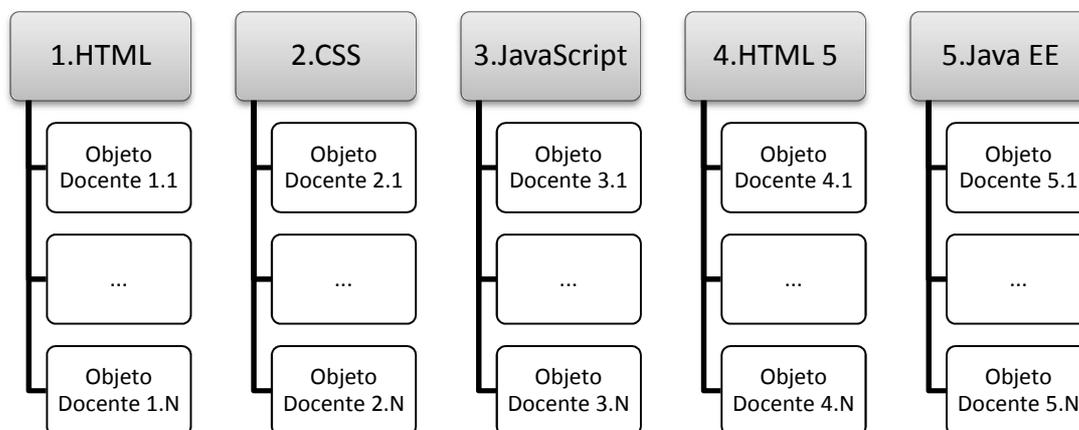


Figura 26. Ejemplo de resultados del Agente de Búsqueda Federada

Por último, cabe destacar que el agente de búsqueda federada está preparado, también, para trabajar con posibles objetos docentes que haya puesto el profesor a disposición del curso o asignatura, no sólo con los disponibles en los repositorios.

Al igual que sucede con el agente de secuenciación, el agente de búsqueda federada está diseñado para ser ejecutado una única vez para cada alumno y plan de estudios, por lo tanto, si el plan de estudios cambiase sería necesario una nueva búsqueda.

Hasta este momento, los dos agentes que hemos visto han sido pensados para ejecutarse una única vez. Los dos agentes restantes (de contexto y de dispositivo) están pensados para funcionar “en tiempo de formación”, es decir, una vez que el alumno está conectado y en el momento de recibir la formación. Esto es debido a que reciben como entradas el contexto del alumno y las características del dispositivo. Tanto el contexto como las características del dispositivo utilizado por el alumno poseen una frecuencia de cambio mayor que la que puede sufrir un plan de estudios de un curso, por ejemplo: un alumno que se conecta con su teléfono móvil mientras está esperando en una parada del autobús tiene un contexto y un hardware totalmente diferente al que puede tener si se conecta desde casa con un ordenador.

Una vez el alumno se conecta al sistema para realizar la formación, es cuando entran en juego los dos agentes restantes. El alumno indica el tema o asignatura del plan de estudios que desea visualizar, y entonces el agente de contexto se encarga de coger la lista de objetos docentes correspondientes a ese tema o asignatura (como se ha visto anteriormente en la Figura 26) y ordenarlos en función del contexto del alumno. De esta forma se consigue tener una lista ordenada de objetos docentes en función del porcentaje de adaptación al contexto.

Por último, antes de que el alumno visualice el contenido docente, entra en juego el agente de dispositivo, que es el encargado de filtrar aquellos objetos docentes que no van a poder ser visualizados en el dispositivo que está utilizando el alumno. Por ejemplo, si uno de los objetos docentes que existen en la lista (previamente ordenada por el agente de contexto) está en un formato que no es capaz de reproducir el dispositivo del alumno, entonces es eliminado de la lista.

Finalmente, tras la ejecución de estos dos agentes se obtiene el objeto docente que se encuentre en la primera posición de la lista ordenada en base al contexto y filtrada según las características del dispositivo. De esta forma conseguimos que el alumno visualice el objeto

docente que más se le adapte a su contexto y que sea capaz de reproducir con su dispositivo móvil.

### 3.2.3. Optimización y diseño final propuesto

Hasta este momento hemos visto el funcionamiento del sistema inicial que se propone para resolver el problema planteado en la presente tesis. En este apartado se muestra cómo se ha optimizado este sistema y se propone el diseño final del mismo.

Para optimizar el sistema se ha tenido en cuenta sobre todo el orden en el que debía ejecutarse cada agente inteligente y cuántas veces debían ejecutarse. En un primer esfuerzo para optimizar el sistema se ha seguido un criterio de ejecución de cada agente según su “frecuencia de variación”, es decir, basándonos en la frecuencia con la que puede cambiar el contexto o el dispositivo móvil del alumno. Si nos fijamos en el diseño inicial del sistema (Figura 25) y en la descripción del apartado anterior, vemos que cada vez que el alumno cambiase de contexto se hace necesario ejecutar tanto el agente de contexto como el de dispositivo.

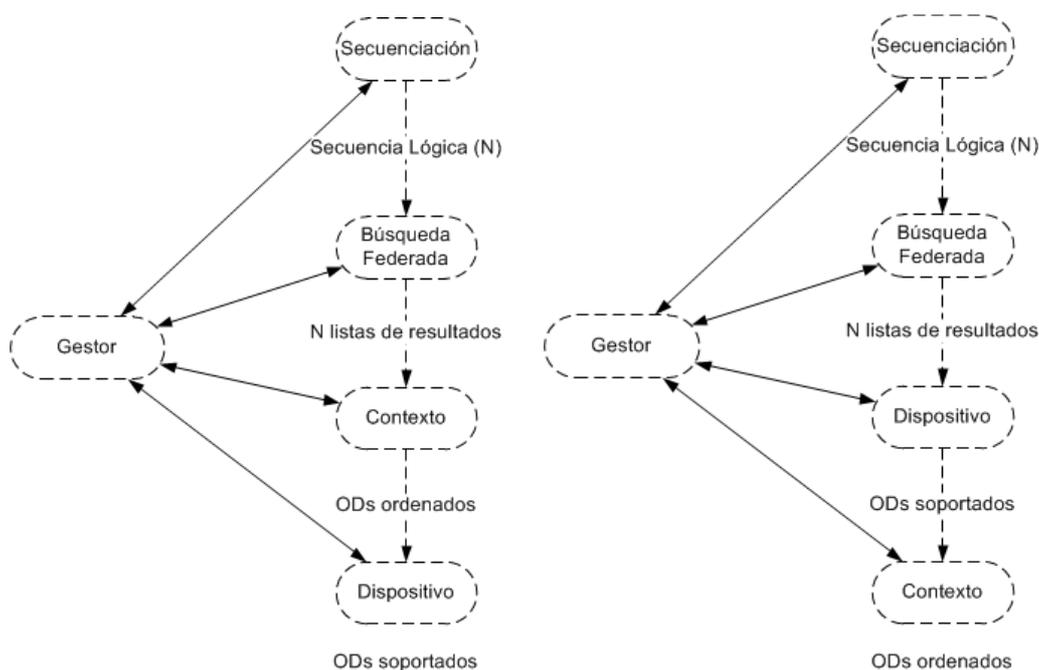
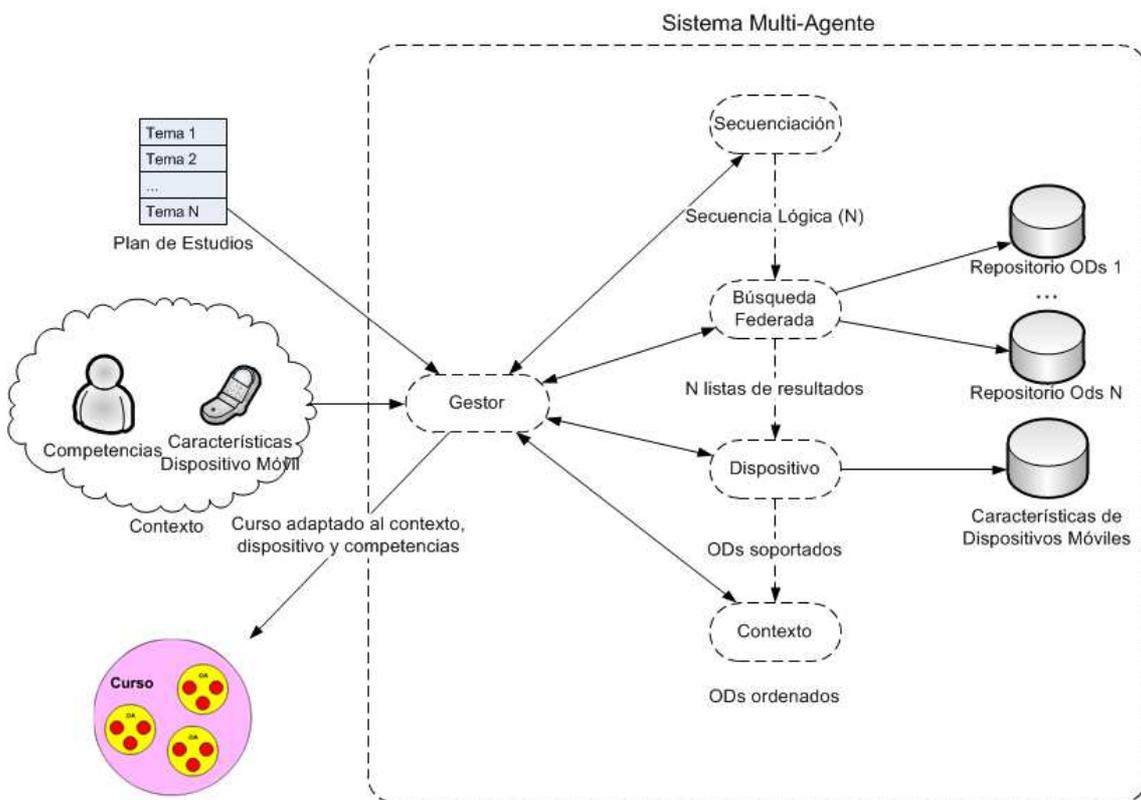


Figura 27. Diseño del sistema inicial (izquierda) y diseño del sistema optimizado (derecha)

Siguiendo el criterio anteriormente descrito, parece lógico que el contexto del alumno pueda tener una variación mayor que la del propio dispositivo, por ejemplo: un alumno esperando al autobús con su teléfono móvil tendría un contexto, y este mismo alumno en su casa con su teléfono móvil tendría otro contexto diferente pero el mismo dispositivo. En

ambos casos se requeriría la ejecución de ambos agentes, por lo tanto, y con el fin de optimizar el sistema, vamos a intercambiar la ejecución del agente de dispositivo y de contexto de forma que primeramente se ejecute el agente de dispositivo y por último el agente de contexto (Figura 27). Siguiendo con el ejemplo anterior, si el alumno que está esperando al autobús con su teléfono móvil desea realizar la formación, en este caso se ejecutarán el agente de dispositivo y el de contexto. Si posteriormente este alumno se conecta desde su casa con su teléfono móvil, sólo será necesario la ejecución del agente de contexto, y de esta forma habremos evitado una nueva ejecución del agente de dispositivo.

Una vez optimizado el orden de ejecución de los agentes, tenemos el diseño final del sistema (Figura 28).



**Figura 28. Diseño final del sistema**

En la figura del diseño final se muestran todos los agentes inteligentes implicados (descritos anteriormente), así como el papel que juegan los repositorios de objetos docentes y de características de los dispositivos móviles, necesarios para la correcta ejecución de los agentes.

En el diseño del sistema también se pueden apreciar las diferentes entradas al sistema (contexto del alumno, competencias, características del dispositivo y plan de estudios) y la salida del mismo (un curso adaptado al alumno).

### **3.3. Prototipo del sistema**

Una vez realizado el diseño del sistema, y en base a la funcionalidad descrita en el mismo se desarrolla un prototipo del sistema con el fin de poder realizar diferentes pruebas del sistema en entornos reales y simulados (esto se verá más en detalle en el Capítulo 4 del presente documento).

El prototipo tiene por objetivo demostrar la viabilidad del funcionamiento, así como server de plataforma de pruebas para diferentes experimentos que serán desarrollados, aplicando diferentes niveles de adaptación.

Para llevar a cabo el desarrollo del prototipo del sistema se ha elegido el lenguaje de alto nivel y orientado a objetos denominado Java, el cual nos permite representar cada agente inteligente como un conjunto de Clases gracias al paradigma de orientación a objetos. También se ha decidido desarrollar el prototipo mediante una arquitectura basada en entorno web y distribuido, de forma que pueda ser accesible fácilmente mediante Internet desde cualquier dispositivo u ordenador.

Cada agente descrito en el anterior apartado ha sido desarrollado de forma desacoplada e independiente, de tal forma que se pueda requerir la ejecución de cada agente de forma sencilla y ligera, sin necesidad de disponer de grandes dependencias entre agentes, simplemente especificando sus entradas y recibiendo su salida.

En este punto es importante mencionar que en este capítulo no se aportarán detalles técnicos sobre el desarrollo del prototipo del sistema, ya que no presentan ninguna relevancia importante para la presente tesis.

A continuación se detalla la ejecución del prototipo desarrollado mediante algunas interfaces de usuario del mismo. También se detalla dónde interviene la ejecución de cada agente inteligente.

Es importante destacar que el objetivo de este apartado no es centrarse en el contenido de las propias interfaces de usuario (esto se detallará en el apartado 4.1 del presente

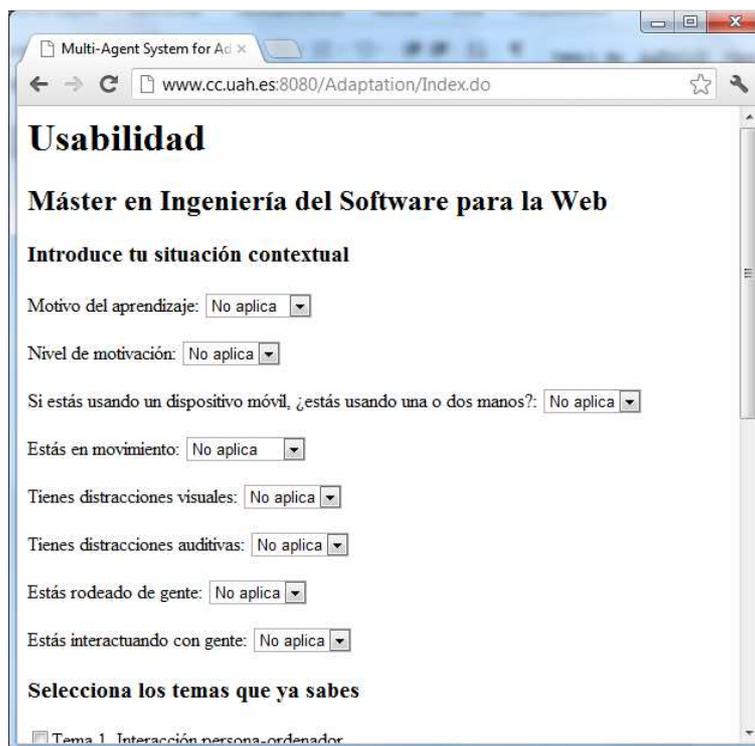
documento), sino sobre cómo se han conseguido desarrollar los diferentes componentes del sistema propuesto.

### 3.3.1. Recolección de datos del alumno

En esta primera parte toma especial importancia la obtención de ciertos datos del alumno, como son el contexto en el que se encuentra el alumno y las competencias (conocimientos previos) que éste ya posee sobre la materia.

Para realizar esta tarea se pide al alumno que introduzca, en una primera pantalla, algunos aspectos del contexto que le rodea (Figura 29) (la representación del contexto utilizada es la descrita en el apartado 2.2.2.1 del presente documento, propuesta por (Kim *et al.*, 2005)), así como los temas que ya conoce sobre la materia que se le presenta (Figura 30).

Hasta el momento no ha entrado ningún agente inteligente en juego más que el Agente Gestor, que es el encargado de realizar la interacción con el alumno.



The image shows a web browser window with the address bar displaying 'www.cc.uah.es:8080/Adaptation/Index.do'. The page content is as follows:

## Usabilidad

### Máster en Ingeniería del Software para la Web

#### Introduce tu situación contextual

Motivo del aprendizaje:

Nivel de motivación:

Si estás usando un dispositivo móvil, ¿estás usando una o dos manos?:

Estás en movimiento:

Tienes distracciones visuales:

Tienes distracciones auditivas:

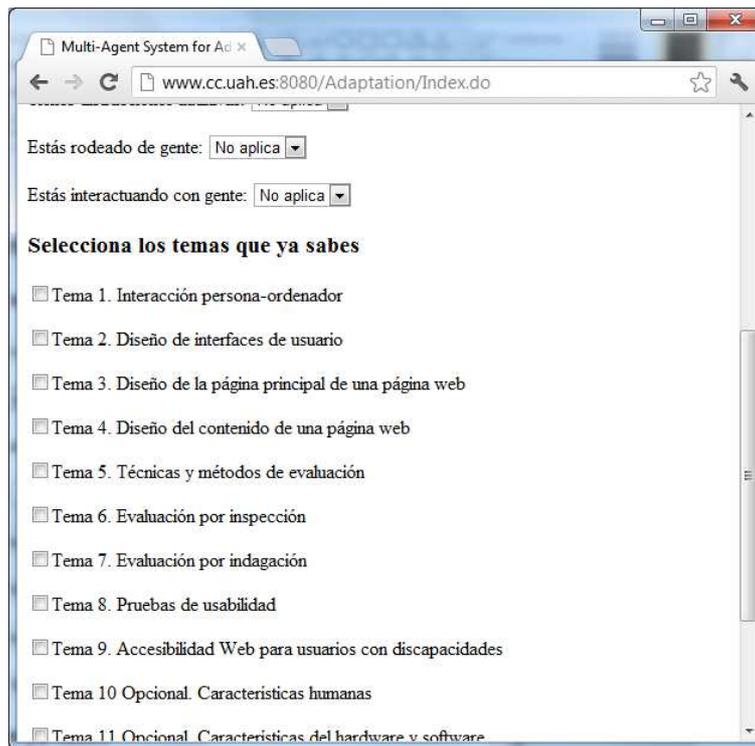
Estás rodeado de gente:

Estás interactuando con gente:

#### Selecciona los temas que ya sabes

Tema 1. Interacción persona-ordenador

Figura 29. Selección del contexto del alumno



**Figura 30. Selección de las competencias del alumno**

Esto se le solicita al alumno cada vez que ejecuta el sistema, ya que su contexto o competencias pueden haber variado.

Una vez que el alumno ha introducido su contexto y sus competencias, entra en juego la ejecución del Agente de Secuenciación, que es el encargado de secuenciar el plan de estudios en función de las competencias que el alumno ha seleccionado.

En este primer prototipo no se ha tenido en cuenta que cuando un alumno supera un cierto tema o asignatura se actualicen automáticamente sus competencias y no se tenga que ejecutar nuevamente el Agente de Secuenciación, por lo que esto queda pendiente para futuros desarrollos.

### **3.3.2. Secuenciación**

Una vez ejecutado el Agente de Secuenciación, se le muestra al alumno su plan de estudios personalizado (Figura 31), en el cual puede acceder a cualquier tema o asignatura del mismo. Sin embargo, hay algunos temas o asignaturas que quedan marcados como “Recomendados”, y es que estos serían los que el alumno debería cursar para seguir correctamente el plan de estudios. Los que no aparecen como recomendados quiere decir que requieren haber aprendido previamente algún otro tema o asignatura del plan de estudios. En

un primer momento se pensó en mostrar solamente aquellos que fueran recomendados para el alumno, pero se ha optado por dotar de esta libertad al mismo.



Figura 31. Mostrado del plan de estudios personalizado

Una vez que el alumno selecciona alguno de los temas o asignaturas disponibles, entran en juego el resto de agentes inteligentes. Primeramente se ejecuta el Agente de Búsqueda Federada, el cual realiza una búsqueda en diferentes repositorios en busca de objetos docentes relacionados con el tema o asignatura seleccionados. Es importante destacar que el propio Agente de Búsqueda Federada cuenta con un repositorio propio interno por si se quisieran establecer directamente los objetos docentes a utilizar para la formación de los alumnos.

Una vez terminada la ejecución del Agente de Búsqueda Federada, pasa a ejecutarse el Agente de Dispositivo. Este agente detecta el dispositivo móvil o no móvil que está utilizando el alumno para conectarse al sistema y filtra aquellos objetos docentes que no puedan ser ejecutados o visualizados por el dispositivo.

Por último, los objetos docentes restantes del filtrado son ordenados en función del contexto del alumno, estableciendo para cada objeto docente el porcentaje de adaptación al alumno. Esto es llevado a cabo por el Agente de Contexto.

### 3.3.3. Selección del objeto docente

Una vez ejecutados todos los agentes inteligentes se le muestra al alumno un listado con los diferentes objetos docentes que tiene disponibles para la formación (Figura 32).

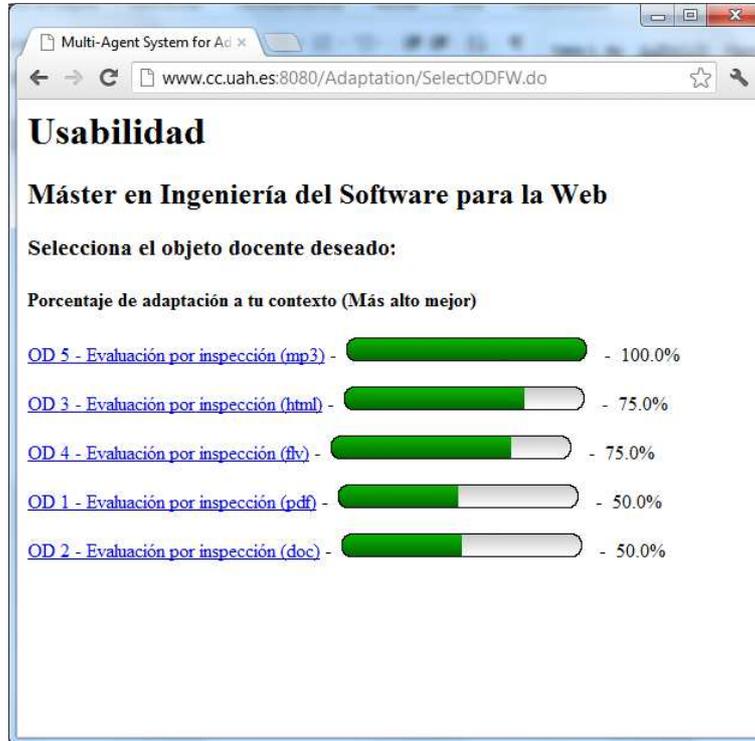


Figura 32. Selección del objeto docente

También se muestra el porcentaje de adaptación a su contexto, recomendándole elegir el que mayor valor tenga, ya que mejor se le adaptará a su entorno. Al igual que en el caso anterior, en principio se optó por mostrar directamente el objeto docente con mayor porcentaje de adaptación, pero finalmente se ha decidido dotar de libertad al alumno para elegir el que desee. Es importante destacar que todos los objetos docentes mostrados en este listado son aptos para el dispositivo del alumno, ya que previamente han sido filtrados.

Finalmente, el alumno selecciona el objeto docente que prefiera y realiza su formación personalizada (Figura 33).

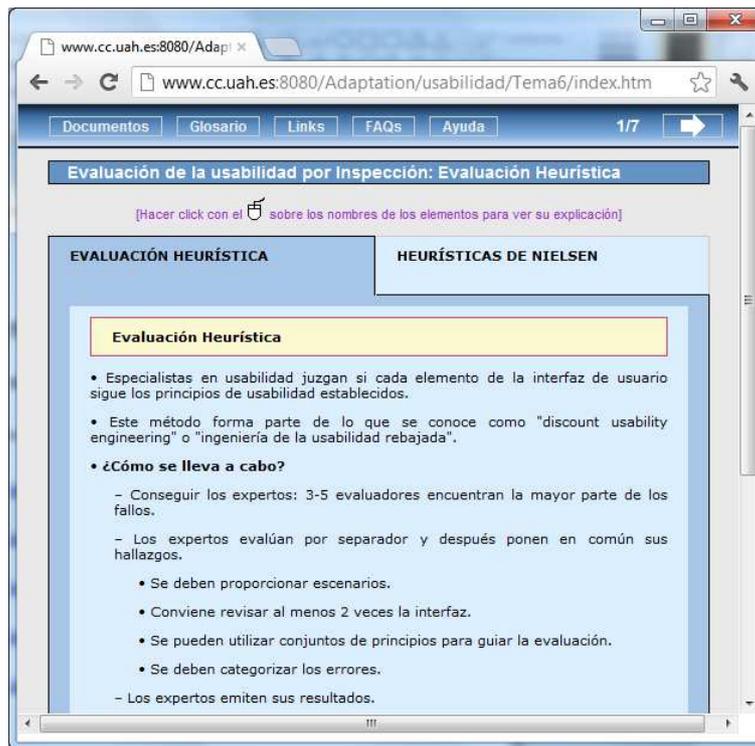


Figura 33. Visionado del objeto docente

En el siguiente capítulo se presentan una serie de experimentos realizados con el sistema desarrollado en entornos reales y simulados.

# 4. Experimentación y Resultados

---

En este apartado se mostrarán los experimentos realizados para validar el sistema propuesto, así como los resultados obtenidos de los mismos.

El objetivo del Experimento 1 es poner en marcha el sistema utilizando un plan de estudios real y probar su funcionamiento. Para ello se utilizan diferentes alumnos simulados con diferentes contextos, de esta forma conseguimos comprobar las respuestas del sistema en general y la adaptación al contexto en particular.

El Experimento 2 tiene por objetivo comprobar el funcionamiento de la adaptación a los dispositivos móviles, para ello se selecciona una batería de dispositivos y el sistema es probado con ellos para comprobar que se muestran diferentes objetos docentes en función de las características de cada uno de estos dispositivos.

Por último, y quizá, el más importante el Experimento 3 tiene como fin comprobar cómo se comporta el sistema en un entorno de aprendizaje real, con diferentes alumnos y dispositivos móviles. De esta forma, se chequea el funcionamiento del conjunto en general ya que se produce diferentes niveles de adaptación, según alumno, dispositivo y contexto.

## 4.1. Experimento 1: Utilización del sistema con un plan de estudios real

Utilizando el prototipo desarrollado (visto en el apartado anterior) se ha puesto en marcha el sistema con un plan de estudios real, concretamente de la asignatura “Usabilidad” del Máster de Ingeniería del Software para la Web de la Universidad de Alcalá.

Esta asignatura está compuesta por 14 temas (Tabla 11), 9 de los cuales son obligatorios (etiquetados como LX) para todos los alumnos y 5 de ellos optativos (etiquetados como OLX).

Número	Título
L1	Interacción persona-ordenador
L2	Diseño de interfaces de usuario
L3	Diseño de la página principal de una página web

L4	Diseño del contenido de una página web
L5	Técnicas y métodos de evaluación
L6	Evaluación por inspección
L7	Evaluación por indagación
L8	Pruebas de usabilidad
L9	Accesibilidad Web
OL10	Características humanas
OL11	Características del hardware y software
OL12	Elementos del contexto social
OL3	Metáforas
OL14	Métodos de evaluación más allá de las pruebas de usabilidad

**Tabla 11. Plan de estudios de la asignatura de Usabilidad**

En primer lugar, para este plan de estudios es necesario establecer cuáles son los prerrequisitos para cada uno de los temas de la asignatura (Tabla 12). Para ello se contó con la colaboración de los dos profesores de la Universidad de Alcalá que imparten dicha asignatura, los cuales llevan impartíendola varios años y son expertos conocedores de la materia.

Número	Título	Prerrequisitos
L1	Interacción persona-ordenador	-
L2	Diseño de interfaces de usuario	L1
L3	Diseño de la página principal de una página web	L1
L4	Diseño del contenido de una página web	L1
L5	Técnicas y métodos de evaluación	L2
L6	Evaluación por inspección	L5
L7	Evaluación por indagación	L5
L8	Pruebas de usabilidad	L5
L9	Accesibilidad Web	L3, L4
OL10	Características humanas	L1
OL11	Características del hardware y software	L1
OL12	Elementos del contexto social	L1
OL3	Metáforas	OL10

OL14	Métodos de evaluación más allá de las pruebas de usabilidad	L6, L7, L8
------	---	------------

Tabla 12. Plan de estudios de la asignatura de Usabilidad con los prerrequisitos de cada tema

Cada tema de la asignatura se representa con sus prerrequisitos, de esta forma se establecen unas restricciones que deben cumplirse antes de poder aprender cada uno de los temas, desde el punto de vista del alumno. Observando la tabla podemos ver cómo existen algunos temas que requieren que previamente hayamos recibido las competencias correspondientes de otros temas. El orden de precedencia y requisitos de cada tema se puede ver más claramente en el siguiente grafo (Figura 34).

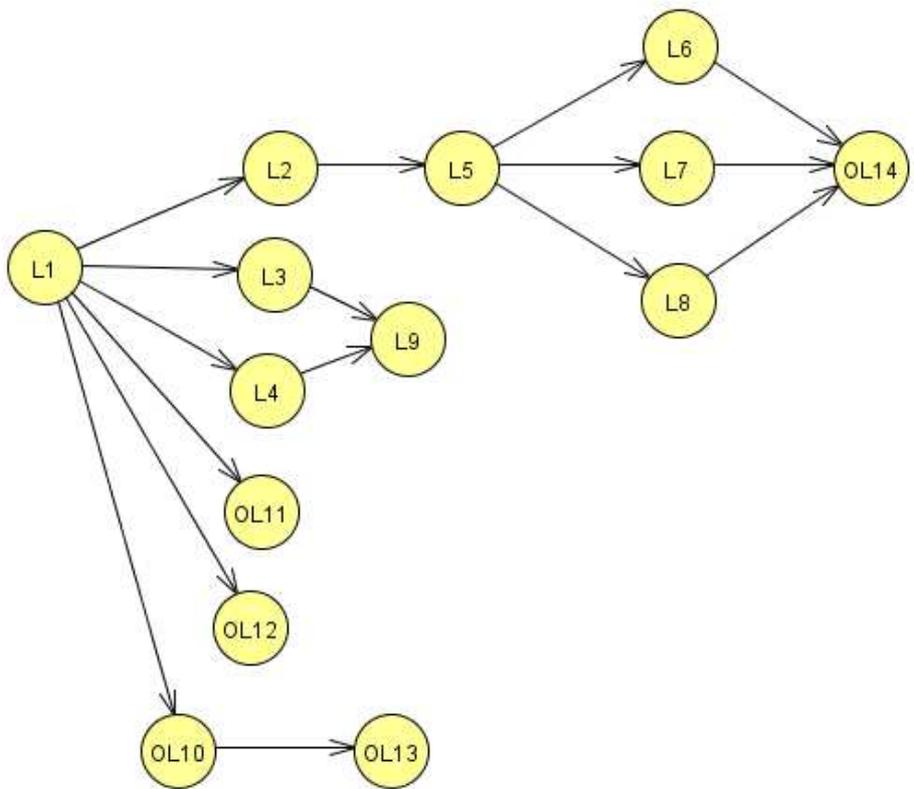


Figura 34. Grafo de la asignatura de Usabilidad

Una vez establecida la relación entre los temas de la asignatura, ya está listo el sistema para ser utilizado por alumnos.

A continuación se va a proceder a realizar una serie de pruebas con diferentes perfiles simulados de hipotéticos alumnos. Para ello se va a utilizar el temario visto anteriormente en la asignatura de Usabilidad. Así mismo, se van a utilizar los mismos contenidos didácticos que se utilizan en la asignatura real. La asignatura posee diferentes objetos docentes en distintas

versiones (documentos, audio, vídeo y presentaciones interactivas) para el aprendizaje de los alumnos.

El objetivo de este experimento es realizar diferentes accesos mediante la simulación de diferentes contextos hipotéticos con el fin de observar el comportamiento del sistema.

### 4.1.1. Sujeto hipotético 1

El perfil que se ha pensado para este primer sujeto hipotético sería el de una persona ubicada en su casa y que pretende realizar la asignatura de Usabilidad para mejorar su formación. Esta persona no posee ninguna competencia previa sobre el tema.

El motivo de aprendizaje es por placer, ya que el sujeto pretende mejorar su formación voluntariamente y por lo tanto posee también nivel alto de motivación. Debido a que el sujeto está en su casa, podemos suponer una situación tranquila y relajada, por lo que puede utilizar su dispositivo móvil con dos manos y tiene pocas distracciones visuales y auditivas. También está poco rodeado de gente y tiene poca interacción con ellas.

La siguiente tabla (Tabla 13) muestra detallado el contexto hipotético para este perfil:

Contexto	Valor
Motivo del aprendizaje	Voluntario
Nivel de motivación	Alto
Estás usando el dispositivo con una o dos manos	Dos
Estás en movimiento	Parado
Tienes distracciones visuales	Pocas
Tienes distracciones auditivas	Pocas
Estás rodeado de gente	Poco
Estás interactuando con gente	Poco

Tabla 13. Contexto hipotético del Sujeto 1

Una vez simulado el acceso de este hipotético Sujeto 1 al sistema adaptativo, la ejecución es mostrada en las siguientes imágenes.



Figura 35. Secuenciación simulada para el Sujeto 1

Como se puede observar en la Figura 35 (la secuenciación de temas generada para este primer sujeto), el sistema le recomienda realizar en primer lugar el Tema 1, lo cual es debido a que el alumno carecía de competencias iniciales para la asignatura.

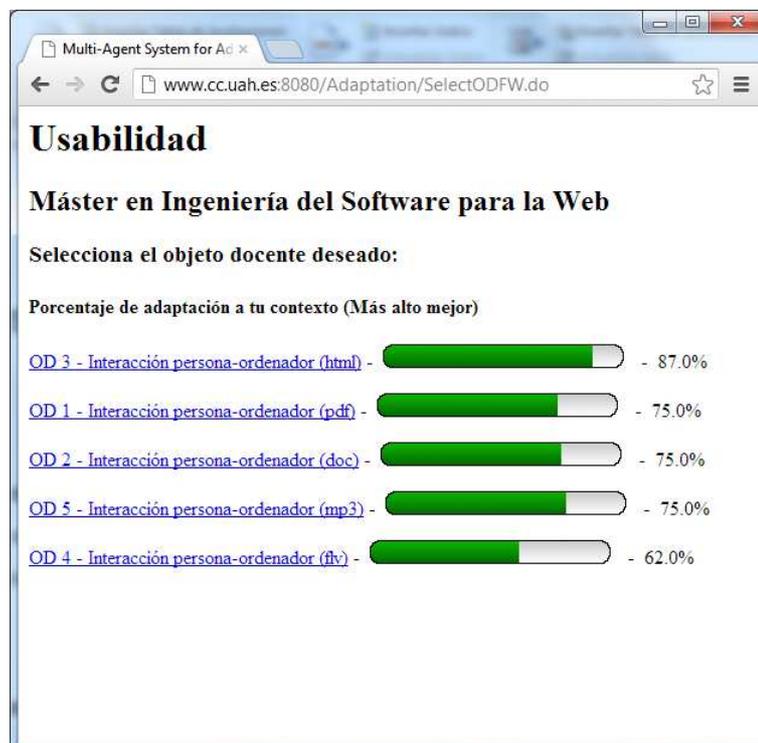


Figura 36. Adaptación al contexto para el Sujeto 1

Observando la Figura 36, vemos que el objeto docente que más se adapta al contexto posee un 87% de adaptación, seguido de otros tres objetos docentes con un 75% de adaptación y finalmente un quinto objeto docente con un 62% de adaptación.

En el apartado 4.1.3 se discutirán estos resultados obtenidos comparándolos con los obtenidos para el Sujeto 2.

## 4.1.2. Sujeto hipotético 2

El perfil para este Sujeto 2 sería el de un trabajador al cual su empresa le ha financiado el cursar la asignatura de Usabilidad, con el fin de mejorar las cualidades de la plantilla. Este sujeto posee ya competencias básicas sobre la materia (ya posee conocimientos de los Temas 1 y 2), ya que está relacionado con su trabajo, y el acceso al sistema adaptativo lo va a realizar utilizando su dispositivo mientras acude al trabajo.

El motivo de aprendizaje es por obligación, ya que su empresa así se lo ha indicado, por lo que el nivel de motivación es bajo. Como el sujeto está yendo hacia su trabajo, suponemos que utiliza su dispositivo móvil con una sola mano, ya que en la otra puede llevar algún tipo de mochila o maleta. Así mismo, se encuentra en movimiento y posee pocas distracciones visuales. No obstante, tiene muchas distracciones auditivas, ya que va por la calle, por lo que además está rodeado de gente, pero no interactúa con ellas.

La siguiente tabla (Tabla 14) muestra detallado el contexto seleccionado para este perfil del Sujeto 2:

Contexto	Valor
Motivo del aprendizaje	Obligación
Nivel de motivación	Bajo
Estás usando el dispositivo con una o dos manos	Una
Estás en movimiento	Movimiento
Tienes distracciones visuales	Pocas
Tienes distracciones auditivas	Muchas
Estás rodeado de gente	Mucho
Estás interactuando con gente	Poco

Tabla 14. Contexto hipotético del Sujeto 2

Una vez descrito este perfil y contexto del Sujeto 2, se muestra la ejecución en el sistema adaptativo (Figura 37). Hemos indicado que el Sujeto 2 posee las competencias del Tema 1 y 2 de la asignatura “Interacción persona-ordenador” y “Diseño de interfaces de usuario”.

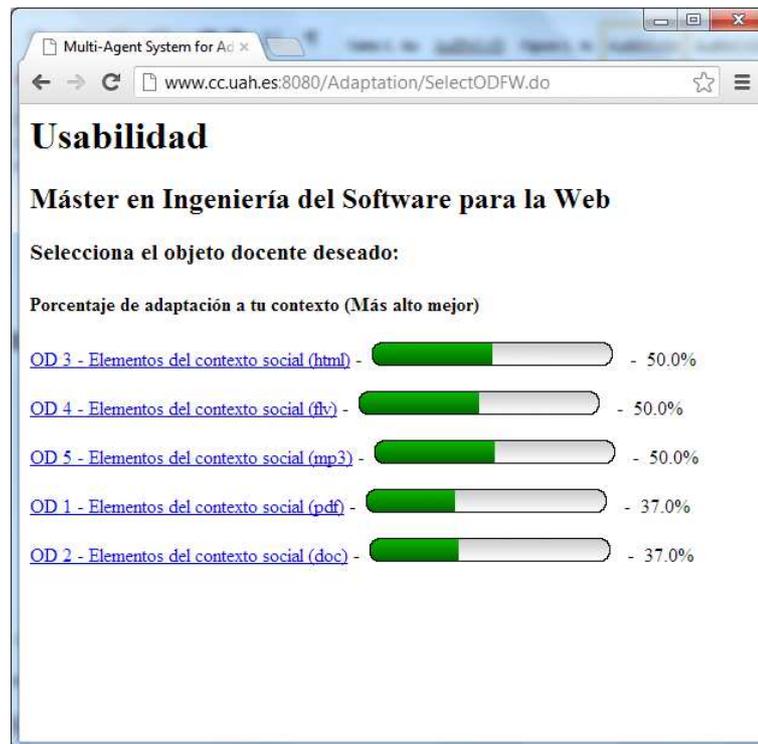
Como se puede observar en la Figura 37, este Sujeto 2 tiene más posibilidades de elección de los temas, ya que posee algunas competencias básicas sobre la materia. A este Sujeto 2 se le abre la posibilidad de cursar hasta 6 diferentes temas, siempre cumpliendo las restricciones de la secuencia establecida por el profesor de la asignatura.

Suponemos que el Sujeto 2 selecciona el Tema 12 de la asignatura “Elementos del contexto social”.

La Figura 38 muestra la adaptación al contexto realizada para este Sujeto 2, y podemos observar también que existen tres objetos docentes con un 50% de adaptación, seguidos de otros dos con un 37%.



Figura 37. Secuenciación simulada para el Sujeto 2



**Figura 38. Adaptación al contexto para el Sujeto 2**

En el siguiente apartado se discuten los resultados observados para las ejecuciones de los Sujetos 1 y 2.

### 4.1.3. Resultados del experimento 1

Mirando las ejecuciones de ambos sujetos podemos observar es que al realizar la adaptación en base a las competencias de cada uno, el primer sujeto solamente tiene la posibilidad de cursar el Tema 1 de la asignatura, mientras que al segundo sujeto se le abre la posibilidad de cursar seis temas diferentes. Esto es debido a que en la simulación de este último sujeto se ha supuesto que ya posee las competencias de los Temas 1 y 2. Si comparamos con el grafo que representa los temas de la asignatura (Figura 34), vemos que la ejecución del sistema es correcta para ambos sujetos.

En segundo lugar, si nos fijamos en la adaptación al contexto realizada para ambos sujetos, el primer dato que observamos es que los porcentaje de adaptación para el primer sujeto son claramente más elevados que para el segundo sujeto, teniendo el primero un objeto docente con un 87% de adaptación, y un objeto docente con un 50% para el segundo sujeto. Esto es debido a que el segundo sujeto quizá no posea una situación (contexto) realmente adecuada para realizar una formación (recuérdese que el hipotético contexto

implica desplazamiento, rodeado de otras personas, etc.). Obviamente, esto siempre va a depender de que el contexto esté correctamente especificado en los objetos docentes.

Otro detalle importante a destacar en la adaptación al contexto de ambos sujetos es la posición de objetos docentes tipo documento (doc o pdf) en la lista de ambos. En el primer sujeto estos objetos docentes tienen un porcentaje de adaptación entorno al 75%, y de un 37% para el segundo sujeto. Esto es debido a que el sistema interpreta que este tipo de documentos pueden no ser recomendados para alumnos con un nivel de motivación bajo, y pueden sí serlo para alumnos con un nivel de motivación alto (como en el caso del Sujeto 1). No obstante, en ambos casos el objeto docente con mayor porcentaje de adaptación es el HTML, ya que para este caso concreto (la asignatura de Usabilidad), el objeto docente combina partes de texto con partes interactivas, lo que permite que sea apto para una gran diversidad de contextos.

## **4.2. Experimento 2: Utilización del sistema con diferentes dispositivos móviles**

En este experimento vamos a centrarnos en la ejecución del agente de dispositivo, en concreto en cómo se comporta en el laboratorio con la ejecución del sistema en diferentes dispositivos móviles. Para ejecutar correctamente el sistema es necesario especificar unas competencias y contexto de un alumno determinado. Como en este experimento el objetivo no es comprobar el comportamiento del sistema ante estos parámetros vamos a coger el perfil del Sujeto 1 (los detalles están especificados en el apartado anterior) y vamos a realizar todos los accesos al sistema utilizando este perfil hipotético, con todos los dispositivos, de forma que no influya en el resultado final del experimento..

A continuación se muestran los dispositivos móviles utilizados para la realización de este experimento. Es importante destacar que se ha intentado seleccionar los dispositivos de una forma heterogénea, es decir, con diferentes tamaños de pantalla, sistema operativo, forma de entrada (teclado, táctil, etc.), y marca para poder observar la mayoría de diferentes comportamientos posibles.

<b>Dispositivo Móvil</b>	<b>Tamaño de Pantalla</b>	<b>Sistema Operativo</b>
Blackberry Curve 9360	2,44"	Blackberry 7.1 OS
Blackberry Torch 9860	3,7"	Blackberry OS 7

HTC Desire	3,7"	Android 2.2
HTC Magic	3,2"	Android 2.2.1
HTC Radar	3,8"	Windows Phone 7.5
HTC Wildfire	3,2"	Android 2.3.5
iPad 2	9,7"	iOS 4
iPhone 4	3,5"	iOS 4
LG L3 E400	3,2"	Android 2.3.6
Nokia Asha 302	2,4"	Symbian S40 Asha
Nokia Lumia 610	3,7"	Windows Phone 7.5
Nokia Lumia 710	3,7"	Windows Phone 7.5
Samsung Galaxy Mini	3,14"	Android 2.2
Samsung Galaxy SIII	4,8"	Android 4.0
Samsung Google Galaxy Nexus	4,65"	Android 4.0
Samsung Omnia W	3,7"	Windows Phone 7.5
Sony Xperia U	3,5"	Android 2.3

**Tabla 15. Dispositivos móviles utilizados para la validación del sistema**

Con cada uno de estos dispositivos se accede al sistema con el perfil simulado del Sujeto 1 y seleccionando el tema que el sistema nos sugiere. Para cada uno de estos dispositivos el comportamiento del sistema es diferente, ya que algunos objetos docentes son filtrados porque no soportan el formato en el que están diseñados. Para esta prueba se utilizan los contenidos docentes de la asignatura de Usabilidad, los cuales están en cinco diferentes formatos (Flash, HTML, MP3, PDF y Word). A continuación, y tras la ejecución del sistema con cada uno de los dispositivos, se muestran (Tabla 16) qué objetos docentes son visibles para cada uno de los diferentes dispositivos utilizados.

<b>Dispositivo Móvil</b>	<b>Flash</b>	<b>HTML</b>	<b>MP3</b>	<b>PDF</b>	<b>Word</b>
Blackberry Curve 9360		X			
Blackberry Torch 9860		X			
HTC Desire		X	X	X	
HTC Magic		X		X	
HTC Radar	X	X	X	X	X
HTC Wildfire		X	X	X	
iPad 2		X	X	X	
iPhone 4		X	X	X	

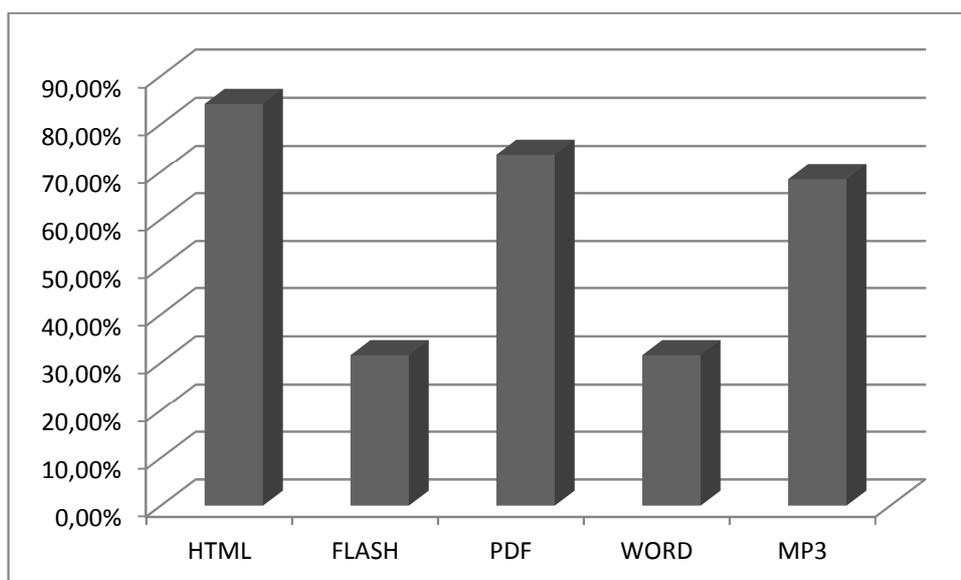
LG L3 E400	X	X	X	X	X
Nokia Asha 302	X	X	X	X	X
Nokia Lumia 610	X	X	X	X	X
Nokia Lumia 710	X	X	X	X	X
Samsung Galaxy Mini		X	X	X	
Samsung Galaxy SIII		X	X	X	
Samsung Google Galaxy Nexus		X	X	X	
Samsung Omnia W	X	X	X	X	X
Sony Xperia U		X	X	X	

**Tabla 16. Adaptación a los diferentes dispositivos móviles de prueba**

En la Figura 39 se muestra una gráfica de los porcentajes de aceptación de los diferentes formatos en los distintos dispositivos que se han utilizado para la prueba.

Observando los resultados, es importante destacar que la mayoría de dispositivos aceptaron los objetos docentes en los formatos de HTML, MP3 y PDF; y sólo una minoría los objetos docentes que estaban en formatos Flash y Word.

Cabe reseñar que el sistema realiza la adaptación a los dispositivos basándose en las características que se especifican en el repositorio WURFL, y por lo tanto algunos dispositivos están definidos como que no aceptan formatos Flash y Word, cuando sin embargo posteriormente se ha comprobado que, por ejemplo, algunas versiones de Flash sí son soportadas, sobre todo en algunos de los dispositivos más modernos.



**Figura 39. Porcentajes de aceptación de los diferentes formatos**

En las siguientes figuras se muestran algunas fotografías tomadas en el momento en el que el sistema era probado con cada uno de los dispositivos móviles.

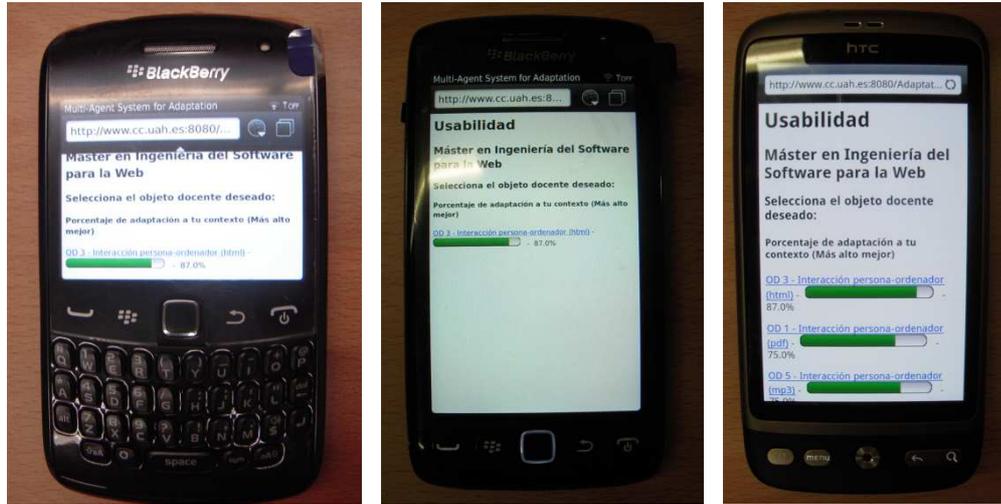


Figura 40. Blackberry 9360 (izda.), Blackberry 9860 (centro) y HTC Desire (dcha.)

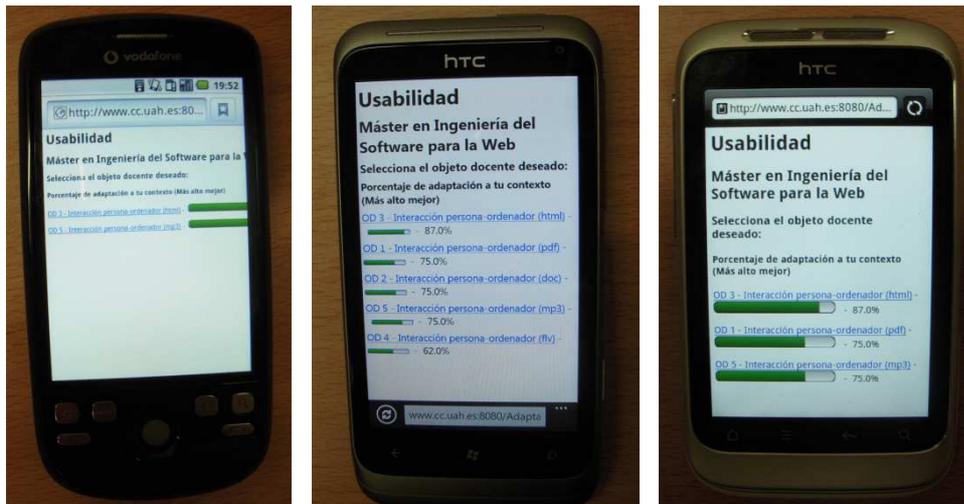


Figura 41. HTC Magic (izda.), HTC Radar (centro) y HTC Wildfire (dcha.)

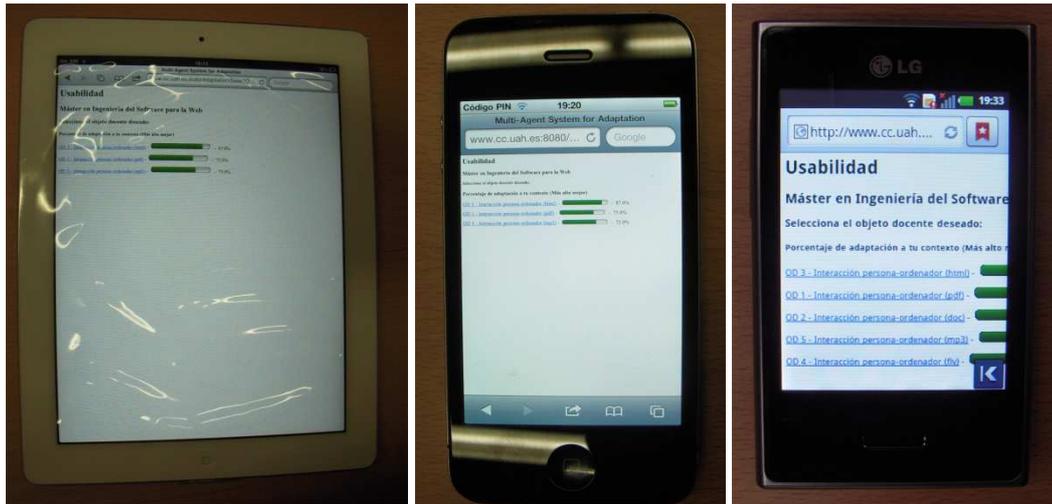


Figura 42. iPad 2 (izda.), iPhone 4 (centro) y LG L3 E400 (dcha.)

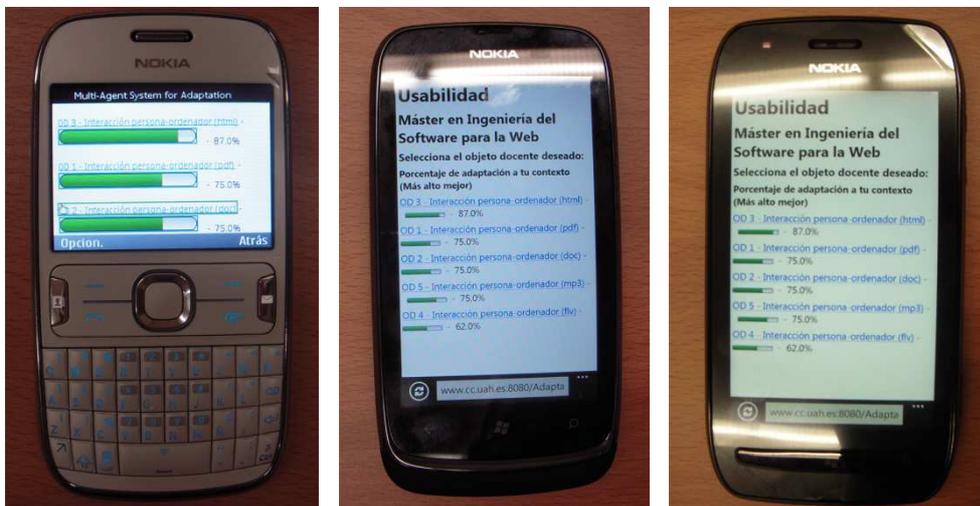


Figura 43. Nokia Asha 302 (izda.), Nokia Lumia 610 (centro) y Nokia Lumia 710 (dcha.)

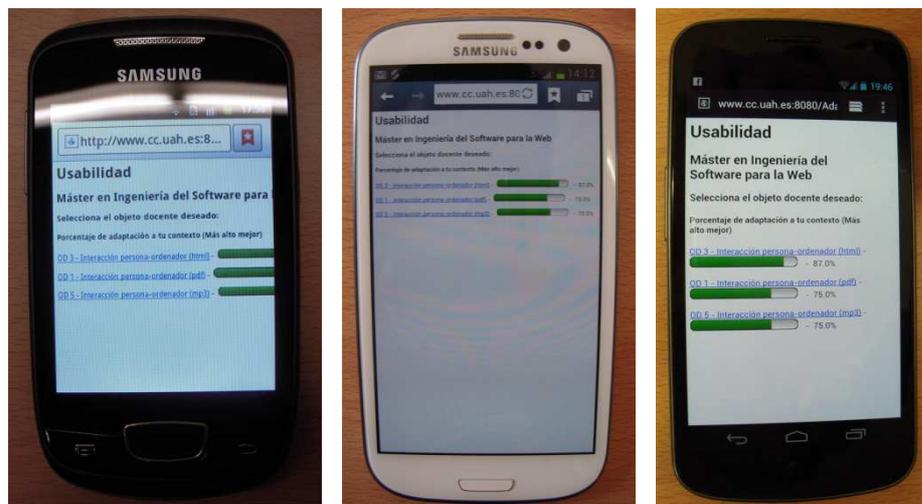


Figura 44. Samsung G. Mini (izda.), Samsung G. SIII (centro) y Samsung G. Nexus (dcha.)

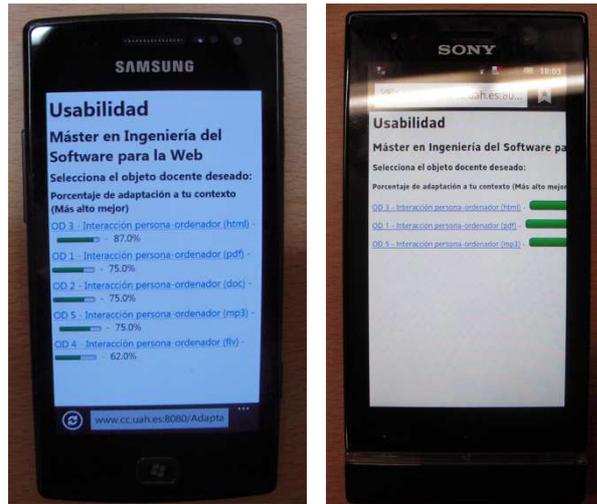


Figura 45. Samsung Omnia W (izda.) y Sony Xperia U (dcha.)

Como conclusión de esta prueba podemos afirmar que el sistema es capaz de seleccionar los contenidos docentes en función del dispositivo móvil utilizado por el alumno, pero que se podría investigar y, en consecuencia, ampliar el sistema para que utilizase otros repositorios o técnicas de obtención de información sobre dispositivos, como medio complementario al uso del repositorio WURFL. Esto es debido, como ya se ha comentado anteriormente, a la comprobación de que algunos dispositivos soportaban en cierta medida algunos formatos donde se especificaba que no los soportaban.

### 4.3. Experimento 3: Utilización del sistema en un entorno de aprendizaje real

El objetivo de este experimento es probar el sistema en un entorno de aprendizaje real y comprobar si mejora las calificaciones de los alumnos respecto a las de aquellos que utilizan una plataforma tradicional e-learning. Para ello, se va a utilizar un grupo experimental dentro de la asignatura de Usabilidad del Máster de Ingeniería del Software para la Web de la Universidad de Alcalá. Este grupo experimental realizará la parte online de dicha asignatura utilizando el sistema propuesto.

La asignatura, de 6 ECTS, se imparte de forma semipresencial, es decir, existe una parte online que se debe seguir mediante una plataforma e-learning y una parte presencial compuesta por dos sesiones de cinco horas cada una. La evaluación de la asignatura consta de tres partes: un trabajo intermedio (30%), un trabajo final (50%) y un test de evaluación (20%).

El objetivo de estas tres pruebas de evaluación es medir el grado de cumplimiento de las diferentes competencias específicas de la asignatura:

- Realizar sistemas Web interactivos aplicando principios del diseño centrado en el usuario.
- Evaluar la usabilidad de los productos software para la Web.
- Obtener sistemas Web que sean usables por casi cualquier persona, independientemente de sus características.
- Cumplir las principales normas y estándares relacionados con la accesibilidad Web.

La parte online de esta asignatura se ha seguido tradicionalmente a través de la herramienta virtual Blackboard, por lo tanto, disponemos de dos métodos de aprendizaje: por un lado el método de aprendizaje de e-learning tradicional (utilización del LMS "Blackboard") y, por otro lado, el nuevo sistema de adaptación de contenidos a competencias, contexto y dispositivo móvil.

### **4.3.1. Planteamiento del experimento 3**

En primer lugar, se divide a los alumnos del curso 2011-2012 en dos grupos, uno para cada método de aprendizaje, con la intención de medir para cada uno los resultados en las calificaciones obtenidas por los alumnos en la asignatura de Usabilidad.

Vamos a disponer, por lo tanto, de un grupo experimental (en adelante, Grupo E) y de un grupo de control (en adelante, Grupo C1). Además, como la asignatura no ha variado su temario respecto al curso anterior (2010-2011) y el profesor que la imparte es el mismo, vamos a contar con un segundo grupo de control (en adelante, Grupo C2) que englobará las calificaciones de los alumnos del curso 2010-2011.

Seleccionamos como variable independiente el método de aprendizaje, para la cual se planifican 2 niveles de tratamiento (el método con e-learning tradicional y el método con el sistema adaptativo). En la asignatura hubo 30 alumnos matriculados para el curso 2011-2012, por lo que los 30 alumnos son los sujetos del experimento. La variable dependiente es el nivel de aprendizaje, medida a través de la calificación de la asignatura (Calificación de 1 alumno = 1 observación).

Otras variables que pueden influir sobre la nota obtenida, además del método de aprendizaje, son, como es obvio, la capacidad de aprendizaje de cada alumno y la capacidad personal, así como el desempeño de los profesores.

Para eliminar, o reducir lo más posible el primer factor de ruido se planifican, al menos, 14 repeticiones (= 14 alumnos) para cada tratamiento. La participación en el grupo experimental (grupo que utilizaría el sistema adaptativo) fue voluntaria por parte de los alumnos hasta completar el grupo con 14 alumnos.

El segundo factor de ruido se evita asignando al mismo profesor para los dos niveles de tratamiento, eliminando así la posibilidad de que el desempeño de los profesores influya en los resultados.

La hipótesis que se desea comprobar con este experimento es si el nivel de aprendizaje (calificaciones de la asignatura) es diferente según el método adoptado (tratamiento), es decir, si utilizar el nuevo sistema de adaptación influye en la calificación respecto al uso del sistema tradicional de e-learning.

### 4.3.2. Resultados del experimento 3

En primer lugar se muestran las calificaciones obtenidas para los tres grupos de alumnos: Grupo E (Tabla 17), Grupo C1 (Tabla 18) y Grupo C2 (Tabla 19), en los diferentes componentes que permiten evaluar la asignatura: un trabajo intermedio (30%), un trabajo final (50%) y un test de evaluación (20%). También se indica la calificación media final obtenida para cada uno de ellos.

<b>Nombre</b>	<b>Test evaluación</b>	<b>Trabajo Intermedio</b>	<b>Trabajo Final</b>	<b>Nota Final</b>
Sujeto (E) 1	8,00	8,50	7,50	7,90
Sujeto (E) 2	9,50	7,75	8,00	8,23
Sujeto (E) 3	9,00	8,25	8,38	8,46
Sujeto (E) 4	9,50	7,00	8,00	8,00
Sujeto (E) 5	9,00	6,50	7,88	7,69
Sujeto (E) 6	10,00	10,00	9,38	9,69
Sujeto (E) 7	8,00	9,50	8,88	8,89
Sujeto (E) 8	9,00	9,00	9,25	9,13
Sujeto (E) 9	8,00	8,25	8,38	8,26
Sujeto (E) 10	9,50	6,25	7,38	7,46
Sujeto (E) 11	10,00	10,00	9,88	9,94
Sujeto (E) 12	9,00	7,00	8,13	7,96
Sujeto (E) 13	9,00	8,50	8,25	8,48

Sujeto (E) 14	9,00	7,50	7,75	7,93
---------------	------	------	------	------

Tabla 17. Calificaciones obtenidas del grupo experimental (Grupo E)

Nombre	Test evaluación	Trabajo Intermedio	Trabajo Final	Nota Final
Sujeto (C1) 1	10,00	9,75	6,38	8,11
Sujeto (C1) 2	7,50	7,50	6,63	7,06
Sujeto (C1) 3	10,00	5,50	6,50	6,90
Sujeto (C1) 4	7,00	7,00	7,88	7,44
Sujeto (C1) 5	8,50	8,50	7,50	8,00
Sujeto (C1) 6	8,00	5,00	7,88	7,04
Sujeto (C1) 7	10,00	7,50	8,50	8,50
Sujeto (C1) 8	9,50	9,00	7,75	8,48
Sujeto (C1) 9	8,50	8,13	9,13	8,70
Sujeto (C1) 10	7,00	8,63	8,00	7,99
Sujeto (C1) 11	7,00	8,00	8,75	8,18
Sujeto (C1) 12	8,50	5,13	7,63	7,05
Sujeto (C1) 13	8,00	5,50	6,63	6,56
Sujeto (C1) 14	10,00	8,25	8,63	8,79
Sujeto (C1) 15	7,00	5,50	8,13	7,11
Sujeto (C1) 16	9,50	7,50	5,63	6,96

Tabla 18. Calificaciones obtenidas del grupo de control del año 2011-2012 (Grupo C1)

Nombre	Test evaluación	Trabajo Intermedio	Trabajo Final	Nota Final
Sujeto (C2) 1	9,00	7,50	7,88	7,99
Sujeto (C2) 2	9,00	7,00	6,00	6,90
Sujeto (C2) 3	10,00	7,50	7,50	8,00
Sujeto (C2) 4	6,50	6,75	5,50	6,08
Sujeto (C2) 5	9,00	9,00	7,25	8,13
Sujeto (C2) 6	6,00	7,00	7,00	6,80
Sujeto (C2) 7	10,00	10,00	9,00	9,50
Sujeto (C2) 8	9,50	7,00	9,63	8,81
Sujeto (C2) 9	10,00	9,25	9,25	9,40
Sujeto (C2) 10	10,00	8,25	9,25	9,10
Sujeto (C2) 11	9,00	5,50	6,00	6,45
Sujeto (C2) 12	9,50	8,75	9,00	9,03

Sujeto (C2) 13	9,00	9,50	7,00	8,15
Sujeto (C2) 14	10,00	8,50	7,88	8,49
Sujeto (C2) 15	10,00	8,25	8,75	8,85
Sujeto (C2) 16	10,00	9,00	9,38	9,39
Sujeto (C2) 17	9,00	7,75	8,50	8,38
Sujeto (C2) 18	10,00	8,75	9,13	9,19
Sujeto (C2) 19	8,00	6,00	7,75	7,28
Sujeto (C2) 20	9,50	9,75	9,88	9,76
Sujeto (C2) 21	10,00	8,00	8,25	8,53
Sujeto (C2) 22	9,50	9,75	8,13	8,89
Sujeto (C2) 23	8,50	8,50	8,63	8,56
Sujeto (C2) 24	9,00	8,25	8,50	8,53
Sujeto (C2) 25	10,00	9,50	9,50	9,60
Sujeto (C2) 26	8,00	9,00	8,13	8,36
Sujeto (C2) 27	10,00	7,75	9,63	9,14
Sujeto (C2) 28	10,00	7,50	7,88	8,19
Sujeto (C2) 29	8,00	8,00	5,75	6,88

Tabla 19. Calificaciones obtenidas del grupo de control del año 2010-2011 (Grupo C2)

A continuación vamos a aplicar diferentes métodos para comprobar si existe significancia estadística entre las calificaciones obtenidas por los diferentes grupos.

#### 4.3.2.1. Análisis Grupo Experimental y Grupo de Control 1

En primer lugar realizamos un Test de Normalidad a los datos (Tabla 20), para así poder determinar el método de análisis más adecuado. Los resultados son los siguientes:

	<i>p</i>	
	Grupo Experimental	Grupo de Control 1
Test de Evaluación	0,028	0,047
Trabajo Intermedio	0,815	0,099
Trabajo Final	0,280	0,373
Nota Final	0,151	0,067

Tabla 20. Test de Normalidad del Grupo Experimental y Grupo de Control 1

Según los datos obtenidos en el Test de Normalidad, el Test de Evaluación no pasa el Test ( $p < 0,05$ ), mientras que los datos del Trabajo Intermedio, Trabajo Final y Nota Final sí lo

pasan. Para comprobar la significancia estadística en el caso del Test de Evaluación utilizaremos el método no-paramétrico Kruskal-Wallis. Para el resto de casos (Trabajo Intermedio, Trabajo Final y Nota Final) se utiliza el método de Análisis de Varianza (ANOVA).

Tras ejecutar el método de Kruskal-Wallis se obtiene un  $p = 0,255$  ( $> 0,05$ ,  $H(1)=1,30$ ) por lo que no se puede afirmar que exista significancia estadística entre el Grupo Experimental y el Grupo de Control 1.

La Figura 46 muestra una Gráfica de Cajas con los resultados de los diferentes grupos en el Test de Evaluación. Observando la gráfica podemos afirmar que la media y la mediana del Grupo Experimental es más elevada que la del Grupo de Control 1, y que las calificaciones obtenidas están menos dispersas.

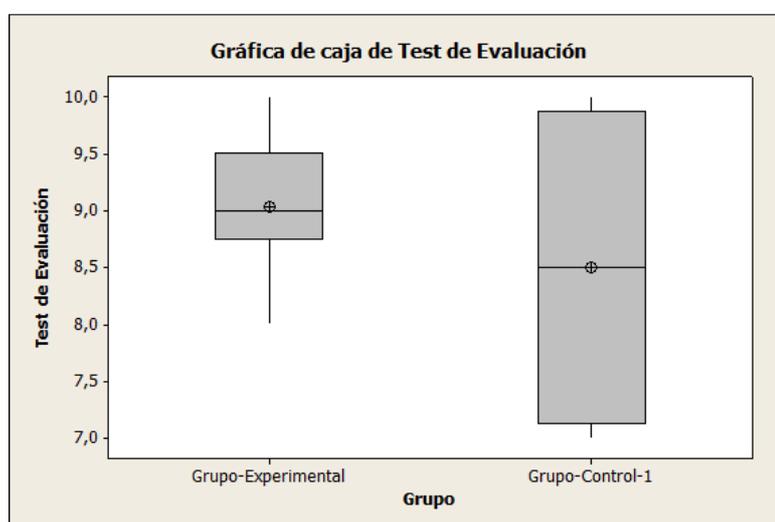


Figura 46. Gráfica de cajas del Test de Evaluación (Grupos E y C1)

La Figura 47 presenta una gráfica de cajas con los resultados obtenidos por ambos grupos en el Trabajo Intermedio. Al igual que sucede con el Test de Evaluación, la media y mediana del Grupo Experimental es más elevada que la del Grupo de Control. Las calificaciones, en su mayoría, están ubicadas en valores altos, respecto a las del Grupo de Control, las cuales se sitúan en valores más inferiores.

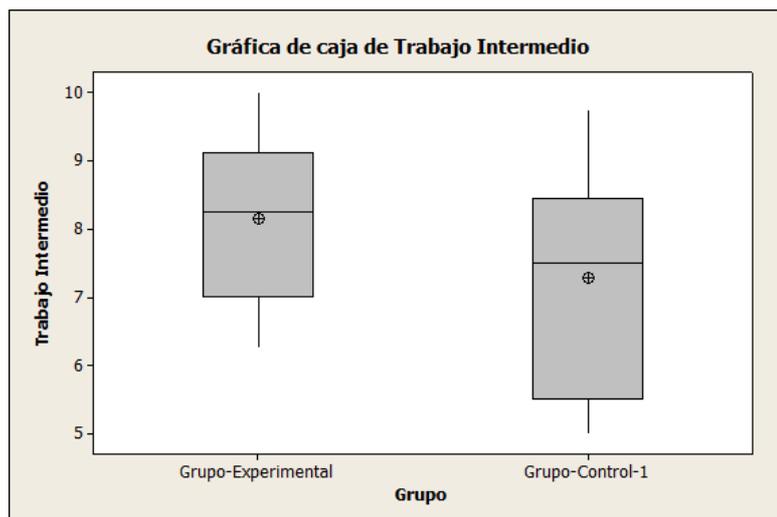


Figura 47. Gráfica de cajas del Trabajo Intermedio (Grupos E y C1)

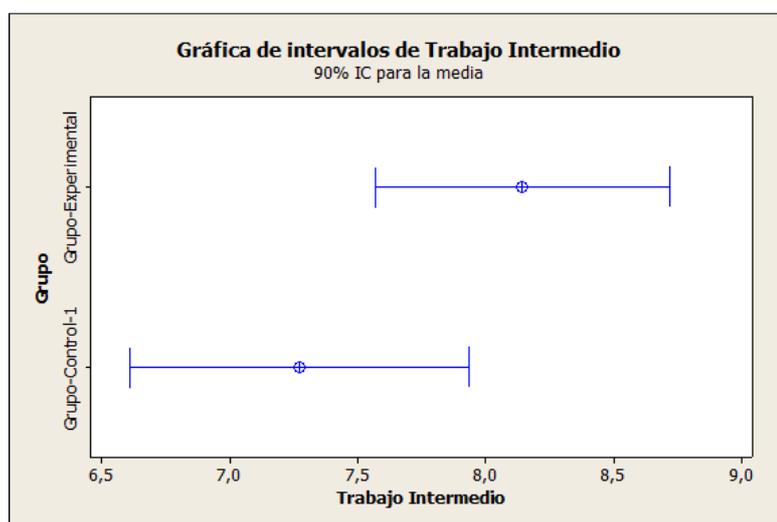


Figura 48. Gráfica de intervalos del Trabajo Intermedio (Grupos E y C1)

La Figura 48 muestra una gráfica de intervalos para ambos grupos. Tras el Análisis de Varianza obtenemos un  $p = 0,096$ , por lo que podemos afirmar que existe una significancia estadística con un intervalo de confianza del 90% ( $p < 0,1$ ). En este caso, sí que se puede afirmar que existe una mejora significativa de los alumnos que utilizaron el sistema adaptativo frente a los alumnos que no lo utilizaron.

En la Figura 49 se presenta una gráfica de cajas con los resultados obtenidos por ambos grupos en el Trabajo Final. Al igual que sucede con el Test de Evaluación y el Trabajo Intermedio, la media y mediana del Grupo Experimental es más elevada que la del Grupo de Control. Las calificaciones, en su mayoría, están ubicadas en valores altos, respecto a las del Grupo de Control, las cuales se sitúan en valores más inferiores.

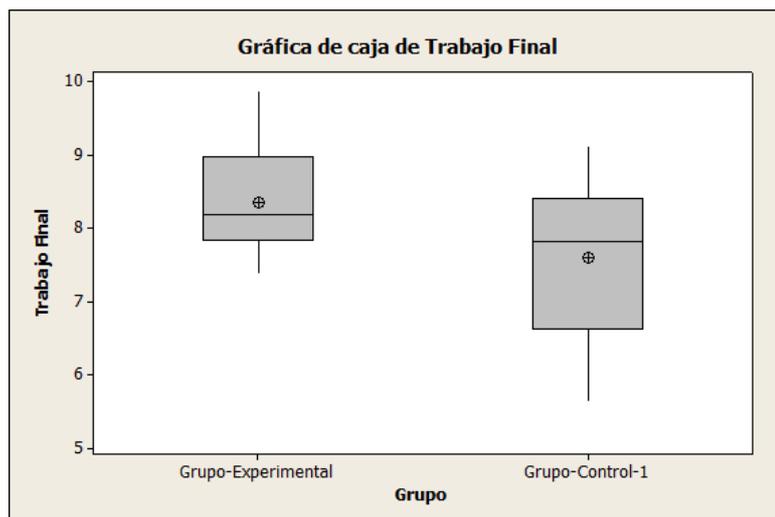


Figura 49. Gráfica de cajas del Trabajo Final (Grupos E y C1)

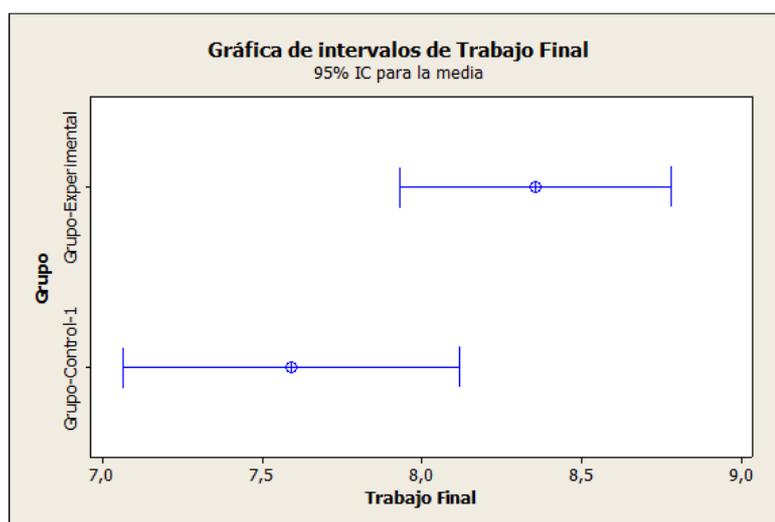


Figura 50. Gráfica de intervalos del Trabajo Final (Grupos E y C1)

La Figura 50 muestra una gráfica de intervalos para ambos grupos. Tras el Análisis de Varianza obtenemos un  $p = 0,025$ , por lo que podemos afirmar que existe una significancia estadística con un intervalo de confianza del 95% ( $p < 0,05$ ). En este caso sí que se puede afirmar que existe una mejora significativa de los alumnos que utilizaron el sistema adaptativo frente a los alumnos que no lo utilizaron.

En la Figura 51 se presenta una gráfica de cajas con los resultados obtenidos por ambos grupos en la Nota Final de la asignatura. Al igual que sucede individualmente con las calificaciones obtenidas en el Test de Evaluación, Trabajo Intermedio y Trabajo Final, la media y mediana del Grupo Experimental es más elevada que la del Grupo de Control. Las calificaciones del Grupo Experimental, en su mayoría, se sitúan en valores altos respecto a las del Grupo de Control, las cuales se sitúan en valores más inferiores.

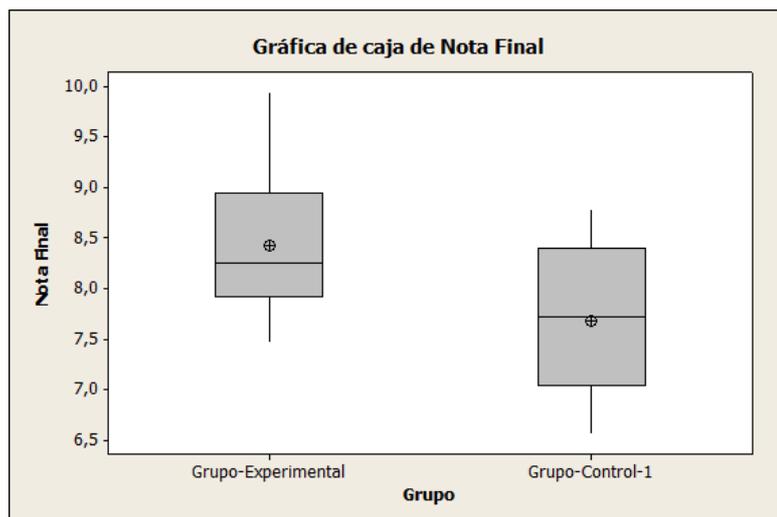


Figura 51. Gráfica de cajas de la Nota Final (Grupos E y C1)

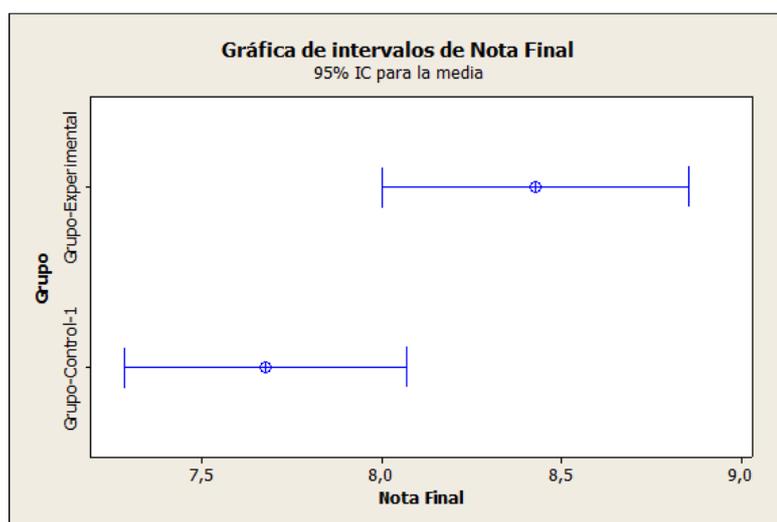


Figura 52. Gráfica de intervalos de la Nota Final (Grupos E y C1)

La Figura 52 muestra una gráfica de intervalos para ambos grupos. Tras el Análisis de Varianza obtenemos un  $p = 0,010$ , por lo que podemos afirmar que existe una significancia estadística con un intervalo de confianza del 95% ( $p < 0,05$ ). En este caso, y al igual que se ha ido viendo en las diferentes evaluaciones, existe una mejora significativa de los alumnos que utilizaron el sistema adaptativo frente a los alumnos que no lo utilizaron.

Calificación	Grupo Experimental			Grupo de Control 1			Significación
	Media	Std dev	Std err	Media	Std dev	Std err	
T. Evaluación	9,0357	0,6640	0,177	8,5000	1,1972	0,299	0,255
T. Intermedio	8,143	1,216	0,325	7,273	1,508	0,377	0,096
Trabajo Final	8,3571	0,7352	0,196	7,5938	0,9879	0,247	0,025
Nota Final	8,4286	0,7362	0,197	7,6789	0,7369	0,184	0,010

Tabla 21. Resultados generales obtenidos Kruskal-Wallis y ANOVA (Grupos E y C1)

La Tabla 21 muestra un resumen de los resultados obtenidos para ambos grupos en los diferentes ANOVA y Kruskal-Wallis realizados. Para concluir con este apartado nos centramos en la Nota Final de la asignatura, ya que refleja de forma general los resultados obtenidos en las diferentes evaluaciones. Podemos entonces indicar que existe una diferencia significativa (el grupo experimental superó al grupo de control en al menos tres de las cuatro medidas de evaluación) entre el grupo de alumnos que utilizó el sistema adaptativo para superar la asignatura, frente al grupo que no lo utilizó.

#### 4.3.2.2. Análisis Grupo Experimental y Grupo de Control 2

En este apartado se realizará el mismo análisis que en el apartado anterior, pero esta vez teniendo en cuenta el Grupo Experimental (Grupo E) y el Grupo de Control 2 (Grupo C2). Es importante recordar que el Grupo de Control 2 corresponde al grupo de Usabilidad del curso 2010-2011, los cuales todos cursaron la asignatura utilizando un sistema de e-learning tradicional.

En primer lugar realizamos un Test de Normalidad a los datos (Tabla 22), para así poder determinar el método de análisis más adecuado. Los resultados son los siguientes:

	<i>p</i>	
	Grupo Experimental	Grupo de Control 2
Test de Evaluación	0,028	< 0,005
Trabajo Intermedio	0,815	0,790
Trabajo Final	0,280	0,117
Nota Final	0,151	0,042

Tabla 22. Test de Normalidad del Grupo Experimental y Grupo de Control 2

Según los datos obtenidos en el Test de Normalidad, el Test de Evaluación y la Nota Final no pasan el Test ( $p < 0,05$ ), mientras que los datos del Trabajo Intermedio y Trabajo Final sí lo pasan. Para comprobar la significancia estadística en el caso del Test de Evaluación y Nota Final utilizaremos el método no-paramétrico Kruskal-Wallis. Para el resto de casos (Trabajo Intermedio y Trabajo Final) se utiliza el método de Análisis de Varianza (ANOVA).

Tras ejecutar el método de Kruskal-Wallis, con los datos de ambos grupos en el Test de Evaluación, se obtiene un  $p = 0,232$  ( $> 0,05$ ,  $H(1)=1,43$ ) por lo que no se puede afirmar que exista significancia estadística entre el Grupo Experimental y el Grupo de Control 2.

La Figura 53 muestra una Gráfica de Cajas con los resultados de los diferentes grupos en el Test de Evaluación. Observando la gráfica podemos afirmar que la media del Grupo de Control 2 es más elevada que la del Grupo Experimental, y que las calificaciones del Grupo de Control 2 están en valores más altos que las del Experimental.

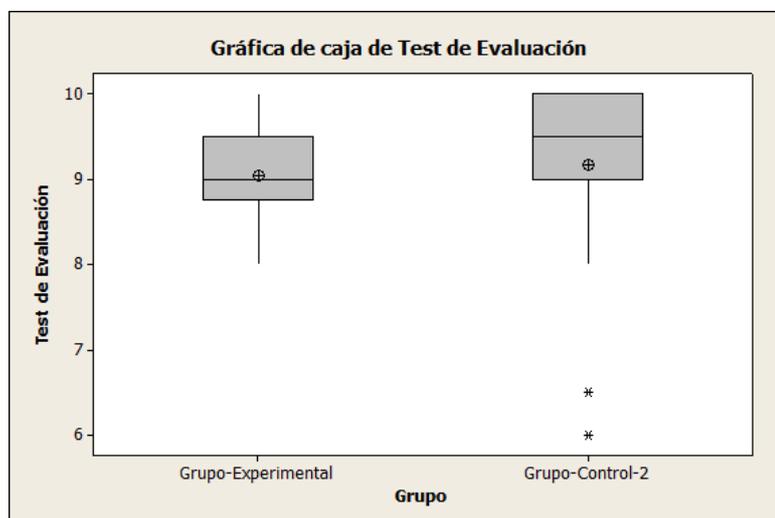


Figura 53. Gráfica de cajas del Test de Evaluación (Grupos E y C2)

Esto es debido a que el modelo de evaluación del Test de Evaluación del curso 2010-2011 (Grupo de Control 2) era diferente del utilizado en el curso 2011-2012 (Grupo Experimental), siendo el primero de diez preguntas estáticas (las mismas para todos los alumnos), mientras que para el segundo se creó una batería de preguntas de entre las cuales se elegían diez aleatoriamente para cada alumno, lo que podría proporcionar una cierta dificultad añadida.

En la Figura 54 se presenta una gráfica de cajas con los resultados obtenidos por ambos grupos en el Trabajo Intermedio. Podemos observar que la media para ambos grupos es muy similar. Enlazando con el Análisis de Varianza realizado en este punto (Figura 55), no podemos determinar que exista una significancia estadística, pues se obtiene un  $p = 0,920$ .

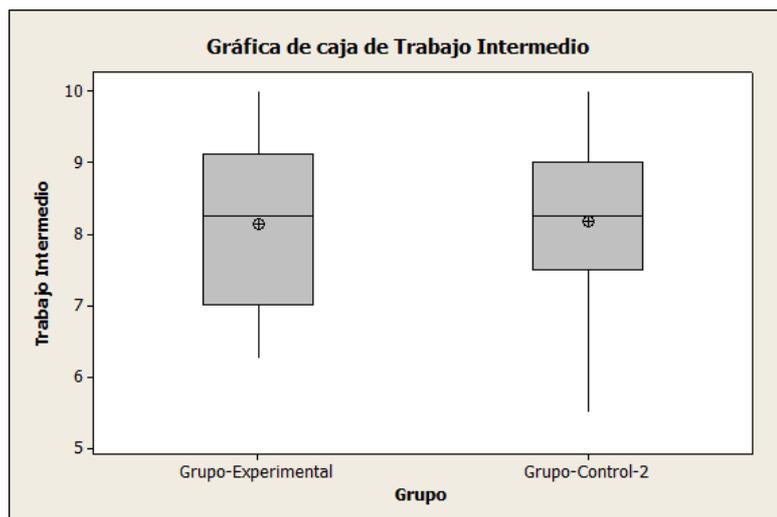


Figura 54. Gráfica de cajas del Trabajo Intermedio (Grupos E y C2)

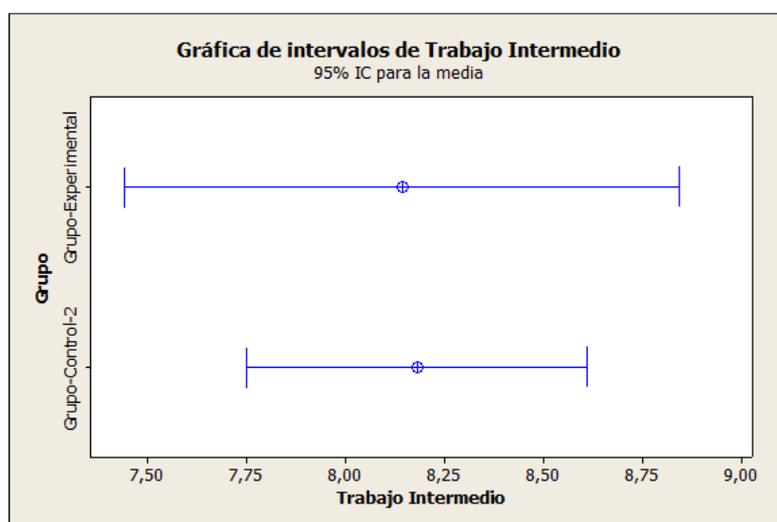


Figura 55. Gráfica de intervalos del Trabajo Intermedio (Grupos E y C2)

En el análisis realizado (Figura 56 y Figura 57) para la parte del Trabajo Final, observamos que la media del Grupo Experimental ( $\mu = 8,3571$ ) es mayor que la del Grupo de Control 2 ( $\mu = 8,134$ ). Además, la desviación típica del Grupo Experimental ( $\sigma = 0,7352$ ) es menor que la del Grupo de Control 2 ( $\sigma = 1,233$ ).

El ANOVA realizado no nos permite determinar que el uso del sistema adaptativo sea mejor que el uso del sistema e-learning tradicional, pues el resultado del análisis mostró un valor de  $p = 0,536$ .

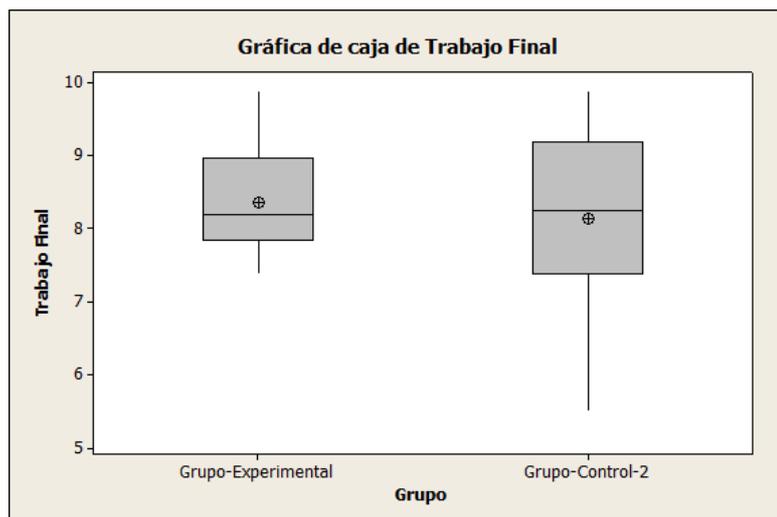


Figura 56. Gráfica de cajas del Trabajo Final (Grupos E y C2)

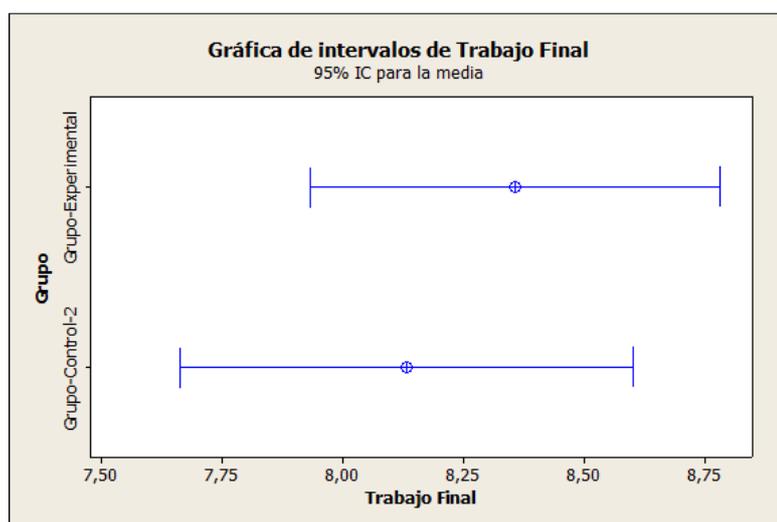


Figura 57. Gráfica de intervalos del Trabajo Final (Grupos E y C2)

Por último, en el análisis realizado sobre la Nota Final de la asignatura (Figura 58), podemos observar que nos encontramos en una situación similar al análisis realizado sobre el Trabajo Final. El Grupo Experimental ( $\mu = 8,4286$ ) tiene una media ligeramente superior a la del Grupo de Control 2 ( $\mu = 8,3556$ ), y además la desviación típica es inferior en el Grupo Experimental ( $\sigma = 0,7362$ ) que en el Grupo de Control 2 ( $\sigma = 0,9869$ ).

El test de Kruskal-Wallis ejecutado con los datos de ambos grupos sobre la Nota Final nos muestra un  $p = 0,622$  ( $> 0,05$ ,  $H(1)=0,24$ ), por lo que tampoco podemos determinar en este caso que el sistema adaptativo sea mejor.

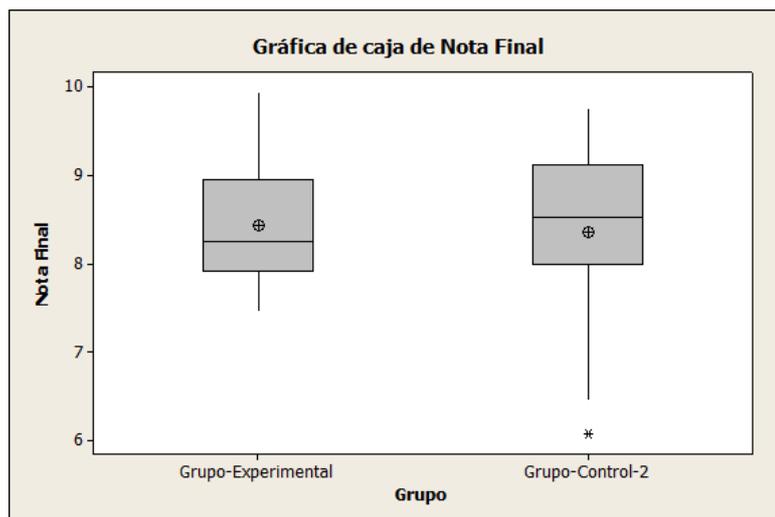


Figura 58. Gráfica de cajas de la Nota Final (Grupos E y C2)

La Tabla 23 muestra un resumen de los datos obtenidos en el análisis para ambos grupos en los diferentes elementos de evaluación.

Calificación	Grupo Experimental			Grupo de Control 2			Significación $p$
	Media	Std dev	Std err	Media	Std dev	Std err	
T. Evaluación	9,0357	0,6640	0,177	9,1724	1,0460	0,194	0,232
T. Intermedio	8,143	1,216	0,325	8,181	1,130	0,210	0,920
Trabajo Final	8,3571	0,7352	0,196	8,134	1,233	0,229	0,536
Nota Final	8,4286	0,7362	0,197	8,3556	0,9869	0,183	0,622

Tabla 23. Resultados generales obtenidos ANOVA y Kruskal-Wallis (Grupos E y C2)

Finalmente, como conclusión de este apartado, podemos determinar que, en general, los resultados obtenidos no son del todo positivos (aunque tampoco son negativos). A diferencia de lo que ocurría en el anterior análisis entre el Grupo Experimental y el Grupo de Control 1, en este caso no podemos determinar que el sistema adaptativo influya en el aprendizaje de los alumnos positivamente. Los resultados indican que habría que seguir investigando, sobre todo en lo relativo a las cuestiones pedagógicas y la forma de integrar estos desarrollos en las acciones formativas para que tengan impacto en los resultados académicos.

#### 4.3.2.3. Análisis de uso del Sistema por parte del Grupo Experimental

El prototipo del sistema adaptativo llevaba incorporado un sistema de “log” por el cual se podía monitorizar el acceso al sistema por parte de los alumnos del Grupo Experimental.

Según el log del sistema, se contabilizaron un total de 97 accesos al mismo por parte de los alumnos. Al menos un tercio de los accesos fueron realizados a través de un dispositivo móvil, y el resto mediante ordenadores convencionales.

Así mismo, también se monitorizó el contexto que indicaban los alumnos cuando accedían al sistema adaptativo.

Los alumnos podían seleccionar los campos que más definiesen su contexto en el momento de utilización del sistema. Los campos de que disponían, que ya se han comentado en apartados anteriores, son los siguientes:

Contexto	Valor	Contexto	Valor
<u>Motivo de aprendizaje</u>	Placer	<u>Distracciones visuales</u>	Pocas
	Obligación		Muchas
<u>Nivel de motivación</u>	Alto	<u>Distracciones auditivas</u>	Pocas
	Bajo		Muchas
<u>Uso del dispositivo móvil</u>	Una mano	<u>Rodeado de otras personas</u>	Poco
	Dos manos		Mucho
<u>En movimiento</u>	Parado	<u>Interactuando con otras personas</u>	Poco
	Movimiento		Mucho

Figura 59. Contextos disponibles en el sistema adaptativo

A continuación se muestra un análisis en detalle mostrando cuáles han sido los más seleccionados por los alumnos.



Figura 60. Distribución del contexto: Motivo del aprendizaje

En la Figura 60 se muestra la distribución del contexto especificado por los alumnos para el apartado “Motivo del aprendizaje”. En este caso, predomina el valor por “Obligación” con un 72%: esto puede ser debido a que el experimento ha sido realizado dentro de un estudio de Máster y los alumnos se sienten en la obligación de cursar las diferentes asignaturas.



Figura 61. Distribución del contexto: Nivel de motivación

En cuanto al nivel de motivación (Figura 61), vemos que un 65% de los alumnos indicaron que su nivel de motivación era alto. Esto puede venir dado por la utilización del nuevo sistema adaptativo que hace que se despierte su curiosidad e interés.

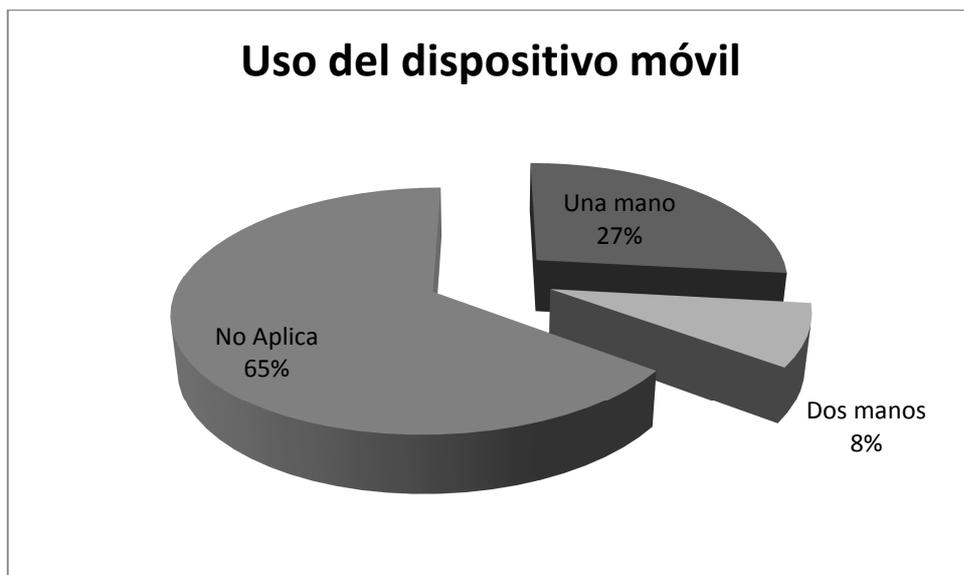


Figura 62. Distribución del contexto: Uso del dispositivo móvil

En cuanto al uso del dispositivo móvil (Figura 62), predomina el valor “No Aplica” ya que, como se ha comentado antes, un tercio del total de los accesos fueron realizados con un dispositivo móvil y los restantes mediante un ordenador.

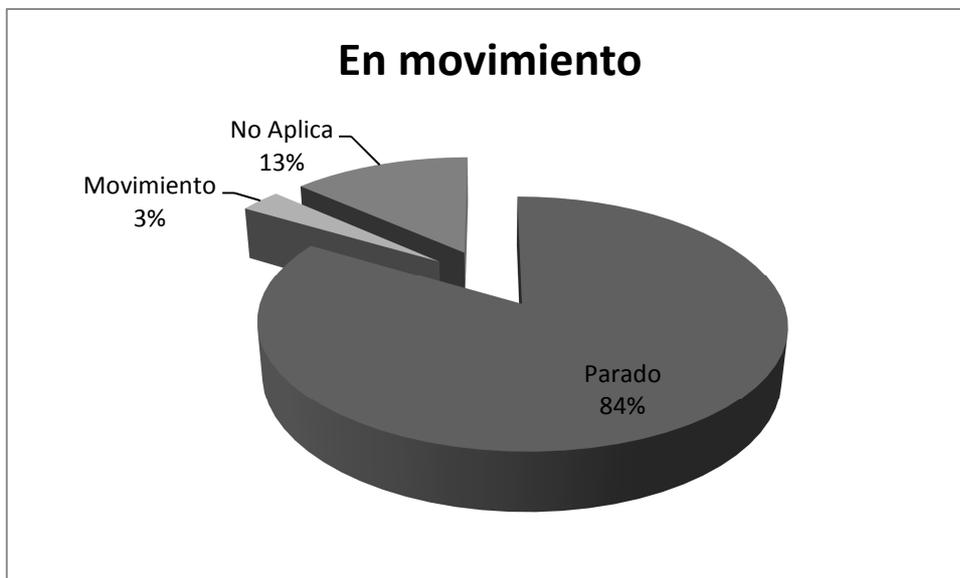


Figura 63. Distribución del contexto: En movimiento

La Figura 63 muestra la distribución del contexto “en movimiento” donde, con un 84%, se aprecia que predomina la opción de “Parado”. La razón por la que la mayoría de alumnos se encontraban parados en el momento de la formación puede explicarse debido al uso de un ordenador, o también al uso de un dispositivo móvil, ya que, como veremos más adelante, en su mayoría se encuentran parados y no en movimiento.



Figura 64. Distribución del contexto: Distracciones visuales



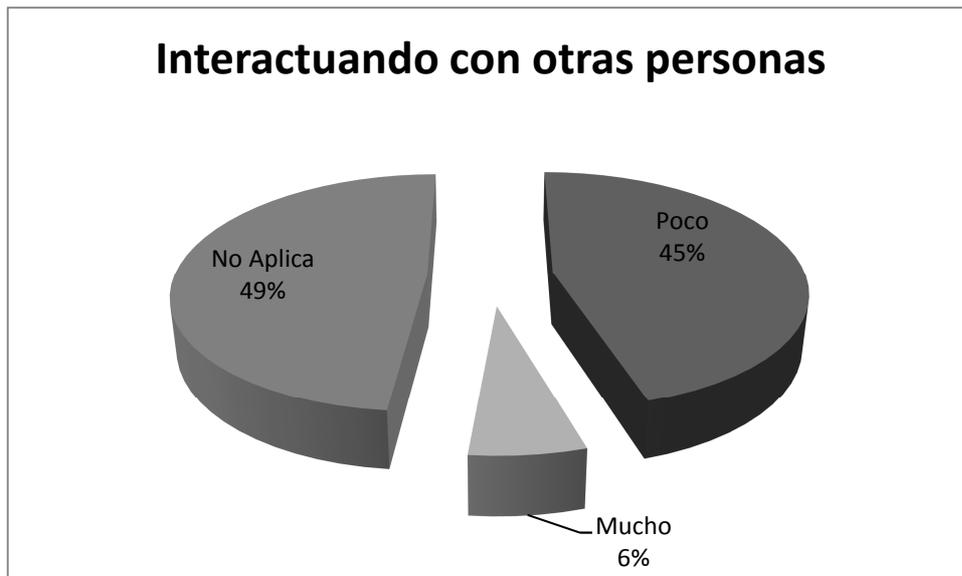
**Figura 65. Distribución del contexto: Distracciones auditivas**

Las distribuciones del contexto “distracciones visuales” (Figura 64) y “distracciones auditivas” (Figura 65) muestran cómo los alumnos no tenían demasiadas distracciones en el momento de utilizar el sistema.

Podemos observar, no obstante, que el porcentaje de alumnos que indicaron que tenían “Pocas” distracciones auditivas es menor, en relación, que el porcentaje de alumnos que indicaron que tenían “Pocas” distracciones visuales. Esto puede ser debido a que no disponer de distracciones auditivas suele ser más complicado que eliminar las distracciones visuales.



**Figura 66. Distribución del contexto: Rodeado de otras personas**



**Figura 67. Distribución del contexto: Interactuando con otras personas**

La Figura 66 y la Figura 67 muestran las distribuciones del contexto “rodeado de otras personas” y “su interacción con ellas”. Podemos observar claramente que, si sumamos los valores de “No Aplica” (entendiéndose por este valor la negativa ante estar rodeado de otras personas e interactuar con ellas) y “Poco”, obtenemos un porcentaje total del 92% y 94%, respectivamente. Los resultados, por lo tanto, muestran que la mayoría de los alumnos habrían realizado la formación cuando disponían de un momento de relativa tranquilidad y sin distracciones alrededor.

Para continuar con el análisis de los contextos, ahora vamos a centrarnos solamente en los accesos al sistema que han sido producidos por un dispositivo móvil. De esta forma vamos a poder observar qué contextos son más interesantes desde el punto de vista del acceso con un dispositivo móvil a un sistema de este tipo.

El contexto “Motivo del aprendizaje” se ha obviado para esta segunda parte del análisis, puesto que no presenta ninguna relevancia o diferencia en relación a la distribución del contexto en general para todos los alumnos.

La Figura 68 muestra la distribución del contexto “nivel de motivación” según los alumnos que accedieron utilizando un dispositivo móvil. Curiosamente el 80% de los alumnos que accedían con el dispositivo móvil especificaron que su nivel de motivación era “Alto”, frente al 65% general visto en la Figura 61. Este incremento en el nivel de motivación puede ser debido al uso de nuevas tecnologías como son los dispositivos móviles.

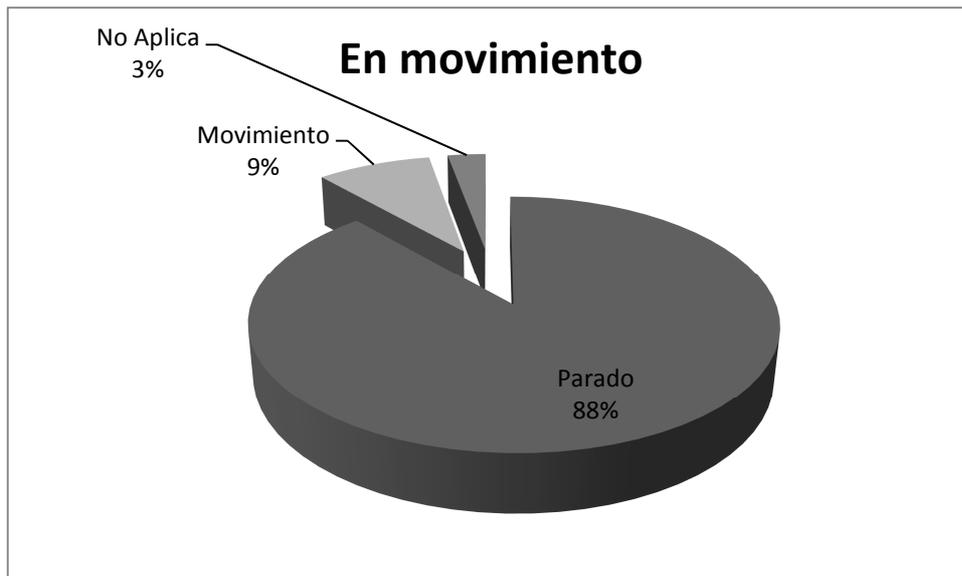


Figura 68. Distribución del contexto: Nivel de motivación (Alumnos móvil)



Figura 69. Distribución del contexto: Uso del dispositivo móvil (Alumnos móvil)

La Figura 69 muestra cómo el 69% de los alumnos indicaron que utilizaban el dispositivo móvil con una sola mano, frente al 20% que indicó que lo utilizaba con dos manos.



**Figura 70. Distribución del contexto: En movimiento (Alumnos móvil)**

La distribución del contexto “en movimiento” (Figura 70) muestra cómo el 88% de los alumnos indicaron que estaban parados en el momento de acceder al sistema con su dispositivo móvil.



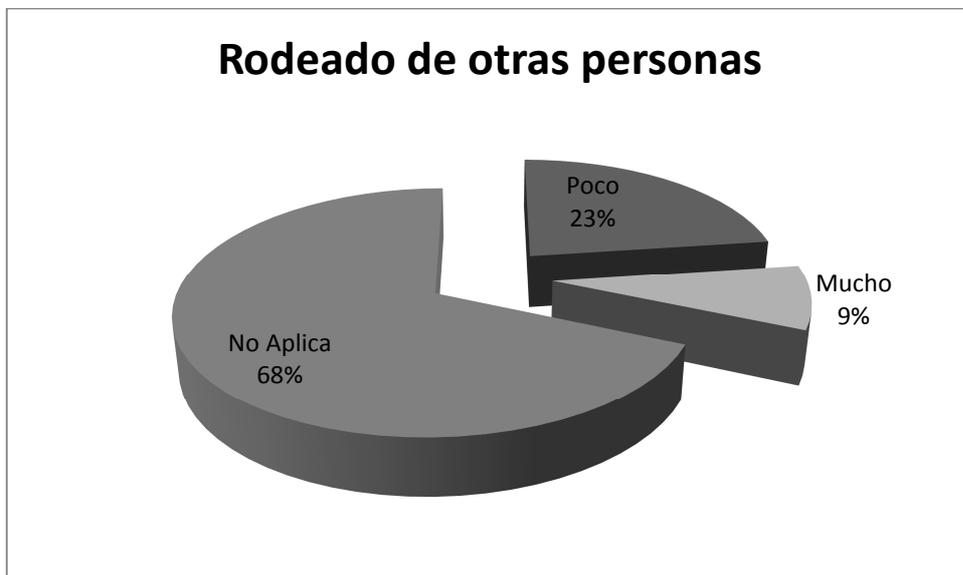
**Figura 71. Distribución del contexto: Distracciones visuales (Alumnos móvil)**

La Figura 71 muestra las distracciones visuales, y la Figura 72 las distracciones auditivas, ambas en los alumnos que utilizaron su dispositivo móvil para realizar su formación. Este contexto no varía excesivamente respecto a la distribución teniendo en cuenta el conjunto de todos los alumnos, ya que siguen predominando “Pocas” distracciones con unos porcentajes más o menos elevados.

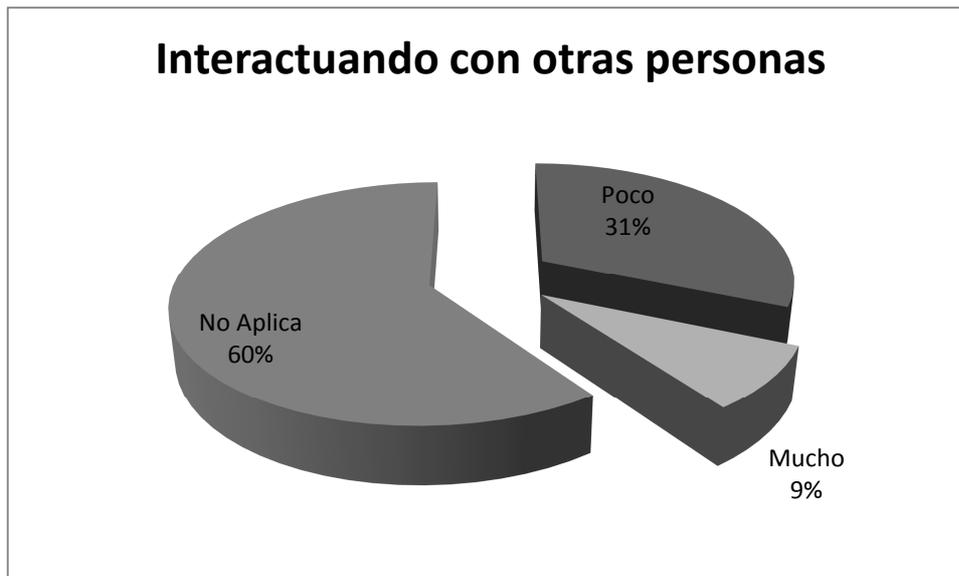


**Figura 72. Distribución del contexto: Distracciones auditivas (Alumnos móvil)**

Al igual que sucedía en la primera parte del análisis del contexto, si tenemos en cuenta que el apartado “No Aplica” se entiende como “no rodeado” de otras personas y “ninguna” interacción con ellas, podemos observar en las siguientes distribuciones (Figura 73 y Figura 74) cómo predomina, con un 91%, la suma de “No Aplica” y “Poco” para ambos casos.



**Figura 73. Distribución del contexto: Rodeado de otras personas (Alumnos móvil)**



**Figura 74.** Distribución del contexto: Interactuando con otras personas (Alumnos móvil)

Como conclusión general de esta segunda mitad del análisis del contexto observamos que muchas personas utilizan sus dispositivos móviles para realizar ciertas tareas (en este caso, formación) en lugares más o menos tranquilos, con pocas distracciones, como por ejemplo, en casa. Esto va, en cierto modo, en contra de la creencia popular de que los dispositivos móviles son para llevarlos consigo mismo y poder realizar cualquier tarea en cualquier lugar, pues observamos cómo en muchas ocasiones los dispositivos se utilizan en los hogares o lugares tranquilos, en sustitución de los ordenadores habituales.

Finalmente, y para concluir este análisis, vamos a ver la correlación existente entre el número de accesos y el nivel de aprendizaje, es decir, si los alumnos que más veces han accedido al sistema han aprendido mejor (o sea, han obtenido mejores calificaciones que los que han accedido menos veces al sistema).

	Test	Trabajo Intermedio	Trabajo Final	Nota Final
Correlación de Pearson	0,204	0,501	0,668	0,702
Valor $p$	0,449	0,048	0,005	0,002

**Tabla 24.** Correlaciones con el número de accesos al sistema

Observando los valores de  $p$  (Tabla 24) para el Trabajo Intermedio, Trabajo Final y Nota final, vemos que todos son inferiores a  $p < 0,05$ , por lo que podemos afirmar que existe una correlación positiva entre el número de accesos al sistema y el aprendizaje, es decir, que los alumnos que han accedido un mayor número de veces han obtenido mejores calificaciones.

#### 4.3.2.4. Encuesta de satisfacción del Grupo Experimental

Los alumnos que formaban parte del Grupo Experimental y que, en consecuencia, utilizaron el sistema propuesto, cumplieron una encuesta de satisfacción compuesta por las siguientes preguntas:

- P1: El contenido didáctico ha sido presentado eficazmente.
- P2: He aprendido sobre la materia/ asignatura.
- P3: He disfrutado de esta experiencia.
- P4: Usar la herramienta me ha resultado fácil.
- P5: La actividad práctica propuesta me ha resultado útil.
- P6: La cantidad de ejercicios propuestos ha sido suficiente.
- P7: El tiempo para completar los ejercicios ha sido suficiente.
- P8: Me he involucrado.
- P9: Me gustaría aprender más sobre la asignatura/materia.
- P10: La experiencia de aprendizaje ha merecido la pena.

Todas las preguntas se respondían con un valor de 1 a 5 (Escala de Likert), indicando el nivel de acuerdo a cada afirmación (1 = totalmente en desacuerdo, 5 = totalmente de acuerdo). Este instrumento ha sido utilizado por otros autores en diferentes estudios (Garrido *et al.*, 2008, de-Marcos *et al.*, 2010).

De los 14 alumnos que componían el Grupo Experimental, sólo 12 contestaron a la encuesta.

Pregunta	Media	Media del Error Estándar	Desv. Est.	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
P1	4,250	0,279	0,965	2,000	4,000	4,500	5,000	5,000
P2	4,250	0,179	0,622	3,000	4,000	4,000	5,000	5,000
P3	3,583	0,229	0,793	2,000	3,000	4,000	4,000	5,000
P4	4,417	0,288	0,996	2,000	4,000	5,000	5,000	5,000
P5	4,333	0,188	0,651	3,000	4,000	4,000	5,000	5,000
P6	3,583	0,288	0,996	2,000	3,000	4,000	4,000	5,000
P7	3,750	0,305	1,055	1,000	3,250	4,000	4,000	5,000
P8	3,9167	0,0833	0,2887	3,000	4,000	4,000	4,000	4,000
P9	4,167	0,207	0,718	3,000	4,000	4,000	5,000	5,000

P10	4,167	0,271	0,937	2,000	4,000	4,000	5,000	5,000
-----	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

**Tabla 25. Estadísticas descriptivas resultado de la encuesta de satisfacción**

La Tabla 25 muestra las estadísticas descriptivas obtenidas como resultado de la encuesta de satisfacción. Merece la pena destacar que la media para cada una de las preguntas se sitúa por encima del 4 (“de acuerdo”), y sólo tres preguntas (P3, P6 y P7) se encuentran entre el 3,5 y el 4.

Tras realizar un análisis multivariable de los resultados, obtenemos un *Alfa de Cronbach* = 0,6257, no siendo superior a 0,7 para poder afirmar que el grado de fiabilidad interna del test es alto, pero es cercano a este valor, por lo que es bastante positivo, es decir, todas las preguntas del test van en la misma dirección y pretenden medir lo mismo.

Pregunta omitida	Media total ajustada	Desv. Est. total ajustada	Correlación total ajustada por elemento	Correlación múltiple cuadrada	Alfa de Cronbach
P1	36,167	4,130	-0,262	0,251	0,728
P2	36,167	3,563	0,636	0,907	0,544
P3	36,833	3,589	0,421	0,965	0,573
P4	36,000	3,247	0,674	0,969	0,490
P5	36,083	3,630	0,487	0,987	0,568
P6	36,833	3,589	0,284	0,970	0,605
P7	36,667	3,339	0,516	0,708	0,537
P8	36,500	3,989	-0,040	0,970	0,640
P9	36,250	4,202	-0,377	0,988	0,715
P10	36,250	3,194	0,805	0,988	0,456

**Tabla 26. Estadísticas de los elementos omitidos**

La Tabla 26 muestra principalmente cómo variaría el *Alfa de Cronbach* si se omitiera cada una de las preguntas. Resulta interesante destacar que omitiendo las preguntas P1 y/o P9 el *Alfa de Cronbach* aumentaría su valor sobrepasando el 0,7 necesario para afirmar que la encuesta de satisfacción posee un grado de fiabilidad interna alto. Por lo tanto, las preguntas P1 y P9 parecen estar midiendo un constructo distinto por lo que se debe evaluar su inclusión en futuros estudios. También conviene indicar que el conjunto de muestras es relativamente pequeño por lo que los resultados deben interpretarse en consecuencia, especialmente los de fiabilidad interna del instrumento.

# 5. Conclusiones y Futuro Trabajo

---

## 5.1. Conclusiones

La primera conclusión de la presente investigación la obtenemos del estudio sobre el uso de dispositivos móviles en la enseñanza (apartado 3.1) realizado al comienzo de la misma. En este estudio el 97% de los sujetos afirmaron que al menos disponían o utilizaban un dispositivo móvil, y que el 96% se consideraba usuario medio o experto en lo referente a dispositivos móviles. Por otro lado, este mismo estudio desveló que el 66% de los alumnos rara vez o nunca había utilizado dispositivos móviles en el proceso educativo, así mismo un 66% afirmó que consideraba que los dispositivos móviles podrían ser de gran utilidad en el aprendizaje. Podemos por tanto concluir que, a pesar, de que la gran mayoría de alumnos utilizan dispositivos móviles, están familiarizados con ellos y piensan que pueden ser de utilidad en el ámbito educativo, estos no son utilizados para el aprendizaje. Por lo que se hace necesario fomentar el uso de los dispositivos móviles en el proceso educativo.

Por otro lado, se ha diseñado un sistema capaz de adaptar contenidos docentes a las competencias, contexto y dispositivo móvil del alumno. Presenta algunas ventajas con respecto a otros similares: ha sido diseñado como un sistema multi-agente, permitiendo delimitar la funcionalidad de cada agente, y es fácilmente escalable con nuevas funcionalidades, en caso de ser necesario. Además, el diseño propuesto tiene en cuenta el contexto del alumno, de acuerdo a la categorización de (Kim *et al.*, 2005), mostrando los contenidos docentes al alumno de forma precisa y mostrando el porcentaje de adaptación de cada contenido docente. El sistema también es capaz de filtrar aquellos contenidos docentes basándose en las características del dispositivo móvil del alumno, no mostrando aquellos contenidos que no sean adecuados al dispositivo.

Una posible debilidad en este sistema ha sido detectada: en algunos casos podría ser necesario adaptar contenidos docentes al dispositivo móvil cambiando su parte visual, por ejemplo, si un contenido docente está en un formato HTML pero está diseñado para una pantalla de tamaño grande, podría ser interesante adaptarlo a una pantalla de tamaño más reducido, transformando su apariencia. No obstante, esta debilidad podría ser acometida incorporando un nuevo agente capaz de transformar los contenidos docentes usando lenguajes de transformación, como XSLT para texto, u otros mecanismos de transformación

entre diferentes formatos como por ejemplo: audio en formato WAV a formato MP3. Ya existen algunos trabajos focalizados en este tipo de adaptación (Gómez and Fabregat, 2010).

Por otra parte, el prototipo desarrollado ha sido probado en diferentes entornos con el fin de demostrar la viabilidad del sistema. Los resultados muestran que los alumnos que han utilizado el sistema adaptativo han obtenido mejores calificaciones que los que no lo han utilizado. A este respecto, existe un caso en el que no ha habido significación estadística entre los alumnos que han utilizado el sistema propuesto y los que no lo han utilizado: es el caso de los test de evaluación, los cuales han permitido evaluar los conocimientos teóricos de los alumnos. Estos resultados por lo tanto nos indican que quizá este tipo de sistemas no sean adecuados para el aprendizaje de conocimientos teóricos o, por lo menos, que los alumnos no adquieren una mejora significativa en los conocimientos teóricos utilizando este tipo de sistemas.

Los resultados de la encuesta de satisfacción realizada a los alumnos que utilizaron el sistema adaptativo sugieren que el contenido didáctico fue presentado eficazmente y que aprendieron sobre la materia/asignatura (valoración media de 4,250, situándose entre el 4 “de acuerdo” y 5 “totalmente de acuerdo”). Así mismo los resultados también sugieren que la experiencia de aprendizaje mereció la pena y que les gustaría aprender más sobre la asignatura/materia (valoración media de 4,167). Por el contrario, con una media entre el 3 “ni de acuerdo ni en desacuerdo” y 4, los resultados indican que la cantidad y tiempo relacionada con los ejercicios de la asignatura había sido suficiente.

Por lo tanto, los resultados indican que habría que seguir investigando, sobre todo en lo relativo a las cuestiones pedagógicas y la forma de integrar estos desarrollos en las acciones formativas para que tengan impacto en los resultados académicos.

Independientemente de lo anterior, observando los contextos indicados por los alumnos mientras utilizaban el sistema sucede que los alumnos que accedieron con un dispositivo móvil indicaron, en su gran mayoría, que estaban en un contexto tranquilo, sin distracciones auditivas ni visuales, sin estar rodeado de gente, sin interactuar con otras personas a la vez que se utiliza el dispositivo y sin estar en movimiento. Los resultados nos muestran, por lo tanto que, a pesar de que la filosofía intrínseca de los dispositivos móviles sea utilizarlos en cualquier entorno y lugar, los alumnos prefieren realizar el aprendizaje en entornos tranquilos.

Hacemos una valoración final sobre la consecución de los objetivos propuestos en la presente Tesis así como una breve descripción del grado de cumplimiento de los mismos.

1. *Definir un modelo capaz de encuadrar diferentes agentes de adaptación en un sistema multi-agente de alto nivel.* La sección 3.2 del presente documento se propone una arquitectura capaz de integrar diferentes agentes adaptativos de tal forma que el funcionamiento sea orquestado como un sistema multi-agente. Objetivo, por tanto, logrado con éxito.
2. *Representar el contexto y las características de los dispositivos móviles de forma que permitan una integración interoperable con los sistemas actuales.* Las secciones 2.2.2.2 y 2.2.3.1 muestran diferentes técnicas y métodos para representar el contexto y las características de los dispositivos móviles. Algunas de estas técnicas han sido seleccionadas para la propuesta del sistema (secciones 3.2 y 3.3). Objetivo también logrado.
3. *Definir y diseñar un agente capaz de adaptar contenidos docentes a las competencias de un alumno.* Para lograr con éxito este objetivo nos hemos apoyado en la Tesis Doctoral de de-Marcos (de Marcos, 2009) en la que propone diferentes agentes para lograr este fin. Consideramos por lo tanto que este objetivo también ha sido cumplido con éxito.
4. *Definir y diseñar un agente capaz de adaptar contenidos docentes a las características de un dispositivo móvil.* En la sección 3.2.1.3 se encuentran los detalles de este agente capaz de llevar a cabo la adaptación en base a las características de los dispositivos móviles. Consideramos por tanto, que el objetivo ha sido satisfecho.
5. *Definir y diseñar un agente capaz de seleccionar contenidos docentes para un determinado contexto de un alumno.* La sección 3.2.1.4 muestra las características de este agente y cómo es su funcionamiento. Objetivo, al igual que los anteriores, logrado.
6. *Integrar todos los componentes en un sistema multi-agente, al mismo tiempo que se mantiene el mayor grado de interoperabilidad con las normas y estándares existentes, para crear contenidos finales integrables en los sistemas que actualmente se emplean.* En el sistema propuesto se hacen uso de diferentes normas y estándares las cuales permiten un alto grado de interoperabilidad con los sistemas actuales (Sección 2.1.4 del presente documento). Podemos considerar por lo tanto que el objetivo se ha cumplido.
7. *Desarrollar un prototipo del sistema multi-agente.* Partiendo de la funcionalidad y diseño propuestos se ha desarrollado un prototipo capaz de realizar los diferentes niveles de adaptación al alumno (Sección 3.3). Aunque el prototipo

podría ampliarse con nuevas funcionalidades y agentes consideramos que el objetivo ha sido cumplido ya que ha servido para comprobar el comportamiento del sistema mediante los diferentes experimentos realizados.

8. *Realizar experimentos teóricos y empíricos con el prototipo del sistema propuesto.* Diferentes experimentos han sido llevados a cabo, tanto teóricos como empíricos, aunque los resultados han mostrado que aún se deben realizar más experimentos en entornos reales y con diferentes grupos de alumnos. Por todo ello, consideramos que este objetivo ha sido cumplido parcialmente.

Respecto al objetivo general de la investigación “*Proponer un sistema multi-agente para la adaptación de contenidos docentes a dispositivos móviles, al contexto y a las competencias del alumno*”, podemos considerar como logrado (Secciones 0 y 4) ya que como hemos visto, todos los objetivos específicos han sido satisfechos correctamente y cumplidos con éxito, y por ende también el objetivo general.

Por último mencionar que parte de los resultados de la investigación presentada en esta tesis han sido difundidos en distintas publicaciones, que se enumeran a continuación.

- Congresos:

1. García, A., de-Marcos, L., García, E., Gutiérrez-de-Mesa, J.A. “Courseware Sequencing Using Heuristic and Local Search”. The 2010 International Conference on e-Learning, e-Business, Enterprise Information Systems, & e-Government (EEE 2010, WORLDCOMP’10). Las Vegas, EEUU. 12–15 Julio, 2010. Conferencia con una calificación de C en la lista CORE<sup>13</sup>.
2. de-Marcos, L., García, A., García, E., Martínez, J.J., Gutiérrez, J.A., Barchino, R., Gutiérrez, J.M., Hilera, J.R., Otón, S. “An Adaptation of the Parliamentary Metaheuristic for Permutation Constraint Satisfaction”. 2010 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 2010) in the 2010 IEEE World Congress on Computational Intelligence (WCCI 2010). Barcelona, España. 18-23 Julio, 2010. Conferencia con una calificación de A en la lista CORE.
3. García, A. “Estado del arte de agentes inteligentes para la creación de contenidos docentes adaptados a terminales móviles”. III Jornadas Nacionales sobre Aplicación de las Tecnologías de la Información y

---

<sup>13</sup> <http://www.core.edu.au/>

Comunicaciones Avanzadas (ATICA 2011). Alcalá de Henares, España. 9 – 10 Febrero 2011.

4. García, A., García, E., de-Marcos, L., Gutiérrez, J.A. "Adaptation of Educational Contents to Mobile Devices". 2011 ACM Annual Conference on Innovation and Technology in Computer Science Education (ITICSE 2011). Darmstadt, Alemania. 27-29 Junio, 2011. Conferencia con una calificación de A en la lista CORE.
5. García, A., García, E., De Marcos, L., Hilera, J.R., Gutiérrez, J.A., Gutiérrez, J.M., Otón, S., Barchino, R., Martínez, J.J. "A system for adaptation of educational contents to learners and their mobile device". The 11th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2011). Athens, EEUU. 6-8 Julio, 2011. Conferencia con una calificación de B en la lista ERA<sup>14</sup>.
6. de-Marcos, L., García, A., García, E., Medina, J.A., Otón, S. "Comparing the Performance of Evolutionary Algorithms for Permutation Constraint Satisfaction". 2011 Genetic and Evolutionary Computation Conference (Gecco 2011). Dublin, Irlanda. 12-16 Julio, 2011. Conferencia con una calificación de A en la lista CORE.

- Revistas:

1. Gutiérrez, J.M., García, A., García, E., de-Marcos, L., Barchino, R., Gutiérrez-de-Mesa, J.A., Martínez, J.J., Otón, S., Hilera, J.R., de-Blas, J.M. "E-learning contents automatic conversion". International Journal of Innovative Computing, Information & Control (IJICIC). Vol. 8. Marzo-2012. Revista incluida en el Journal Citation Reports con factor de impacto 1.667. Posición de 40 de 108 en la categoría 'Computer Science, Artificial Intelligence', y posición 12 de 60 en la categoría 'Automation & Control Systems'.
2. de-Marcos, L., García, A., García, E. "Evolutionary Algorithms to Solve Loosely Constrained Permut-CSPs: A Practitioners Approach". International Journal of Innovative Computing, Information & Control (IJICIC). Vol. 8 (Número 7A). Julio-2012. Revista incluida en el Journal Citation Reports con factor de impacto 1.667. Posición de 40 de 108 en

---

<sup>14</sup> [http://www.arc.gov.au/era/era\\_2012/era\\_2012.htm](http://www.arc.gov.au/era/era_2012/era_2012.htm)

la categoría 'Computer Science, Artificial Intelligence', y posición 12 de 60 en la categoría 'Automation & Control Systems'.

## 5.2. Futuro trabajo

El trabajo desarrollado deja abiertas interesantes líneas de investigación, susceptibles de ser desarrolladas en un futuro cercano. Estas líneas de investigación se basan, en su mayoría, a la inclusión de nuevos agentes que permitan mejorar la adaptación al alumno.

### 1. *Adaptación en tiempo real*

En este trabajo, los agentes propuestos no modifican los contenidos docentes, sino que seleccionan unos u otros según ciertos criterios. Una línea interesante sería la de incluir agentes capaces de modificar el contenido docente para adaptarlo a los dispositivos móviles. Más que modificar el propio contenido docente, sería interesante transformar los contenidos docentes a diferentes formatos de archivos que sean adecuados a las características de los dispositivos móviles. Se trataría de modificar la propuesta actual para que fuera responsiva a los cambios de contexto, de forma que si se cambia de contexto mientras el alumno está realizando la formación los contenidos docentes pudieran ser modificados en base a este nuevo contexto.

Por otro lado, es habitual que los contenidos docentes se creen utilizando determinados estándares, por lo que sería interesante también investigar sobre la creación de agentes capaces de realizar transformaciones entre estándares. En este sentido ya se han realizado algunos esfuerzos, diseñando algunos de estos posibles agentes (Gutierrez-Martinez *et al.*, 2012).

### 2. *Adaptación teniendo en cuenta la accesibilidad del alumno*

El sistema propuesto en el presente trabajo tiene en cuenta algunas de las características del alumno para realizar adaptación docente en diferentes niveles. En este punto, sería muy interesante tener en cuenta alguna de las características más importantes que puede tener un alumno: las limitaciones psico-motrices, es decir, realizar una adaptación accesible. Por ejemplo, a la hora de desarrollar contenidos docentes se podría identificar cuál es el grado de cumplimiento de la accesibilidad de que dispone ese contenido docente y, por otro lado, un agente en base a las necesidades de cada uno de los alumnos podría seleccionar los contenidos docentes más adecuados en base a la accesibilidad que implementasen. En este

sentido, existen ya esfuerzos focalizados en la representación de este tipo de información de los alumnos (ISO, 2008a, ISO, 2008b, ISO, 2008c).

### *3. Detección automática de información*

En la propuesta del sistema no se especifica la forma de obtener la información del alumno (competencias y contexto), por lo que se propone como futuro trabajo investigar sobre la obtención de esta información de forma automática. La información relativa a las competencias podría ser obtenida mediante test previos realizados al alumno de forma que se conocieran las competencias del mismo respondiendo a estos cuestionarios.

Por otro lado, obtener de forma automática el contexto, queda planteado como futuro trabajo investigar sobre utilizar los sensores de que disponen los propios dispositivos (sensor de luz, ruido, etc.). Así parte de la información podría ser obtenida de forma automática, al igual que sucede con las características del propio dispositivo móvil que son obtenidas cuando el alumno accede al sistema.



# Referencias

---

- ADL 2004a. Shareable Content Object Reference Model (SCORM). The SCORM 2004 Content Aggregation Model. Advanced Distributed Learning (ADL) Initiative.
- ADL 2004b. Shareable Content Object Reference Model (SCORM). The SCORM 2004 Overview. Advanced Distributed Learning (ADL) Initiative.
- ADL 2004c. Shareable Content Object Reference Model (SCORM). The SCORM 2004 Run-Time Environment. Advanced Distributed Learning (ADL) Initiative.
- ADL 2004d. Shareable Content Object Reference Model (SCORM). The SCORM 2004 Sequencing and Navigation. Advanced Distributed Learning (ADL) Initiative.
- ALVAREZ, A., FERNANDEZ-CASTRO, I. & URRETAVIZCAYA, M. 2004. Adaptive learning based on variable student and domain models in Magadi. *ICALT 2004*. IEEE.
- ANIDO, L. E., FERNÁNDEZ, M. J., CAEIRO, M., SANTOS, J. M., RODRÍGUEZ, J. S. & LLAMAS, M. 2002. Educational metadata and brokerage for learning resources. *Computers & Education*, 38, 351-374.
- BALDAUF, M., DUSTDAR, S. & ROSENBERG, F. 2007. A survey on context-aware systems. *Int. J. Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, 2, 263.
- BALDONI, M., BAROGLIO, C., PATTI, V. & TORASSO, L. 2002. Using a rational agent in an adaptive web-based tutoring system.
- BAUER, J., KUTSCHE, R. & EHRMANNTRAUT, R. 2003. Identification and modeling of contexts for different information scenarios in air traffic. *Technische Universität Berlin, Diplomarbeit*.
- BECKER, A. 2007. Electronic commerce: concepts, methodologies, tools and applications. *Premier Reference Source*, 2522.
- BELLIFEMINE, F., CAIRE, G., POGGI, A. & RIMASSA, G. 2008. JADE: A software framework for developing multi-agent applications. Lessons learned. *Information and Software Technology*, 50, 10-21.
- BELLIFEMINE, F. L., CAIRE, G. & GREENWOOD, D. 2007. *Developing multi-agent systems with JADE*, Wiley.
- BOMSDORF, B. 2005. Adaptation of learning spaces: supporting ubiquitous learning in higher distance education. *Mobile Computing and Ambient Intelligence: The Challenge of Multimedia*. Schloss Dagstuhl, Germany.

- BROWN, J. S., COLLINS, A. & DUGUID, P. 1989. Situated cognition and the culture of learning. *Educational researcher*, 18, 32-42.
- BRUSILOVSKY, P. 1996. Methods and techniques of adaptive hypermedia. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 6, 87-129.
- BRUSILOVSKY, P. Year. KnowledgeTree: A distributed architecture for adaptive e-learning. *In*, 2004. ACM, 104-113.
- BRUSILOVSKY, P. & PEYLO, C. 2003. Adaptive and intelligent Web-based educational systems. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 13, 159-172.
- CAPUANO, N., GAETA, M., MIRANDA, S. & PAPPACENA, L. 2005. A system for adaptive platform-independent mobile learning. *Mobilelearning anytimeeverywhere*, 53.
- CASALINO, N., D'ATRI, A., GARRO, A., RULLO, P., SACCA, D. & URSINO, D. 2006. An XML-based multi-agent system to support an adaptive cultural heritage learning. IEEE.
- CASPARINI, I., BOUZEGHOUB, A., DE OLIVEIRA, J. P. M. & PIMENTA, M. S. 2010. An adaptive e-learning environment based on user's context.
- CELORRIO AGUILERA, C. 2010. *Una arquitectura distribuida basada en agentes software para el desarrollo y el soporte de espacios de aprendizaje ubicuos*. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- CEN 2005. CWA 15454. SQI. A Simple Query Interface Specification for Learning Repositories.
- CHEN, C. M. 2008. Intelligent web-based learning system with personalized learning path guidance. *Computers & Education*, 51, 787-814.
- CHEN, T. & ZHANG, J. 2006. An agent-based adaptive learning system (ABALS). IEEE.
- DE-MARCOS, L., GARCIA-CABOT, A. & GARCIA, E. 2012. Evolutionary Algorithms to Solve Loosely Constrained Permut-CSPs: A Practitioners Approach. *International Journal of Innovative Computing, Information & Control*, 8, 4771-4796.
- DE-MARCOS, L., GARCÍA, A., GARCÍA, E., MEDINA, J. A. & OTÓN, S. 2011a. Comparing the performance of evolutionary algorithms for permutation constraint satisfaction. *GECCO*. ACM.
- DE-MARCOS, L., HILERA, J. R., BARCHINO, R., JIMÉNEZ, L., MARTÍNEZ, J. J., GUTIÉRREZ, J. A., GUTIÉRREZ, J. M. & OTÓN, S. 2010. An experiment for improving students performance in secondary and tertiary education by means of m-learning auto-assessment. *Computers & Education*, 55, 1069-1079.
- DE-MARCOS, L., MARTINEZ, J. J., GUTIÉRREZ, J. A., BARCHINO, R., HILERA, J. R., OTÓN, S. & GUTIÉRREZ, J. M. 2011b. Genetic Algorithms For Courseware Engineering. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control*, 7, 1-27.

- DE BLAS, J., DE-MARCOS, L., BARCHINO, R., GUTIÉRREZ, J., GUTIÉRREZ, J., MARTÍNEZ, J., OTÓN, S. & HILERA, J. 2008. Implementing Standard Reference Models for e-learning Systems. *The 2008 International Conference on e-Learning, e-Business, Enterprise Information Systems, and e-Government (EEE'08), in the WORLDCOMP'08 Conference*. Las Vegas, Nevada, USA.
- DE MARCOS, L. 2009. *Propuesta de un agente inteligente para la secuenciación automática de contenido docente adaptado en base a competencias*. Universidad de Alcalá.
- DE MARCOS, L., BARCHINO, R., MARTÍNEZ, J. & GUTIÉRREZ, J. 2010. A new method for domain independent curriculum sequencing: a case study in a web engineering master program. *International Journal of Engineering Education*, 25, 632.
- DE MEO, P., GARRO, A., TERRACINA, G. & URSINO, D. 2003. X-Learn: an XML-based, multi-agent system for supporting "user-device" adaptive e-learning. *On The Move to Meaningful Internet Systems 2003: CoopIS, DOA, and ODBASE*, 739-756.
- DEY, A. K. 2001. Understanding and using context. *Personal and ubiquitous computing*, 5, 4-7.
- DODERO, J. M. 2002. *Una arquitectura multiagente para la producción distribuida de conocimiento y su aplicación al desarrollo compartido de objetos educativos*. Universidad Carlos III.
- ESMAHI, L. & BADIDI, E. 2004. An agent-based framework for adaptive M-learning. *Innovations in Applied Artificial Intelligence*, 749-758.
- FIPA 2000. FIPA Agent Management Specification. Foundation for Intelligent Physical Agents, Geneva, Switzerland.
- FIPA 2002a. Architecture Group," FIPA Abstract Architecture Specification. Tech. Rep. XC00001K," Foundation for Intelligent Physical Agents, Geneva, Switzerland.
- FIPA 2002b. FIPA ACL Message Structure Specification. Foundation for Intelligent Physical Agents, Geneva, Switzerland.
- FIPA 2002c. FIPA Agent Message Transport Service Specification. Foundation for Intelligent Physical Agents, Geneva, Switzerland.
- FRANKLIN, S. & GRAESSER, A. 1997. Is it an Agent, or just a Program?: A Taxonomy for Autonomous Agents. *Intelligent Agents III Agent Theories, Architectures, and Languages*, 21-35.
- GARCIA-CABOT, A., DE-MARCOS, L., GARCÍA, E. & GUTIÉRREZ, J. A. 2010. Courseware Sequencing Using Heuristic and Local Search. *CSREA EEE*.
- GARRIDO, P. P., GREDIAGA, A. & LEDESMA, B. 2008. VisualJVM: a visual tool for teaching Java technology. *Education, IEEE Transactions on*, 51, 86-92.

- GLOVER, T. & DAVIES, J. 2005. Integrating device independence and user profiles on the Web. *BT Technology Journal*, 23, 239-248.
- GÓMEZ, S. & FABREGAT, R. 2010. Context-Aware Content Adaptation in mLearning. *9th World Conference on Mobile and Contextual Learning (MLEARN2010)*.
- GÓMEZ, S., MEJÍA, C., HUERVA, D. & FABREGAT, R. 2009. Context-aware adaptation process to build units of learning based on IMS-LD standard. *International Conference on Education and New Learning Technologies (EDULEARN2009)*.
- GRAM, M., MARK, T. & MCGREAL, R. 1998. A survey of new media development and delivery software for internet based learning. *Industry Canada. Science Promotion and Academic Affairs Branch. Canada*.
- GUTIERREZ-MARTINEZ, J. M., GARCIA-CABOT, A., GARCIA, E., DE-MARCOS, L., BARCHINO, R., GUTIERREZ-DE-MESA, J. A., MARTINEZ, J. J., OTON, S., HILERA, J. R. & DE-BLAS, J. M. 2012. E-LEARNING CONTENTS AUTOMATIC CONVERSION. *International Journal of Innovative Computing, Information & Control*, 8, 2065-2088.
- HAMMAMI, S., MATHKOUR, H. & AL-MOSALLAM, E. A. 2009. A multi-agent architecture for adaptive E-learning systems using a blackboard agent. IEEE.
- HELD, A., BUCHHOLZ, S. & SCHILL, A. 2002. Modeling of context information for pervasive computing applications. *Proceeding of the World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics*.
- HENDERSON, A. J. 2003. *The e-learning question and answer book: A survival guide for trainers and business managers*, Amacom Books.
- HENRICKSEN, K., INDULSKA, J. & RAKOTONIRAINY, A. 2003. Generating context management infrastructure from high-level context models. *Industrial Track Proceedings of the 4th International Conference on Mobile Data Management (MDM2003)*. Melbourne/Australia.
- HILERA, J. R., OTÓN, S., ORTIZ, A., DE MARCOS, L., MARTÍNEZ, J. J., GUTIÉRREZ, J. A., GUTIÉRREZ, J. M. & BARCHINO, R. 2009. Evaluating simple query interface compliance in public repositories. IEEE.
- HILTZ, S. R. & NORWOOD, N. J. 1994. *The virtual classroom: Learning without limits via computer networks*, Ablex Publishing Corporation.
- HODGINS, W. 2001. IEEE LTSC Learning Technology Standards Committee P1484. *ADLNET, USA*.
- HORTON, W. 2001. *Leading e-learning*, Amer Society for Training &.
- HWANG, G. J., KUO, F. R., YIN, P. Y. & CHUANG, K. H. 2010. A heuristic algorithm for planning personalized learning paths for context-aware ubiquitous learning. *Computers & Education*, 54, 404-415.

- IEEE 1990. IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology. New York, NY, USA.
- IEEE 2002. Learning Technology Standards Committee (LTSC). Learning Object Metadata (LOM). 1484.12.1. IEEE.
- IEEE 2003. Learning Technology Standards Committee (LTSC). Learning Technology Systems Architecture (LTSA). 1484.1. IEEE.
- IEEE 2005. Learning Technology Standards Committee (LTSC). Standard for Learning Technology—Extensible Markup Language (XML) Schema Definition Language Binding for Learning Object Metadata. 1484.12.3., IEEE.
- IMS 2002. IMS Meta-data Best Practice Guide for IEEE 1484.12.1-2002 Standard for Learning Object Metadata. IMS Global Learning Consortium.
- IMS 2005. Simple Sequencing Information and Behavior Model. IMS Global Learning Consortium.
- IMS, L. 2003. IMS learning design specification. *Retrieved February, 12, 2007.*
- ISO 2008a. 24751-1 Individualized adaptability and accessibility in e-learning, education and training -- Part 1: Framework and reference model.
- ISO 2008b. 24751-2 Individualized adaptability and accessibility in e-learning, education and training -- Part 2: "Access for all" personal needs and preferences for digital delivery.
- ISO 2008c. 24751-3 Individualized adaptability and accessibility in e-learning, education and training -- Part 3: "Access for all" digital resource description.
- JACKSON, R. H. 2001. Web based learning resources library. *Disponible online en <http://www.outreach.utk.edu/weblearning>.*
- JURADO, F., REDONDO, M. A. & ORTEGA, M. 2012. Blackboard architecture to integrate components and agents in heterogeneous distributed eLearning systems: An application for learning to program. *Journal of Systems and Software*.
- KIM, H., KIM, J. & LEE, Y. 2005. An empirical study of use contexts in the mobile Internet, focusing on the usability of information architecture. *Information Systems Frontiers, 7*, 175-186.
- LANFRANCO, S. & UTSUMI, T. 1993. Objects, Agents and Events in a Global Learning Environment. *Proceedings of Teleteaching'93*. Trondheim (Noruega).
- LAU, R. Y. K., SONG, D., LI, Y., CHEUNG, T. C. H. & HAO, J. X. 2009. Toward a fuzzy domain ontology extraction method for adaptive e-learning. *Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions on, 21*, 800-813.
- LEMLOUMA, T. & LAYAÏDA, N. 2003. Adapted content delivery for different contexts. IEEE.

- MARTÍN, E., CARRO, R. & RODRÍGUEZ, P. 2006. A mechanism to support context-based adaptation in m-learning. *Innovative Approaches for Learning and Knowledge Sharing*, 302-315.
- MASIE, E. 2002. Making Sense of Learning Specifications & Standards: A Decision Maker's Guide to their Adoption. March.
- MCCARTHY, J. & BUVAC, S. 1997. Formalizing context (expanded notes). *Working Papers of the AAAI Fall Symposium on Context in Knowledge Representation and Natural Language*. Menlo Park, California.
- MOLNAR, A. R. 1990. Computers in education: a historical perspective of the unfinished task. *THE Journal (Technological Horizons in Education)*, 18.
- MONGUET FIERRO, J. M., GUEVARA, M. & GRIMÓN, F. 2010. Influencia de usar un Sistema de Hipermedia Adaptativo (SHA) en la modalidad de Aprendizaje Combinado (Blended Learning).
- MORRISON, D. 2003. *E-learning strategies: how to get implementation and delivery right first time*, John Wiley & Sons, Inc.
- MOTIWALLA, L. F. 2007. Mobile learning: A framework and evaluation. *Computers & Education*, 49, 581–596.
- MYMOBILEWEB. 2011. <http://mymobileweb.morfeo-project.org/> [Online]. [Accessed Septiembre 2012].
- O'BRIEN, P. D. & NICOL, R. C. 1998. FIPA—towards a standard for software agents. *BT Technology Journal*, 16, 51-59.
- ORTIZ BAÍLLO, A. 2009. *Propuesta de una arquitectura para búsqueda federada y agregación semántica de objetos de aprendizaje en repositorios distribuidos*. Universidad de Alcalá.
- OTÓN, S., ORTIZ, A., HILERA, J., BARCHINO, R., GUTIÉRREZ, J., MARTÍNEZ, J., GUTIÉRREZ, J., DE MARCOS, L. & JIMÉNEZ, L. 2010. Service Oriented Architecture for the Implementation of Distributed Repositories of Learning Objects. *International Journal of Innovative Computing, Information and Control (IJICIC)*.
- OTÓN, S., ORTIZ BAILLO, A., HILERA, J. R., BARCHINO, R., GUTIERREZ, J. M., DE MARCOS, L., MARTINEZ, J. J. & GUTIERREZ, J. A. 2009. Requirements to ensure interoperability between learning object repositories. *EEE 09*. Las Vegas.
- PASSANI, L. & TRASATTI, A. 2004. Wireless Universal Resource File (WURFL).
- PISKURICH, G. M. 2003. *The AMA handbook of e-learning: Effective design, implementation, and technology solutions*, Amacom Books.

- POSLAD, S., BUCKLE, P. & HADINGHAM, R. Year. The FIPA-OS agent platform: Open source for open standards. *In*, 2000. 368.
- REHAK, D. 2003. E-Learning Standards: Questions, Decisions, Actions. *Learning Systems Architecture Lab, Carnegie Mellon University. Pittsburgh.*
- SAMULOWITZ, M., MICHAELLES, F. & LINNHOFF-POPIEN, C. 2002. Capeus: An architecture for context-aware selection and execution of services. *New developments in distributed applications and interoperable systems*, 23-39.
- SCIENTIAMOBILE. 2012. <http://www.scientiamobile.com/> [Online]. [Accessed Septiembre 2011].
- SCHILIT, B., ADAMS, N. & WANT, R. 1994. Context-aware computing applications. IEEE.
- SCHILIT, B. N. & THEIMER, M. M. 1994. Disseminating active map information to mobile hosts. *Network, IEEE*, 8, 22-32.
- SHARMA, S. K. & KITCHENS, F. L. 2004. Web services architecture for m-learning. *Electronic Journal on e-Learning*, 2, 203-216.
- SINGH, H. 2001. Learning Content Management Systems. *E-learning magazine*.
- STRANG, T. & LINNHOFF-POPIEN, C. 2003. Service Interoperability on Context Level in Ubiquitous Computing Environments. *Proceedings of International Conference on Advances in Infrastructure for Electronic Business, Education, Science, Medicine, and Mobile Technologies on the Internet (SSGRR2003w)*. L'Aquila/Italy.
- STRANG, T. & LINNHOFF-POPIEN, C. 2004. A context modeling survey. *Workshop on Advanced Context Modelling, Reasoning and Management as part of UbiComp*.
- TRIFONOVA, A., KNAPP, J., RONCHETTI, M. & GAMPER, J. 2004. Mobile ELDIT: Transition from an e-Learning to an m-Learning System. *-MEDIA*, 188-193.
- TRIFONOVA, A. & RONCHETTI, M. 2004. A general architecture to support mobility in learning. *International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'04)*. IEEE.
- VAN SETERS, J., OSSEVOORT, M., TRAMPER, J. & GOEDHART, M. 2012. The influence of student characteristics on the use of adaptive e-learning material. *Computers & Education*, 58.
- VERDÚ, E., REGUERAS, L. M., VERDÚ, M. J., DE CASTRO, J. P. & PÉREZ, M. Á. 2008. An analysis of the research on adaptive learning: the next generation of e-learning. *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, 5, 859-868.
- W3C 2004a. Composite Capability/Preference Profiles (CC/PP): Structure and Vocabularies 1.0. <http://www.w3.org/TR/CCPP-struct-vocab/>. *W3C recommendation*.
- W3C 2004b. OWL web ontology language overview (McGuinness, D.L. and Van Harmelen, F.). *W3C recommendation*, 10, 2004-03.
- W3C 2006. Delivery Context Overview for Device Independence.

W3C 2007. Device Description Landscape 1.0.

W3C 2008a. W3C-MBP Mobile Web Best Practices 1.0.

W3C 2008b. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.0.

WOOLDRIDGE, M. & JENNINGS, N. R. 1995. Intelligent agents: Theory and practice. *Knowledge engineering review*, 10, 115-152.

WURFL 2008. Wireless Universal Resource File (WURFL). Available at: <http://wurfl.sourceforge.net/>.

ZHANG, D. & ADIPAT, B. 2005. Challenges, methodologies, and issues in the usability testing of mobile applications. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 18, 293-308.

# Anexo I: Instrumento del estudio

En este anexo se muestra el instrumento utilizado el estudio de la aplicación de los dispositivos móviles en la enseñanza. Los resultados principales de este estudio se muestran en el apartado 3.1 de la presente Tesis.

## ENCUESTA SOBRE LA UTILIZACIÓN DE DISPOSITIVOS MÓVILES

En primer lugar queremos darle las gracias por participar. Sepa que en cualquier momento puede guardar sus respuestas para continuar más tarde rellenando la encuesta. Para ello solamente tendrá que pulsar sobre el botón "Guardar y Volver en otro momento" que se encuentra al final de la página. Para que esto tenga efecto, deberá acceder desde el mismo ordenador que lo hizo la primera vez.  
*Hay 38 preguntas en esta encuesta.*

### Datos sobre su perfil

**Nombre y apellidos:**

**\*Sexo:**  
Seleccione una de las siguientes opciones

Hombre  
 Mujer

**\*Edad:**

*Sólo se aceptan números en este campo*

**\*Máster que está cursando:**  
Seleccione una de las siguientes opciones

**\*Titulación académica:**

 Indique únicamente la titulación académica más alta alcanzada.

**\*Año de titulación:**

*Sólo se aceptan números en este campo*



Indique el año en el que obtuvo la titulación anterior.

**\*Es usted:**

**Seleccione una de las siguientes opciones**

- Diestro/a
- Zurdo/a

**¿En qué tipo de organismo trabaja actualmente?  
Marque las entradas que correspondan**

- Ninguno
- Sector público
- PYME
- Gran empresa
- Otros (especificar):

**\*Indique su nivel de experiencia como usuario de dispositivos móviles:**

**Seleccione una de las siguientes opciones**

- No utilizo
- Inexperto
- Medio
- Experto

**Cuestiones sobre la utilización de dispositivos móviles en general**

**¿Cuánto tiempo hace que comenzó a utilizar dispositivos móviles?**

**Seleccione una de las siguientes opciones**

- Menos de un año
- Entre 1 y 2 años
- Entre 5 y 10 años
- Más de 10 años
- Sin respuesta

**¿Cuántos dispositivos móviles utiliza habitualmente?  
Seleccione una de las siguientes opciones**

- 1
- 2
- Entre 3 y 5
- Más de 5
- Sin respuesta

**¿Qué tipo de dispositivo utiliza habitualmente?**

Marca   
Modelo

**¿Qué sistema operativo tiene su dispositivo móvil?  
Seleccione una de las siguientes opciones**

- Android
- iOS
- BlackBerry OS
- Windows Phone
- No lo sé
- Otro (especificar):
- Sin respuesta

**Indique con qué frecuencia utiliza el dispositivo móvil con los siguientes fines:**

	Nunca	Rara vez	Varias veces al mes	Varias veces a la semana	Todos los días	Sin respuesta
Ocio/Usos personal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Trabajo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

**¿Con qué frecuencia suele utilizar su dispositivo móvil con estos estados?**

	Nunca	Rara vez	Varias veces al mes	Varias veces a la semana	Todos los días	Sin respuesta
Estado emocional alto (estando feliz o motivado)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Estado emocional medio (estando normal, ni motivado ni desmotivado)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Estado emocional bajo (estando triste o desmotivado)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

**¿Con qué frecuencia suele utilizar su dispositivo móvil en estas condiciones?**

	Nunca	Rara vez	Varias veces al mes	Varias veces a la semana	Todos los días	Sin respuesta
Con 1 sola mano	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Con 1 mano para sujetar y otra mano para interactuar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Con 2 manos para interactuar	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

**¿Con qué frecuencia suele utilizar su dispositivo móvil en estas situaciones?**

	Nunca	Rara vez	Varias veces al mes	Varias veces a la semana	Todos los días	Sin respuesta
Estando parado (por ejemplo, sentado en un vehículo)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Estando en movimiento (por ejemplo, caminando)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

**¿Utiliza habitualmente su dispositivo móvil mientras tiene distracciones visuales a su alrededor (por ejemplo, una televisión, carteles, letreros, etc.)?**

Seleccione una de las siguientes opciones

- No
- Sí (indicar cuáles):
- Sin respuesta

**¿Suele tener distracciones auditivas alrededor (por ejemplo, escuchando aviones pasar, música de fondo, etc.) mientras utiliza su dispositivo móvil?**

Seleccione una de las siguientes opciones

- Sí, suelo utilizarlo en entornos sonoros
- No, suelo utilizarlo en entornos tranquilos
- Sin respuesta

**¿Suele estar rodeado de gente mientras utiliza su dispositivo móvil?**

Seleccione una de las siguientes opciones

- Sí, suelo tener gente a mi alrededor
- No, suelo estar solo
- Sin respuesta

**¿Suele interactuar con otras personas mientras está utilizando su dispositivo móvil?**

Seleccione una de las siguientes opciones

- Sí
- No
- Sin respuesta

**¿Cuándo suele utilizar su dispositivo móvil?**

Marque las entradas que correspondan

- En casa
- En el trabajo
- En la calle
- En otro lugar (especificar):

**¿Con qué frecuencia suele utilizar su dispositivo móvil con la pantalla en posición horizontal o vertical? (responder sólo si el terminal dispone de esa opción)**

	Nunca	Rara vez	Varias veces al mes	Varias veces a la semana	Todos los días	Sin respuesta
Vertical	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Horizontal	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

**Especifique en qué casos utiliza su dispositivo móvil en posición horizontal y cuándo en posición vertical (por ejemplo: para navegar, para enviar mensajes, etc.) (responder sólo si el terminal dispone de esa opción):**

En posición vertical para:

En posición horizontal para:

**¿Con qué frecuencia utiliza Internet en el móvil?  
Seleccione una de las siguientes opciones**

- No lo utilizo
- Muy de vez en cuando
- Varias veces al mes
- Varias veces a la semana
- Todos los días
- Sin respuesta

**En caso de utilizar Internet en el móvil, indique en qué proporción utiliza Wifi y/o tarifa de datos para conectarse:**

	Nunca	Rara vez	Varias veces al mes	Varias veces a la semana	Todos los días	Sin respuesta
Wifi	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Tarifa de datos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

**En caso de utilizar Internet en el móvil, ¿con qué fines utiliza habitualmente la conexión a Internet?  
Marque las entradas que correspondan**

- Correo electrónico
- Mensajería instantánea
- Navegar por páginas web
- Otros (especificar):

**¿Qué otras opciones utiliza en su dispositivo móvil (sin tener en cuenta las llamadas y mensajes)?  
Marque las entradas que correspondan**

- GPS
- Cámara de fotos
- Escuchar música
- Otros (especificar):

### Cuestiones sobre la utilización de dispositivos móviles para la formación

**¿Ha utilizado alguna vez un dispositivo móvil en alguna actividad de formación?**

**Seleccione una de las siguientes opciones**

- No lo he utilizado nunca
- Rara vez
- Varias veces al mes
- Varias veces a la semana
- Todos los días
- Sin respuesta

**En caso de respuesta afirmativa en la anterior pregunta, ¿para qué lo ha utilizado?**

**Marque las entradas que correspondan**

- Leer documentación docente
- Consultar el correo del profesor
- Foros
- Otros (especificar):

**¿Piensa que un dispositivo móvil puede serle de utilidad en actividades docentes? ¿Por qué?**

**Seleccione una de las siguientes opciones**

- Sí
- No
- Sin respuesta

Por favor, escriba la justificación de su respuesta aquí:

### Cuestiones sobre la utilización de aplicaciones en dispositivos móviles

**¿Instala y/o utiliza aplicaciones en su dispositivo móvil?**

**Seleccione una de las siguientes opciones**

- Sí
- No, porque mi dispositivo no tiene esa capacidad
- No, porque no quiero
- No, por otra razón (especificar):
- Sin respuesta

**¿De dónde suele obtener las aplicaciones que instala en su dispositivo móvil?  
Marque las entradas que correspondan**

- De la tienda oficial (Android Market, App Store, etc.)
- De Internet
- Creaciones propias
- Otros (especificar):

**¿Qué tipos de aplicaciones utiliza y con qué frecuencia?**

	Nunca	Rara vez	Varias veces al mes	Varias veces a la semana	Todos los días	Sin respuesta
Para uso personal (agenda, mensajería instantánea, etc.)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
De utilidad para el trabajo	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Juegos	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Otros	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

**¿Paga habitualmente por descargar aplicaciones?  
Seleccione una de las siguientes opciones**

- No he pagado nunca, sólo utilizo aplicaciones gratuitas
- Normalmente utilizo aplicaciones gratuitas, pero alguna vez he comprado alguna
- Sólo compro aplicaciones de pago si no son muy caras
- Suelo comprar aplicaciones de pago, independientemente del precio
- Sin respuesta

**¿Alguna vez ha pagado algo con una tarjeta de débito/crédito desde el dispositivo móvil?**  
**Seleccione una de las siguientes opciones**

- Sí, a menudo
- Sí, alguna vez
- No, nunca
- Sin respuesta

Recuperar una encuesta no terminada

Enviar

Salir y reiniciar la encuesta

Guardar y Volver en otro momento