



UNIVERSITAT OBERTA DE CATALUNYA

PROGRAMA DE DOCTORAT EN SOCIETAT DE LA INFORMACIÓ I EL CONEIXEMENT

TESI DOCTORAL

CARACTERITZACIÓ I ESPECIFICACIÓ

BASADA EN ONTOLOGIES

DELS LABORATORIS VIRTUALS

EN LES ENGINYERIES EN INFORMÀTICA

Autor: Josep Prieto Blázquez

Director: Jordi Herrera Joancomartí

Barcelona, desembre de 2008

“The best way to predict the future is to invent it.”

Alan Kay

*A Chari, Judith, Raül i
als meus pares*

Resum

Durant la darrera dècada s'observa un gran creixement del nombre d'universitats que necessiten difondre coneixement i oferir oportunitats d'aprenentatge als seus estudiants a través de l'ensenyament a distància. La progressiva incorporació d'Internet en els diferents àmbits socials, juntament amb els canvis culturals, permet als estudiants accedir a una formació universitària des de qualsevol lloc i en qualsevol moment. En aquest nou escenari d'educació a distància i per tal d'assolir les competències que determinen les titulacions tècniques, es fa necessària la realització, de manera virtual, d'activitats pràctiques de laboratori. La realització d'aquestes pràctiques requereix tècniques especials d'ensenyament-aprenentatge i, per tant, cal buscar alternatives tecnològiques i pedagògiques a les actuals que permetin trencar la tradicional sincronia en el temps i en l'espai. En definitiva, en una universitat virtual es requereix d'un nou espai, anomenat Laboratori Virtual, per realitzar les activitats pràctiques.

Els Laboratoris Virtuals són l'objecte d'estudi principal d'aquest treball de tesi, que té com a finalitat posar a l'abast de la comunitat educativa un sistema capaç de crear una aula virtual per realitzar pràctiques de laboratori en un entorn d'aprenentatge a distància, centrant-se en els estudis universitaris d'Enginyeria en Informàtica.

Més concretament, aquest treball de tesi presenta tot el procés de desenvolupament seguit fins arribar a la creació dels Laboratoris Virtuals. Aquest procés fonamentalment ha consistit en dissenyar, en primer lloc, una estructura i una caracterització dels Laboratoris Virtuals; realitzar a continuació la seva especificació formal basada en ontologies; i, finalment, crear-los sobre una plataforma real d'aprenentatge.

L'ús d'ontologies és especialment útil en aquest treball de tesi, ja que proporcionen un significat explícit a la informació, permetent compartir-la i processar-la automàticament, a la vegada que defineixen un nou panorama per representar la informació en àmbits específics en les enginyeries, com és el cas de l'especificació semàntica dels Laboratoris Virtuals.

Resumen

Durante la última década se observa un gran crecimiento del número de universidades que necesitan difundir conocimiento y ofrecer oportunidades de aprendizaje a sus estudiantes a través de la enseñanza a distancia. La progresiva incorporación de Internet en los diferentes ámbitos sociales, junto con los cambios culturales, permite a los estudiantes acceder a una formación universitaria desde cualquier lugar y en cualquier momento. En este nuevo escenario de educación a distancia y con el fin de adquirir las competencias que determinan las titulaciones técnicas, es necesaria la realización de actividades prácticas de laboratorio de manera virtual. La realización de estas prácticas requiere técnicas especiales de enseñanza-aprendizaje y, por lo tanto, hay que buscar alternativas tecnológicas y pedagógicas a las actuales que permitan romper la tradicional sincronía en el tiempo y en el espacio. En definitiva, en una universidad virtual se requiere de un nuevo espacio, llamado Laboratorio Virtual, para realizar las actividades prácticas.

Los Laboratorios Virtuales son el objeto de estudio principal de esta tesis, que tiene como finalidad poner a disposición de la comunidad educativa un sistema capaz de crear un aula virtual para realizar prácticas de laboratorio en un entorno a aprendizaje a distancia, centrándose en los estudios universitarios de Ingeniería en Informática.

Más concretamente, este trabajo de tesis presenta todo el proceso de desarrollo seguido hasta llegar a la creación de los Laboratorios Virtuales. Este proceso fundamentalmente ha consistido en diseñar, en primer lugar, una estructura y una caracterización de los Laboratorios Virtuales; realizar a continuación su especificación formal basada en ontologías; y, finalmente, crearlos sobre una plataforma real de aprendizaje.

El uso de ontologías es especialmente útil en este trabajo de tesis, ya que proporcionan un significado explícito a la información, permitiendo compartirla y procesarla automáticamente a la vez que definen un nuevo panorama para representar la información en ámbitos específicos en las ingenierías, como es el caso de la especificación semántica de los Laboratorios Virtuales.

Abstract

During the past decade, a huge growth in the number of universities that need to diffuse knowledge and extend lifelong learning opportunities to students through distance learning environments has been observed. The rapid and continuous developments in information and communication technologies, together with cultural changes, have increased the consciousness and the demand for distance learning, allowing students to access their courses at anytime and anywhere. In this new distance learning scenario, it is necessary to take practical activities in a virtual way, in order to acquire the competences that determine the technical degrees. The accomplishment of these practices require special learning-teaching techniques and, therefore, it is necessary to look for technological and pedagogical alternatives to the present ones, that allow to break with the traditional need for time and space synchronism. For that reason, new virtual spaces are required in a Virtual University, so practical activities can be carried out. Such spaces are called Virtual Laboratories.

Virtual Laboratories are the main focus of this dissertation which aims to put at the disposal of the educational community a system capable of creating a virtual classroom to carry out practical activities in a learning virtual environment, focusing on Computer Engineering Education.

Specifically, this dissertation presents the development process which was performed to manage the creation of Virtual Laboratories. This process essentially consisted in designing, in the first place, the structure and characterization of the Virtual Laboratories; the next step was to make the formal specification based on ontologies; and finally to create them on a real learning platform.

The use of ontologies is especially useful in this dissertation since it provides an explicit meaning to information, permitting it to be shared and processed automatically, as well as defining a new scenario to represent the information in specific fields of engineering. For instance, it is the case of the semantic specification of Virtual Laboratories.

Agraïments

En el moment d'escriure aquests agraïments em passen pel cap moltes persones i molts moments pels quals he hagut de passar fins arribar a aquest punt tan desitjat.

He de reconèixer que el handicap més important que he tingut durant aquests darrers anys per realitzar aquesta tesi ha estat trobar el temps necessari. Ara mateix, per exemple, escric aquestes ratlles en una terrassa d'un bar a Menorca, on teòricament estic de vacances. Entretant la meva dona, acompanyada d'uns amics, està fent un volt per Ciutadella. ;-)

És per això que el primer agraïment és per na *Chari*, la meva dona, sense el seu suport moral i logístic mai hagués arribat a fer aquest treball.

A continuació, vull agrair al meu amic i director de tesi, el Dr. *Jordi Herrera*, el seu suport incondicional. La seva paciència, professionalitat i dedicació han estat decisives.

En tercer lloc, vull expressar la meva gratitud a dos *Doctors* de la Universitat Oberta de Catalunya per ajudar-me a centrar la tesi en la temàtica dels Laboratoris Virtuals durant el procés d'avaluació interna del professorat.

També vull agrair a la Universitat Oberta de Catalunya i en particular als Estudis d'Informàtica, Multimèdia i Telecomunicació, la possibilitat que m'han donat per realitzar aquest treball de recerca. La llista de persones de la universitat que, d'una manera o d'una altra, han contribuït i m'han ajudat en la realització d'aquesta tesi doctoral és massa extensa per detallar aquí els noms de tothom, per aquest motiu vull demanar sinceres excuses a tots aquells qui no s'esmenten explícitament. Només dir-vos, moltes gràcies a tothom!

Finalment vull donar les gràcies a la meva família. Encara que pugui semblar un tòpic, sense ells no hauria estat capaç ni de començar aquesta aventura.

Índex

Llista de Figures	xv
Llista de Taules	xvii
1 Introducció	1
1.1 Plantejament del tema escollit	1
1.2 Delimitació del treball de tesi	3
1.2.1 Entorn d'aprenentatge	3
1.2.2 Àmbit de coneixement	5
1.2.3 Àrea d'estudi en el procés d'aprenentatge	7
1.3 Objectius de recerca	8
1.4 Estructura del treball de tesi	10
2 Context dels Laboratoris Virtuals	13
2.1 Enginyeria en Informàtica	14
2.2 Assignatures	19
2.3 Competències	20
2.3.1 Competències del Grau d'Informàtica	23
2.4 Activitats pràctiques de laboratori	25
2.5 Resum	31
3 Estat de l'art dels Laboratoris Virtuals	33

3.1	Laboratori Virtual	33
3.2	Tipologies dels Laboratoris Virtuals	34
3.2.1	Laboratori Virtual de Programació	35
3.2.2	Laboratori Virtual de Sistemes Operatius	37
3.2.3	Laboratori Virtual de Base de Dades	38
3.2.4	Laboratori Virtual de Xarxes	40
3.2.5	Laboratori Virtual d'Estructura i Arquitectura d'Ordinadors	41
3.2.6	Laboratori Virtual de Matemàtiques	43
3.3	Estudi dels Laboratoris Virtuals a la UOC	44
3.3.1	Cas d'estudi del Laboratori Virtual de Programació	45
3.3.2	Cas d'estudi del Laboratori Virtual de Xarxes	54
3.4	Resum	62
4	Caracterització dels Laboratoris Virtuals	63
4.1	Descripció de l'estructura general dels VLab	63
4.1.1	Recursos tecnològics	64
4.1.2	Recursos pedagògics i estratègics	78
4.1.3	Recursos humans	81
4.2	Encaix de l'estructura general del VLab proposada amb literatura revisada	83
4.3	Resum	86
5	Especificació formal dels Laboratoris Virtuals	89
5.1	Representació del coneixement: revisió de la literatura	90
5.1.1	Estàndards de metadades en l'àmbit de l'educació	91
5.1.2	Evolució cap a la web semàntica	97
5.1.3	La web semàntica	99
5.1.4	Justificació del model escollit per l'especificació formal dels VLab.	104
5.2	Ontologies	105
5.2.1	Web Ontology Language	107

5.2.2	L'eina <i>Protégé</i>	108
5.3	Especificació dels Laboratoris Virtuals basada en ontologies	111
5.3.1	Especificació del context dels Laboratoris Virtuals	111
5.3.2	Especificació del recursos dels Laboratoris Virtuals	125
5.4	Resum	130
6	Creació dels Laboratoris Virtuals a partir de l'ontologia	133
6.1	Revisió de la Literatura	134
6.1.1	Raonadors	134
6.1.2	Course/Learning Management System	136
6.1.3	Programari escollit per fer la implementació dels VLab	138
6.2	Descripció de la creació dels Laboratoris Virtuals	140
6.2.1	Implementació des del punt de vista del client de l'aplicació	141
6.2.2	Implementació des del punt de vista del servidor de l'aplicació	144
6.3	Resum	150
7	Conclusions	153
7.1	Síntesi final del treball de tesi	153
7.2	Aportacions del treball de tesi	155
7.2.1	Publicacions derivades d'aquest treball de tesi	157
7.3	Treballs futurs	158
A	CAP: Corrector Automàtic de Programes	161
A.1	Introducció del CAP	161
A.1.1	Antecedents	162
A.2	Arquitectura del CAP	164
A.3	Funcionalitats del CAP	166
A.4	Avaluació de l'impacte del CAP	168
A.4.1	Activitat del CAP	168

A.4.2	Valoració del CAP per part dels estudiants	169
B	NETLAB: Laboratori Remot de Cisco	171
B.1	Introducció del NETLAB+ [®]	171
B.2	Arquitectura del NETLAB+ [®]	174
B.3	Funcionalitats del NETLAB+ [®]	175
B.4	Avaluació de l'impacte del NETLAB+ [®]	176
B.4.1	Activitat del NETLAB+ [®]	176
B.4.2	Valoració del NETLAB+ [®] per part dels estudiants	177
C	Ontologia dels Laboratoris Virtuals (OWL)	179
D	Instanciació d'un VPLab	181
	Acrònims	187

Índex de figures

1.1	Tipologies d'educació depenent de la relació entre temps i espai.	6
1.2	Àmbits de la tesi.	8
2.1	Relació dels Laboratori Virtuals i els estudis d'Enginyeria en Informàtica.	14
5.1	La web actual vs la web semàntica.	99
5.2	Arquitectura de la web semàntica.	101
5.3	Classes i relacions “is-a” de l'ontologia dels Laboratoris Virtuals.	112
5.4	Relacions de les classes de primer nivell de l'ontologia.	113
5.5	Classes de primer nivell de l'ontologia dels Laboratoris Virtuals.	113
5.6	Classificació dels recursos del VLab.	115
5.7	Vista de la classe <i>VLabResources</i> amb l'eina <i>Protégé</i>	117
5.8	Vista de la classe <i>Competence</i> amb l'eina <i>Protégé</i>	119
5.9	Vista de la classe <i>PracticalActivity</i> amb l'eina <i>Protégé</i>	122
5.10	Vista de la classe <i>Task</i> amb l'eina <i>Protégé</i>	123
5.11	Vista de la classe <i>VLab</i> amb l'eina <i>Protégé</i>	125
5.12	Dependència de la classe Fòrum respecte els recursos del VLab.	126
5.13	Recursos tecnològics del VLab.	126
5.14	Vista de la classe <i>TechnologicalResources</i> amb l'eina <i>Protégé</i>	127
5.15	Entorn de comunicació virtual.	127
5.16	Vista de la classe <i>VCE</i> amb l'eina <i>Protégé</i>	128
5.17	Vista de la classe <i>Forum</i> amb l'eina <i>Protégé</i>	129

6.1	<i>Pas 1</i> - selecció de l'assignatura i les competències.	142
6.2	<i>Pas 2a</i> - selecció de les activitats pràctiques.	143
6.3	<i>Pas 2b</i> - selecció de les tasques de cada activitat pràctica.	144
6.4	<i>Pas 3</i> - introducció de la informació sobre el nou VLab.	145
6.5	<i>Pas 4</i> - proposta d'estructura del VLab.	146
6.6	<i>Pas 5</i> - informació del procés i la creació de l'aula en <i>Moodle</i>	147
6.7	<i>Pas 6</i> - visualització del VLab creat amb <i>Moodle</i>	148
6.8	Arquitectura de desenvolupament per crear VLab.	149
6.9	Fluxe d'informació entre l'aplicació client i la servidora.	150
A.1	CAP. Correcció d'un exercici.	165
B.1	Vista d'una sessió del NETLAB+ [®]	173
B.2	Arquitectura del NETLAB+ [®]	174
D.1	Competències, pràctiques i tasques de <i>Fonaments de Programació</i>	183
D.2	Prerequisits de les competències, pràctiques i tasques.	184
D.3	Relació de les competències, pràctiques, tasques i recursos del VPLab.	185
D.4	Recursos predeterminats per tipologia de VLab.	186

Índex de taules

3.1	Q1-Q3. Perfil dels estudiants enquestats.	51
3.2	Q4-Q11. Recursos relacionats amb cada qüestió.	52
3.3	Q4-Q11. Anàlisi descriptiu i de freqüència dels recursos del VPLab. . .	52
3.4	Aules de VNLab.	58
3.5	Q1-Q3. Perfil dels estudiants enquestats.	59
3.6	Q4-Q12. Recursos relacionats amb cada pregunta.	60
3.7	Q4-Q12. Anàlisi descriptiva i de freqüència dels recursos del VNLab. .	60
4.1	Recursos relacionats amb l'Entorn Virtual de Comunicació.	69
4.2	Relació des recursos de la literatura revisada i el VLab proposat.	85
5.1	Llista i algunes característiques d'editors d'ontologies.	110
5.2	<i>Object Properties</i> de la classe <i>VLabResources</i>	116
5.3	<i>Datatype Properties</i> de la classe <i>VLabResources</i>	116
5.4	<i>Object Properties</i> de la classe <i>Competence</i>	118
5.5	<i>Datatype Properties</i> de la classe <i>Competence</i>	119
5.6	<i>Object Properties</i> de la classe <i>PracticalActivity</i>	120
5.7	<i>Datatype Properties</i> de la classe <i>PracticalActivity</i>	121
5.8	<i>Object Properties</i> de la classe <i>Task</i>	121
5.9	<i>Datatype Properties</i> de la classe <i>Task</i>	123
5.10	<i>Object Properties</i> de la classe <i>VLab</i>	124
5.11	<i>Datatype Properties</i> de la classe <i>VLab</i>	124

5.12	<i>Object Properties</i> de la classe <i>Forum</i>	128
5.13	<i>Datatype Properties</i> de la classe <i>Forum</i>	129
6.1	Comparació de diferents raonadors d'ontologies.	135
6.2	Comparativa de diferents plataformes d'aprenentatge virtual.	139
A.1	Activitat del CAP durant el curs 2006/2007.	168
A.2	Pregunta 1 del qüestionari sobre el CAP.	169
A.3	Preguntes de la 2 a la 6 del qüestionari sobre el CAP.	170
A.4	Pregunta 7 del qüestionari sobre el CAP.	170
B.1	Activitat del NETLAB+ [®] de l'any 2006 a l'any 2007.	177
B.2	Q14. Beneficis de NETLAB+ [®]	178

Capítol 1

Introducció

“Whoever ceases to be a student has never been a student.”

George Iles

L'objectiu d'aquest capítol és oferir una síntesi i una delimitació del problema que es pretén resoldre en aquest treball de recerca, descrivint les raons que van motivar l'elecció del tema, els objectius i la metodologia de treball utilitzada en l'elaboració del mateix.

1.1 Plantejament del tema escollit

Durant els darrers quinze anys s'ha observat un gran creixement del nombre d'universitats que han optat per difondre coneixement i oferir oportunitats d'aprenentatge als seus estudiants a través de l'ensenyament a distància. Els nous esdeveniments en les tecnologies de la informació i les comunicacions, juntament amb els canvis culturals, han augmentat el coneixement i la demanda d'ensenyament a distància, permetent als estudiants accedir a la formació en qualsevol moment i des de qualsevol lloc (Sivakumar, et al., 2005). Per altra banda, la progressiva incorporació d'Internet en els diferents àmbits socials ha provocat l'aparició de multitud d'iniciatives de formació a distància,

així com el creixement d'un mercat formatiu d'empreses i institucions educatives amb aquesta modalitat.

En aquest nou escenari d'educació a distància, la realització d'activitats pràctiques de laboratori de manera virtual és un fet necessari per assolir les competències que demanen les titulacions tècniques, en particular els estudis d'Enginyeria en Informàtica. La realització d'aquestes pràctiques requereix tècniques especials d'ensenyament-aprenentatge i, per tant, cal buscar alternatives tecnològiques i pedagògiques a les actuals que ajudin a trencar la sincronia, tant en l'espai com en el temps.

Prenent com a referència l'ensenyament presencial tradicional, es pot veure que les pràctiques de laboratori es realitzen normalment en un laboratori "físic" on tot el programari i el maquinari està instal·lat i configurat. A més, aquests laboratoris disposen de personal docent especialitzat que assessora i ajuda l'estudiant davant de qualsevol problema que es presenti. Existeix, doncs, sincronia en el temps i en l'espai. La dificultat sorgeix quan cal virtualitzar aquestes pràctiques i la sincronia desapareix. En el model asíncron s'ha de substituir el laboratori d'ús comú que utilitzen els centres docents presencials per uns laboratoris individuals virtuals, tants com estudiants hi hagi. Això implicarà que aquests laboratoris, en la majoria dels casos, es traslladaran al punt de treball de l'estudiant.

Aquesta tesi doctoral té com a finalitat posar a l'abast de la comunitat educativa un sistema capaç de crear una aula virtual per realitzar pràctiques de laboratori en un entorn d'aprenentatge a distància, centrant-se en els estudis universitaris d'Enginyeria en Informàtica. En una universitat virtual i en aquest marc de treball, es requereixen nous espais per trobar una solució a la realització d'activitats pràctiques. Aquests espais s'anomenen Laboratoris Virtuals (VLab) i són l'objecte d'estudi principal d'aquest treball de tesi.

1.2 Delimitació del treball de tesi

Per tal de descriure el treball d'aquesta tesi d'una manera més entenedora, aquest apartat té com objectiu delimitar i definir l'entorn d'aprenentatge, l'àmbit de coneixement i l'àrea d'estudi que es tractaran.

1.2.1 Entorn d'aprenentatge

Dels diferents entorns d'aprenentatge que existeixen, aquest treball de tesi es centrarà en el model educatiu d'aprenentatge a distància enfront del model educatiu presencial.

Existeixen en la literatura una gran quantitat d'aproximacions al concepte d'educació a distància, d'entre les quals se'n mostren tres definicions que poden servir com a referència.

Definició 1: *“És aquell entorn on l'estudiant està a una distància del professor, gran part o tot el temps, durant el procés d'ensenyament - aprenentatge”* (Wedemeyer, 1982).

Definició 2: *“El terme aprenentatge a distància i/o educació a distància es refereix a un entorn d'ensenyament - aprenentatge on el professor i l'estudiant estan separats geogràficament i en el temps”* (Williams, et al., 1999).

Definició 3: *“En l'educació a distància podem destacar fins a quatre elements bàsics: i) la separació quasi permanent del professor i l'estudiant al llarg del procés d'aprenentatge, ii) la influència de l'organització de l'educació a distància en la planificació i el desenvolupament dels materials d'aprenentatge i en la previsió dels serveis d'ajuda a l'estudiant, iii) l'ús dels mitjans tecnològics per relacionar al professor, l'estudiant i el contingut, iv) i l'ús del diàleg discontinu entre ells”* (Simonson, 2000; Keegan, et al., 1988).

En les dues primeres definicions, molt generals i més tradicionals, l'educació a distància es refereix fonamentalment a l'autonomia i la independència de l'estudiant en l'aprenentatge i l'ensenyament, tractant la distància com a fenomen pedagògic. En canvi, hi ha definicions molt més àmplies i actuals, com la tercera, que introdueix altres factors molt importants en l'educació a distància, com són les tecnologies de la informació i les comunicacions i l'organització de l'entitat educativa (Jochems, et al., 2003). La incorporació de les tecnologies de la informació i les comunicacions en l'educació a distància ha provocat un canvi substancial en la manera de considerar aquest tipus d'educació, fins al punt que, en algunes ocasions, els processos educatius que es porten a terme en els entorns d'aprenentatge s'expliquen preferentment sota consideracions tecnològiques (Barberà, et al., 1999).

D'altra banda, tal i com es desprèn de la tercera definició, és important detectar i estudiar les diferents tipologies d'institució superior que opten per aquesta modalitat de formació.

A l'hora de fer una anàlisi de les institucions de formació superior a distància s'identifica una evolució que oscil·la des de les que s'originen seguint un model completament presencial, fins les que parteixen ja des dels inicis d'un model completament virtual. Lloret & Prieto (2003) analitzen i descriuen tres tipologies diferents:

- Entorn d'aprenentatge a distància tradicional o *Traditional Distance Learning*: institució de formació superior a distància que introdueix elements de formació virtual.
- Entorn d'aprenentatge semipresencial o *Blended Distance Learning*: institució de formació superior presencial que introdueix elements de virtualitat en la seva dinàmica educativa.
- Entorn d'aprenentatge a distància virtual o *Virtual Distance Learning*: institució

de formació superior virtual que realitza formació virtual.

En aquest treball de tesi, dels diferents escenaris possibles d'educació a distància, es prioritza la modalitat virtual, que a partir d'ara anomenarem *entorn d'aprenentatge a distància virtual*, tot i que es podria ometre el terme a distància, ja que tot aprenentatge virtual implica, en certa manera, a distància. En aquest tipus d'educació tots els processos acadèmics, així com administratius, es fan en un entorn d'aprenentatge virtual (Kaczmarczyk, 2001; Unesco, 2005). D'aquesta manera, els estudiants tenen màxima flexibilitat (Simonson, 2000), adaptant els seus estudis al seu propi ritme (Keegan et al., 1988).

Amb aquesta introducció es pot arribar a definir un entorn d'aprenentatge a distància virtual com una modalitat de l'educació a distància que fa un ús intensiu de la tecnologia i utilitza Internet com a sistema de comunicació asíncron, tant en el temps com en l'espai, prioritzant la interacció entre professor, estudiant i continguts.

A la Figura 1.1 es mostra on estaria ubicat l'entorn d'aprenentatge a distància virtual en les coordenades del temps i de l'espai.

1.2.2 Àmbit de coneixement

Un cop concretat l'entorn d'educació, és important conèixer la normativa universitària relativa a l'Ordenació dels Ensenyaments Universitaris Oficials de Grau en el marc de l'Espai Europeu d'Educació Superior i delimitar en quin àmbit de coneixement o estudis es realitzarà aquest treball de tesi.

Pel que fa a la normativa sobre l'Ordenació dels Ensenyaments Universitaris Oficials, el Reial Decret 1393/2007 del 29 d'octubre de 2007 - publicat en el Butlletí Oficial de l'Estat del 30 d'octubre de 2007, núm. 260 -, estableix l'existència de cinc branques de coneixement (BOE, 2007):



Figura 1.1: Tipologies d'educació depenent de la relació entre temps i espai.

- Arts i Humanitats
- Ciències
- Ciències de la Salut
- Ciències Socials i Jurídiques
- Enginyeria i Arquitectura

Respecte a la branca de coneixement, el treball de recerca d'aquesta tesi es centrarà exclusivament en l'àmbit de les enginyeries, també anomenat en anteriors normatives, l'àmbit tècnic. Aquest àmbit, en un sentit ampli i segons consta a la normativa anteriorment citada, està relacionat amb l'obtenció de productes, la construcció, les telecomunicacions i els sistemes de la informació. Els estudis més representatius d'aquest àmbit són els estudis d'*Arquitectura*, *Enginyeria de Camins, Canals i Ports*, *Enginyeria Industrial*, *Enginyeria en Informàtica*, *Enginyeria Forestal*, *Enginyeria Química* i *Enginyeria en Telecomunicació*. Donada la diversitat d'estudis tècnics que existeixen,

aquest treball de recerca es centrarà en concret en els estudis universitaris d'*Enginyeria en Informàtica*. Amb l'objectiu de mostrar les possibilitats de la proposta, també es tindrà en compte el *Màster de Cisco* de la Universitat Oberta de Catalunya.

Una característica comuna d'aquests programes tècnics de formació és la importància que té la realització d'activitats i exercicis pràctics en el procés d'aprenentatge, com, per exemple, la codificació d'un programa en un llenguatge de programació, la configuració de dispositius de comunicació o la instal·lació d'un programari específic.

1.2.3 Àrea d'estudi en el procés d'aprenentatge

Centrant-se en els estudis d'Enginyeria en Informàtica, és important destacar que el procés d'aprenentatge de qualsevol de les assignatures que formen part del programa educatiu incorpora la realització de diferents activitats que l'estudiant ha de realitzar durant l'avaluació continuada al llarg de curs. De manera molt simplificada, es poden distingir entre les que són de caire teòric i les que tenen un component més pràctic i que són específiques d'aquesta branca de coneixement.

Aquest treball de recerca es centrarà precisament en l'estudi de les activitats pràctiques. Segons el *Computer-Curricula* (2005) i una revisió realitzada per Tovar & Castro (2007), les activitats pràctiques de laboratori són una part essencial de qualsevol pla d'estudis de les Enginyeries en Informàtica i estan dissenyades per reforçar els conceptes de les classes de teoria. Les pràctiques de laboratori haurien d'incloure diferents activitats per tal de dissenyar i implementar solucions, provar i documentar aplicacions, sistemes, mecanismes i processos.

La Figura 1.2 mostra gràficament la intersecció entre les tres àrees descrites, que serà on es centrarà aquest treball de tesi.

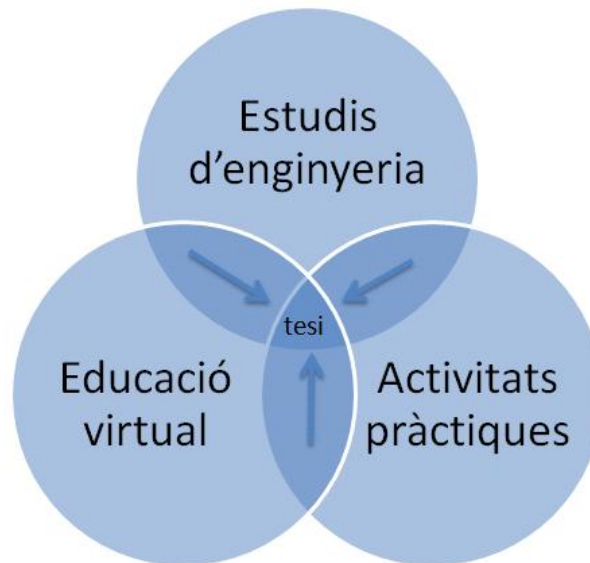


Figura 1.2: Àmbits de la tesi.

1.3 Objectius de recerca

El principal objectiu d'aquest treball de recerca és definir un model general de Laboratori Virtual, a partir d'una caracterització i una especificació formal, per realitzar les pràctiques de laboratori, en un entorn d'educació virtual, en els estudis d'Enginyeria en Informàtica. Aquest model ha de proporcionar els recursos necessaris, l'estructura i les recomanacions a tenir en compte per poder implementar els Laboratoris Virtuals.

Per tal d'assolir aquest objectiu més general es defineixen altres objectius més específics que es descriuen a continuació:

Objectiu 1. Estudiar i avaluar les diferents propostes de Laboratoris Virtuals que existeixen en l'actualitat. Prèviament a la definició del model, és necessari fer una revisió de la literatura per trobar els diferents recursos que apareixen en els Laboratoris Virtuals d'altres universitats, per tal de conèixer l'estructura que proposen.

Objectiu 2. Caracteritzar l'estructura integrada i general del Laboratoris Virtuals.

L'estructura de Laboratori Virtual ha de contenir tots els recursos que es considerin necessaris per poder realitzar correctament qualsevol tipus de pràctiques en les Enginyeries en Informàtica.

Objectiu 3. Analitzar les característiques de les diferents propostes que existeixen actualment, per descriure de manera formal el coneixement dels Laboratoris Virtuals. Aquest objectiu pretén cercar i escollir el millor sistema per representar el coneixement inherent als laboratoris. Aquest sistema ha de garantir l'acompliment dels estàndards més importants i ha d'oferir capacitat de raonament.

Objectiu 4. Especificar formalment els Laboratoris Virtuals dels estudis d'Enginyeria en Informàtica. Es tracta de descriure de manera formal, utilitzant un llenguatge semàntic i una metodologia concreta, totes les eines tecnològiques, pedagògiques i humanes del Laboratori Virtual.

Objectiu 5. Construir un motor d'inferència o sistema expert del model. Consisteix en definir un conjunt de regles de coneixement que permeti passar del domini d'entrada (informació de les competències de caire pràctic que ha d'assolir un estudiant per superar una determinada assignatura) al domini de sortida (informació del Laboratori Virtual necessària per realitzar les pràctiques en un entorn d'aprenentatge virtual).

Objectiu 6. Crear una aula de Laboratori Virtual real al servei dels professors i estudiants per realitzar pràctiques en els estudis d'Enginyeria en Informàtica. D'aquesta manera, es podrà enllaçar l'especificació formal dels laboratoris amb una plataforma d'aprenentatge real o *Learning Management System* (LMS), automatitzant la creació d'aules de Laboratoris Virtuals a partir de les competències associades a una assignatura. L'assoliment d'aquest objectiu permetrà, per altra banda, validar l'especificació realitzada dels Laboratoris Virtuals.

1.4 Estructura del treball de tesi

La memòria d'aquest treball de tesi s'estructura de la següent manera:

El Capítol 2 descriu el context que relaciona els Laboratoris Virtuals amb el seu entorn de formació. D'aquesta manera es podrà establir un mecanisme per crear Laboratoris Virtuals en un entorn real de formació.

Al Capítol 3 es realitza una revisió de l'estat de l'art dels Laboratoris Virtuals on es descriuen les seves tipologies i s'estudien diferents casos reals de Laboratoris Virtuals trobats a la literatura. També es mostren en detall dos casos d'estudi dels Laboratoris Virtuals més representatius de la Universitat Oberta de Catalunya (UOC): el Laboratori Virtual de Programació i el Laboratori Virtual de Xarxes.

El Capítol 4 presenta l'estructura general d'un Laboratori Virtual basada, per una banda, en l'experiència acumulada a la UOC des de l'any 1998 i, per altra banda, a partir de la literatura revisada sobre experiències similars en altres universitats.

El Capítol 5 mostra una especificació formal dels Laboratoris Virtuals mitjançant una representació semàntica a partir d'ontologies, que proporcionen un vocabulari de classes i relacions computable per un ordinador, posant l'accent en la compartició de coneixement i en un consens de la seva representació. D'aquesta manera es dona un significat explícit a la informació, permetent que les màquines puguin processar-la automàticament i compartir-la.

El Capítol 6 descriu el procés de creació dels Laboratoris Virtuals sobre una plataforma real d'aprenentatge a partir de l'especificació basada en ontologies. L'objectiu és dissenyar i implementar una eina que sigui capaç de crear, de manera guiada, Laboratoris Virtuals i que contingui tots els recursos tecnològics, pedagògics i humans per poder realitzar les activitats pràctiques necessàries per assolir les competències

requerides per una determinada assignatura d'Enginyeria en Informàtica.

El Capítol 7 presenta una síntesi d'aquesta tesi i les línies de recerca futures que queden obertes a partir d'aquest treball.

Finalment, l'Apèndix A descriu el corrector automàtic de programes com un dels recursos principals del Laboratori Virtual de Programació de la UOC, l'Apèndix B mostra un laboratori remot com un dels recursos principals del Laboratori Virtual de Xarxes, l'Apèndix C mostra el text OWL utilitzat en aquest treball de tesi per especificar el coneixement dels Laboratoris Virtuals i l'Apèndix D presenta, a mode d'exemple, les dades necessàries per instanciar un Laboratori Virtual de Programació.

Capítol 2

Context dels Laboratoris Virtuals

“Don't let school interfere with your education.”

Mark Twain

Qualsevol programa formatiu i en particular també el dels estudis d'Enginyeria en Informàtica, està estructurat a partir d'un conjunt d'assignatures que formen el pla d'estudis. Per superar-les, l'estudiant ha d'assolir una sèrie de competències definides i associades a cadascuna de les assignatures. Algunes d'aquestes competències són de caire pràctic i requereixen la realització d'una o més activitats de laboratori. En un entorn d'aprenentatge virtual, per poder desenvolupar aquestes pràctiques i assolir les competències associades, es requereixen nous espais de formació, anomenats Laboratoris Virtuals (VLab). Aquests Laboratoris Virtuals han de contenir tots els recursos necessaris, tant tecnològics, pedagògics com humans, perquè els estudiants puguin realitzar les activitats pràctiques de laboratori de manera adequada. La Figura 2.1 representa aquesta relació d'entitats de forma simplificada.

Abans d'exposar de forma exhaustiva l'estructura i el conjunt de recursos dels Laboratoris Virtuals, aquest capítol introdueix i descriu cadascuna de les entitats mostrades a la Figura 2.1 i que formen part del context que relaciona els Laboratoris Virtuals amb el seu entorn de formació. En primer lloc es presenten breument els estudis d'En-



Figura 2.1: Relació dels Laboratoris Virtuals i els estudis d'Enginyeria en Informàtica.

ginyeria en Informàtica i les *assignatures* que formen part del seu pla d'estudis. A continuació s'explica el concepte de *competències* relacionades amb el pla d'estudis i amb l'assignatura. Finalment es detallen les *activitats pràctiques de laboratori* que s'han de realitzar per assolir les competències enunciades anteriorment.

2.1 Enginyeria en Informàtica

Els estudis d'Enginyeria en Informàtica estan considerats com una branca de l'enginyeria que estudia el tractament de la informació mitjançant l'ús de màquines automàtiques o ordinadors. L'Enginyeria en Informàtica conté diversos camps de coneixement que inclouen principalment els fonaments teòrics, el disseny, la programació, els ordinadors, el tractament de la informació, els sistemes de comunicació i la gestió i direcció de projectes informàtics (ANECA, 2005). De manera resumida, els trets comuns dels plans d'estudis de les Enginyeries en Informàtica es poden agrupar en dues etapes que es descriuen a continuació.

Els primers anys de qualsevol Enginyeria en Informàtica es focalitzen en els fonaments matemàtics, la introducció a la programació i l'estructura bàsica d'un ordinador. Aquests continguts estan distribuïts en diverses assignatures del pla d'estudis.

- Respecte als fonaments matemàtics, s'inclouen continguts d'anàlisi matemàtica, àlgebra, lògica matemàtica i matemàtica discreta.

- Respecte als fonaments de la programació, es destaquen l'algorísmica, els tipus estructurats de dades i la codificació en algun llenguatge de programació.
- Respecte als fonaments de computadors, s'introdueixen els coneixements sobre l'estructura bàsica d'un ordinador, els circuits lògics, els sistemes d'entrada/sortida i el llenguatge ensamblador.

En els anys posteriors, el pla d'estudis de les Enginyeries en Informàtica permet l'especialització en diferents àrees de la informàtica segons perfils formatius i/o professionals. Aquests perfils varien molt d'una universitat a una altra i poden anar des dels netament teòrics fins a perfils relacionats amb les telecomunicacions, sistemes d'informació, bases de dades o d'enginyeria del programari. De totes maneres, els perfils més habituals que es troben en les Enginyeries en Informàtica són el de sistemes informàtics i el de desenvolupador d'aplicacions informàtiques.

- En el perfil de sistemes informàtics, s'inclouen continguts de sistemes operatius, xarxes de computadors, arquitectura d'ordinadors, seguretat i administració de sistemes informàtics.
- En el perfil de desenvolupador d'aplicacions informàtiques, es destaquen continguts d'estructures de la informació, base de dades, tècniques de programació i gestió de projectes.

En el pla d'estudi de les Enginyeries en Informàtica s'hi inclouen assignatures específiques de laboratori o activitats relacionades amb la realització de petits projectes "reals" que integren coneixements i desenvolupen habilitats de tipus metodològic i de gestió i execució de projectes. En la càrrega docent de l'enginyeria és obligatori, per llei, incloure també la realització d'un Projecte Final de Carrera.

Pel que fa a les tipologies d'Enginyeries en Informàtica, no existeix una regla general en quant al nombre de titulacions en el nivell de grau universitari, ni tampoc hi ha una homogeneïtat en la denominació de la mateixa. A nivell internacional, “*The Association for Computing Machinery*” (ACM) juntament amb l’“*Institute of Electrical and Electronics Engineers*” (IEEE) proposen 5 programes diferents en l'àmbit de les Enginyeries en Informàtica:

1. Enginyeria en Sistemes Informàtics (*Computer Engineering*): és un programa educatiu relacionat amb el disseny i la construcció d'ordinadors i sistemes informàtics. Consisteix en l'estudi del maquinari, programari, comunicacions i la interacció entre ells. El seu pla d'estudis se centra en la teoria, els principis i les pràctiques tradicionals de l'enginyeria electrònica i de les matemàtiques per aplicar-les als problemes de disseny dels ordinadors i altres dispositius digitals.
2. Enginyeria en Ciència de la Computació (*Computer Science*): inclou una àmplia gamma de continguts, des de les bases teòriques i algorítmiques fins a l'avantguarda de l'evolució de la robòtica, visió per ordinador, sistemes intel·ligents i bioinformàtica. Aquest programa desenvolupa formes eficaces de resoldre els problemes d'ordinadors, com per exemple, l'optimització d'emmagatzemar la informació en bases de dades, l'enviament de dades a través de xarxes i la visualització d'imatges complexes. La base teòrica que inclou aquest programa permet als estudiants determinar el millor acompliment possible dels requeriments i l'estudi d'algoritmes que es presenta els ajuda a desenvolupar nous enfocaments que proporcionen un millor rendiment.
3. Enginyeria en Sistemes d'Informació (*Information Systems*): és un programa centrat en la integració de solucions de tecnologia de la informació i processos de negoci per satisfer les necessitats d'informació de les empreses i permetre assolir els seus objectius de forma eficaç i eficient. Aquesta disciplina fa èmfasi en la

informació i la tecnologia com un instrument per a la generació, transformació i distribució d'informació.

4. Enginyeria en Tecnologia de la Informació (*Information Technology*): s'aplica sovint en el sentit més ampli, per referir-se a la totalitat de la computació. En el món acadèmic, en concret, es refereix als programes universitaris que preparen els estudiants per satisfer les necessitats de tecnologia de la computació en els àmbits de negocis empresarials, de govern, d'assistència sanitària, d'escoles i d'altres tipus d'organitzacions. És a dir, l'èmfasi es fa en la tecnologia per si mateixa, més que en la informació que transmet.
5. Enginyeria en Programari (*Software Engineering*): és un programa que intensifica la seva formació als estudiants en el desenvolupament i manteniment de programari. El programari té com a objectiu complir amb els requisits que els usuaris han definit i comportar-se de forma fiable i eficient.

Per altra banda, a nivell de l'estat espanyol, les titulacions universitàries oficials des de l'any 1990 són tres:

1. Enginyeria Tècnica en Informàtica de Gestió (ETIG)¹: és una especialitat d'informàtica dedicada a temes de gestió i dirigida a estudiants amb esperit analític, capacitat d'abstracció conceptual i mentalitat pràctica. Se centra en l'estudi dels conceptes tècnics i el coneixement de les eines pràctiques de totes les àrees de l'Enginyeria en Informàtica amb l'objectiu d'arribar a ocupar llocs tècnics i de gestió en empreses del sector informàtic. Els enginyers tècnics en informàtica de gestió s'especialitzen en sistemes d'informació orientats a la gestió de petites i mitjanes empreses, on desenvoluparan la seva tasca professional com a tècnics informàtics especialitzats en el món empresarial.

¹RD 1461/1990 de 26 d'octubre (BOE² del 20 de novembre).

2. Enginyeria Tècnica en Informàtica de Sistemes (ETIS)³: és la branca de la informàtica especialitzada en sistemes informàtics. L'enginyer tècnic en informàtica de sistemes és un expert en disseny de programes i aplicacions informàtiques, sistemes operatius i sistemes de transmissió de dades, que té una gran capacitat d'aprenentatge i adaptació donats els continus canvis a què està sotmès el sector informàtic. El pla d'estudis d'aquesta titulació desenvolupa amb major profunditat els aspectes de l'arquitectura d'ordinadors, fonaments físics i matemàtics de la informàtica, xarxes i llenguatges formals.
3. Enginyeria Informàtica (EI)⁴: és un programa que recull la formació dels dos perfils citats anteriorment, ETIS i ETIG, ampliant els coneixements en àrees d'arquitectura d'ordinadors, xarxes de computadors, intel·ligència artificial, compiladors i direcció i gestió de projectes informàtics.

En l'actualitat, en la definició de les noves titulacions segons les directrius de l'Espai Europeu d'Educació Superior (EEES) a partir de l'any 2008, el llibre blanc d'informàtica (ANECA, 2005) proposa que les tres titulacions esmentades passin a ser-ne una sola de Grau de 240 crèdits europeus (ECTS⁵).

Pel que fa al context en el que s'ha realitzat aquesta tesi, és rellevant destacar que el treball s'ha centrat en l'estudi dels Laboratoris Virtuals de les tres Enginyeries en Informàtica oficials a l'estat espanyol que s'imparteixen actualment a la Universitat Oberta de Catalunya: Enginyeria Tècnica en Informàtica de Gestió, Enginyeria Tècnica en Informàtica de Sistemes i Enginyeria en Informàtica. A més, s'ha dissenyat i preparat el sistema de creació de Laboratoris Virtuals perquè també sigui aplicable en el nou Grau d'Informàtica de la UOC segons l'EEES.

³RD 1460/1990 de 26 d'octubre (BOE del 20 de novembre).

⁴RD 1459/1990 de 26 d'octubre (BOE del 20 de novembre).

⁵European Credit Transfer System.

2.2 Assignatures

El plans d'estudis de les titulacions oficials actuals i, en concret, el pla d'estudi d'una titulació d'Enginyeria en Informàtica està estructurat a partir d'un conjunt d'assignatures, cadascuna de les quals té assignada un número de crèdits d'acord amb les hores totals que ha de dedicar l'estudiant i està directament relacionada amb una àrea de coneixement. L'assignatura és la unitat bàsica de formalització d'una matrícula per part de l'estudiant, a partir de la qual s'organitza tota la docència impartida per la universitat: definició dels diversos recursos docents, estructura de l'aula, assignació de professors, etc.

Les assignatures de la titulació d'Enginyeria en Informàtica poden ser de les següents tipologies:

- Troncals: assignatures definides com a obligatòries pel Ministeri d'Educació i comunes a totes les universitats.
- Obligatòries: assignatures definides com a obligatòries per la pròpia universitat.
- Optatives: assignatures relacionades amb la informàtica que no són obligatòries de realitzar. El creditatge assignat a aquestes assignatures és limitat i tendeixen a cobrir-se amb assignatures que reforcin un determinat perfil seleccionat.
- Lliure elecció: assignatures relacionades o no amb la informàtica i que serveixen per estudiar altres àmbits de la informàtica o per ampliar el currículum de l'estudiant amb àrees com ara l'economia, la psicologia o les competències comunicatives.

Per temes pràctics s'ha considerat que l'entitat "assignatura" serà el punt de partida d'aquest treball de tesi a l'hora de definir i crear els Laboratoris Virtuals. La

majoria d'universitats estan organitzades per departaments que tenen vinculades una sèrie d'assignatures que han d'impartir amb un conjunt de professors que tenen assignats. Per tant, serà el professor responsable d'una assignatura l'encarregat de dissenyar i crear el Laboratori Virtual associat.

2.3 Competències

A partir de la definició dels nous Graus oficials segons l'EEES les competències que ha d'assolir un estudiant per superar una assignatura, matèria o grau han esdevingut de gran importància i han fet canviar la manera com es defineixen les diferents assignatures que formen el Grau. La docència és el resultat de la planificació de l'activitat de l'estudiant i s'ha d'entendre com a estratègia dissenyada per tal que l'estudiant adquireixi unes competències determinades, enteses com el conjunt de capacitats que una persona posa en pràctica en el desenvolupament de la seva activitat professional i acadèmica, de manera eficient, autònoma i flexible (Guia-Competències-UOC, 2007).

Definicions similars a aquesta es troben en l'informe final de la *fase I del projecte Tuning Educational Structures in Europe* (Tuning, 2003) on es defineix el concepte de competència com el conjunt de coneixements, habilitats, actituds i responsabilitats que descriuen els resultats de l'aprenentatge d'un programa educatiu i, per altra banda, com els estudiants són capaços de demostrar-les al finalitzar el procés educatiu. Per tant, una competència indica el domini real d'una tasca o coneixement assolit per mitjà d'un procés. El resultat d'aquest procés s'expressa com a capacitat assolida per realitzar una activitat concreta. Això comporta un procés d'aprenentatge centrat més en les activitats, de tipus teòric i pràctic i no tant en continguts.

Existeixen diferents propostes per classificar les competències a partir de l'entrada en vigor dels nous plans d'estudis segons l'EEES (Tuning, 2003; Guia-Competències-UOC, 2007; ANECA, 2005; Sánchez, et al., 2007). Donat que l'eina proposada en

aquesta tesi es vol integrar en el nou Grau d'Informàtica de la UOC, dissenyat d'acord amb les directrius de l'EEES, aquest treball de recerca farà servir la següent classificació, definida per la UOC:

- Competències transversals: són competències que es relacionen tant amb les actituds i els valors com amb els procediments. Una competència transversal pot ser compartida per diferents titulacions i diferents àrees de coneixement, encara que es concretin de manera diferent en cada titulació. Dins de les competències transversal es poden distingir:
 - Competències transversals de la universitat: són comunes a totes les titulacions de la mateixa universitat, com pot ser la UOC.
 - Competències transversals de la facultat o estudis: són comunes a totes les titulacions de la mateixa facultat o estudis, com poden ser els Estudis d'Informàtica, Multimèdia i Telecomunicació de la UOC.
 - Competències transversals de la titulació: són les pròpies de la titulació, com pot ser el nou Grau d'Informàtica de la UOC segons l'EEES.

Les competències transversals més habituals en les diferents titulacions de l'Enginyeria en Informàtica són:

- La capacitat d'estructurar informació
- La capacitat de treball en equip
- La capacitat de presa de decisions
- La capacitat d'anàlisi i de síntesi
- La capacitat del domini d'una llengua estrangera

Cadascuna d'aquestes competències es concreta de forma diferent en cada assignatura vinculada a una titulació o a àrees de coneixement.

- Competències específiques: són competències relacionades amb els coneixements i les habilitats pròpies de cada titulació. No són transferibles fora de l'àmbit professional vinculat a l'àrea del coneixement. Les competències específiques es poden dividir en:
 - Competències específiques de la facultat o estudis: són les compartides per totes les titulacions de la mateixa facultat o estudis.
 - Competències específiques de la titulació: són les pròpies de cada titulació.
 - Competències específiques definides a nivell d'assignatura: són les vinculades a les metodologies pròpies usades a cada assignatura.

Segons la guia general elaborada per la UOC per dur a terme les proves pilot d'adaptació a l'EEES de les titulacions tant de Grau com de Màster (Guia-Competències-UOC, 2007), les competències específiques de la titulació estan relacionades de manera més directa amb el domini dels conceptes, les teories o les habilitats desitjables en un investigador o en un professional i, segons el cas, poden ser de caràcter més acadèmic o més aviat professionalitzador.

Dins les competències específiques de les titulacions oficials es poden diferenciar dos àmbits:

- Àmbit acadèmic, que inclou tant el corpus de coneixements, conceptes i teories propis com també les habilitats cognitives necessàries per gestionar-los (pensament analític, habilitats d'indagació, etc.).
- Àmbit professional, que inclou tant els coneixements relatius a les tècniques, metodologies, procediments de treball o saber fer com també les habilitats cognitives pròpies del professional reflexiu (resolució de problemes, presa de decisions, raonament inductiu, creativitat, etc.).

Per altra banda, és important definir el nivell d'assoliment, o grau de domini, d'una competència. Aquest barem indica quin grau de coneixement i d'expertesa és capaç de posar en pràctica un estudiant. Per tant, una mateixa competència pot tenir diferents nivells d'assoliment depenent de l'assignatura on estigui assignada. Amb aquesta informació sobre una competència, es disposa de criteris per determinar aquells elements concrets de l'assignatura (activitats, recursos, objectius, etc.) que contribueixen a la seva adquisició.

2.3.1 Competències del Grau d'Informàtica

Les competències que s'han definit en la sol·licitud lliurada al Ministeri per al nou Grau d'Informàtica de la UOC són les següents:

- Competències transversals UOC:
 - C1. Capacitat de comunicació escrita en l'àmbit acadèmic i professional.
 - C2. Competències en Tecnologies de la Informació i la Comunicació (TIC).
 - C3. Tercer/segon idioma.
- Competències transversals als Estudis d'Informàtica, Multimèdia i Telecomunicació:
 - C4. Capacitat per adaptar-se a les tecnologies i als futurs entorns, actualitzant les competències professionals.
 - C5. Capacitat per innovar i generar noves idees.
- Competències específiques comuns dels Estudis d'Informàtica, Multimèdia i Telecomunicació:
 - C6. Saber planificar i gestionar projectes en l'entorn de les TIC.

- C7. Conèixer els principis de l'administració d'organitzacions i el paper que juguen les TIC en les mateixes.
 - C8. Saber avaluar solucions tecnològiques i elaborar propostes de projectes tenint en compte els recursos, les alternatives disponibles i les condicions de mercat.
 - C9. Conèixer els aspectes legals de l'entorn de les TIC i comprendre la responsabilitat ètica vinculada a l'activitat professional.
 - C10. Disposar dels fonaments matemàtics, estadístics i físics necessaris per comprendre els sistemes TIC.
 - C11. Ser capaç d'analitzar un problema en el nivell d'abstracció adequat a cada situació i aplicar les habilitats i coneixements adquirits per abordar-lo i resoldre'l.
- Competències específiques del Grau:
 - C12. Conèixer l'estructura i els principis de funcionament d'un ordinador.
 - C13. Conèixer l'arquitectura i organització dels sistemes i aplicacions informàtics en xarxa.
 - C14. Conèixer les tecnologies de comunicacions actuals i emergents i saber-les aplicar convenientment per dissenyar i desenvolupar solucions basades en sistemes i tecnologies de la informació.
 - C15. Saber administrar i gestionar els sistemes operatius i les comunicacions d'una xarxa d'ordinadors.
 - C16. Saber construir aplicacions informàtiques mitjançant tècniques de desenvolupament, integració i reutilització.
 - C17. Saber aplicar les tècniques específiques d'enginyeria del programari a les diferents etapes del cicle de vida d'un projecte.

C18. Saber aplicar les tècniques específiques de tractament, emmagatzement i administració de dades.

C19. Saber proposar i avaluar diferents alternatives tecnològiques per resoldre un problema concret.

Aquest treball de tesi se centrarà exclusivament en les competències definides a nivell d'assignatura que, com s'ha comentat anteriorment, és el punt de partida per crear Laboratoris Virtuals. Aquestes competències definides a nivell assignatura poden ser tant transversals com específiques i, per altra banda, poden ser pròpies de la universitat, dels estudis, de la titulació o de la mateixa assignatura.

2.4 Activitats pràctiques de laboratori

Per assolir les competències de caire pràctic d'una assignatura és necessari la realització d'una o més activitats pràctiques de laboratori. D'acord amb el Computer-Curricula (2005) i amb Domingo-Ferrer (2003), les activitats pràctiques de laboratori són una part essencial de qualsevol pla d'estudis d'Enginyeria en Informàtica i tenen com objectiu reforçar els conceptes i continguts de caire teòric de l'assignatura. Les activitats pràctiques de laboratori són aquells exercicis, activitats o proves que requereixen l'ús d'un instrument o d'un dispositiu per configurar o desenvolupar certes sortides a partir d'un enunciat i d'aquesta manera poder assolir una o més competències. Els laboratoris poden incloure tot tipus d'activitats pràctiques, des del disseny i implementació de solucions fins a les proves i documentació de diferents aplicacions, sistemes, dispositius i processos (Vallim, et al., 2006).

Una possible classificació de les diverses pràctiques de laboratori que es tracten en les Enginyeries en Informàtica és la següent:

1. Pràctiques de Programació

2. Pràctiques de Sistemes Operatius
3. Pràctiques de Base de Dades
4. Pràctiques de Xarxes de Comunicacions
5. Pràctiques de Matemàtiques i Física
6. Pràctiques d'Estructura i Arquitectura d'Ordinadors
7. Pràctiques d'Enginyeria del Programari
8. Pràctiques de Projectes Informàtics
9. Pràctiques d'Informàtica Teòrica

Aquesta classificació ha tingut en compte les directrius tant d'organismes internacionals com ara l' *"IEEE Computer Society"* i l' *"ACM"* (Computing-Science-Curricula, 2001; Computer-Engineering-Curricula, 2004; Computer-Curricula, 2005), com també les recomanacions de les universitats espanyoles d'informàtica a través del llibre blanc publicat per l'ANECA (2005).

A continuació es descriuen breument aquestes tipologies així com la seva relació amb les competències específiques de Grau citades anteriorment.

1. Pràctiques de Programació: són les més freqüents en les Enginyeries en Informàtica i consisteixen en dissenyar i implementar programes a partir d'un llenguatge de programació. A més, els estudiants poden desenvolupar aplicacions més complexes partint de la realització d'un o diversos programes. Aquestes activitats de laboratori inclouen tots els processos d'instal·lació i de configuració previs a la pròpia utilització de les aplicacions. Entre aquest tipus de pràctiques també es troben aquelles que es desenvolupen a partir de programes integrats, com per exemple: servidors web o portals, anàlisi i disseny d'aplicacions, eines de

gestió de projectes, eines de gestió de les relacions amb el client (CRM) i sistemes de planificació de recursos empresarials (ERP). Les competències específiques relacionades amb aquesta tipologia de pràctiques són:

- (C11) Ser capaç d'analitzar un problema en el nivell d'abstracció adequat a cada situació i aplicar les habilitats i coneixements adquirits per abordar-lo i resoldre'l.
- (C16) Saber construir aplicacions informàtiques mitjançant tècniques de desenvolupament, integració i reutilització.
- (C17) Saber aplicar les tècniques específiques d'enginyeria del programari a les diferents etapes del cicle de vida d'un projecte.
- (C19) Saber proposar i avaluar diferents alternatives tecnològiques per resoldre un problema concret.

2. Pràctiques de Sistemes Operatius: dins d'aquesta tipologia de pràctiques, existeixen dos grups diferenciats. Un primer on s'ha d'utilitzar l'interpret de comandes del sistema operatiu i un segon on s'han de dissenyar i implementar mòduls o llibreries del propi nucli del sistema operatiu, entre els que podem destacar: planificació del processador, comunicació i sincronització entre processos, gestió de memòria, gestió del sistema de fitxers i configuració dels dispositius d'entrada i sortida. Inclouen tots els processos d'instal·lació i de configuració previs a la realització de la pràctica. Les competències específiques relacionades amb aquesta tipologia de pràctiques són:

- C11 i C19, descrites anteriorment.
- (C13) Conèixer l'arquitectura i organització dels sistemes i aplicacions informàtics en xarxa.
- (C15) Saber administrar i gestionar els sistemes operatius i les comunicacions d'una xarxa d'ordinadors.

3. Pràctiques de Base de Dades: en aquesta àrea s'ha de dissenyar la base de dades d'una aplicació i utilitzar un sistema gestor de base de dades on implementar-la. Es poden destacar les següents pràctiques: modelització conceptual orientada a l'objecte, disseny de base de dades relacionals, *eXtensible Markup Language* (XML) i l'accés a sistemes de base de dades orientat a la web. Les competències específiques relacionades amb aquesta tipologia de pràctiques són:

- C11 i C19, presentades anteriorment.
- (C18) Saber aplicar les tècniques específiques de tractament, emmagatzement i administració de dades.

4. Pràctiques de Xarxes de Comunicació: consisteixen en programar dispositius de comunicacions. Dins d'aquest tipus també s'inclou la programació de protocols de comunicacions que fan possible les comunicacions entre els ordinadors. Les pràctiques de configuració de dispositius de comunicació engloben la configuració i la parametrització d'encaminadors, commutadors, tallafocs i altres dispositius de comunicacions. També fan referència a la instal·lació i la configuració del maquinari que volem utilitzar, com per exemple mòdems i targetes de xarxa. És una tipologia de pràctiques on es requereix una atenció especial donada la gran diversitat de maquinari que existeix. Les competències específiques relacionades amb aquesta tipologia de pràctiques són:

- C11, C13, C15 i C19, descrites anteriorment.
- (C14) Conèixer les tecnologies de comunicacions actuals i emergents i saber-les aplicar convenientment per dissenyar i desenvolupar solucions basades en sistemes i tecnologies de la informació.

5. Pràctiques de Matemàtiques i Física: en aquesta categoria es troben totes aquelles pràctiques que requereixen d'ordinadors i/o de dispositius per assolir els coneixements d'aquesta àrea. Com per exemple: pràctiques d'estadística amb un

programari especialitzat, l'ús d'eines de càlcul simbòlic per a continguts de matemàtiques o l'accés a dispositius electrònics per fer les pràctiques de física. Les competències específiques relacionades amb aquesta tipologia de pràctiques són:

- C11 i C19, descrites anteriorment.
- (C10) Disposar dels fonaments matemàtics, estadístics i físics necessaris per comprendre els sistemes TIC.

6. Pràctiques d'Estructura i Arquitectura d'Ordinadors: existeixen diferents tipologies de pràctiques en aquest apartat. Algunes d'aquestes pràctiques tenen com a objectiu facilitar l'aprenentatge dels conceptes bàsics de l'estructura d'ordinadors a partir de l'ús d'algun simulador de màquina senzilla. Altres pràctiques estan relacionades amb la programació de perifèrics. També estan dintre d'aquest apartat les pràctiques que es realitzen en llenguatge ensamblador. Les competències específiques relacionades amb aquesta tipologia de pràctiques són:

- C11, C13 i C19, mostrades anteriorment.
- (C12) Conèixer l'estructura i els principis de funcionament d'un ordinador.

7. Pràctiques d'Enginyeria del Programari: consisteixen bàsicament en pràctiques que requereixen l'ús d'eines per fer dissenys o diagrames per poder representar models. En l'àrea d'enginyeria del programari també es requereix saber programar sobre algun llenguatge de programació i instal·lar servidors d'aplicacions. Les competències específiques relacionades amb aquesta tipologia de pràctiques són:

- C11, C16, C17 i C19, descrites anteriorment.

8. Pràctiques de Projectes Informàtics: consisteixen en formalitzar i elaborar un informe de qualificació d'un projecte informàtic que permetrà informatitzar un

sistema d'informació. Les competències específiques relacionades amb aquesta tipologia de pràctiques són:

- C11 i C19, mostrades anteriorment.
- (C6) Saber planificar i gestionar projectes en l'entorn de les TIC.

9. Pràctiques d'Informàtica Teòrica: es defineixen expressions regulars i gramàtiques per un llenguatge donat. També s'escriuen programes que simulen el comportament d'un determinat model de càlcul (autòmat finit, autòmat amb pila, màquina de Turing, etc.). Altres pràctiques estan relacionades amb analitzadors lèxics i sintàctics que reconeguin un determinat llenguatge o amb pràctiques que realitzen comprovacions semàntiques (variables no declarades, concordança de tipus, etc.). Les competències específiques relacionades amb aquesta tipologia de pràctiques són:

- C11 i C19, descrites anteriorment.

En aquesta relació de pràctiques proposades, es pot veure que totes les competències específiques del Grau d'Informàtica i algunes pròpies dels Estudis d'Informàtica, Multimèdia i Telecomunicació, enumerades a l'Apartat 2.3.1, es troben representades.

A més de les tasques específiques de cada tipologia de pràctiques, es poden trobar un conjunt de tasques que normalment són comunes a totes elles que són les següents:

- Instal·lació i configuració prèvia del programari: inclouen tots els processos d'instal·lació i de configuració previs a la pròpia realització de la pràctica de laboratori.
- Instal·lació i configuració prèvia del maquinari: fan referència a la instal·lació i la configuració del maquinari que es farà servir en la pràctica, com per exemple la configuració de mòdems i de targetes de xarxa.

- Redacció i presentació de la pràctica: requereixen d'eines ofimàtiques per redactar i fer les presentacions que demanen les pràctiques de laboratori.

En aquest treball de tesi s'han fet dos estudis específics sobre dues tipologies de pràctiques diferents que són molt representatives en les Enginyeries en Informàtica, tant pel volum de pràctiques que es realitzen en l'àrea com també per la seva complexitat per realitzar-les en entorn un virtual. Aquestes tipologies són les Pràctiques de Programació i les Pràctiques de Xarxes de Comunicació, que són detallades i avaluades al Capítol 3 d'aquesta tesi.

2.5 Resum

En aquest capítol es descriu les entitats que relacionen els Laboratoris Virtuals amb el seu entorn de formació. Aquestes entitats són *Enginyeria en Informàtica*, *assignatures*, *competències* i *activitats pràctiques de laboratori* i formen part del que s'anomena el context del Laboratori Virtual. La caracterització i l'especificació d'aquest context és estrictament necessària per poder automatitzar la creació d'un Laboratori Virtual en un entorn real d'aprenentatge.

Capítol 3

Estat de l'art dels Laboratoris Virtuals

“All men by nature desire knowledge.”

Aristotle

En aquest capítol es presenta una revisió del terme Laboratori Virtual i l'estat de l'art de la literatura que tracta els Laboratoris Virtuals. A més de l'exhaustiva revisió bibliogràfica, també s'inclou en aquest capítol l'estudi de dos casos d'ús dels Laboratoris Virtuals més representatius de la UOC: el Laboratori Virtual de Programació i el Laboratori Virtual de Xarxes. En capítols posteriors es presenta la revisió de la literatura respecte els sistemes de representació del coneixement, els raonadors i els diferents entorns d'aprenentatge.

3.1 Laboratori Virtual

El terme Laboratori Virtual (VLab) ha estat definit de diferents maneres en la literatura. Chiu (1999) adopta una visió simple d'un Laboratori Virtual com una màquina local al servei de l'estudiant sense cap altra característica. En la mateixa línia, Harms (2000) i Leitner & Cane (2005) inclouen en el Laboratori Virtual eines tecnològiques

amb capacitats de simulació, o altres autors consideren els Laboratoris Virtuals com una extensió d'un laboratori amb accés remot (Shen, et al., 1999; Deniz, et al., 2003; Corter, et al., 2004).

Una definició molt més acurada és explicitada per Noor & Wasfy (2001), que defineixen els Laboratoris Virtuals com a laboratoris que tenen en compte no només les simulacions i els ordinadors que els suporten, sinó totes les eines tecnològiques necessàries per crear un entorn virtual altament interactiu adaptat a les necessitats dels estudiants i professors.

Finalment, només alguns autors com Levert & Pierre (2003) i Remigiusz J. Rak (2006) introdueixen altres factors importants per a la concreció d'un Laboratori Virtual. Aquests factors estan relacionats amb la metodologia i pedagogia aplicada i amb el tipus de professorat, o factor humà, que ha de donar suport al laboratori.

Aquesta tesi té en compte totes aquestes consideracions anteriors i defineix un Laboratori Virtual com un espai virtual interactiu que incorpora tots els recursos tecnològics, pedagògics i humans per realitzar les activitats pràctiques de laboratori que està adaptat a les necessitats dels estudiants i professors i que es desenvolupa en un entorn d'aprenentatge a distància.

3.2 Tipologies dels Laboratoris Virtuals

A la literatura es poden trobar diferents Laboratoris Virtuals orientats a diferents finalitats. Els més importants en l'Enginyeria Tècnica en Informàtica de Sistemes, en l'Enginyeria Tècnica en Informàtica de Gestió i en l'Enginyeria en Informàtica són els següents:

1. Laboratori Virtual de Programació o *Virtual Programming Laboratory* (VPLab)

2. Laboratori Virtual de Sistemes Operatius o *Virtual Operating System Laboratory* (VOSLab)
3. Laboratori Virtual de Base de Dades o *Virtual Database Laboratory* (VDBLab)
4. Laboratori Virtual de Xarxes o *Virtual Networking Laboratory* (VNLab)
5. Laboratori Virtual d'Estructura i Arquitectura d'Ordinadors o *Virtual Computing Architecture and Organization Laboratory* (VCAOLab)
6. Laboratori Virtual de Matemàtiques o *Virtual Mathematic Laboratory* (VMath-Lab)

S'observa que només han quedat sense assignar, a un determinat tipus de Laboratori Virtuals, tres, de les nou, tipologies de practiques descrites al Capítol 2.

A continuació es presenta una revisió de la literatura per cada una d'aquestes tipologies de Laboratoris Virtuals així com també casos reals d'aquests laboratoris. L'objectiu és descriure les característiques de cada tipologia de Laboratori Virtual per tal d'identificar-ne els recursos que cada autor incorpora en la seva estructura particular de Laboratori Virtual, així com la relació que s'estableix entre els recursos utilitzats.

3.2.1 Laboratori Virtual de Programació

L'aprenentatge de les assignatures de programació en les Enginyeries en Informàtica es basa, fonamentalment, en la realització per part dels estudiants de múltiples exercicis pràctics de programació de dificultat progressiva a través dels quals l'estudiant adquireix i consolida els seus coneixements de programació en diferents llenguatges.

Els Laboratoris Virtuals de Programació o *Virtual Programming Laboratories* (VPLab) s'utilitzen per desenvolupar aquests exercicis de programació i altres tipus d'activitats relacionades amb el desenvolupament d'aplicacions.

A continuació es presenten les principals característiques de tres estructures molt complertes de VPLab trobades a la literatura:

- Molstad (2001) de la *Dakota State University*, ofereix cursos de programació a través d'ensenyament a distància basat en Internet per a aquells estudiants que no poden assistir a classe en el format tradicional presencial. La universitat té un espai web amb documents de suport per a l'aprenentatge de la programació. Alguns exemples d'aquests documents són: manuals del llenguatge de programació, exemples d'exercicis de programació en format presentació *PowerPoint*, FAQ¹, apunts de classe i vídeo. La pàgina principal dóna informació sobre els exercicis que han realitzat els estudiants durant aquella setmana. El curs també proporciona una eina de correcció automàtica per exercicis tipus test. Els estudiants realitzen un seguiment continuat del seu procés d'aprenentatge a través del registre de notes en línia. Aquest sistema utilitza l'eina de correu electrònic tradicional com a mecanisme de comunicació entre estudiants i professors.
- Meisalo V. (2002) de la *Virtual University of Finland*, descriu un curs de programació en *Java* que utilitza *WebCT*² com a plataforma tecnològica per comunicar estudiants i professors. Els estudiants tenen accés a un simulador, desenvolupat en *Jeliot*³ i *Flash* per veure el seguiment de l'execució d'un programa fet en *Java*. Els autors comenten detalls sobre el rol que ha de tenir un professor en uns estudis virtuals ("Professor Virtual"). Aquest professor és qui ajuda als estudiants a superar els primers dubtes i problemes al començament dels seus estudis. Els estudiants tenen al seu abast material web i diversos exemples com a documents de suport a l'aprenentatge.
- Cheung (2006) de la *Hong Kong Polytechnic University*, presenta un entorn d'aprenentatge basat en la web per aprendre programació orientada a l'objecte,

¹*Frequently Asked Questions* o Preguntes Més Freqüents.

²<http://www.webct.com/>

³<http://cs.joensuu.fi/jeliot/>

anomenat *WEBLOOP*. *WEBLOOP* integra un entorn virtual de comunicació per facilitar la interacció i comunicació entre els estudiants i el professor mitjançant una sèrie de fòrums. Aquest sistema incorpora materials en format web, apunts de classe de *Java* i un conjunt d'exercicis de *Java*. La metodologia que apliquen està centrada en l'estudiant i utilitza el model d'aprenentatge basat en la resolució de problemes.

3.2.2 Laboratori Virtual de Sistemes Operatius

Els Laboratoris Virtuals de Sistemes Operatius o *Virtual Operating System Laboratories* (VOSLab) són necessaris perquè l'estudiant assoleixi les competències relacionades amb les activitats pràctiques de les assignatures de sistemes operatius. Aquests exercicis consisteixen en utilitzar l'interpret de comandes del sistema operatiu o fer servir algun mòdul o llibreria del nucli del sistema operatiu.

A continuació es mostren els detalls de tres VOSLab que es fan servir en diferents universitats:

- *The State University of New Jersey*⁴ proposa un VOSLab que permet als estudiants d'Enginyeria en Informàtica experimentar amb diferents aspectes del sistema operatiu en un entorn segur. El VOSLab es fonamenta en un laboratori remot on els estudiants poden desenvolupar les pràctiques de les assignatures de sistemes operatius. El VOSLab consisteix en un portal web que facilita l'accés remot a una xarxa privada que conté diversos ordinadors que operen amb *Debian Linux 3.0*. Una vegada l'estudiant s'autentifica en el VOSLab, aquest li assigna una màquina perquè pugui desenvolupar, testejar i depurar sobre un nucli real del sistema operatiu *GNU/Linux*.
- Maia & Jr. (2003) de la *Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro*, descriuen

⁴<http://www.cs.rutgers.edu/resources/systems/voslab/>

un simulador d'un sistema operatiu (*SOsim*) per reforçar les classes de sistemes operatius al departament d'informàtica. El *SOsim* és accessible a través d'Internet a partir d'una simple interfície visual. Els autors proposen una pedagogia específica i un professor especialitzat per millorar l'aprenentatge de conceptes de sistemes operatius a partir del simulador. El VOSLab també incorpora material en format de presentació, activitats pràctiques i el correu electrònic com a sistema de comunicació entre estudiants i professor.

- Wulff & Braun (2007) de la *University of Bern*, descriuen l' *OSLab*⁵ com un laboratori interactiu de sistemes operatius en el *Swiss Virtual Campus*⁶. A partir de l'autenticació de l'estudiant en el campus virtual, l'estudiant accedeix remotament a un ordinador per fer les pràctiques de sistemes operatius. El curs està dividit en diferents mòduls que utilitzen *WebCT*, que incorpora material teòric, una bateria d'exercicis i un sistema automàtic de correcció de certes activitats pràctiques. L'*OSLab* també proporciona eines per al professor que l'ajuden a l'avaluació i al seguiment de l'estudiant en un entorn segur. La metodologia que s'aplica consisteix en l'aprenentatge orientat a la realització de problemes de dificultat progressiva. L'*OSLab* proporciona un fòrum de discussió que permet als estudiants intercanviar coneixement i obtenir suport dels altres estudiants o del professor.

3.2.3 Laboratori Virtual de Base de Dades

Els Laboratoris Virtuals de Base de Dades o *Virtual Database Laboratories* (VDBLab) permeten als estudiants realitzar pràctiques per dissenyar base de dades, practicar amb el sistema gestor de base de dades i utilitzar un llenguatge de consultes de la base de dades.

⁵<http://www.oslab.ch/>

⁶<http://www.virtualcampus.ch/>

A continuació es presenta l'experiència de tres universitats que tenen un VDBLab implementat:

- Becking & Schlageter (2002) de la *FernUniversität in Hagen*, descriuen un laboratori de base dades en un entorn d'aprenentatge a distància. Aquest VDBLab proveeix de les funcionalitats necessàries per realitzar les pràctiques de la primera assignatura de base dades de l'Enginyeria en Informàtica. Aquestes pràctiques fan servir l'*Oracle*⁷ com programari específic de base de dades i l'*iSQL Plus* com eina per visualitzar-la a través d'un navegador d'Internet. El VDBLab proporciona un entorn de col·laboració anomenat *BSCW*⁸ que permet la comunicació virtual i la compartició de documents entre estudiants i professors.
- Hardaway, et al. (2005) de la *Saint Louis University*, mostren un ordinador accessible remotament els set dies de la setmana i les vint-i-quatre hores al dia on els estudiant tenen accés total al servidor per fer pràctiques de base de dades amb privilegis d'administrador. L'ordinador utilitza el *GNU/Linux* com a sistema operatiu i el *MySQL* com a gestor de base de dades. Aquest servidor està hostejat en una empresa especialitzada que gestiona l'accés dels estudiants a partir d'una màquina virtual basada en el *VMware*⁹.
- Dietrich, et al. (2008) de l'*Arizona State University*, presenten un laboratori virtual per una assignatura avançada de base de dades. Aquest laboratori està basat en una interfície web anomenada *MetaWebDB*, que utilitza *Java*, *JDBC*¹⁰, *Java Servlets* com a tecnologia web. Els estudiants realitzen les pràctiques amb el llenguatge de programació *Java* fent servir *JDBC* per fer les consultes a la base de dades de manera remota. Aquest curs de base de dades fa una especial

⁷<http://www.oracle.com/database/>

⁸<http://public.bscw.de/>

⁹<http://www.vmware.com/>

¹⁰Java Database Connectivity.

atenció en els mecanismes d'avaluació i en les tècniques pedagògiques que s'han d'aplicar en aquesta tipologia de pràctiques.

3.2.4 Laboratori Virtual de Xarxes

Els Laboratoris Virtuals de Xarxes o *Virtual Networking Laboratories* (VNLab) estan dissenyats per donar resposta a la realització de pràctiques de xarxes de comunicacions. Aquestes pràctiques consisteixen en dissenyar i programar dispositius de xarxes com ara tallafocs (*firewall*), passarel·les (*gateways*), encaminadors (*routers*), commutadors (*switches*) o repetidors (*repeaters*), programar protocols de xarxes de comunicació i configurar ordinadors perquè puguin treballar en xarxa. Per altra banda, també s'inclou la implementació de programari específic per a la gestió de les comunicació entre dispositius (Computer-Engineering-Curricula, 2004).

A continuació es presenten les principals característiques de tres exemples de VNLab trobats a la literatura:

- Liu, et al. (2001) de la *West Texas A&M University*, presenten un VNLab per accedir a dispositius de xarxes (encaminadors, commutadors i passarel·les) perquè els estudiants puguin realitzar pràctiques de xarxes de manera remota. El Laboratori Virtual presentat incorpora gestió segura d'usuaris i gestió de sessions de pràctiques. En el laboratori també es faciliten un conjunt d'activitats pràctiques de xarxes especialment dissenyades per fer-les amb el suport del laboratori.
- Kneale, et al. (2004) de la *University of Western Sydney*, presenten el *VELNET* com un entorn virtual per l'aprenentatge de xarxes de comunicacions que permet als estudiants accedir a fer pràctiques sobre un sistema operatiu a través d'una màquina virtual utilitzant el programari comercial de *VMware*. El *VELNET* permet que els estudiants puguin tenir diferents topologies de xarxes virtuals en

el mateix ordinador. Els estudiants poden accedir al *VELNET* des de qualsevol ordinador amb connexió a Internet utilitzant el programari d'accés a l'escriptori remot.

- Lawson & Stackpole (2006) de la *Rochester Institute of Technology de New York*, proposen un VNLab que va sorgir per la necessitat de reduir els costos associats a desenvolupament de pràctiques de xarxes i d'administració de sistemes en un entorn presencial. El VNLab es compon d'un entorn virtual de comunicació basat en *FirstClass*¹¹, on hi ha un repositori d'activitats pràctiques que l'estudiant ha de lliurar de manera planificada durant el curs. A nivell tecnològic, el VNLab es basa en l'accés a un ordinador remot, ubicat en una xarxa aïllada i segura, on els estudiants accedeixen a partir del protocol RDP (*Remote Desktop Protocol*) amb privilegis d'administrador. El programari de virtualització utilitzat és el *VMware Workstation*. El VNLab també conté un espai especial per visualitzar les preguntes i respostes més freqüents (FAQ) relacionades amb les pràctiques.

3.2.5 Laboratori Virtual d'Estructura i Arquitectura d'Ordinadors

Els Laboratoris Virtuals d'Estructura i Arquitectura d'Ordinadors o *Virtual Computing Architecture and Organization Laboratories* (VCAOLab) proveeixen als estudiants d'un entorn d'aprenentatge virtual per fer les pràctiques de laboratori de l'àrea d'arquitectura i estructura d'ordinadors. Les pràctiques més habituals consisteixen en dissenyar i construir dispositius i circuits electrònics, conèixer el funcionament dels microprocessadors o aprendre el funcionament i la relació entre les diferents unitats d'un ordinador (la unitat central de procés, la unitat d'entrada i sortida i la unitat de control).

Diferents propostes es poden trobar en la literatura sobre els VCAOLab i la majoria aporten un simulador com a peça central de l'aprenentatge. Wolffe, et al. (2002) fan

¹¹<http://www.firstclass.com/>

un exhaustiva revisió dels simuladors més utilitzats en l'aprenentatge d'arquitectura d'ordinadors. Un dels simuladors més utilitzats és *DLX* (Grunbacher, 1998) dissenyat per *John Hennessy* i *David A. Patterson* (els principals dissenyadors de l'arquitectura MIPS¹² i RISC¹³, respectivament) i que simula un microprocessador RISC.

A continuació es presenta l'experiència de tres universitats que fan servir recursos relacionats amb el VCAOLab.

- Djordjevic, et al. (2000) de la *University of Belgrade*, proposen un entorn integrat anomenat *IECS* per realitzar pràctiques d'arquitectura. L'*IECS* conté un simulador (*SPIECS*), un conjunt d'exercicis de laboratori per realitzar i un sistema d'ajuda a l'aprenentatge a partir del coneixement de la realització dels exercicis de laboratori.
- Sánchez & Ibarria (2001) de la *Universitat Politècnica de Catalunya*, presenten un simulador d'una màquina rudimentària anomenat *SiMR*, com un entorn de simulació d'un processador pedagògic, que facilita als estudiants de primer curs d'Enginyeria en Informàtica l'aprenentatge de conceptes bàsics sobre arquitectura i estructura de computadors. És un simulador d'un computador RISC, basat en una arquitectura *von Neumann*. El *SiMR* permet l'edició, compilació i depuració de programes escrits en el llenguatge ensamblador d'aquest processador. El *SiMR* també permet la confecció automàtica de diversos tipus d'informes, la qual cosa facilita la tasca de l'estudiant i la posterior avaluació de la feina realitzada per part del professor.
- Fechner, et al. (2006) de la *FernUniversität in Hagen*, presenten un laboratori virtual (*VCAL*) per fer pràctiques d'arquitectura d'ordinadors. El nucli d'aquest laboratori és un simulador molt complet que permet simular el maquinari d'un

¹²Microprocessor without Interlocked Pipeline Stages.

¹³Reduced Instruction Set Computer.

microprocessador avançat. El *VCAL* també és utilitzat freqüentment pels estudiants per consolidar els aspectes teòrics de l'assignatura. L'accés al simulador es realitza mitjançant una interfície web.

3.2.6 Laboratori Virtual de Matemàtiques

A continuació es presenten els detalls de tres exemples de VMathLab trobats a la literatura:

Els Laboratoris Virtuals de Matemàtiques (VMathLab) o *Virtual Mathematic Laboratories* són proposats per resoldre exercicis de matemàtiques en un entorn a distància. Aquests laboratoris es centren en utilitzar una eina matemàtica com a element de suport per fer aquestes activitats de caire pràctic.

Existeixen moltes propostes per aprendre matemàtiques a la web de manera asíncrona, amb molts exemples, eines que resolen problemes concrets, referències bibliogràfiques i material d'estudi. A *Redemat.com*¹⁴ es troba una llista de més de 50 llocs a Internet per aprendre matemàtiques a distància.

A continuació es citen tres universitats que fan servir algun tipus de recursos relacionats amb els VMathLab.

- La *West Texas A&M University*¹⁵ proporciona als seus estudiants un VMathLab com a recurs pedagògic i tecnològic de les assignatures d'àlgebra (nivell inicial, intermedi i avançat). El laboratori conté tot el necessari per la formació a distància d'aquests continguts i està dividit en dues parts principals: una part de contingut i una altra de comunicació. La part de contingut conté els materials digitals del curs, classes gravades en vídeo, el calendari, un sistema molt elaborat

¹⁴<http://www.recursosmatematicos.com/redemat.html>

¹⁵<http://www.wtamu.edu/academic/anns/mps/math/mathlab/>

de realització i correcció automàtica d'exercicis tipus test. L'espai de comunicació proporciona comunicació síncrona a partir del xat i comunicació asíncrona mitjançant un fòrum de discussió i un sistema integrat propi de correu electrònic.

- *El Tidewater Community College*¹⁶ presenta un complet VMathLab que permet desenvolupar cursos de matemàtiques interactius a distància. El VMathLab inclou una extensa llista de manuals i eines de simulació matemàtica. Els estudiants i professors poden comunicar-se asíncronament a partir del correu electrònic o d'un espai de fòrum. El VMathLab també incorpora una eina síncrona basada en un xat de comunicació.
- La *Universitat Oberta de Catalunya* ofereix un VMathLab basat en l'Eina *WIRIS*¹⁷. *WIRIS* és una família de productes informàtics dedicada als càlculs matemàtics i al disseny de fórmules, usades sobretot en l'àmbit de l'ensenyament com a eines d'aprenentatge. L'eina principal del paquet és *WIRIS CAS*, un *Computer Algebra System* que permet realitzar càlculs des de la web, així com generar continguts matemàtics. *WIRIS* és una eina multiidioma que permet realitzar els càlculs en l'idioma desitjat.

3.3 Estudi dels Laboratoris Virtuals a la UOC

Durant l'any 2007 es va fer un estudi exhaustiu de dues tipologies diferents de Laboratori Virtual en les Enginyeries en Informàtica de la UOC. Aquests dos casos que es presenten en aquest apartat d'estudi complementen l'estat de l'art dels Laboratoris Virtuals presentat a l'Apartat 3.2 i pretenen ésser representatius del total de 63 Laboratoris Virtuals que hi havia durant el curs acadèmic 2006-2007, a les Enginyeries en Informàtica i programes de Postgrau de la UOC.

¹⁶<http://www.tcc.edu/vml/>

¹⁷<http://www.wiris.com/>

L'estudi s'ha centrat en detectar els recursos fonamentals que formen part del Laboratori Virtual de Programació (VPLab) i del Laboratori Virtual de Xarxes (VNLab) i avaluar la seva utilitat a partir de l'opinió dels estudiants.

3.3.1 Cas d'estudi del Laboratori Virtual de Programació

En l'estudi de l'estat de l'art del VPLab presentat a l'apartat anterior es van estudiar tres exemples diferents que el feien servir en un entorn universitari. A continuació es descriu el VPLab de la UOC com un espai virtual on els estudiats tenen al seu abast tots els recursos necessaris per realitzar les activitats pràctiques relacionades amb l'àrea programació i que ha de permetre als estudiants enviar els seus programes de manera remota per ésser corregits automàticament en temps real.

Estructura general del Laboratori Virtual de Programació

L'estructura que es mostra a continuació és la que es fa servir en el VPLab de la UOC des de l'any 1998 i per la qual han passat més de 20.000 estudiants d'ETIG i ETIG. Els recursos identificats en els VPLab del Campus Virtual de la UOC, es mostren a continuació classificats en funció de la seva topologia: tecnològics, pedagògics i humans.

1. Recursos tecnològics
 - A. Entorn virtual de comunicació (EVC)
 - B. Simulador (SIM)
 - C. Màquina virtual (MAV)
 - D. Corrector automàtic de programes (CAP)
2. Recursos pedagògics i estratègics
 - E. Metodologies d'aprenentatge (MET)

F. Documentació i materials de suport (DOC)

G. Avaluació (AVA)

3. Recursos humans

H. Professor (PRF)

I. Estudiant (EST)

A continuació es descriuen cadascun dels recursos enumerats.

A. Entorn virtual de comunicació. L'entorn virtual de comunicació és un recurs que permet la comunicació entre els usuaris del VPLab, estudiants i professors, estimulant la participació dels estudiants en el VPLab i proveint una bona interacció amb el professor.

En el cas del VPLab de la UOC, l'entorn virtual de comunicació és el propi espai de comunicació de l'aula del Campus Virtual. Aquest espai té, com a principals, les següents característiques:

- Bústies de comunicació: permet la comunicació asíncrona entre estudiants i professors que intenta reemplaçar una classe tradicional. Aquesta àrea conté el tauler digital del professor (on només el professor té permís per escriure) i un fòrum digital de comunicació.
- Llista de membres: permet visualitzar els estudiants i el professor que pertanyen al VPLab.
- Eines de monitoratge: permet als professors comprovar les connexions dels estudiants per fer un seguiment de la seva participació.

B. Simulador. Un simulador és una eina que imita experiments, estats o processos que, a partir de la seva capacitat d'interacció, poden ser usats per diferents propòsits. Per exemple, *Jeliot 3* (Levy, et al., 2003) és un simulador que visualitza l'animació d'execució de programes en *Java*.

A la UOC, el VPLab disposa d'un simulador interactiu per ajudar a entendre els conceptes bàsics de l'algorísmica. El simulador està implementat a partir d'un *Applet Java* que es pot visualitzar en un navegador (Marco-Galindo & Prieto-Blázquez, 2002; Pérez, et al., 2003) i és accessible des de l'aula del Campus Virtual.

C. Màquina virtual. Una màquina virtual és una eina que permet crear un punt de treball preestablert pels estudiants on hi poden executar diversos sistemes operatius alhora en un sol ordinador físic i alternar entre ells. Les màquines virtuals resolen les dificultats d'instal·lació i configuració del programari i del maquinari de l'estudiant. Per altra banda, també garanteixen que els estudiants inicien les activitats pràctiques en les mateixes condicions de configuració de l'ordinador, proporcionant així a l'estudiant un entorn preparat i complet per poder realitzar les activitats de programació.

La màquina virtual de la UOC s'implementa mitjançant un *DVD-Live* amb tot el programari necessari per realitzar les pràctiques. Aquest DVD, que s'envia abans de l'inici del curs, s'executa automàticament en l'ordinador de l'estudiant, sense necessitat d'instal·lar res al disc dur. La imatge que incorpora la màquina virtual està basada en programari lliure i incorpora la distribució *Ubuntu* com a sistema operatiu *GNU/Linux*, un compilador i un editor gràfic, *Dev-C++*, per desenvolupar programes en *C/C++*.

D. Corrector automàtic de programes. L'eina de correcció automàtica de programes és de vital importància per a realització d'activitats pràctiques de programació en un entorn d'educació a distància, donat que permet als estudiants saber en temps

real si han completat amb èxit l'activitat de programació. Essencialment, el procés de correcció automàtica consisteix en la compilació del programa enviat i la seva execució amb un joc de proves dissenyades per l'equip docent de l'assignatura. A més, el sistema automàtic de correcció d'exercicis de programació redueix el treball mecànic requerit pels professors, permetent-los concentrar-se en altres aspectes que aportin més valor afegit.

L'eina de correcció automàtica d'exercicis de programació que es fa servir al VPLab de la UOC és un sistema desenvolupat per la mateixa UOC (Prieto-Blázquez, et al., 2005). L'apèndix A proporciona una descripció detallada del corrector automàtic de programes.

E. Metodologia d'aprenentatge. Les activitats pràctiques de programació requereixen una metodologia d'aprenentatge específica on l'estudiant sigui l'element central d'aquest model d'aprenentatge. Els models centrats en l'estudiant han de proporcionar llibertat a l'estudiant per planificar el seu procés d'aprenentatge i per regular el seu propi ritme de treball, garantint una experiència a mida de cada estudiant.

En el VPLab de la UOC, la metodologia d'aprenentatge aplicada està basada en la teoria d'aprenentatge constructivista adaptada a un entorn virtual on la comunicació asíncrona és permesa en l'espai i en el temps entre estudiants i personal acadèmic. Les principals característiques són: el professor facilita i monitoritza el procés d'aprenentatge dels estudiants, els estudiants són animats a ser responsables i autònoms, les activitats pràctiques estan dividides en diferents parts per permetre l'avaluació continuada i es promou la comunicació entre els propis estudiants i professors.

F. Documentació i materials de suport. La documentació i els materials de suport consisteixen en tota la informació i programari que ajudarà als estudiants a

realitzar les activitats pràctiques. El VPLab de la UOC proveeix als estudiants dels següents materials en format digital:

- Programari de desenvolupament: conté el compilador *Dev-C++*, que és un entorn integrat de desenvolupament per al llenguatge de programació *C/C++*.
- Material de suport al programari: aporta les instruccions d'instal·lació, manuals, FAQ i guies de configuració.
- Apunts: compost pel material teòric i guies del llenguatge de programació. Per exemple, el manual del compilador *C++* de *GNU* i el manual de la llibreria de l'estàndard *C/C++*.
- Llibreria virtual: inclou la bibliografia recomanada, publicacions electròniques, bases de dades i diccionaris.
- Material complementari: incorpora exemples d'activitats de programació i exàmens, de vegades amb les seves solucions.

G. Avaluació. L'avaluació és un recurs pedagògic que permet als estudiants complir els seus objectius d'aprenentatge. En un entorn d'aprenentatge virtual és molt important oferir als estudiants un model flexible d'avaluació continua, proporcionant activitats per ser completades durant el semestre (Kaczmarczyk, 2001).

El VPLab de la UOC, segueix un model d'avaluació continua (Sangrà, 2002) i els estudiants han de completar cinc activitats, quatre de les quals són opcionals i consisteixen en petites activitats de programació. També hi ha una activitat obligatòria de major dificultat. Cada activitat és avaluada a partir dels resultats detallats a l'informe que proporciona l'eina de correcció automàtica de programes, introduïda anteriorment.

H. Professor. Els “Professors virtuals” del VPLab de la UOC són membres acadèmics que ajuden als estudiants a arribar als seus objectius individuals, oferint a cada estudiant atenció personalitzada i està format per un equip de professors de dos perfils i habilitats diferents: un dels perfils requereix coneixements profunds del contingut relacionat amb l'assignatura (“Professor de teoria”), mentre que l'altre perfil necessitarà més habilitats tècniques (“Professor de laboratori”). En el cas específic del VPLab a la UOC, el “Professor de laboratori” és un expert en el llenguatge de programació *C++*, qui ha preparat les instruccions d'instal·lació i les FAQ del compilador de *C++*. En canvi, el “Professor de teoria” prepara les activitats pràctiques i resol qualsevol pregunta relacionada amb els continguts de programació a l'entorn virtual de comunicació.

I. Estudiants. Els estudiants que pertanyen a un VPLab són aquells que s'han matriculat de les assignatures de programació i que els dóna accés al VPLab associat.

Avaluació del VPLab: enquesta als estudiant sobre l'impacte del VLab

Per tal d'avaluar la rellevància dels diferents recursos que formen part de l'estructura del VPLab, a la tardor de 2007 es va adreçar una enquesta als estudiants de les assignatures d'introducció a la programació. A continuació es descriu breument els objectius, el disseny, els resultats i l'anàlisi de l'enquesta realitzada.

Els objectius principals de l'enquesta van ser els següents:

- Obtenir el nivell de satisfacció dels estudiants respecte els vuit recursos del VPLab presentats.
- Avaluar la idoneïtat de l'estructura general del VPLab proposada per a un entorn d'aprenentatge virtual.

En el disseny de l'enquesta, es va tenir en compte els criteris específics de qüestionaris realitzats a través de la web segons proposen Dillman, et al. (1998) i Solomon (2001). El qüestionari web va romandre disponible durant vuit dies a 539 estudiants (dels quals 284 van participar) mitjançant un enllaç a la *Aula Virtual*. L'enquesta va ser anònima i voluntària i es va limitar als estudiants matriculats de les dues assignatures que donen accés a VPLab: *Fonaments de Programació usant C++* i *Programació orientada a objectes usant Java*.

El qüestionari estava compost de 11 preguntes (Q1-Q11) dividides en dues parts: la part del perfil d'estudiant i la part d'avaluació dels recursos dels VPLab.

ID	Descripció de la pregunta	Resposta	N	%
Q1	A quina assignatura de programació estàs matriculat?	Fonaments de programació usant <i>C++</i>	158	55,63%
		Programació orientada a objectes usant <i>Java</i>	126	44,37%
Q2	Quants semestres portes estudiant a la UOC?	1-2 semestres	130	45,77%
		3-6 semestres	93	32,75%
		Més de 6 semestres	61	21,48%
Q3	Quants anys has estat/portes treballant en l'àrea de programació?	Mai	143	50,35%
		0-1 anys	28	9,86%
		1-3 anys	39	13,73%
		Més de 3 anys	74	26,06%

Taula 3.1: Q1-Q3. Perfil dels estudiants enquestats.

La primera part del qüestionari, de la pregunta 1 a la pregunta 3 (Q1-Q3), tractava sobre el perfil dels enquestats. Els resultats es mostren a la Taula 3.1 i descriuen que els enquestats eren altament heterogenis. Combinant les respostes d'ambdues assignatures de programació, els resultats mostren que el 54% dels estudiants tenien més d'un any d'experiència amb el Campus Virtual de la UOC i el 50% tenien experiència professional en el camp de la programació.

Per obtenir informació sobre l'estructura del VPLab, la segona part del qüestionari

ID	Recurs	Descripció del recurs
Q4	EVC	Entorn virtual de comunicació
Q5	CAP	Corrector automàtic de programes
Q6	SIM	Simulador
Q7	MAV	Màquina virtual
Q8	MET	Metodologia d'aprenentatge
Q9	DOC	Documentació i materials de suport
Q10	AVA	Avaluació
Q11	PRF	Professor

Taula 3.2: Q4-Q11. Recursos relacionats amb cada qüestió.

tenia vuit preguntes (Q4-Q11), cadascuna de les quals es relacionava directament amb un recurs del VPLab. La relació entre el recurs i el número de pregunta del qüestionari es mostra a la Taula 3.2. Per cada recurs del VPLab, els estudiants van haver de valorar de l'1 al 5 la seva rellevància, en base a la següent escala:

- 1 - No és un recurs necessari.
- 2 - No és un recurs important.
- 3 - És un recurs interessant.
- 4 - És un recurs important.
- 5 - És un recurs indispensable o vital.

El nombre d'enquestats, la freqüència de cada valor, el percentatge del valor 4 ó 5, la mitjana, la desviació estàndard i la variància dels vuit recursos són resumits a la Taula 3.3.

Una primera anàlisi dels resultats de l'enquesta mostra l'alta rellevància de tots els recursos del VPLab. Entre el 66% i el 81% dels estudiants han considerat els recursos

Recurs	N	1	2	3	4	5	4-5	Mitjana	Desv.	Variància
EVC	282	2	13	48	79	140	77,7%	4,213	0,934	0,873
CAP	263	6	28	44	85	100	70,3%	3,932	1,086	1,179
SIM	254	10	20	52	119	53	67,7%	3,728	1,006	1,013
MAV	242	9	20	51	108	54	66,9%	3,736	1,017	1,034
MET	277	10	12	36	104	115	79,1%	4,090	1,019	1,039
DOC	280	14	26	28	96	116	75,7%	3,979	1,158	1,340
AVA	279	2	10	43	99	125	80,3%	4,201	0,879	0,773
PRF	279	8	15	30	91	135	81,0%	4,183	1,017	1,035

Taula 3.3: Q4-Q11. Anàlisi descriptiu i de freqüència dels recursos del VPLab.

importants o indispensables en el VPLab. A més, el valor de mitjana dels vuit recursos és superior a 3,7.

En segon lloc, a partir de l'anàlisi descriptiu i de freqüència de l'enquesta, els resultats mostren diferències entre alguns dels recursos, que permeten classificar els recursos per ordre de rellevància, en tres grups o factors:

- Factor humà: la majoria dels estudiants (81%) han considerat la funció del *professor* com a molt important (valor 4 ó 5) en un entorn virtual d'aprenentatge. Es troben resultats similars a la literatura (Sicker, et al., 2005; Prieto-Blázquez & Herrera-Joancomartí, 2007) en el sentit que els estudiants en un entorn d'aprenentatge virtual tendeixen a dependre més de l'ajut d'un professor.
- Factor pedagògic: l'*avaluació* i la *metodologia d'aprenentatge* van ser molt ben valorades pels estudiants. Aquests dos recursos són molt importants en el procés d'aprenentatge dels estudiants. Els resultats també mostren que la *documentació* i *materials de suport* són lleugerament menys valorats en el procés d'aprenentatge; aquest resultat és lògic perquè la documentació i els altres materials són, sovint, complementaris.
- Factor tecnològic: hi ha un grup d'eines connectat als recursos tecnològics -

l'entorn virtual de comunicació, el *corrector automàtic de programes*, el *simulador* i la *màquina virtual* - que també van rebre una puntuació alta, però no tant com els anteriors recursos.

És important destacar que *l'entorn virtual de comunicació* és el recurs tecnològic amb una valoració més alta donat que, tot i que *l'entorn virtual de comunicació* està classificat com a un recurs tecnològic, està estretament relacionat amb el personal acadèmic. En un entorn d'aprenentatge virtual, *l'entorn virtual de comunicació* és absolutament necessari per crear una sensació de comunitat d'universitat i és la única manera que els professors i els estudiant puguin comunicar-se.

A partir d'aquesta alta valoració, per part dels estudiants, de tots els recursos analitzats en aquesta enquesta es desprèn que per aprendre programació en un entorn d'aprenentatge virtual és important disposar d'un VPLab compost per almenys aquests vuit recursos i que, a més, aquests estiguin correctament integrats en un mateix espai virtual, anomenat VPLab. Una anàlisi més detallada, que cada fora de l'abast d'aquest treball de tesi, consistiria en creuar les dades del perfil de l'estudiant (Q1-Q3) amb les dades de la valoració dels vuit recursos del VPLab (Q4-Q11).

3.3.2 Cas d'estudi del Laboratori Virtual de Xarxes

Amb aquest estudi és vol ampliar l'estat de l'art presentat anteriorment on es van presentar tres exemples de VNLab en un entorn universitari. A continuació es descriu el VNLab de la UOC com un espai virtual, on els estudiats poden realitzar activitats pràctiques relacionat a l'àrea de xarxes de comunicacions, que ha de permetre als estudiants accedir a dispositius reals de telecomunicació.

Estructura general del Laboratori Virtual de Xarxes

De la mateixa manera que al cas d'estudi del VPLab de la UOC descrit anteriorment, el VNLab està format per un conjunt de recursos classificats segons la seva tipologia en tecnològics, pedagògics i humans. Aquesta estructura que es mostra a continuació s'ha fet servir durant el curs acadèmic 2006-2007 i és el resultat de l'experiència acumulada des de l'any 2001 a la UOC amb més de 1.500 estudiants del Màster de *Cisco* al VNLab.

1. Recursos tecnològics

- A. Entorn virtual de comunicació (EVC)
- B. Simulador (SIM)
- C. Laboratori remot (REM)
- D. Corrector automàtic d'exercicis (CAE)
- E. Eines de suport (SUP)

2. Recursos pedagògics i estratègics

- F. Metodologia d'aprenentatge (MET)
- G. Documentació i materials de suport (DOC)
- H. Avaluació (AVA)

3. Recursos humans

- I. Professor (PRF)
- J. Estudiant (EST)

Aquesta estructura conserva vuit dels nou recursos del VPLab i n'incorpora dos de diferents, el *laboratori remot* i les *eines de suport*. Per no repetir els detalls d'alguns recursos, a continuació només es descriuen els recursos del VNLab que tenen diferències significatives respecte el VPLab.

B. Simulador. A l'àrea de les xarxes de comunicació els simuladors permeten als estudiants fer pràctiques de configuració de dispositius de xarxa des d'un ordinador, sense necessitar del dispositiu real físic. Així, encara quan els estudiants no tenen accés físic als encaminadors, poden adquirir aquesta experiència. Hi ha diversos simuladors professionals disponibles al mercat, però tendeixen a ésser massa complexos per a propòsits pedagògics. De totes maneres, hi ha alguns simuladors que suporten les necessitats bàsiques que requereixen les assignatures de xarxes de la UOC.

En el VNLab de la UOC, els estudiants fan servir els següents simuladors:

- El *Router eSIM*¹⁸ proporciona una plataforma tancada on els estudiants poden practicar la configuració de l'encaminador en una topologia preestablerta.
- El *Packet Tracer*¹⁹ s'utilitza per habilitar escenaris oberts un cop els estudiants han après la configuració bàsica. Usant aquest simulador, és possible crear qualsevol tipus de topologia de xarxa, configurar cada dispositiu i simular diferents escenaris. A cada escenari, és possible analitzar gràficament com s'envien els paquets entre els dispositius.

C. Laboratori remot. Un laboratori remot proporciona a l'estudiant un entorn real on realitzar activitats pràctiques.

El VNLab de la UOC fa servir el *Cisco NETLAB+*^{®20} com a laboratori remot per accedir a encaminadors i commutadors de xarxes reals i és el recurs central del VNLab (Prieto-Blázquez, et al., 2008a). L'Apèndix B proporciona una descripció detallada del *Cisco NETLAB+*[®] de la UOC.

¹⁸<http://www.cisco.com/>

¹⁹<http://www.cisco.com/go/netacad/>

²⁰NETLAB+ és propietat intel·lectual del Networking Development Group, NDG (<http://www.netdevgroup.com>). El NETLAB Academy Edition va ser desenvolupat pel NDG sota contracte amb Cisco Systems, Inc.

D. Corrector automàtic d'exercicis. El VNLab de la UOC fa servir un sistema de correcció automàtica d'exercicis dissenyat i desenvolupat per *Cisco Systems*. Les correccions automàtiques proporcionen a l'estudiant una avaluació quantitativa acompanyada d'informació qualitativa sobre els coneixements que necessiten reforçar.

E. Eines de suport En el VNLab n'hi ha altres eines específiques que ajuden en el procés d'aprenentatge, però que no s'han classificat en els recursos tecnològics anteriors. Aquestes eines són usades per a diferents propòsits i són aplicacions que s'executen a l'ordinador local de l'estudiant. Al VNLab de la UOC els estudiants tenen al seu abast les següents eines de suport específiques:

- *Wireshark* (anomenat anteriorment *Ethereal*): és un dels analitzadors de protocols de xarxa més conegut que permet als estudiants analitzar com el tràfic és enviat a través de la xarxa.
- Decodificador de la configuració del registre: és una eina molt simple però que permet als estudiants saber com afecta la manipulació dels dispositius de xarxa al registre de configuració d'un encaminador *Cisco* (com el procés d'arrencada o l'accés per consola al dispositiu).
- *Hyperterminal*: és un emulador de terminal que es pot utilitzar opcionalment per interactuar amb el laboratori remot.

G. Documentació i materials de suport. El VNLab proveeix als estudiants dels següents materials de suport:

- *Ciscopedia*: és un manual de referència de les d'ordres dels encaminadors de *Cisco System*.

- Exercicis de pràctiques: consisteixen en un conjunt d'activitats pràctiques perquè l'estudiant pugui auto-avaluar-se. Aquests exercicis estan adaptats per fer-se en un entorn virtual a partir dels recursos disponibles en el VNLab.
- Llibreria virtual: són enllaços a diferents medis electrònics o recursos que s'han considerat interessants per tal d'obtenir informació extra sobre els diferents tòpics discutits a l'assignatura.

J. Estudiants. Tots els estudiant que es matriculen del Màster de *Cisco* de la UOC tenen accés des del primer dia al VNLab amb tots els recursos descrits anteriorment en aquesta apartat.

Avaluació del VNLab: enquesta als estudiant sobre l'impacte del VLab

Nom d'aula	Estudiants	Data d'inici	Data de fi	Activitats	Hores
EO 05-06-2 Sem2	9	23 març 2006	23 juliol 2006	41,0	68,0
CCNA-0607	51	28 novembre 2006	31 juliol 2007	351,0	478,0
060918MONCCNA1-4	4	10 gener 2007	28 juny 2007	72,0	83,0
TSIE-CCNAII	16	8 març 2007	8 juliol 2007	23,0	23,0
Total	80			487,0	652,0

Taula 3.4: Aules de VNLab.

Aquesta secció presenta els resultats de l'enquesta adreçada als estudiants que s'havien matriculat al Màster de *Cisco* de la UOC des de l'any 2006 fins a l'estiu de l'any 2007 (veure Taula 3.4).

Els objectius i el disseny de l'enquesta van ser els mateixos que els realitzats en l'avaluació del VPLab de l'apartat anterior.

L'enquesta es va dur a terme usant un qüestionari web que va ser enviat als estudiants mitjançant el tauler del professor i va romandre disponible durant quatre setmanes a 80 estudiants, dels quals 48 van participar. El qüestionari, anònim i voluntari, estava

compost per 14 preguntes (Q1-Q14) dividides en tres parts: una primera part per determinar el perfil de l'estudiant, una segona part per conèixer la rellevància dels recursos del VNLab i, finalment, una tercera part per avaluar el recurs del *NETLAB+*[®]. Els resultats del *NETLAB+*[®] són presentats a l'Apèndix B, juntament amb la descripció detallada del *NETLAB+*[®].

ID	Descripció de la pregunta	Resposta	N	%
Q1	A quina assignatura del Màster de Cisco t'has matriculat?	CCNA1-CCNA2	14	29,17%
		CCNA3-CCNA4	28	58,33%
		Ja sóc graduat	6	12,50%
Q2	Quants semestres portes estudiant a la UOC?	1-2 semestres	13	27,08%
		3-6 semestres	20	41,67%
		Més de 6 semestres	15	31,25%
Q3	Quants anys has estat/portes treballant a l'àrea de xarxes?	0	10	20,83%
		0-1 any	2	4,17%
		1-3 anys	9	18,75%
		Més de 3 anys	27	56,25%

Taula 3.5: Q1-Q3. Perfil dels estudiants enquestats.

La primera part del qüestionari, de la pregunta 1 a la pregunta 3 (Q1-Q3), consistia en trobar informació sobre el perfil dels enquestats. Els resultats són mostrats a la Taula 3.5 i defineixen que la majoria dels enquestats tenien un ample nivell d'experiència en un entorn d'aprenentatge virtual (un 73% dels estudiants tenien més d'un any d'experiència amb el Campus Virtual), coneixen el Màster de *Cisco* (el 71% dels que van respondre havien finalitzat el primer i el segon semestre del Màster de *Cisco*) i en l'àrea de xarxes (el 56% de tots els enquestats havien treballat en temes de xarxes durant tres o més anys).

La segona part del qüestionari estava formada per nou preguntes (Q4-Q12) que feien referència directament als nou recursos presentats en l'estructura general del VNLab. Els estudiants van haver de valorar de l'1 al 5 la rellevància dels recursos segons la mateixa base d'escala dels VPLab. El recurs relacionat amb cada pregunta es mostra a la Taula 3.6.

ID	Recurs	Descripció del recurs
Q4	EVC	Entorn virtual de comunicació
Q5	SIM	Simulador
Q6	REM	Laboratori remot
Q7	CAE	Corrector automàtic d'exercicis
Q8	SUP	Eines de suport
Q9	MET	Metodologia d'aprenentatge
Q10	DOC	Documentació i materials de suport
Q11	AVA	Avaluació
Q12	PRF	Professor

Taula 3.6: Q4-Q12. Recursos relacionats amb cada pregunta.

Recurs	N	1	2	3	4	5	4-5	Mitjana	Desv.	Variància
EVC	48	0	4	5	19	20	81,3%	4,15	0,922	0,851
SIM	48	0	2	8	17	21	79,2%	4,19	0,867	0,751
REM	48	0	6	6	15	21	75,0%	4,06	1,040	1,081
CAE	47	0	4	8	17	18	74,5%	4,04	0,955	0,911
SUP	45	0	4	10	19	12	68,9%	3,87	0,919	0,845
MET	47	1	0	10	17	19	76,6%	4,13	0,900	0,809
DOC	46	0	5	9	18	14	69,6%	3,89	0,971	0,943
AVA	48	0	1	7	20	20	83,3%	4,23	0,778	0,606
PRF	46	0	2	12	13	19	69,6%	4,07	0,929	0,862

Taula 3.7: Q4-Q12. Anàlisi descriptiva i de freqüència dels recursos del VNLab.

El nombre d'enquestats, la freqüència de cada valor, el percentatge de valors 4 ó 5, el valor de la mitjana, la desviació estàndard i la variància dels nou recursos són resumits a la Taula 3.7.

Una primera anàlisi dels resultats de l'enquesta mostra l'alta rellevància de tots els recursos del VNLab. Entre el 68% i el 83% dels estudiants consideren els nou recursos com importants o indispensables. Per altra banda, tots els recursos tenen un valor de la mitjana superior a 3,8.

En segon lloc, els resultats mostren una valoració significativa entre alguns recursos que poden ser classificats, de la mateixa manera que a l'avaluació del VPLab en tres grups diferents: recursos tecnològics, recursos pedagògics i el recurs humà. Els recursos tecnològics (*entorn virtual de comunicació, simuladors i laboratori remot*) i els recursos pedagògics (*metodologia d'aprenentatge i avaluació*) són considerats més indispensables que els altres recursos. És més, la majoria dels estudiants consideren que la funció del professor és molt important en un entorn d'aprenentatge virtual.

Els recursos *eines de suport i documentació i materials de suport* tenen una valoració lleugerament inferior als altres recursos donat que moltes vegades són recursos complementaris.

És important destacar que els resultats de l'enquesta mostren una alta variància (major d'1) en el recurs de *laboratori remot* (NETLAB+[®]). Una possible explicació d'aquest valor tant alt és que alguns estudiants van tenir molts problemes per fer servir correctament (NETLAB+[®]), degut a dues raons: l'alt grau de concurrència que el laboratori remot ha experimentat en períodes de pràctiques (problema de planificació) i algunes caigudes del servidor durant els caps de setmana (problema del servei 7x24²¹). Una anàlisi més detallada, que cada fora de l'abast d'aquest treball de tesi, consistiria en creuar les dades del perfil de l'estudiant (Q1-Q3) amb els resultats obtinguts respecte la valoració dels nou recursos del VNLab (Q4-Q12).

Finalment, es pot concloure que per aprendre xarxes en un entorn d'aprenentatge virtual és essencial tenir un VNLab compost per al menys aquests nou recursos. Una altra conclusió important és que la universitat ha de garantir l'accés a tots els recursos 24 hores al dia, set dies a la setmana i l'ús del NETLAB+[®] ha d'estar ben planificat perquè tots els estudiants el puguin fer servir durant les hores crítiques.

²¹7x24: disponibilitat 7 dies a la setmana i 24 hores al dia.

3.4 Resum

El primer lloc, en aquest capítol es proposa una definició general de Laboratori Virtual: “és un espai virtual interactiu que incorpora tots els recursos tecnològics, pedagògics i humans per realitzar les activitats pràctiques de laboratori, que està adaptat a les necessitats dels estudiants i professors i que es desenvolupa en un entorn d'aprenentatge a distància”.

En segon lloc, es descriuen les principals característiques d'una elevada mostra de Laboratoris Virtuals que es fan servir en les Enginyeries en Informàtica arreu del món. L'objectiu principal és identificar els recursos que cada estructura particular de Laboratori Virtual incorpora, així com la relació que s'estableix entre els recursos utilitzats.

Finalment, es presenten dos casos d'estudi de dues tipologies diferents de Laboratori Virtual de les Enginyeries en Informàtica de la UOC. A partir dels resultats dels dos estudis, es desprèn que per realitzar les activitats pràctiques de programació i de xarxes, en un entorn d'aprenentatge virtual, és important disposar d'almenys els recursos proposats i que, a més, aquests estiguin correctament integrats en un mateix espai virtual, anomenat Laboratori Virtual.

Amb aquest estudi de l'estat de l'art s'assoleix l'*objectiu 1* descrit al Capítol 1.

Capítol 4

Caracterització dels Laboratoris Virtuals

“Integrity combined with faithfulness is a powerful force and worthy of great respect.”

Real Live Preacher

En aquest capítol es presenta l'estructura general d'un Laboratori Virtual basada, per una banda, en l'experiència acumulada a la Universitat Oberta de Catalunya des de l'any 1998 i, per altra banda, a partir de les propostes analitzades en la revisió de la literatura realitzada al Capítol 3.

4.1 Descripció de l'estructura general dels VLab

A partir de l'estudi de l'estat de l'art dut a terme al Capítol 3 s'ha pogut comprovar que hi ha diversos grups de treball estudiant i portant a la pràctica Laboratoris Virtuals. Aquests treballs analitzats proposen, de manera aïllada, un sèrie d'elements que conté el Laboratori Virtual, però sense plantejar un model integrat per realitzar qualsevol tipus de pràctiques virtuals en un entorn d'aprenentatge tècnic a distància.

En aquest capítol es proposa una estructura integrada i general per als diferents

tipus de Laboratoris Virtuals descrits en la revisió de la literatura. L'estructura de Laboratori Virtual proposada és una de les aportacions més importants d'aquesta tesi i conté tots els recursos que es consideren necessaris per poder realitzar correctament qualsevol tipus de pràctiques en les Enginyeries en Informàtica. De tota manera, aquesta estructura pretén ser oberta i adaptable a noves tecnologies i altres plans d'estudis.

Amb l'objectiu d'organitzar l'estructura del Laboratori Virtual es proposa un primer nivell de classificació dels recursos en funció de la seva tipologia: tecnològics, pedagògics o humans. Aquesta classificació és la mateixa que s'ha fet servir en l'estudi de l'estat de l'art del Capítol 3. A continuació es descriuen cadascuna d'aquestes topologies:

4.1.1 Recursos tecnològics

En aquest apartat s'hi inclouen tots els recursos basats en la tecnologia. Tot i ser indispensables en un Laboratori Virtual, per si mateixos difícilment aporten valor afegit a l'aprenentatge.

Aquests recursos tecnològics són els següents:

- A. Entorn virtual de comunicació (EVC)
- B. Simulador (SIM)
- C. Laboratori Remot (REM)
- D. Corrector automàtic de programes (CAP)
- E. Màquina virtual (MAV)
- F. Programari específic (PRG)

A. Entorn virtual de comunicació (EVC)

Per tal d'aconseguir una comunicació fluida, àgil i ràpida entre estudiants i docents en un entorn d'aprenentatge a distància, es requereix disposar d'eines bàsiques de comunicació virtual, com ara bústies compartides, fòrums, debats i tauler del professor. L'entorn virtual de comunicació és un recurs que permet la comunicació entre els diferents usuaris del laboratori, ja siguin estudiants, professors o gestors docents.

A continuació es mostren i es fa una breu descripció dels recursos específics que es poden incorporar en aquest espai de comunicació.

A1. Correu electrònic. El correu electrònic es refereix al sistema que permet redactar, enviar i rebre missatges utilitzant sistemes de comunicació electrònica asíncrona i és una eina imprescindible de qualsevol EVC.

A2. Fòrum de discussió. El fòrum és l'àrea d'accés comuna per a estudiants i professors i que s'identifica amb l'aula tradicional presencial. Els estudiants poden formular les preguntes relacionades amb el desenvolupament de la pràctica, les possibles interpretacions de l'enunciat i tots els dubtes relacionats amb els jocs de proves. Aquest espai de comunicació ha de fomentar la participació dels estudiants proveint una millor interacció amb el professor de laboratori. S'ha d'evitar que el laboratori es converteixi en un monòleg del professor de laboratori tot fomentant que els propis estudiants es responguin entre ells.

A3. Tauler del professor. El tauler és un espai de comunicació on el professor pot publicar o notificar aspectes generals del funcionament de la pràctica i l'assignatura. En aquest espai només el professor té accés d'escriptura, mentre que els estudiants només tenen permís de lectura.

El professor de laboratori pot fer servir aquest espai per: publicar enunciats de pràctiques, fer resums d'alguna part de la pràctica o per comunicar informació general que han de llegir tots els estudiants.

A4. Blog. El blog és un espai personal d'escriptura a l'aula. És una mena de diari personal interactiu en línia on els estudiants i els professors poden escriure periòdicament i en el qual tota l'escriptura i l'estil es realitza via web. Un blog està dissenyat per a que, com en un diari, cada article tingui data de publicació, de tal forma que la persona que escriu i les que llegeixen puguin seguir la seqüència temporal de tot el que s'ha publicat i editat.

L'ús del blog en una aula és molt divers, però es recomana fer-lo servir per debatre temes relacionats amb la instal·lació i configuració de l'entorn de pràctiques.

A5. Wiki. La wiki és un lloc web col·laboratiu, que pot ser editat tant pels estudiants com pels professors de l'aula des de qualsevol navegador. D'aquesta manera, els usuaris d'una wiki poden crear, modificar, enllaçar i esborrar el contingut d'una pàgina web de forma interactiva, fàcil i ràpida.

Les característiques de les wikis les converteixen en una eina efectiva per a l'escriptura col·laborativa. Cada vegada són més usades en empreses i comunitats educatives per a la gestió del coneixement. En els Laboratoris Virtuals s'utilitzen per fer pràctiques en grup o redactar documents de la pràctica entre un grup d'estudiants.

A6. Informació de presència. La informació de presència és un indicador d'estat que expressa la capacitat d'un usuari (estudiant o professor) per comunicar-se. La informació d'estat de l'usuari pot ser: connectat, absent, reunit, ocupat, no disponible o simplement desconnectat. L'usuari proporciona informació d'estat de presència a

través d'una connexió de xarxa a un servei de presència, emmagatzemat en el seu registre personal de disponibilitat. A partir d'aquesta informació els altres usuaris poden conèixer la seva disponibilitat per comunicar-se. La informació de presència té una àmplia aplicació en un EVC i és una de les innovacions que impulsen la popularitat de la missatgeria instantània i recents implementacions de clients de telefonia de veu sobre *IP*. Aquesta informació de presència en un Laboratori Virtual reforça la sensació d'acompanyament per evitar l'aïllament de l'estudiant, que és un dels problemes més habituals que es detecta en l'educació a distància.

A7. Xat. Un xat o tertúlia és un recurs de comunicació síncrona en el temps. Xatejar és realitzar una tertúlia mitjançant Internet entre dues o més persones. Els estudiants el poden utilitzar per comentar temes relacionats amb la pràctica en temps real, però des de qualsevol lloc. També es pot fer servir, en el cas que el professor de laboratori estigui present, per mantenir una discussió d'algun punt en concret de la pràctica. El funcionament consisteix en poder obrir una finestra de conversa amb els altres membres de la comunitat educativa a partir de la llista de contactes de l'aula i de la seva informació de presència.

A8. Videoconferència. La videoconferència és un sistema de comunicació que permet mantenir reunions col·lectives entre dues o diverses persones que es troben en llocs distants. Es realitza en temps real, via Internet i es transmet tant la imatge com el so, en ambdós sentits. El funcionament és igual que el del xat, però requereix d'un ample de banda de comunicació acceptable i de maquinari específic com una videocàmera i un micròfon. Aquests requeriments, juntament amb la dificultat de configuració, fan que en aquests moments no es pugui garantir un bon ús d'aquest recurs en un EVC.

A9. Pissarra Digital Interactiva. La pissarra digital interactiva és un programari que simula una pissarra tradicional i permet a estudiants i a professors interactuar mitjançant un traç digital i s'utilitza en els Laboratoris Virtuals per resoldre dubtes relacionats amb la pràctica que requereixen un entorn gràfic per comunicar els estudiants i professors.

A10. Control Remot de Programes. L'eina de control remot de programes és un programari que permet al professor de laboratori accedir a l'ordinador de l'estudiant de manera remota per poder-lo ajudar en la configuració del seu ordinador o en l'elaboració de la seva pràctica. L'estudiant pot configurar i limitar les aplicacions que vol compartir amb el professor per poder fer-les servir simultàniament.

A11. Altres. Altres funcionalitats que poden incorporar-se en l'EVC són:

- Eina de seguiment: permet als professors veure el seguiment que els seus estudiants fan durant el curs a partir de les dades de les connexions a l'aula.
- Llista de membres del Laboratori Virtual: visualitza els estudiants i professors de l'aula. La informació que s'acostuma a mostrar per cada membre del Laboratori Virtual és la següent: nom complet, fotografia, adreça de correu electrònic, informació de presència i un enllaç a la seva àrea pública personal.
- Agenda electrònica: facilita a l'estudiant anotar en un calendari digital totes les cites personals i acadèmiques. Per exemple, s'anoten les dates importants relacionades amb les activitats pràctiques que ha de fer l'estudiant durant el curs: publicació dels enunciats i solució de la pràctica, publicació de les notes i el termini per lliurar les pràctiques.
- Sindicació de continguts (RSS): permet obtenir resums de tots els espais de comunicació del Laboratori Virtual. Els resums es poden rebre des de l'escriptori

Eines asíncrones	Eines síncrones
Correu electrònic	Informació de presència
Fòrum de discussió	Xat
Tauler del professor	Vídeoconferència
Blog	Pissarra digital interactiva
Wiki	Control remot de programes

Taula 4.1: Recursos relacionats amb l'Entorn Virtual de Comunicació.

del sistema operatiu, programes de correu electrònic o per mitjà d'aplicacions web que funcionen com a agregadors.

A la Taula 4.1 es mostren tots els recursos EVC que s'acaben de descriure en funció de la seva sincronia en el temps. Tots aquests recursos es poden utilitzar de manera asíncrona en l'espai.

Malgrat que l'EVC s'ha classificat com un recurs tecnològic, és important destacar que també està estrictament relacionat amb els recursos humans (estudiants i professors) donat que en un entorn d'aprenentatge virtual aquest recurs és l'única via per relacionar els diferents membres del Laboratori Virtual.

En l'actualitat existeixen diferents solucions, desenvolupades tant sota programari lliure com programari privatiu, que proporcionen aquestes eines d'EVC. Les més significatives són les següents:

- *Web Course Tools (WebCT)*¹ és un sistema per crear entorns d'aprenentatge virtual. Actualment és una de les eines d'ensenyament a distància que més utilitzen centres de formació i universitats, sobretot als Estats Units. *WebCT* permet escollir les eines de comunicació que es volen fer servir (fòrums de discussió, sistema de correu, xat, etc.) junt amb el contingut i els documents del Laboratori Virtual.

¹<http://www.webct.com/>

WebCT es va desenvolupar originalment a la British Columbia University per un membre de l'equip de professors d'Enginyeria en Informàtica, Murray W. Goldberg. L'any 1995, Goldberg va començar a buscar l'aplicació de sistemes basats en la web en l'educació. La seva investigació va mostrar que la satisfacció de l'estudiant i el rendiment acadèmic es pot millorar mitjançant l'ús d'una base de recursos educatius. Establert això, Golberg va continuar la seva investigació i es va decidir construir un sistema per facilitar la creació dels entorns d'aprenentatge que ha estat un punt de partida de moltes altres. *WebCT* és ara propietat de *Blackboard*².

- *Basic Support for Cooperative Work (BSCW)*³ és un paquet de programari lliure per fer treball de col·laboració a través de la web, desenvolupat per la *Societat Fraunhofer*. *BSCW* permet compartir documents, notificar esdeveniments i comunicar usuaris a partir de la mateixa eina. Els clients només requereixen un navegador web estàndard.
- *LMS Moodle Classroom*⁴ és un programari de codi obert que crea entorns virtuals d'ensenyament i aprenentatge. El projecte fou iniciat i és mantingut per l'australià *Martin Dougiamas*, però ha aconseguit reunir una gran comunitat internacional d'usuaris, programadors, desenvolupadors i traductors de tal forma que actualment té 75.000 usuaris registrats i està traduït a 70 llengües, inclòs el català.

La clau del seu èxit rau en la facilitat d'instal·lació (només necessita un servidor PHP i una base de dades com MySQL), de configuració, de creació de cursos i manteniment del lloc. Està construït sota una òptica de construcció del coneixement basat en el diàleg entre els participants, el constructivisme social. L'aula pot contenir la majoria d'eines que es detallen en aquest apartat de l'entorn

²<http://www.blackboard.com/>

³<http://public.bscw.de/>

⁴<http://moodle.org/>

virtual de comunicació: fòrums, wikis, xats, etc.

Com a curiositat, cal fer menció que *Moodle* és una comunitat de programari lliure no formada íntegrament per informàtics, sinó que també hi participen pedagogs i altres persones relacionades amb l'ensenyament.

B. Simulador (SIM)

Per la realització de pràctiques en un entorn virtual és important disposar d'eines de simulació que ajudin als estudiants a comprendre millor els continguts de l'assignatura. Aquests simuladors són materials digitals que aporten valor afegir al contingut que està en forma de text.

El terme simulador està definit de diferents maneres en la literatura. Corter et al. (2004) i Ma & Nickerson (2006) defineixen un simulador com un mitjà d'explorar, comprendre i comunicar idees complicades i que imita experiments, estats o processos. Repenning, et al. (1999) afegeixen a la definició la capacitat interactiva, que permet als usuaris interactuar amb el simulador. Un estudi molt divulgat va arribar a la conclusió que les simulacions tecnològiques constructivistes basades en principis d'aprenentatge proveïen d'avantatges mesurables d'aprenentatge (Yager, 2000).

En la revisió de literatura, s'han trobat exemples de simuladors per a diferents propòsits que són utilitzats en diferents àrees. Per exemple, en l'àrea d'arquitectura d'ordinadors, Yehezkel, et al. (2001) i Wolffe et al. (2002) proposen simuladors de l'estructura d'un ordinador; en l'àrea de programació, Levy et al. (2003) proposen un simulador de l'execució d'un programa en *Java*; en l'àrea de xarxes de comunicacions, existeixen simuladors d'encaminadors i tallafocs com *Boson*⁵ i *Semsim*⁶; i en l'àrea de sistemes operatius, Maia & Jr. (2003) presenten un simulador d'un sistema operatiu basat en *UNIX*.

⁵<http://www.boson.com/>

⁶<http://www.semsim.com/>

Per exemple, en una assignatura de programació la simulació d'algorismes ajuda a la comprensió dels mecanismes de disseny i d'execució dels exercicis de programació realitzats. D'altra banda, el simulador pot incloure eines estadístiques, de monitorització i de mineria de dades per tal que el professor pugui explotar convenientment la informació de les simulacions dels seus estudiants i obtenir el coneixement rellevant del seu procés d'aprenentatge. El simulador també ha de permetre la interacció amb l'estudiant perquè aquest pugui experimentar com varien els resultats a partir de la informació que prèviament ha introduït.

Un aspecte important que cal tenir en compte és que, malauradament, dissenyar i posar en funcionament simulacions és una tasca difícil i laboriosa.

C. Laboratori remot (REM)

En l'ensenyament a distància, sovint és molt difícil tenir un laboratori real instal·lat a l'entorn de treball de cada estudiant donat que el cost del maquinari i del programari és molt elevat. En aquests casos, una bona solució és instal·lar i configurar en un únic lloc aquest maquinari i programari per tal que els estudiants hi puguin accedir remotament.

Deniz et al. (2003), Corter et al. (2004) i Ma & Nickerson (2006) realitzen una revisió molt exhaustiva dels laboratoris remots i expliciten de forma molt clara la seva diferència amb els simuladors. Un laboratori remot es compon d'una o diverses màquines instal·lades i configurades per permetre l'accés remotament, de manera asíncrona en l'espai, proporcionant a l'estudiant un entorn de desenvolupament real. És important destacar que no és un simulador, ja que els estudiants accedeixen realment a les màquines utilitzant Internet com a mitjà de comunicació.

En un entorn d'aprenentatge virtual els laboratoris remots poden ser l'única solució possible per accedir i treballar sobre dispositius reals, sense que l'estudiant hagi de tenir

aquests dispositius a casa. És per això que, més enllà de la pròpia funcionalitat del dispositiu al qual accedeix, un laboratori remot pot oferir diferents serveis, els més importants dels quals es detallen a continuació:

- **Reserva.** El laboratori remot pot permetre fer reserves del dispositiu per part dels estudiants i professors. D'aquesta manera es facilita que un estudiant pugui accedir en mode exclusiu al laboratori remot en el cas que sigui necessari.
- **Col·laboració.** El laboratori remot pot proveir d'eines de treball en grup.
- **Reinicialització a un estat conegut.** El laboratori remot, després que una sessió finalitza, pot restaurar-se a un estat conegut. Per aquest motiu és important que tingui implementat sistemes de reinicialització per tal que el laboratori remot es trobi en l'estat inicial cada vegada que hi accedeix un estudiant.
- **Gravació de sessió.** El laboratori remot pot permetre la possibilitat de desar i recuperar sessions de treballs.
- **Accessibilitat.** El laboratori remot ha de poder estar disponible als estudiants els 7 dies de la setmana i les 24 hores del dia a través d'Internet.

Tradicionalment els laboratoris remots han estat desenvolupats per fer pràctiques de xarxes de comunicacions: Toderick, et al. (2005) i Sicker et al. (2005) presenten un laboratori remot per configurar encaminadors de xarxa mitjançant l'accés remot via consola a través d'Internet; o per fer pràctiques de sistemes operatius: a *The State University of New Jersey*⁷ accedeixen remotament, via *TELNET*, a un servidor que té instal·lat un sistema operatiu *UNIX*, per fer les pràctiques associades a l'assignatura.

A la UOC es fa servir com a laboratori remot el *Cisco NETLAB+*^{®8}, per realitzar

⁷<http://www.cs.rutgers.edu/resources/systems/voslab/>

⁸NETLAB+ is the intellectual property of Networking Development Group, NDG (<http://www.netdevgroup.com>). NETLAB Academy Edition was developed by NDG under contract with Cisco Systems, Inc.

pràctiques remotes de configuració de dispositius de xarxes. A l'Apèndix B es presenta el seu funcionament de forma detallada.

D. Corrector automàtic de programes (CAP)

En un sentit ampli, la correcció automàtica de programes comprèn des de la validació de la complexitat, la tipografia i l'estructura del codi font d'un programa, fins a la comprovació de la correcta execució davant un conjunt de proves predeterminat. També inclou la detecció de possibles còpies entre les solucions aportades pels diferents estudiants (Higgins, et al., 2001; Ala-Mutka & Järvinen, 2004).

Els exercicis de programació que es duen a terme en la realització d'una pràctica han de ser corregits pel professor per comprovar el seu correcte funcionament. Aquest procés de correcció consisteix bàsicament en la compilació i l'execució dels programes utilitzant un determinat conjunt de joc de proves. Considerant el gran nombre d'estudiants que realitzen exercicis pràctics de programació i que el professor no aporta valor afegit a aquesta correcció mecànica i tediosa, el corrector automàtic de programes permet realitzar aquesta tasca de correcció de manera més eficient.

Una eina de correcció automàtica de programes permet fer aquesta feina de forma automatitzada de manera que el professor rep directament la correcció de l'exercici que ha presentat cada estudiant. Per tant, el professor pot concentrar el seu esforç en els aspectes que requereixin un tractament més individualitzat i que realment aporten un valor afegit a la correcció dels exercicis.

El sistema de correcció automàtica, a més d'automatitzar la funcionalitat bàsica de correcció de programes, també pot incorporar mecanismes d'intel·ligència artificial per personalitzar la resposta donada a l'estudiant, de tal manera que, basant-se en el resultat obtingut en cada exercici, permeti fer-li recomanacions d'estudi concretes i particulars. També pot ajudar al professor a detectar possibles errors o ambigüitats

en els enunciats dels exercicis plantejats o en els jocs de proves utilitzats per a la seva correcció, així com constatar possibles problemes en la metodologia plantejada als estudiants per a l'estudi de continguts concrets.

Per millorar la seva interoperativitat, és important que l'eina del corrector automàtic de programes segueixi els estàndards proposats pel grup del *Question and Test Interoperability Specification group* del *Global IMS Learning Consortium*⁹ i del grup *Sharable Content Object Reference Model (SCORM)*¹⁰.

Existeixen diverses eines per la correcció automàtica, sorgides d'aquesta necessitat d'automatitzar el procés de correcció, algunes d'elles desenvolupades per universitats. Una de les eines de correcció automàtica de programes més utilitzada en les Enginyeries en Informàtica es diu *Ceildh-CourseMaster system*¹¹, desenvolupada pel departament d'informàtica de la *Universitat de Nottingham*.

En aquests moments en l'Enginyeria en Informàtica de la UOC s'està utilitzant un corrector automàtic de creació pròpia (Prieto-Blázquez et al., 2005). A l'Apèndix A d'aquesta tesi se'n donen els detalls.

Finalment mencionar que, com és evident, el corrector automàtic de programes tecnològic del Laboratori Virtual està estretament relacionat amb les pràctiques de laboratori de programació de les Enginyeries en Informàtica. Tanmateix, per motius de simplificació de l'estructura, tots els correctors automàtics d'exercicis, com per exemple de tipus test, també estaran classificats en aquest recurs.

⁹<http://www.imsglobal.org/question/>

¹⁰<http://www.adlnet.gov/scorm/>

¹¹<http://www.cs.nott.ac.uk/~ceildh/>

E. Màquina virtual (MAV)

Una de les dificultats més habituals a l'hora de realitzar pràctiques virtuals són els problemes que sorgeixen en la instal·lació i la configuració del programari i del maquinari. És per això que es necessiten eines de virtualització per simplificar i facilitar aquestes tasques. Una solució és utilitzar una màquina virtual.

Una màquina virtual és un programa que permet emular o simular màquines on s'instal·len diferents sistemes operatius (com ara *Microsoft Windows*, *GNU/Linux*, *DOS*, *BSD* o *Mac OS*) simultàniament en un mateix equip de treball, proporcionant transparència a l'estudiant per mantenir la compatibilitat amb aplicacions heretades, reduint d'aquesta manera el temps de configuració. El seu funcionament consisteix en crear una imatge del sistema operatiu amb tot el programari necessari i preparat per instal·lar-lo fàcilment a la màquina virtual de l'ordinador de l'estudiant, sense necessitat de fer cap partició en el disc, ni cap instal·lació prèvia.

Les dues eines propietàries que s'utilitzen majoritàriament són el *VMware*¹² i el *Microsoft Virtual PC*¹³. Totes dues eines ofereixen una solució que ajuda a estalviar temps i recursos en qualsevol situació en la qual l'estudiant hagi d'executar diversos sistemes operatius simultàniament. En el camp del programari lliure existeixen algunes eines, com per exemple el *Bochs Virtual Machine Emulator*¹⁴, *Qemu*¹⁵, *VirtualBox*¹⁶ o el *Xen virtual machine monitor*¹⁷, amb la mateixa finalitat i amb un rendiment molt alt.

En la literatura revisada, Kneale et al. (2004) implementen màquines virtuals amb el producte *VMware*, perquè els estudiants facin les pràctiques de xarxes de comunica-

¹²<http://www.vmware.com/>

¹³<http://www.microsoft.com/windows/virtualpc/>

¹⁴<http://bochs.sourceforge.net/>

¹⁵<http://bellard.org/qemu/>

¹⁶<http://www.virtualbox.org/>

¹⁷<http://www.xensource.com/xen/>

cions. En un altre exemple, Damiani, et al. (2006) presenten els avantatges d'utilitzar les màquines virtuals a partir del programari *Xen* en els cursos del programa *Security of Informatics Systems and Networks*.

F. Programari específic (PRG)

Aquest recurs engloba el conjunt de programari que necessiten els estudiants per realitzar les pràctiques en el seu punt de treball habitual. Els programes més habituals són:

- **Compilador:** és un programari específic d'ordinador que tradueix un programa escrit en un llenguatge de programació (codi font en *C*, *Pascal*, *Visual Basic*, *C#*, etc) a un altre llenguatge de programació, generant un programa equivalent que la màquina serà capaç d'interpretar (normalment assemblador).
- **Entorn integrat de desenvolupament (IDE):** és una eina informàtica que facilita el desenvolupament de programari de manera que sigui còmode i ràpida a partir d'una interfície gràfica.
- **Sistema operatiu:** és el programari que fa d'enllaç entre l'usuari i el maquinari de l'ordinador. És el programari de base on es faran les pràctiques (*GNU/Linux*, *Microsoft Windows* i *MAC OS*, per exemple).
- **Eines de matemàtiques:** són programes per realitzar càlculs matemàtics o estadístics (*Matlab*, *Maple*, *GNU Octave* o *Mathematica*, per exemple).
- **Base de dades:** és un programa específic per crear, modificar i consultar dades relacionades entre si (*Informix*, *Oracle*, *MySQL* i *PostgreSQL*, per exemple).
- **Eines ofimàtiques:** són programes per editar text i presentar resultats.

Per exemple, a l'assignatura de programació orientat a l'objete de la UOC, es proporciona el programari *Java Development Kit* (JDK) i l'Eclipse¹⁸ com a entorn integrat de desenvolupament (IDE).

4.1.2 Recursos pedagògics i estratègics

Tal i com s'ha comentat a l'apartat anterior, els recursos tecnològics per si sols difícilment aporten valor afegir en l'aprenentatge. Aquests recursos tecnològics necessiten uns fonaments pedagògics i una bona estratègia d'aprenentatge. En aquest apartat es presenten tots aquests recursos relacionats amb els factors pedagògics i estratègics. Aquests recursos són els següents:

- G. Avaluació (AVA)
- H. Documentació i materials de suport (DOC)
- I. Metodologia d'aprenentatge (MET)

G. Avaluació (AVA)

L'avaluació és un recurs pedagògic que es posa a disposició de l'estudiant per controlar el seu ritme d'estudi i que permet al professor fer un seguiment del seu progrés. L'avaluació és, per tant, un instrument bidireccional de relació entre el professorat i l'estudiant. Aquesta recurs permet als estudiants aconseguir els seus objectius d'aprenentatge. En un entorn virtual d'aprenentatge és molt important oferir als estudiants un model flexible d'avaluació contínua, proporcionant activitats que es puguin realitzar durant el període acadèmic (Kaczmarczyk, 2001), amb el suport d'una eina de planificació de la docència que està estrictament relacionada amb l'agenda de l'estudiant, introduïda a l'apartat de recursos tecnològics.

¹⁸<http://www.eclipse.org/>

En les assignatures amb una vessant fortament pràctica necessàriament s'han d'incloure les activitats de pràctiques en l'avaluació continuada. En aquest cas hi haurà dues qualificacions de l'avaluació continuada (la de pràctiques i les altres d'activitats més teòriques) que es combinaran per donar la qualificació final d'acord amb una ponderació a concretar per a cada assignatura.

La pràctica és independent de les altres activitats d'avaluació que es realitzen durant el curs. Aquestes altres activitats solen ser exercicis o proves d'aspectes teòrics, tot i que també poden incloure algun exercici de caire pràctic de curta durada que no requereixi l'ús d'un programari específic.

A la UOC, el sistema d'avaluació utilitzat segueix un model d'avaluació contínua (Sangrà, 2002), en el qual els estudiants han de realitzar un conjunt d'activitats durant el període acadèmic.

H. Documentació i materials de suport (DOC)

En tot entorn d'aprenentatge a distància i en particular l'entorn virtual, és imprescindible tenir una bona documentació i el material de suport necessari per al correcte seguiment de l'assignatura. La documentació i el material de suport constitueixen tota la informació que l'estudiant necessita per aconseguir els objectius i assolir les competències d'una determinada activitat pràctica. En un Laboratori Virtual, els estudiants haurien de tenir els següents materials en format digital:

H1. Apunts de classe. Els apunts de classe són els materials de teoria. Aquests materials han de ser d'una alta qualitat, ja que per si sols han de permetre a tots els estudiants assolir els objectius teòrics de l'assignatura.

H2. Suport al programari. El suport al programari inclou els manuals d'instal·lació i guies del programari, on s'explica detalladament tots els passos a seguir per instal·lar, configurar i utilitzar el programari.

H3. Llistat de preguntes més freqüents o FAQ. Les FAQ són una recopilació de preguntes i respostes generades al Laboratori Virtual en les edicions anteriors del curs. Aquestes FAQ s'han d'actualitzar periòdicament.

H4. Biblioteca virtual. La biblioteca virtual està composta per la bibliografia recomanada, publicacions electròniques i base de dades electròniques.

H5. Diccionari/Glossari/Acrònims. Els diccionaris, glossaris i acrònims són enllaços als viquipèdies o diccionaris relacionats de l'àrea.

H6. Material complementari. El material complementari inclou exemples d'activitats pràctiques i exàmens de cursos anteriors amb les seves solucions.

Com exemple, el Laboratori Virtual de sistemes operatius de la UOC proporciona la següent documentació i material de suport: vuit mòduls de teoria de l'assignatura, manual per instal·lar *Knoppix*, guia per iniciar-se a *Linux*, guia de crides al sistema *Unix*, manual de xarxes, tutorial d'*ANSI C*, FAQ del laboratori de sistema operatiu, enunciat i solució de les pràctiques dels dos cursos anteriors i accés a la biblioteca amb una selecció d'enllaços relacionats amb l'assignatura.

I. Metodologia d'aprenentatge (MET)

La metodologia d'aprenentatge es refereix als mètodes educatius que s'han de seguir per assolir els objectius i les competències associades a un programa educatiu, una

assignatura o, en concret, a la realització d'una pràctica de laboratori.

En el Laboratori Virtual existeixen diverses propostes metodològiques que van des de les centrades en l'explicació del professor (*teacher-lecture-centered*) fins a les orientades a posar l'estudiant en el centre de l'aprenentatge (Brush & Soye, 2000) (*student-centered*). La realització de pràctiques virtuals requereix, sens dubte, una metodologia docent adequada. És necessari situar l'estudiant en el centre del procés d'aprenentatge per trencar les barreres del temps i de l'espai.

La metodologia docent virtual ha d'utilitzar intensivament les tecnologies de la informació i la comunicació, basant-se en un entorn virtual de comunicació i relació. El Laboratori Virtual ha de facilitar a estudiants i a professors l'accés a tots els recursos universitaris.

A la UOC, la metodologia d'aprenentatge aplicada en els Laboratoris Virtuals és la metodologia general utilitzada a la UOC (Sangrà, 2002) adaptada per realitzar activitats pràctiques. Està basada en la teoria d'aprenentatge constructivista adaptada a entorn virtual d'aprenentatge on la comunicació asíncrona es permet en l'espai i en el temps entre els estudiants i els docents (Gros, 2002). Aquesta metodologia permet als estudiants tenir màxima flexibilitat, adaptant els seus estudis al seu propi ritme i les seves necessitats en qualsevol moment (Simonson, 2000). Els trets principals són: el professor facilita i controla el procés d'aprenentatge dels estudiants, l'estudiant és animat a ser responsable i autònom, les activitats pràctiques es divideixen en parts diferents per permetre l'avaluació contínua i facilitar i millorar la comunicació entre els mateixos estudiants i professors. En resum, la metodologia de qualsevol Laboratori Virtual ha d'estar centrada en l'estudiant.

4.1.3 Recursos humans

En els apartats anteriors s'han tractat els aspectes tecnològics i pedagògics que ha de tenir un Laboratori Virtual. Per completar l'estructura general d'aquests laboratoris es presenten en aquest apartat els agents humans que intervenen i que són bàsicament els següents:

J. Professor (PRF)

K. Estudiant (EST)

J. Professor (PRF)

El professor és la persona encarregada de guiar el procés d'ensenyament-aprenentatge dels estudiants al seu càrrec. El professor ha de tenir coneixements de la matèria a impartir, aplicant una metodologia concreta a partir del que ja saben els estudiants perquè puguin incorporar els nous conceptes i assolir les competències que estigui definides al pla d'estudis. També ha d'avaluar i certificar els coneixements i competències obtingudes i, en alguns casos, ocupar-se de funcions de tutoria o seguiment personalitzat de cada estudiant.

Als Laboratoris Virtuals, l'estructura del personal acadèmic ha de contemplar almenys dues tipologies de professors amb perfils i habilitats diferents: el *professor de teoria* i el *professor de laboratori*. Aquests "professors virtuals" són membres del conjunt de professorat de la universitat que ajuden als estudiants a assolir les competències i els objectius oferint una atenció personalitzada. Un aspecte que impacta en el rol del professorat, sigui del tipus que sigui, és el fet que en un entorn d'aprenentatge virtual els estudiants normalment estan aïllats, ja que es troben a casa seva. Per minimitzar aquest aïllament cal que els professors tinguin una gran capacitat per: motivar, orientar, fer de mentor, fer una planificació personalitzada i ser més proactiu. Una altra

figura acadèmica important en el disseny dels Laboratoris Virtuals és el *professor coordinador de l'assignatura*, que també serà el professor responsable de vetllar pel correcte funcionament del Laboratori Virtual.

Els professors de laboratori han de tenir un perfil específic. Les competències més importants que han de tenir estan vinculades a les habilitats tecnològiques, sobretot de les eines que es faran servir al laboratori (Sicker et al., 2005). També és important que tinguin màxima disponibilitat de temps en els moments de la realització de les pràctiques. Per últim també es requereixen habilitats comunicatives virtuals, on el tipus de suport ha de ser personal, directe i ràpid.

K. Estudiant (EST)

Els estudiants són l'element essencial de qualsevol universitat, sense ells no tindria sentit un Laboratori Virtual. Els estudiants que pertanyen a un Laboratori Virtual s'han matriculat d'una assignatura del programa que els dóna accés a un Laboratori Virtual associat. Tot i que no és l'objectiu d'aquesta tesi, és important tenir en compte el perfil de l'estudiant que accedeix a aquest espai i a aquest tipus de formació, ja que la pedagogia i l'estratègia d'aprenentatge s'han d'adaptar a aquest perfil d'estudiant per millorar el seu procés d'aprenentatge.

4.2 Encaix de l'estructura general del VLab proposada amb literatura revisada

En aquest apartat es mostra com les experiències més significatives de la literatura revisada al Capítol 3 encaixen perfectament amb l'estructura general de Laboratori Virtual proposada a l'Apartat 4.1, amb els seus onze recursos principals. Per fer aquest estudi d'idoneïtat s'han seguit els següents passos:

1. Selecció d'una mostra significativa de Laboratoris Virtuals analitzats a l'estat de l'art.

A continuació es llista la selecció dels divuit exemples analitzats de Laboratori Virtual, tres per cada tipologia, on fan servir diferents estructures. A la llista es mostra el nom de la universitat on s'utilitza el laboratori així com la cita bibliogràfica on es pot trobar més informació.

- VPLab1: Meisalo V. (2002) de la *Virtual University of Finland* (Finlàndia)
- VPLab2: Cheung (2006) de la *Hong Kong Polytechnic University* (Xina)
- VPLab3: Molstad (2001) de la *Dakota State University* (EEUU)
- VOSLab4: *VOSLAB*¹⁹ de la *State University of New Jersey* (EEUU)
- VOSLab5: Maia & Jr. (2003) de la *Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro* (Brasil)
- VOSLab6: Wulff & Braun (2007) de la *University of Bern* (Suïssa)
- VDBLab7: Dietrich et al. (2008) de l'*Arizona State University* (EEUU)
- VDBLab8: Becking & Schlageter (2002) de la *FernUniversität in Hagen* (Alemanya)
- VDBLab9: Hardaway et al. (2005) de la *Saint Louis University* (EEUU)
- VNLab10: Liu et al. (2001) de la *Texas A&M University* (EEUU)
- VNLab11: Lawson & Stackpole (2006) de la *Rochester Institute of Technology* (EEUU)
- VNLab12: Kneale et al. (2004) de la *University of Western Sydney* (Austràlia)
- VCAOLab13: Djordjevic et al. (2000) de la *University of Belgrade* (Serbia)
- VCAOLab14: Fechner et al. (2006) e la *FernUniversität in Hagen* (Alemanya)

¹⁹<http://www.cs.rutgers.edu/resources/systems/voslab/>

- VCAOLab15: Sánchez & Ibarria (2001) de la *Universitat Politècnica de Catalunya* (Espanya)
 - VMathLab16: *Virtual Math Lab*²⁰ de la *West Texas A&M University* (EEUU)
 - VMathLab17: *VMathLab*²¹ de la Tidewater Community College (EEUU)
 - VMathLab18: *WIRIS*²² de la *Universitat Oberta de Catalunya* (Espanya)
2. Per cada Laboratori Virtual seleccionat, s'han identificat els recursos que cada autor inclou en la seva estructura particular de Laboratori Virtual.
 3. Finalment, s'ha establert l'equivalència entre els onze recursos principals identificats a l'Apartat 4.1 i els recursos identificats en cada cas particular de Laboratori Virtual del pas anterior.

Com a resultat i per cada un dels divuit Laboratoris Virtuals analitzats, a la Taula 4.2 es mostra de manera esquemàtica quins recursos han estat identificats i equiparats amb algun dels onze recursos principals de l'estructura del Laboratori Virtual proposada. Les fileres de la taula mostren els divuit Laboratoris Virtuals analitzats (VPLab1-VMathLab18), les columnes mostren els onze recursos del Laboratori Virtual proposats (A-K) i a les interseccions es representen amb el símbol “√” quan un autor fa referència explícita al recurs del Laboratori Virtual. En cas contrari es representa amb un “-”, que vol dir que no s'ha trobat cap indicatiu que facin servir el recurs en el seu particular Laboratori Virtual.

En aquest encaix es pot observar certes similituds significatives entre els exemples analitzats de la mateixa tipologia de Laboratori Virtual.

²⁰<http://www.wtamu.edu/academic/anns/mps/math/mathlab/>

²¹<http://www.tcc.edu/vml/>

²²<http://www.wiris.com/>

Recurs -->	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
	EVC	SIM	REM	CAP	MAV	PRG	AVA	DOC	MET	PRF	EST
VPLab1	✓	✓	-	-	-	✓	✓	✓	-	✓	✓
VPLab2	✓	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
VPLab3	✓	-	-	✓	-	-	✓	✓	-	✓	✓
VOSLab4	-	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	✓
VOSLab5	✓	✓	-	-	-	-	-	✓	✓	✓	✓
VOSLab6	✓	-	✓	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
VDBLab7	-	-	✓	-	-	✓	✓	-	✓	-	✓
VDBLab8	✓	-	-	-	-	✓	-	✓	-	✓	✓
VDBLab9	-	-	✓	-	✓	-	-	-	-	-	✓
VNLab10	-	-	✓	-	-	-	-	✓	-	✓	✓
VNLab11	✓	-	✓	-	✓	-	✓	✓	-	✓	✓
VNLab12	-	-	✓	-	✓	-	-	-	✓	-	✓
VCAOLab13	-	✓	-	-	-	-	✓	✓	✓	-	✓
VCAOLab14	-	✓	-	-	-	-	-	-	-	-	✓
VCAOLab15	-	✓	-	-	-	✓	✓	-	-	-	✓
VMathLab16	✓	✓	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓
VMathLab17	✓	✓	-	-	-	-	-	✓	-	✓	✓
VMathLab18	✓	✓	-	✓	-	-	✓	✓	✓	✓	✓

Taula 4.2: Relació des recursos de la literatura revisada i el VLab proposat.

En primer lloc, es pot veure que els tres casos analitzats de la tipologia de VCAOLab fan servir un *simulador* com a recurs principal sense la necessitat de tenir un “professor virtual” ni un *entorn virtual de comunicació* associat directament al laboratori. En general, els VMathLab i VPLab són estructures molt complertes de Laboratoris Virtuals que incorporen *simuladors*, *entorn virtual de comunicació*, *corrector automàtic*, *professors* i força *documentació* addicional per realitzar les pràctiques. Per altra banda, els VNLab tenen un *laboratori remot* com un recurs molt important per fer les pràctiques i d’aquesta manera poder accedir a un dispositiu real de xarxa de manera remota. En canvi, no s’observa cap patró pre-establert en les estructures dels VOSLab o dels VDBLab.

Finalment, es pot concloure que tots els recursos identificats de la literatura revisada encaixen en l’estructura proposada i, per tant, l’estructura general proposada pot servir com un model inicial per poder dissenyar i implementar qualsevol Laboratori Virtual en les Enginyeries en Informàtica i d’aquesta manera poder realitzar pràctiques de laboratori en un entorn d’aprenentatge virtual.

4.3 Resum

En aquest capítol es proposa una caracterització dels Laboratoris Virtuals adequada per als diferents tipus de laboratoris trobats en la revisió de la literatura. La caracterització es basa en una estructura general, de Laboratori Virtual, que conté tots els recursos que es consideren necessaris per poder realitzar correctament qualsevol tipus de pràctiques en les Enginyeries en Informàtica, classificats en tecnològics, pedagògic i humans. La caracterització proposada és una de les aportacions més importants d’aquesta tesi, que pretén ser oberta per a nous recursos i a altres enginyeries.

A més, es detalla com els diferents recursos identificats, d’una mostra de divuit Laboratoris Virtuals analitzats al Capítol 3, encaixen perfectament amb l’estructura

general de Laboratori Virtual. Per tant, la caracterització proposada serveix com a model inicial per dissenyar i implementar qualsevol tipus de Laboratori Virtual en les Enginyeries en Informàtica en un entorn d'aprenentatge virtual.

Amb aquesta caracterització dels Laboratoris Virtuals s'assoleix l'*objectiu 2* descrit al Capítol 1.

Capítol 5

Especificació formal dels Laboratoris Virtuals

“A Lisp programmer knows the value of everything, but the cost of nothing.”

Alan Perlis

L'estructura dels Laboratoris Virtuals descrita al Capítol 4 és una caracterització necessària però no suficient per a la creació automàtica de Laboratoris Virtuals en un entorn virtual d'aprenentatge, com ara *Moodle*¹. A partir de la caracterització realitzada es requereix d'un treball de desenvolupament que es pot dividir en dues fases: una primera fase d'especificació formal dels Laboratoris Virtuals que es descriu en aquest Capítol 5 i una segona fase d'implementació, sobre una plataforma d'aprenentatge, que es detalla al Capítol 6.

És important destacar que el procés per arribar a l'especificació formal, detallada en aquest capítol, no ha estat trivial, ja que en una primera etapa d'aquest treball de tesi es va decidir fer una representació exclusivament “sintàctica” a partir de les especificacions i estàndards que defineixen els organismes reguladors en l'àmbit de l'educació, tal i com s'estava fent en una bona part de la literatura revisada.

¹<http://moodle.org/>

La representació “sintàctica” escollida en un primer moment era insuficient per assolir els objectius marcats per a aquest treball de tesi ja que els models de representació “sintàctica” no aportaven, entre altres funcionalitats: regles de restriccions per raonar, flexibilitat per definir els recursos del Laboratori Virtual i les seves propietats, ni una garantia per ser processat per un ordinador.

Per aquest motiu es va decidir realitzar una especificació formal dels Laboratoris Virtuals mitjançant una representació semàntica a partir d’ontologies, que proporciona un vocabulari de classes i relacions computable per un ordinador, posant l’accent en la compartició de coneixement i en un consens de la seva representació. D’aquesta manera, la representació semàntica a partir d’ontologies dóna un significat explícit a la informació i permet que les màquines puguin processar automàticament aquesta informació i compartir-la.

Aquest capítol s’estructura de la següent manera. A l’Apartat 5.1 es realitza una revisió de la literatura per escollir el sistema de representació del Laboratori Virtual que millor pugui adaptar-se a les necessitats d’aquest treball de tesi. A continuació, a l’Apartat 5.2, s’introdueix el concepte d’ontologia com a sistema de representació escollit en aquest treball de tesi; el *Web Ontology Language* (OWL) com a llenguatge de representació d’ontologies i l’eina *Protégé* com a programari que es farà servir en aquesta tesi per treballar amb OWL. Finalment, a l’Apartat 5.3, es descriu l’especificació formal dels Laboratoris Virtuals basada en ontologies.

5.1 Representació del coneixement: revisió de la literatura

En aquests moments l’educació a distància a través d’Internet és una realitat en augment i moltes institucions universitàries estan dissenyant nous programes de formació sota aquest nou paradigma d’aprenentatge. Per resoldre els problemes associats amb

la compartició i reutilització dels diferents materials d'ensenyament i aprenentatge en diferents entorns d'aprenentatge virtual, diverses organitzacions internacionals estan desenvolupant estàndards en l'entorn de l'educació.

5.1.1 Estàndards de metadades en l'àmbit de l'educació

Les metadades, o dades sobre dades (Sen, 2004), en l'àmbit de l'educació tenen com a objectiu etiquetar la informació sobre els recursos d'aprenentatge per conèixer les seves característiques i amb això facilitar la seva reutilització i intercanvi (Haase, 2004).

L'establiment d'un estàndard per a la definició de metadades, en l'àmbit educatiu, permet acordar les característiques que ha de tenir un element d'aprenentatge independentment del sistema informàtic i el maquinari que s'utilitzi per treballar-hi. Aquestes característiques han de permetre a l'entorn d'aprenentatge virtual comptar amb les següents funcionalitats (Berlanga-Flores & García-Peñalvo, 2004; Varlamis & Apostolakis, 2006):

- Accessibilitat per localitzar i accedir a materials instruccionals independentment de la seva localització.
- Adaptabilitat per ajustar la instrucció a les necessitats individuals dels estudiants.
- Assequibilitat per augmentar l'eficiència i productivitat, disminuint el temps i el cost del procés.
- Durabilitat per resistir els canvis tecnològics sense necessitat de redissenyar, recodificar o reconfigurar.
- Gestionabilitat per monitoritzar la informació sobre l'estudiant i els continguts d'aprenentatge.

- Reusabilitat per integrar els components instruccionals a una varietat d'aplicacions, sistemes i contextos.

Els organismes internacionals més importants que regulen les metadades i els recursos digitals en línia, o objectes d'aprenentatge, en l'àmbit de l'educació, són els següents (Lee, et al., 2008):

- *IEEE Learning Technologies Standardization Committee*² (IEEE LTSC): es va formar l'any 1996 i es troba involucrat en el procés de desenvolupament d'una gran varietat d'estàndards relacionats amb la tecnologia d'aprenentatge. La participació en aquest grup de treball és oberta a qualsevol persona o organització.
- *Instruction Management System Global Learning Consortium*³ (IMS): va sorgir a l'any 1997 com una iniciativa d'infraestructura nacional d'aprenentatge *EduCom* i actualment és una coalició de socis corporatius, acadèmics i governamentals. L'IMS té la visió de crear una arquitectura oberta i la infraestructura necessària per les tecnologies de l'educació.
- *Aviation Industry CBT committee*⁴ (AICC): es va formar l'any 1988 per estandaritzar el maquinari usat per la formació en la indústria del transport aeri. Des d'aleshores s'ha traslladat a la normalització dels sistemes de gestió d'aprenentatge.
- *Advanced Distributed Learning initiative*⁵ (ADL): es va formar l'any 1997 pel Departament de Defensa d'Estats Units i l'oficina de ciència i política tecnològica de la Casa Blanca per permetre l'accés a ensenyament de qualitat des de qualsevol lloc i en qualsevol moment.

²<http://ieeeltsc.org/>

³<http://www.imsglobal.org/>

⁴<http://www.aicc.org/>

⁵<http://www.adlnet.org/>

- *Alliance of Remote Instructional Authoring and Distribution Networks for Europe project*⁶ (ARIADNE): es va iniciar a l'any 1996 i es centra en el desenvolupament d'eines i protocols que suporten la producció, emmagatzemament, lliurament i reutilització de components curriculars usats en l'aprenentatge.
- *European commission for standardization / Information Society Standardization System*⁷ (CEN/ISSS WS-LT): es va iniciar l'any 1999 com a un taller de tecnologies d'aprenentatge, amb l'objectiu de donar suport al mercat de la tecnologia d'aprenentatge i la societat europea d'informació, amb serveis i productes orientats a estàndards.
- *Dublin Core metadata initiative*⁸ (DC): va començar l'any 1995 com un taller de metadades patrocinat per la *Online Computer Library Center* (OCLC) i la *National Center for Supercomputing Applications* (NCSA) a Dublin. El DC ha produït un conjunt estable de quinze elements que suporten l'emmagatzemament i la recuperació general de recursos en línia. Un grup de treball d'educació va continuar l'any 1999 per investigar les extensions pels recursos pedagògics.
- *International Standards Organization and International Engineering Consortium Joint Technology Committee*⁹ (ISO/IEC JTC1/SC36): es va iniciar l'any 2006 com a un comitè d'estàndards (SC36) sobre la tecnologia d'informació per l'aprenentatge.

A continuació es descriuen breument els dos estàndards de metadades més significatius trobats en la literatura: l'*IEEE Learning Object Metadata* i l'*IMS Learning Design*.

⁶<http://ariadne.unil.ch/>

⁷<http://www.cen.eu/ISSS/>

⁸<http://dublincore.org/>

⁹<http://www.jtc1sc36.org/>

A) IEEE Learning Object Metadata (LOM)

L'estàndard *IEEE Learning object metadata*¹⁰ publicat per la *IEEE Learning Technologies Standardization Committee* ha esdevingut l'estructura més estesa de classificació i descripció de recursos digitals en línia, o objectes d'aprenentatge, dins l'àmbit educatiu. Les metadades *IEEE LOM* contenen informació clau sobre els objectes educatius a què fan referència i la seva funció és facilitar la localització dels objectes d'aprenentatge seguint uns criteris de selecció simple. Es podria establir un paral·lelisme amb la funció que desenvolupen els cercadors genèrics (*Google, Yahoo, etc.*) però en l'àmbit restringit de l'entorn educatiu. Aquesta especialització permet fer una cerca eficient i, a més, ampliar els criteris de cerca a camps concrets de la informació; per exemple, cerques per claus semàntiques, per tipus de document, per idioma, etc. En els darrers anys diferents grups que estan desenvolupant metadades d'objectes d'aprenentatge, com IMS, ARIADNE i AICC, han arribat a un acord per fer servir l'IEEE LOM com a vehicle comú per a l'estandarització. Aquestes tres organitzacions han participat activament en el desenvolupament de l'IEEE LOM.

El model de dades IEEE LOM especifica quins aspectes d'un objecte d'aprenentatge haurien de ser descrits i quin vocabulari hauria de ser utilitzat per aquestes descripcions. Altres parts de l'estàndard s'estan elaborant per definir els vincles del model de dades IEEE LOM a altres estàndards. Per exemple l'*IEEE 1484.12.3* i l'*IEEE 1484.12.4* defineixen com haurien de ser representades les dades IMS LOM en XML i RDF (*Resource Description Framework*) respectivament (Lassila & Swick, 1998; Manola & Miller, 2004).

¹⁰<http://www.ieeeltsc.org/working-groups/wg12LOM/>

B) IMS Learning Design (IMS-LD)

L'estàndard *IMS-Learning Design*¹¹ defineix una notació pedagògicament neutral que permet crear dissenys educatius reutilitzables en diferents cursos o contextos d'aprenentatge. Aquesta especificació descriu processos que, a fi d'assolir un objectiu d'aprenentatge, defineixen quines activitats realitzaran estudiants i professors, en quin moment, amb quins recursos didàctics o serveis i sota quines condicions.

IMS-Learning Design representa la integració del treball de l'*Educational Modelling Language*¹², presentat al grup de treball *Learning Design (LDWG)* de la *Universitat Oberta de Netherlands*.

L'objectiu de l'especificació del *Learning Design* és el de proveir un marc de contenció dels elements que puguin descriure qualsevol disseny d'un procés d'ensenyament-aprenentatge d'una manera formal. Més concretament, l'especificació del *Learning Design* ha de complir els següents requisits:

1. Integritat: l'especificació ha de ser capaç de descriure completament el procés d'ensenyament-aprenentatge en una unitat d'aprenentatge, incloent referències a objectes d'aprenentatge, tant digitals com no digitals i serveis necessaris durant el procés.
2. Flexibilitat pedagògica: l'especificació ha de ser capaç d'expressar el significat pedagògic i funcionalitat dels diferents elements de dades dins el context d'unitat d'aprenentatge. Ha de ser flexible en la descripció de tots els tipus de pedagogies i no en un tipus d'enfocament pedagògic concret.
3. Personalització: l'especificació ha de ser capaç de descriure aspectes de personalització dins un disseny d'aprenentatge, de manera que els continguts i les activitats

¹¹<http://www.imsglobal.org/learningdesign/>

¹²<http://eml.ou.nl/>

dins la unitat d'aprenentatge puguin ser adaptats basant-se en preferències, coneixements previs i necessitats educatives i en les situacions i circumstàncies dels usuaris.

4. Formalització: l'especificació ha de descriure el disseny d'aprenentatge en el context d'unitat d'aprenentatge formalment, de manera que sigui possible un processament automàtic.
5. Reproduïbilitat: l'especificació ha de descriure el disseny d'aprenentatge d'una manera que sigui possible l'execució repetida en diferents escenaris amb diferents persones.
6. Interoperabilitat: l'especificació ha de suportar l'interoperabilitat de dissenys d'aprenentatge.
7. Compatibilitat: l'especificació ha de fer servir els estàndards i especificacions disponibles quan sigui possible, principalment *IMS Content Packaging*, *IMS Question i Test Interoperability*, *IMS/LOM Meta-Data* i *IMS Simple Sequencing*.
8. Reusabilitat: l'especificació ha de fer possible identificar, aïllar, descontextualitzar i intercanviar objectes d'aprenentatges útils i de reutilitzar-los en altres contexts.

Per cada una d'aquestes organitzacions internacionals que regulen els estàndards de metadades en l'àmbit de l'educació, s'ha realitzat una cerca de les diferents iniciatives i projectes que ofereixen representacions properes a les que en aquest treball de tesi es plantegen. És interessant observar com en la majoria de les iniciatives analitzades (Cheniti-Belcadhi, et al., 2004; Buendía & Hervás, 2006; Guerrero & Mingullón, 2006; Sicilia, 2007) el nucli principal del sistema el forma una capa d'abstracció, estructurada segons diferents estàndards de metadades, entre les que es destaquen *Learning Object Metadata (LOM)*, *IMS Learning Design (IMS-LD)*, *Dublin Core metadata*

(DC) i *Sharable Content Object Reference Model* (SCORM).

És a dir, les propostes analitzades no es limiten d'entrada a un estàndard concret de metadades, fent palès que són diversos organismes reguladors els que tenen una presència real en els repositoris actuals. Tampoc sembla que per ara cap d'ells acabi imposant-se i, més aviat, es pot preveure una evolució continuada i potser en el sorgiment de noves propostes d'estructures en el futur. Berlanga-Flores & García-Peñalvo (2004) mostren amb detall exemples de l'aplicabilitat dels estàndards en diferents aspectes relacionats en l'entorn educatiu.

La forma i estructura de cadascuna de les propostes revisades a la literatura són diferents, però totes inclouen un model de dades que especifica quins elements són necessaris, les seves etiquetes, si és un element opcional, les seves propietats, multiplicitat i tipus. La majoria d'aquestes iniciatives utilitzen l'*eXtensible Markup Language*¹³ com a llenguatge de marcat i amb això asseguren la independència del medi i la interoperabilitat dels elements definits.

5.1.2 Evolució cap a la web semàntica

A partir d'una revisió recent de la literatura en aplicacions reals en l'àmbit de l'educació, és significatiu observar que la representació del coneixement mitjançant l'ús dels estàndards de metadades descrits anteriorment està evolucionant cap a la web semàntica.

Al-Khalifa & Davis (2006) descriuen com les metadades han evolucionat del "*Standard Metadata*" a la "*Semantic Metadata*". Jovanović, et al. (2007) expliquen que en els darrers deu anys, l'estàndard IEEE-LOM s'ha imposat com a format per descriure continguts d'aprenentatge a partir de metadades. No obstant això, amb l'adveniment de la web semàntica, les aplicacions en l'àmbit de l'educació estan començant a

¹³<http://www.w3.org/XML/>

evolucionar la seva representació de metadades complint aquestes normes mitjançant l'addició d'una estructura semàntica o convertint totalment l'estructura a representacions semàntiques. Finalment, Sicilia (2007) i Prieto-Blázquez, et al. (2008b) mostren un conjunt d'exemples de l'ús de la web semàntica en el camp de les competències educatives i en el camp dels Laboratoris Virtuals, respectivament.

Les metadades semàntiques que es fan servir a la web semàntica afegeixen els següents avantatges respecte les metadades “sintàctiques” definides a l'Apartat 5.1.1:

- Les metadades semàntiques tenen un significat ben format que permet que siguin llegides, enteses i processables per ordinadors.
- Les metadades semàntiques afegeixen més flexibilitat i extensibilitat ja que poden ser anotades amb més metadades sense estar limitades a una plantilla. Això permet la flexibilitat de barrejar metadades de diferents entorns d'aprenentatge que segueixen diferents estàndards de metadades.
- Les metadades semàntiques permeten definir regles de raonament, que derivaran en noves relacions.
- Les metadades semàntiques doten d'escalabilitat i poden ésser esteses i ampliades pràcticament sense límits.
- Encara que les metadades estàndards promouen la interoperabilitat, les metadades semàntiques afegeixen als sistemes la capacitat d'interoperar a nivell semàntic.

Per tal d'explicar de manera simple aquesta diferència i a tall d'exemple, la Figura 5.1 mostra dos estructures en forma d'arbre: la primera (a) representa la *web actual* com a símil de l'ús de metadades “sintàctiques”; i la segona estructura (b) representa la web semàntica fent servir metadades semàntiques. La *web actual* (a) és un graf format per nodes del mateix tipus i arcs que no es distingeixen entre ells i que no fan distinció

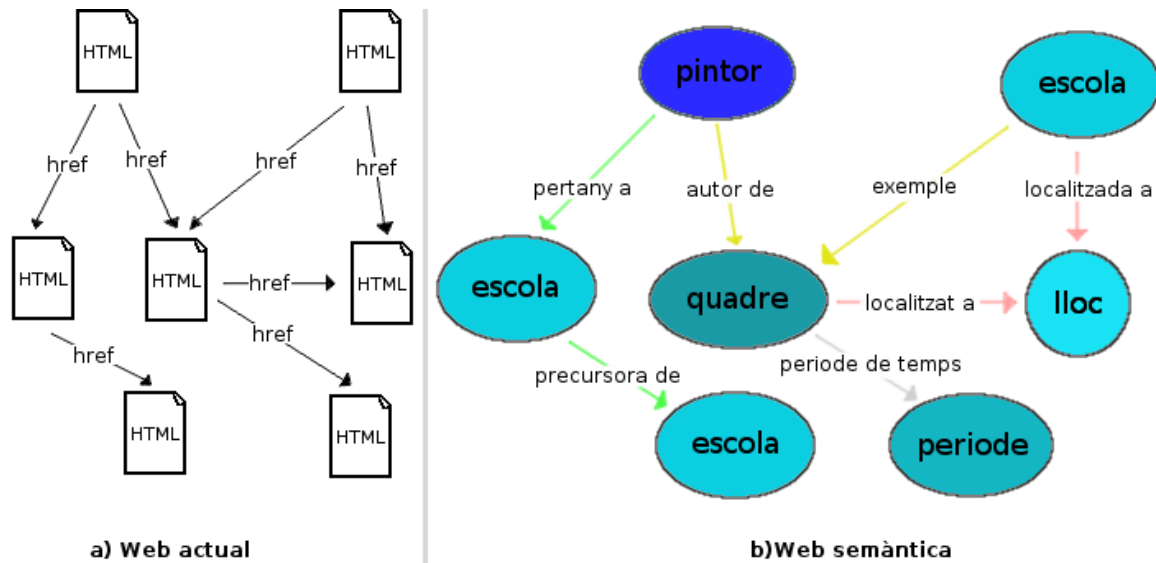


Figura 5.1: La web actual vs la web semàntica.

entre la pàgina web d'un professor i el portal d'una botiga on-line; tampoc es podria distingir la informació de la web d'un professor on tingui enllaços a les assignatures que aquest imparteix o els enllaços a les seves publicacions. Pel contrari, la web semàntica (b) dota a cada node d'un tipus i els arcs, que representen les relacions, també són diferenciats explícitament.

5.1.3 La web semàntica

La web semàntica va ser concebuda per *Tim Berners-Lee*, l'inventor de la *World Wide Web* (WWW) i està impulsada pel consorci internacional *World Wide Web Consortium*¹⁴ (W3C). Berners-Lee, et al. (2001) defineixen la web semàntica com "la web de dades que poden ser processades directa o indirectament per màquines" i es pot considerar com el següent pas de la *World Wide Web*. *Berners-Lee* proposa superar les limitacions actuals de la web mitjançant la introducció de descripcions explícites del significat, l'estructura interna i global dels coneixements i serveis disponibles a la xarxa d'Internet.

¹⁴<http://www.w3.org/>

La web semàntica ha deixat de ser en molts àmbits una utopia i ja es poden trobar exemples concrets d'utilitats plenament funcionals (Wikipedia, ontologies de gran abast com WordNet o Cyc, la implementació d'agents intel·ligents en diferents projectes de recerca, sindicació de continguts com RSS, etc.). La web semàntica manté els principis que han fet que la web actual sigui un èxit: la descentralització, compartició, compatibilitat i màxima facilitat d'accés. En aquest context, un problema clau per l'èxit de la web semàntica és arribar a un enteniment entre les parts que han d'intervenir en la construcció i explotació de la web semàntica: usuaris, desenvolupadors i programes de perfil molt divers.

La representació d'informació de la web semàntica es basa en la capacitat d'*eXtensible Markup Language* (XML) per definir esquemes d'etiquetes a mida, la flexibilitat semàntica de *Resource Description Framework* (RDF) i la capacitat de relacionar dades de les ontologies. És a dir, XML permet representar informació de manera arbitrària però sense aportar significat; en canvi, RDF afegeix el significat que pot ser processat per un ordinador. Per altra banda, les ontologies permetran que la informació de diferents dominis es pugui classificar a partir de les propietats i la relació entre les dades.

Per entendre millor els diferents elements que formen part de la web semàntica i la seva interrelació, a la Figura 5.2 es mostra una de les possibles arquitectures (Gerber, et al., 2008), basada en diferents nivells de capes de la web semàntica. En aquesta arquitectura es visualitzen els elements de l'arquitectura i la relació entre ells, on cada element de la capa superior incorpora l'estructura i funcionalitat dels elements de la part inferior. A continuació es descriu breument, començant per les capes inferiors, els elements bàsics d'aquesta arquitectura:

- *Uniform Resource Identifier* (**URI**): és un identificador de recursos de la Web. URI identifica de forma inequívoca qualsevol recurs (servei, pàgina, document, direcció de correu electrònic, enciclopèdia, etc) accessible des de la web a partir

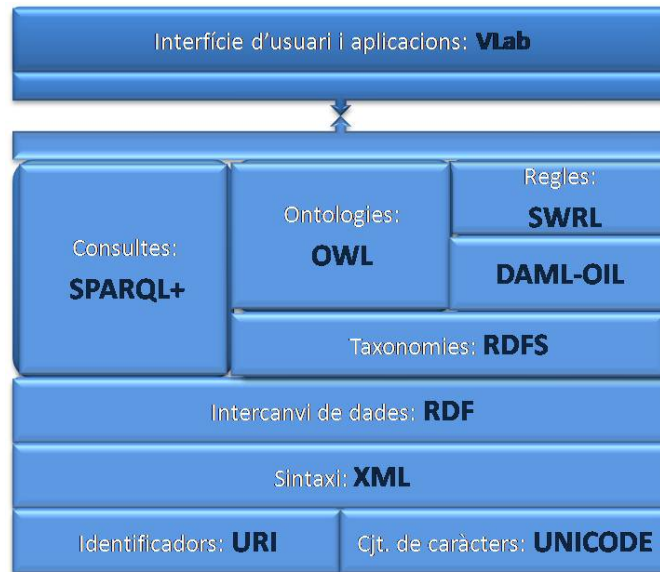


Figura 5.2: Arquitectura de la web semàntica.

del protocol d'accés (com per exemple, *http:*, *mailto:* o *ftp:*) i el nom del recurs (com per exemple, “//www.uoc.edu”).

- Conjunt de caràcters **UNICODE**: és un estàndard internacional de codificació de caràcters que els ordinadors coneixen i interpreten. El seu objectiu és proporcionar el mitjà per permetre emmagatzemar qualsevol informació.
- *eXtensible Markup Language* (**XML**): és un llenguatge de marcat que facilita l'addició de metadades amb etiquetes llegibles per éssers humans per descriure dades. A més, els documents XML poden incloure informació sobre l'autor d'una pàgina web, paraules clau per optimitzar els motors de cerca i les eines i programari usats per crear el fitxer XML (Thompson, et al., 2001).

Anteriorment a l'existència de l'XML, les dades eren emmagatzemades en un fitxer pla, o en un format de base de dades, on les dades eren propietàries d'una aplicació. L'XML fa possible que les dades siguin interoperables a nivell sintàctic només dins d'un domini, és a dir, només quan les dues parts saben i entenen els noms dels elements usats. Si, per exemple, una persona fa servir l'etiqueta “preu” i altres persones utilitzen “cost” o “diners”, no hi ha manera que una

màquina sàpiga que les tres etiquetes representen el mateix sense l'ajuda d'una aplicació molt personalitzada que uneixi els tres elements. Les tecnologies de web semàntica ajuden a solucionar aquest problema utilitzant marques no només intel·ligibles per humans, sinó també per màquines. En resum, l'XML aporta la sintaxi i l'estructura als documents sense preocupar-se dels problemes d'interoperabilitat.

- *Resource Description Framework (RDF)*: és un model de dades per descriure recursos i l'intercanvi de metadades utilitzant l'esquema XML per establir les jerarquies de generalització entre les classes. Lassila & Swick (1998) descriuen l'RDF com un model basat en *triplets*, conjunts de tres URI que representen les relacions subjecte-predicat-objecte. El subjecte és el recurs, és a dir, allò que es descriu, el predicat és la relació o propietat que es desitja establir per al subjecte i l'objecte és el valor de la propietat.

El benefici principal d'usar un llenguatge com l'RDF és que la informació apunta directament i sense ambigüïtat a un model descentralitzat i pel que hi ha molts intèrprets genèrics ja disponibles. Això significa que quan es té una aplicació RDF ja se sap quines porcions de dades són la semàntica de l'aplicació i quines són només la part sintàctica. Per aquest motiu, l'RDF amb XML és considerat el format d'intercanvi estàndard en la web semàntica.

- *Resource Description Framework Schema (RDFS)*: s'utilitza per escriure taxonomies i propietats de classes a partir de la seva semàntica formal en RDF. És per tant una extensió semàntica de l'RDF que permet definir relacions i restringir propietats.
- **DAML+OIL**: és fruit de la unificació dels llenguatges *DAML* (DARPA's Agent Markup Language) y *OIL* (Ontology Inference Layer) que es va desenvolupar com una extensió de l'RDF per ampliar el nivell d'expressivitat de l'RDFS i dissenyat per expressar ontologies (Connolly, et al., 2001).

- *Web Ontology Language (OWL)*: és un llenguatge d'etiquetatge semàntic per publicar i compartir ontologies en la web, derivat de la lògica descriptiva que ofereix més construccions que RDFS. L'ontologia, descrita en detall a l'Apartat 5.2, és una estructura jeràrquica de conceptes que conté totes les entitats rellevants d'un domini i les relacions possibles entre les ontologies. Sintàcticament l'OWL inclou l'RDF, proporcionant un vocabulari estandarditzat addicional. Es tracta d'una recomanació del W3C i pot usar-se per representar ontologies de forma explícita, és a dir, permet definir el significat de termes en vocabularis i les relacions entre aquells termes. OWL sorgeix com una revisió més extensa al llenguatge DAML-OIL. A l'Apartat 5.2.1 es descriu amb més detall el llenguatge OWL.
- *SPARQL*: és una recomanació del W3C com a llenguatge per consultar les dades RDF, així com ontologies RDFS, DAML+OIL i OWL de la web semàntica. Cal destacar que SPARQL és també un protocol per accedir a dades RDF i no només un llenguatge de consulta.
- *Semantic Web Rule Language (SWRL)*: és un llenguatge de regles estandarditzat per la web semàntica (Horrocks, et al., 2004) que permet establir regles i restriccions per raonar més enllà de les construccions disponibles dels llenguatges RDFS, DAML+OIL i OWL, citats anteriorment.

Com s'ha vist en aquest apartat, la web semàntica es val de la noció d'ontologia usada en el camp de la intel·ligència artificial per oferir un mètode per representar informació en qualsevol àrea de coneixement, en particular en l'àmbit de l'educació (Sicilia & Lytras, 2005). L'adopció d'ontologies comunes és clau per a que tots els que participin en la web semàntica, contribuint o consumint recursos, puguin treballar de forma autònoma i amb la garantia que les peces encaixin amb una gran capacitat d'escalabilitat per ser estesa i ampliada, tant a nivell sintàctic com a nivell semàntic.

5.1.4 Justificació del model escollit per l'especificació formal dels VLab.

Per a representar el coneixement dels Laboratoris Virtuals, s'ha escollit la web semàntica ja que permet la descripció explícita del significat dels recursos. A partir de l'ús de la web semàntica es pot emmagatzemar suficient informació sobre el coneixement perquè aquest sigui processat per màquines, amb tots els avantatges que això pot comportar: millores a les cerques, inferències, classificacions automàtiques, instanciació, etc. Una de les característiques més importants d'usar aquest model de representació per als Laboratoris Virtuals és la possibilitat que altres projectes integrin i ampliiïn l'ontologia proposada en l'àmbit de l'ensenyament.

Aquesta especificació semàntica es farà a partir d'ontologies que permeten representar explícitament el significat de termes en vocabularis i les relacions entre aquests termes. Com afirma Sicilia (2006), la combinació de tècniques de descripció de metadades i ontologies defineix un nou panorama per representar la informació en les enginyeries amb problemes específics i té prometedores aplicacions.

L'especificació final realitzada en aquest treball de tesi s'ha fet amb independència dels estàndards, això no vol dir que no s'hagin tingut en compte. De fet, tot que no era un objectiu de la tesi, s'ha realitzat un treball en paral·lel per adaptar l'ontologia del Laboratori Virtual presentada en aquesta tesi perquè sigui compatible amb l'estàndard de metadades l'IEEE LOM. D'aquesta manera es pot facilitar la integració i reutilització de l'ontologia en altres entorns d'educació que facin servir aquest mateix estàndard. L'objectiu d'aquest treball en paral·lel era conèixer de primera mà la viabilitat de transformar l'ontologia proposada en aquest treball de tesi en qualsevol dels estàndards de metadades descrits a l'Apartat 5.1.1.

5.2 Ontologies

El terme ontologia ha estat introduït en els apartats anteriors d'aquest capítol com un model de dades que s'utilitza per representar el coneixement referent a un domini en concret.

A la literatura es poden trobar diferents definicions del terme ontologia en el camp de l'enginyeria (Tello, 2002; Breis, 2003; Perez-Soltero, et al., 2006; Conesa, 2008). La definició més utilitzada és la proposada per Gruber (1993) que defineix una ontologia com *“una especificació explícita i formal d'una conceptualització consensuada”*. L'“especificació” es refereix a definir els conceptes, propietats, relacions, funcions, restriccions i axiomes de forma explícita en algun llenguatge que sigui capaç de contenir aquest coneixement. La “conceptualització” es refereix a un model abstracte del món real. Per altra banda, aquest coneixement de les ontologies ha d'utilitzar-se de manera “consensuada” i compartida pels diferents sistemes i utilitzant un vocabulari comú definit per l'ontologia. Finalment, el terme “formal” es refereix a que l'ontologia s'ha d'implementar en un llenguatge computable per un ordinador perquè sigui interpretable de manera automàtica.

A la literatura també es troben definicions que amplien la definició anterior i que recull Tello (2002):

- *“Una ontologia és una jerarquia de conceptes amb propietats i relacions, que defineix una terminologia consensuada per definir xarxes semàntiques d'unitats d'informació interrelacionades.”*
- *“Una ontologia proporciona un vocabulari de classes i relacions per descriure un domini i facilitar la compartició del coneixement i el consens en la representació.”*

En una ontologia es poden trobar els següent elements (Dean & Schreiber, 2004):

1. **Classes:** grups abstractes o col·leccions d'objectes, que tenen una jerarquia establerta entre elles. És a dir, poden contenir subclasses o ser membres d'una superclasse. Per exemple: la definició d'una classe *vehicle*, amb les seves propietats corresponents, pot suposar el fet de crear dues subclasses anomenades *cotxe* i *camió* que heretaran les propietats de la classe *vehicle* i a més contindran propietats pròpies de la classe.

2. **Propietats o Slots:** poden ser de tres tipus:
 - **Object Properties:** és una propietat el valor de la qual no és una dada, sinó un enllaç a una altra classe. Per exemple, la classe que representa un *vehicle* pot estar relacionada amb la classe que representa un determinat *motor* amb les seves corresponents propietats i a la vegada un *motor* pot estar relacionat amb la classe *vàlvula*; de manera que es pot afirmar que són les propietats que proporcionen la capacitat de relació entre classes.
 - **Datatype Properties:** són utilitzades per guardar-hi informació pròpia d'una classe. És a dir, un *vehicle* pot tenir un atribut "*nom*" que el defineix. Dins dels *Datatype Properties* hi pot haver els següents tipus de dades: importats del *RDF* (*xds:string*, *xds:boolean*, *xds:integer*, *xds:decimal*, *xds:float*, *xds:dateTime*, *xds:binary*), importats de l'*RDFS* (*rds:literal*, que permet especificar un valor a una propietat) i propis del *OWL* (*owl:oneOf*, que permet enumerar un sèrie de valors a una propietat).
 - **Annotations:** afegixen comentaris a les classes i les propietats. Es fan servir per posar anotacions sobre les classes, però només per facilitar el disseny i l'enteniment de l'ontologia, de la mateixa manera que s'afegixen comentaris al codi font dels programes.

3. **Restriccions o Facets:** les restriccions s'utilitzen per establir com s'aplicaran les propietats a les classes, és a dir, quines propietats tindrà cada classe, si són

obligatòries o no, el nombre màxim i mínim de propietats que tindran, etc. D'aquesta manera a la classe d'exemple *vehicle* s'aplicaria la restricció de “*només un*” per la propietat “*número de portes*” i “*nom de la marca*”, perquè cada *vehicle* té només una propietat de cada tipus. Per contra, si es volgués parlar, per exemple, dels idiomes que parla una *persona*, seria raonable aplicar una restricció de “*mínim un idioma*” de la classe *persona*, possibilitant l'afegit d'una llista d'idiomes que la persona coneix o parla i forçant a que com a mínim en parlés un.

4. **Instàncies:** són objectes concrets d'una classe a diferència de les classes que són abstractes. En una instància es dona nom a les seves propietats.

Dins l'àmbit de l'educació es poden trobar ontologies per tal d'implementar Portals Web, col·leccions multimèdia, administració de llocs web corporatius, agents intel·ligents, etc. Actualment, existeixen moltes ontologies creades que poden ser modificades i utilitzades. La web *DAML*¹⁵ n'és un exemple i en conté aproximadament un centenar. També cal tenir en compte l'existència de Swoogle¹⁶, similar a Google però orientada a les cerques d'ontologies.

5.2.1 Web Ontology Language

Les ontologies fan servir una representació que és processada per un ordinador i, per tant, s'ha d'expressar en un llenguatge formal com l'rdf (Lassila & Swick, 1998), DAML+OIL (Connolly et al., 2001) o OWL (Dean & Schreiber, 2004), que permet als ordinadors manipular aquestes ontologies (Perez-Soltero et al., 2006).

Web Ontology Language (OWL)¹⁷ és la tercera especificació del “*The World Wide*

¹⁵<http://www.daml.org/ontologies/>

¹⁶<http://swoogle.umbc.edu/>

¹⁷Es podria pensar que l'acrònim correcte per a Web Ontology Language hauria de ser WOL en lloc d'OWL. Alguns creuen que l'ordre ha estat elegit en honor del personatge Owl de Winnie the

*Web Consortium*¹⁸ per crear aplicacions de web semàntica. Com ja s'ha esmentat, OWL està construït sobre l'RDF i l'RDFS i defineix els tipus de relacions que poden ser expressades en RDF, usant un vocabulari XML per indicar les jerarquies i relacions entre els diferents recursos. OWL afegeix més vocabulari per a la descripció de les classes i propietats, com per exemple: relacions entre classes, cardinalitat, equivalència, etc. Per altra banda, les ontologies de web semàntica consisteixen en la taxonomia i el conjunt de regles d'inferència a partir de les quals les màquines poden processar i arribar a conclusions lògiques.

El Web Ontology Language es pot subdividir en tres subllenguatges:

- OWL Lite: suporta les necessitats més bàsiques de l'usuari. Normalment s'utilitza quan tan sols hi ha una sola jerarquia en les classes i restriccions simples. Per exemple, la cardinalitat pot ser només de 0 ó 1.
- OWL DL: és el subllenguatge per tenir una garantia computacional.
- OWL Full: suporta les mateixes construccions que l'OWL DL, però permet al programador tota la llibertat a l'hora de desenvolupar, sense tenir en compte la garantia computacional.

Els tres subllenguatges mencionats compleixen la propietat d'inclusió, és a dir que tota ontologia OWL Lite és OWL DL i tota ontologia OWL DL és OWL Full.

5.2.2 L'eina *Protégé*

La manera més eficient per treballar amb *OWL* és fer servir un editor gràfic específic per treballar amb ontologies. Entre altres característiques, l'editor facilita l'edició i

Pooh, que escriu el seu nom OWL en lloc de WOL. Realment, OWL va ser proposat com un acrònim que fos fàcilment pronunciable en anglès i es relacioni amb el prestigiós projecte de representació del coneixement dels anys setanta de Bill Martin One World Language.

¹⁸<http://www.w3.org/>

creació de les *Clases*, *Propietats*, *Restriccions* i *Instàncies* de l'ontologia. La Taula 5.1 mostra una llista dels editors més significatius que existeixen en l'actualitat i que han estat comparats en un estudi per Suresh (2007).

A partir d'aquest estudi comparatiu i d'altres revisats a la literatura, s'ha triat l'eina *Protégé* com a editor OWL que s'utilitzarà en aquest treball de tesi.

Protégé és un editor d'ontologies de codi obert i multiplataforma (escrit en java) que permet crear de manera automàtica el codi font de qualsevol ontologia en format RDF/OWL.

Algunes de les característiques de *Protégé* són (Noy, et al., 2001):

- Facilita la creació i manteniment d'ontologies per mitjà d'una eina gràfica.
- Permet crear instàncies de les diferents classes de l'ontologia.
- Té la possibilitat d'instal·lar determinats endollables o *plugins* instal·lables per tal d'augmentar les seves funcionalitats, com per exemple, eines gràfiques per a representar les ontologies o per afegir restriccions mitjançant el llenguatge de regles SWRL (Horrocks et al., 2004).
- Permet crear codi font a partir de l'esquema de l'ontologia.
- Permet la interoperabilitat amb diferents raonadors, com per exemple *Pellet* (Sirin, et al., 2007) o *Racer* (Haarslev & Möller, 2003). A les darreres versions del *Protégé* aquests dos raonadors venen incorporats al programa.

Els principals motius d'elecció de l'editor *Protégé*, per aquests treball de tesi, han estat els següents: és de programari lliure, és multiplataforma, actualment és el més utilitzat, té totes les funcionalitats que es requereixen per aquest treball de tesi, està molt ben

documentat, s'estan desenvolupant molts programes al voltant d'aquest editor i és de fàcil ús.

5.3 Especificació dels Laboratoris Virtuals basada en ontologies

En aquest apartat es mostra l'especificació dels Laboratoris Virtuals a partir de la caracterització descrita al Capítol 4 mitjançant ontologies que és el sistema de representació del coneixement escollit per aquest treball de tesi.

En primer lloc, a l'Apartat 5.3.1 es descriuen totes les classes del primer nivell de l'ontologia que són el context dels Laboratoris Virtuals descrit al Capítol 2.

A la Figura 5.3 es poden visualitzar aquestes classes de primer nivell així com les resta de classes de l'ontologia que s'han dissenyat per a aquest treball de tesi. Donat que el nombre de classes que formen l'ontologia desenvolupada és massa elevat per detallar-les totes en aquesta memòria, s'ha seleccionat un conjunt de classes de l'ontologia, que pretenen ésser representatiu de la totalitat. Aquest conjunt de classes, que es destaquen a la Figura 5.3, es troben descrites a l'Apartat 5.3.2.

5.3.1 Especificació del context dels Laboratoris Virtuals

En aquest treball de tesi s'ha fet una simplificació a l'hora d'establir les relacions entre les classes de primer nivell tal i com es mostra a la Figura 5.4. Aquesta simplificació consisteix en limitar i fixar que qualsevol Enginyeria en Informàtica està estructurada a partir d'un conjunt d'*assignatures*, cadascuna de les quals té associada una sèrie de *competències* que l'estudiant ha d'assolir per superar-la. Algunes d'aquestes *competències* són de caire pràctic i requereixen la realització d'una o més *pràctiques de laboratori*. Per motius d'implementació s'ha afegit una nova entitat anomenada *tasca*,

Apar. 5.3. Especificació dels Laboratoris Virtuals basada en ontologies 111

Nom	Versió	Data versió	Desenvolupador	Més informació:
Adaptiva	-	05/10/2003	Sheffield University	http://www.aktors.org/technologies/adaptiva/
SemanticWorks 2008	2008 spl	12/09/2008	Altova	http://www.altova.com/products/semanticworks/semantic_web_rdf_owl_editor.html
COE	4.01	06/02/2006	Indiana Minority Health Coalition	http://cmap.ihmc.us/coe/
Conzilla2	2.2	05/02/2008	Knowledge Management Research Group	http://www.conzilla.org/wiki/Download/Main
HOZO	5.01	10/08/2007	Osaka University	http://www.ei.sanken.osaka-u.ac.jp/main/index-en.html
OWL Editor	0.2.0.36	18/08/2007	Model Futures	http://www.modelfutures.com/owl
Onto-Track	-	17/02/2004	Ulm University	http://www.informatik.uni-ulm.de/ki/ontotrack/
OWL-S Editor	23	06/09/2006	Linkoping University	http://owlseditor.semwebcentral.org/
Protégé	3.4 beta	15/02/2008	Stanford Medical Informatics	http://protege.stanford.edu
SWOOP	2.3 beta	01/04/2006	MINDSWAP	http://www.mindswap.org/2004/SWOOP/
WebOnto	-	1997	Open University	http://www.aktors.org/technologies/webonto

Taulla 5.1: Llista i algunes característiques d'editors d'ontologies.



Figura 5.3: Classes i relacions “is-a” de l’ontologia dels Laboratoris Virtuals.

Apar. 5.3. Especificació dels Laboratoris Virtuals basada en ontologies 113

que no apareix al context descrit al Capítol 2 i que permet concretar cada una de les *pràctiques de laboratori* en una sèrie de *tasques* a realitzar. Finalment, per realitzar cadascuna de les *tasques* es necessiten un o més *recursos del VLab*.

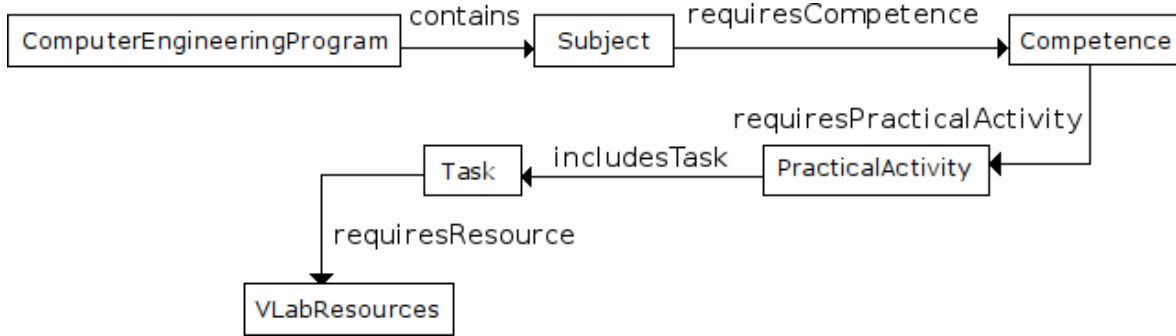


Figura 5.4: Relacions de les classes de primer nivell de l'ontologia.

Altres alternatives a la simplificació proposada podrien relacionar les tasques directament amb les competències sense definir una activitat pràctica. O bé relacionar una pràctica de laboratori directament amb els recursos del Laboratori Virtual sense establir les tasques concretes. De totes maneres, aquestes dues alternatives serien possibles d'implementar amb la proposta d'aquest treball de tesi donat que en són una simplificació. El model proposat requereix passar per les classes *Task* i *PracticalActivity* que garanteixen, per altra banda, la uniformitat en la creació dels Laboratoris Virtuals.

A la Figura 5.5 es visualitza aquest primer nivell de l'ontologia dels Laboratoris Virtuals. L'arrel d'aquesta estructura està encapçalada per la classe "Thing", que és la *Metaclasse* que representa totes les classes en OWL Lite i, per conseqüent, en OWL DL i Full.

De la classe arrel "Thing" depenen les següents classes que configuren el primer nivell de l'estructura de l'ontologia dels Laboratoris Virtuals:

- A) "*VLabResources*": classe principal d'aquest treball de tesi que inclou tots els recursos necessaris identificats per realitzar qualsevol pràctica de laboratori en els estudis d'Enginyeria en Informàtica.

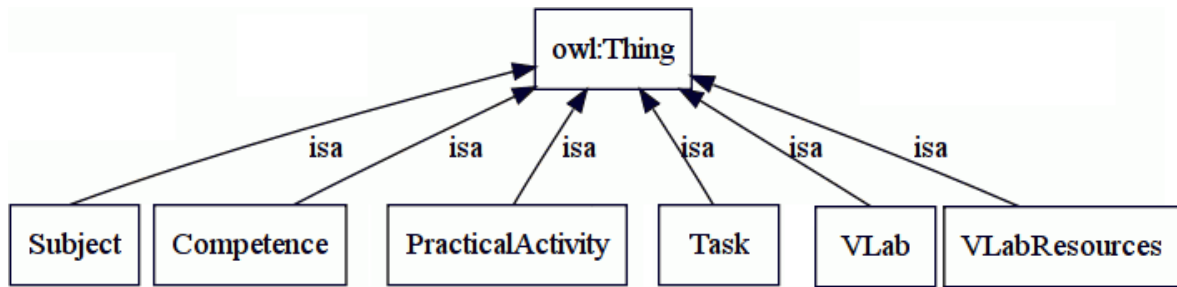


Figura 5.5: Classes de primer nivell de l'ontologia dels Laboratoris Virtuals.

- B) “*Subject*”: classe que conté la informació mínima i necessària d’una assignatura, com ara les competències que requereix.
- C) “*Competence*”: classe que conté la informació sobre els objectius (coneixements, habilitats, actituds i valors) que cal complir per satisfer una competència.
- D) “*PracticalActivity*”: classe que modela les activitats pràctiques que són necessàries realitzar per assolir una o més competències.
- E) “*Task*”: classe que modela les tasques específiques de cada activitat pràctica.
- F) “*VLab*”: classe dissenyada per classificar els Laboratoris Virtuals depenent de la seva tipologia.

Per descriure de manera simplificada i entenedora el conjunt de classes seleccionat, ha estat necessari prendre els següents criteris:

1. Per cada classe es mostra una taula resum amb un petit comentari dels seus *Object Properties*.
2. Per cada classe es mostra una taula resum dels seus *Datatype Properties*. Donat que a la taula de *Datatype Properties* hi ha una petita descripció de cada propietat no es creu convenient afegir cap comentari més.

Apar. 5.3. Especificació dels Laboratoris Virtuals basada en ontologies 115

3. Per cada classe es mostra la visualització gràfica que aporta l'eina *Protégé*. Es considera significatiu aquest gràfic donat que, de manera integrada, es mostra la informació pròpia i heretada de la classe.
4. Només es mostra el codi OWL de l'ontologia per a aquelles classes en que sigui curt i significatiu, amb la finalitat de conèixer el format del llenguatge OWL. En l'Appendix C es mostra el codi OWL complet de tota l'ontologia dels Laboratoris Virtuals, amb totes les seves classes.

A continuació es descriuen les classes de primer nivell, tenint en compte els criteris enumerats anteriorment:

A) VLabResources Class

La classe *Recursos del VLab* és la classe principal de l'ontologia dels Laboratoris Virtuals i conté tots els recursos identificats en aquest treball de tesi per fer les pràctiques de laboratori en un entorn d'ensenyament totalment asíncron, tant en el temps com en l'espai. L'estructura proposada en aquesta tesi i detallada al Capítol 4 estableix una classificació de tots els recursos depenent si són tecnològics, pedagògics o humans. A la Figura 5.6 es pot veure aquestes tres subclasses de la classe *VLabResources*.

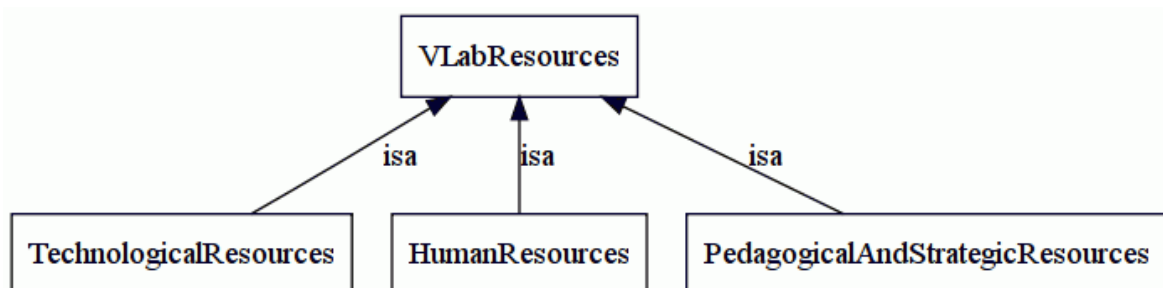


Figura 5.6: Classificació dels recursos del VLab.

i) Les *Object Properties* de la classe *Recursos del VLab* es mostren a la Taula 5.2.

Nom	Rang	Descripció	Restricció
requiredByTask	Task	Tasques que utilitzen el recurs	Cap
isUsedBy	VLab	Assenyala per quins laboratoris són usats els recursos	Com a mínim 1

Taula 5.2: *Object Properties* de la classe *VLabResources*.

La propietat inversa *requiredByTask* proporciona la informació sobre quines tasques (visualitzada a la taula com a *Rang*) utilitzen els recursos i no té cap restricció, això vol dir que està permès mantenir recursos a l'ontologia que no són usats per cap tasca.

La propietat inversa *isUsedBy* proporciona la informació sobre quins Laboratoris Virtuals (*Rang*) utilitzen els recursos i té com a restricció que com a mínim els Laboratoris Virtuals utilitzen un recurs.

ii) Les *Datatype Properties* de la classe *Recursos del VLab* es mostren a la Taula 5.3.

Nom	Tipus	Descripció	Restricció
name	Text	Nom del recurs	Un
description	Text	Descripció del recurs	Un
usualLabType	“VNLab”, “VPLab”, “VDBLab”, “VCAOLab”, “VMathLab” o “VOSLab”	Laboratoris virtuals on el seu ús és més freqüent	Cap
creationDate	Data i hora	Data de creació del recurs	Un

Taula 5.3: *Datatype Properties* de la classe *VLabResources*.

iii) La visualització gràfica de la classe *Recursos del VLab* amb l'eina *Protégé* es mostra a la Figura 5.7.

iv) Com a exemple, el codi OWL de la classe *Recursos del VLab* es mostra a continuació:

```

1 <owl:Class rdf:ID="VLabResources">
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Restriction>
      <owl:minCardinality rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
      >1</owl:minCardinality>
    <owl:onProperty>
      <owl:ObjectProperty rdf:ID="isUsedBy"/>

```

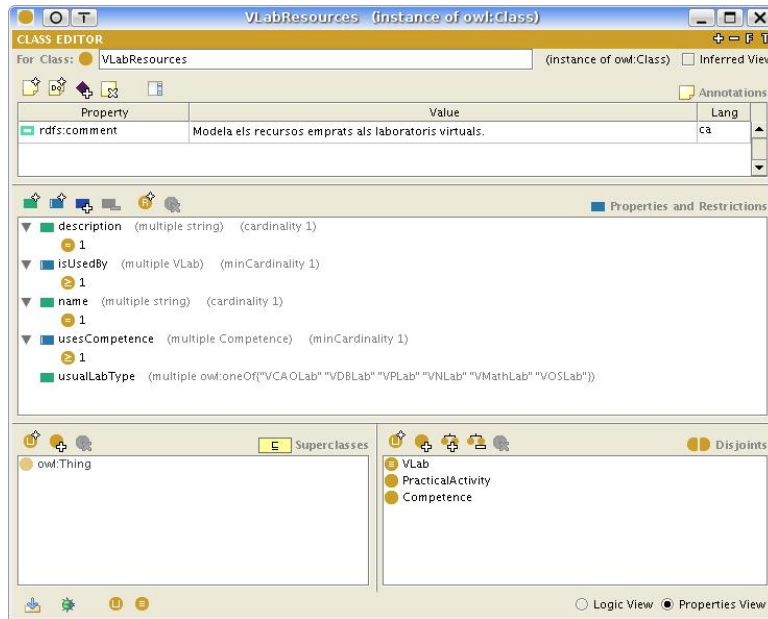


Figura 5.7: Vista de la classe *VLabResources* amb l'eina *Protégé*.

```

11      </owl:onProperty>
12    </owl:Restriction>
13  </rdfs:subClassOf>
14  <owl:disjointWith>
15    <owl:Class rdf:ID="VLab"/>
16  </owl:disjointWith>
17  <owl:disjointWith>
18    <owl:Class rdf:ID="PracticalActivity"/>
19  </owl:disjointWith>
20  <rdfs:subClassOf>
21    <owl:Restriction>
22      <owl:onProperty>
23        <owl:DatatypeProperty rdf:ID="creationDate"/>
24      </owl:onProperty>
25      <owl:cardinality rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
26        >1</owl:cardinality>
27    </owl:Restriction>
28  </rdfs:subClassOf>
29  <owl:disjointWith>
30    <owl:Class rdf:ID="Subject"/>
31  </owl:disjointWith>
32  <owl:disjointWith>
33    <owl:Class rdf:ID="Task"/>
34  </owl:disjointWith>
35  <rdfs:subClassOf>
36    <owl:Restriction>
37      <owl:cardinality rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
38        >1</owl:cardinality>
39      <owl:onProperty>
40        <owl:DatatypeProperty rdf:ID="name"/>
41      </owl:onProperty>
42    </owl:Restriction>
43  </rdfs:subClassOf>
44  <rdfs:subClassOf rdf:resource="http://www.w3.org/2002/07/owl#Thing"/>
45  <owl:disjointWith>
46    <owl:Class rdf:ID="Competence"/>
47  </owl:disjointWith>
48  <rdfs:subClassOf>
49    <owl:Restriction>
50      <owl:cardinality rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
51        >1</owl:cardinality>
52      <owl:onProperty>
53        <owl:DatatypeProperty rdf:ID="description"/>
54      </owl:onProperty>
55    </owl:Restriction>
56  </rdfs:subClassOf>
57  <owl:disjointWith>
58    <owl:Class rdf:ID="ProficiencyLevel"/>
59  </owl:disjointWith>
60 </owl:Class>

```

B) Competence Class

La classe *Competència* modela la combinació de coneixements, habilitats, actituds i valors que capaciten a un estudiant per afrontar amb garanties la resolució de problemes o la intervenció en un assumpte en un context acadèmic, professional i social determinat.

i) Les *Object Properties* de la classe *Competència* es mostren a la Taula 5.4.

Nom	Rang	Descripció	Restricció
requiresPracticalActivity	PracticalActivity	Defineix quines activitats pràctiques requereixen les competències	Cap
competenceWithProficiencyLevel	WithProficiencyLevel	S'utilitza per vincular competències amb assignatures i establir el nivell d'assoliment requerit	Un
preRequiredCompetence	Competence	Indica les competències requerides abans d'assolir la competència actual	Cap
postRequiredCompetence	Competence	Indica les competències que requereixen l'actual	Cap
RequiredBySubject	Subject	Defineix per quines assignatures és requerida la competència	Cap

Taula 5.4: *Object Properties* de la classe *Competence*.

La propietat *requiresPracticalActivity* és la propietat inversa de *requiredByCompetence* i s'utilitza per relacionar les activitats pràctiques que s'han de realitzar per poder assolir les competències. Aquesta propietat no té cap restricció i, per tant, es permet que una competència no requereixi cap activitat pràctica.

La propietat *competenceWithProficiencyLevel* relaciona la competència amb els nivells d'assoliment de la classe *ProficiencyLevel*. El nivell d'assoliment d'una competència és pròpia per cada assignatura i els valors poden variar entre 1 i 5.

Les propietats *preRequiredCompetence* i *postRequiredCompetence* indicaran, respec-

Apar. 5.3. Especificació dels Laboratoris Virtuals basada en ontologies 119

tivament, quines competències són necessàries abans i quines després d'assolir la competència d'on provenen. Ambdues aconseguen representar les dependències de cada una de les competències.

i) Les *Datatype Properties* de la classe *Competència* es mostren a la Taula 5.5.

Nom	Tipus	Descripció	Restricció
creationDate	Data i hora	Data de creació de la competència	Un
description	Text	Descripció de la competència	Un
isPractical	Booleà	Descriu si la competència és pràctica	Un
typeOfCompetence	“common”, “specific”	Tipus de competència	Un
typeOfSource	“program”, “university”, “faculty”, “subject”	D'on prové la competència	Mínim un

Taula 5.5: *Datatype Properties* de la classe *Competence*.

iii) La visualització gràfica de la classe *Competència* amb l'eina *Protégé* es mostra a la Figura 5.8.

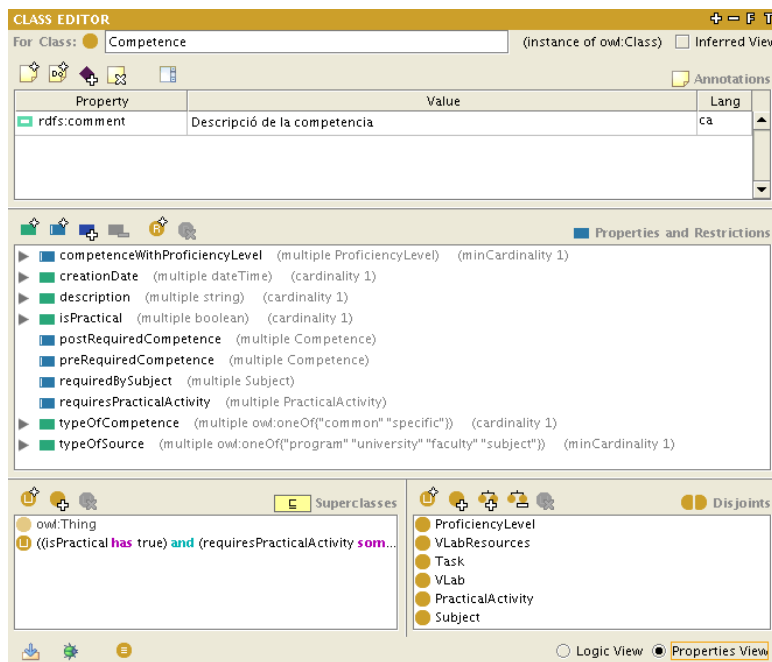


Figura 5.8: Vista de la classe *Competence* amb l'eina *Protégé*.

C) PracticalActivity Class

La classe *Pràctica* modela les activitats pràctiques de laboratori.

i) Les *Object Properties* de la classe *Pràctica* es mostren a la Taula 5.6.

Nom	Rang	Descripció	Restricció
corrector	LabTeacher	Especifica el professor corrector	Mínim un
hadBy	Evaluation	Estableix en quines avaluacions apareix l'activitat	Cap
includesTask	Task	Especifica les tasques que conformen l'activitat pràctica	Mínim un
requiredBy Competence	Competence	Especifica les competències que el recurs satisfà	Mínim un
preRequired PracticalActivity	PracticalActivity	Indica les activitats pràctiques requerides abans de realitzar l'activitat actual	Cap
postRequired PracticalActivity	PracticalActivity	Indica les activitats pràctiques que requereixen l'actual	Cap

Taula 5.6: *Object Properties* de la classe *PracticalActivity*.

La propietat inversa *hadBy* indica per quines avaluacions s'ha requerit l'activitat. No hi ha cap restricció, de manera que és possible que apareguin activitats pràctiques a l'ontologia que encara no són usades per ésser avaluades.

La propietat *includesTask* relaciona l'activitat pràctica amb totes les tasques que són necessàries per a completar-la. La cardinalitat mínima és una tasca.

Les propietats *preRequiredPracticalActivity* i *postRequiredPracticalActivity* indiquen, quines activitats pràctiques s'han de realitzar abans i després, respectivament, per poder completar l'actual. Anàlogament a la classe Competència, representarà les dependències de cada una de les activitats pràctiques.

ii) Les *Datatype Properties* de la classe *Pràctica* es mostren a la Taula 5.7.

Nom	Tipus	Descripció	Restricció
name	Text	Nom de la pràctica	Un
practicalActivityStart	Data i hora	Data en que començarà l'activitat	Un
practicalActivityFinish	Data i hora	Data en que acabarà l'activitat	Un
practicalActivityGrade	Enter	Grau de dificultat de l'activitat	Un
practicalActivityMandatory	Booleà	Estableix si és una pràctica obligatòria per superar l'assignatura	Un
typeOfPracticalActivity	"PAC", "Practica"	Indica si es tracta d'una pràctica corrent o d'una "PAC"	Un
description	Text	Descripció de l'activitat pràctica	Un
creationDate	Data i hora	Data de creació de l'activitat pràctica	Un

Taula 5.7: *Datatype Properties* de la classe *PracticalActivity*.

iii) La visualització gràfica de la classe *Pràctica* amb l'eina *Protégé* es mostra a la Figura 5.9:

D) Task Class

La classe *Tasca* de laboratori modela les tasques requerides per a cada activitat pràctica.

i) Les *Object Properties* de la classe *Tasca* es mostren a la Taula 5.8.

Nom	Rang	Descripció	Restricció
includedBy PracticalActivity	PracticalActivity	Especifica per quines activitats pràctiques està inclosa la tasca	Mínim un
requiresResource	VLabResources	Especifica quins recursos són necessaris per a completar la tasca	Cap
preRequiredTask	Task	Especifica quines tasques són requerides abans de realitzar la tasca actual	Cap
postRequiredTask	Task	Especifica quines tasques requereixen la tasca actual	Cap

Taula 5.8: *Object Properties* de la classe *Task*.

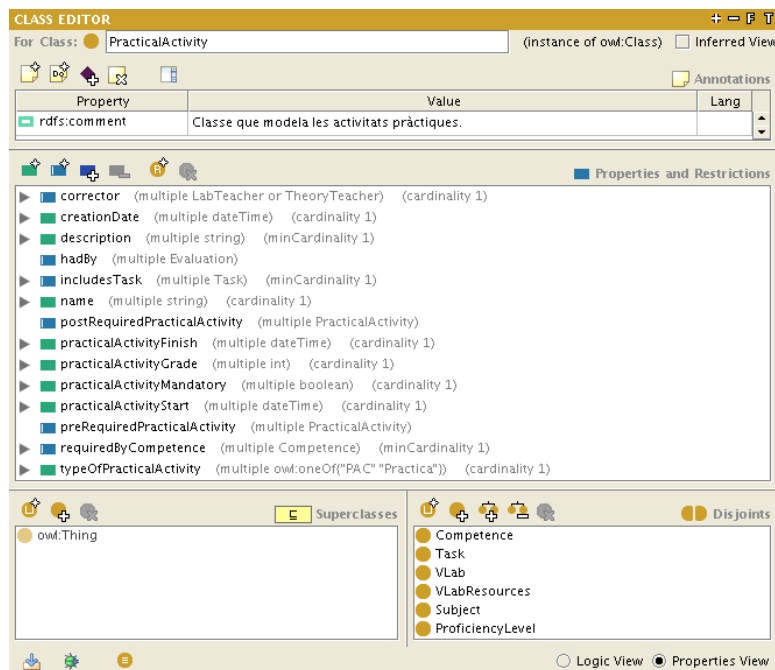


Figura 5.9: Vista de la classe *PracticalActivity* amb l'eina *Protégé*.

La propietat inversa *includedByPracticalActivity* s'utilitza per saber quines són les activitats pràctiques que estan utilitzant la tasca. També és necessària per aplicar la restricció de “mínim un”, forçant que totes les tasques estiguin incloses en almenys una activitat pràctica.

La propietat *requiresResource* indica quins recursos de *VLabResources* són necessaris per completar la tasca concreta. No hi ha restricció mínima perquè algunes tasques no requereixen d'eines addicionals per a ser completades.

La propietat *preRequiredTask* indica quines tasques s'han de completar abans de poder realitzar la tasca actual. D'aquesta manera es poden indicar les dependències per a cada una de les tasques. Tanmateix la propietat *postRequiredTask* pot ser utilitzada per conèixer quines tasques requeriran l'actual abans de poder-se completar.

ii) Les *Datatype Properties* de la classe *Tasca* es mostren a la Taula 5.9.

Apar. 5.3. Especificació dels Laboratoris Virtuals basada en ontologies 123

Nom	Tipus	Descripció	Restricció
name	Text	Nom de la tasca	Un
description	Text	Descripció de la tasca	Un
creationDate	Data i hora	Data en que es va crear la tasca	Un

Taula 5.9: *Datatype Properties* de la classe *Task*.

iii) La visualització gràfica de la classe *Tasca* amb l'eina *Protégé* es mostra a la Figura 5.10:

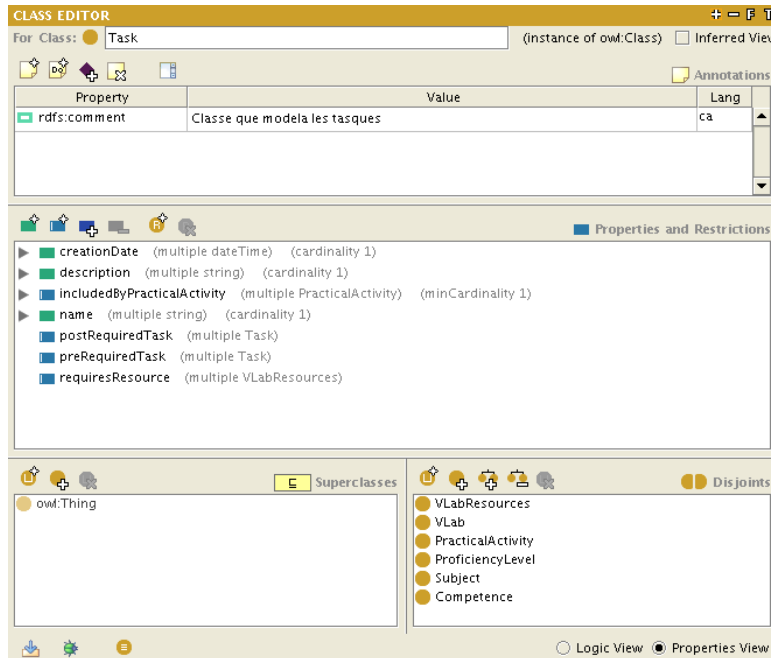


Figura 5.10: Vista de la classe *Task* amb l'eina *Protégé*.

E) VLab Class

La classe *VLab* conté la informació del Laboratori Virtual que es vol crear així com de la tipologia del laboratori al qual dóna suport. Per aquest motiu, la classe *VLab* té sis subclasses, una per cada tipus de Laboratori Virtual (*VCAOLab*, *VDBLab*, *VMathLab*, *VNLab*, *VPLab* i *VOSLab*) i per cadascuna d'aquestes subclasses es defineixen les restriccions mínimes per existir.

i) Les *Object Properties* de la classe *VLab* es mostren a la Taula 5.10.

Nom	Rang	Descripció	Restricció
usesResource	VLabResources	Els recursos que inclou el laboratori virtual	Com a mínim: llista ^a
includesSubject	Subject	Les assignatures que utilitzen el VLab	Cap

^aEvaluation, LabTeacher, PedagogicalAndStrategicResources, AcademicStaffResources, Student, Forum, TeacherBoard, LearningMethodology, StudentsList, WebMail, FAQ, VirtualCommunicationEnvironment, TechnologicalResources, ComplementaryMaterial.

Taula 5.10: *Object Properties* de la classe *VLab*.

La propietat *usesResource* relacionarà la instància del VLab amb tots els recursos que incorpora i té disponibles. La restricció mostra quines eines són indispensables per a qualsevol VLab i, per altra banda, les subclasses de VLab establiran noves restriccions que definiran altres recursos, també necessaris, per a cada tipologia de Laboratori Virtual.

ii) Les *Datatype Properties* de la classe *VLab* es mostren a la Taula 5.11.

Nom	Tipus	Descripció	Restricció
name	Text	Nom del laboratori virtual	Un
description	Text	La descripció del laboratori virtual	Un
lang	“Catalan”, “Spanish”, “English”	L’idioma usat en el laboratori virtual	Un
creationDate	Data i hora	Data de creació del laboratori virtual	Un
showStudents Connection	Booleà	Estableix si es mostrarà la connexió dels estudiants	Un
showStudents Presence	Booleà	Estableix si es mostrarà l’eina de presència d’estudiants	Un

Taula 5.11: *Datatype Properties* de la classe *VLab*.

iii) La visualització gràfica de la classe *VLab* amb l’eina *Protégé* es mostra a la Figura 5.11:

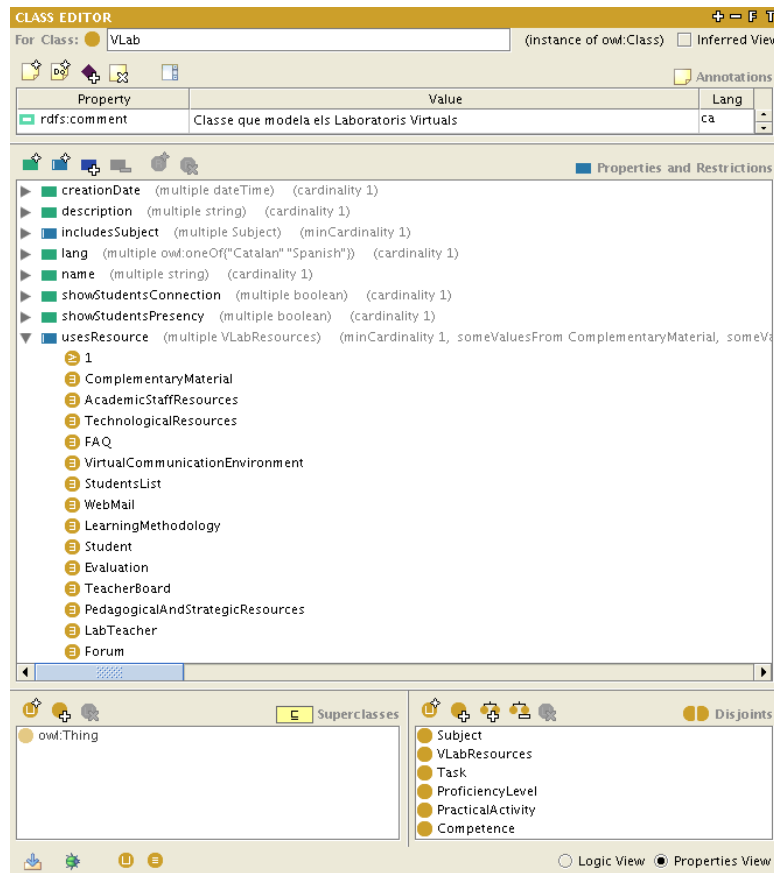


Figura 5.11: Vista de la classe *VLab* amb l'eina *Protégé*.

5.3.2 Especificació del recursos dels Laboratoris Virtuals

Tal i com s'ha introduït anteriorment en aquest apartat es descriu l'especificació d'una selecció de classes de l'ontologia que depenen de la classe *VLabResources* i que són la part central d'aquest treball de tesi.

Aquesta selecció de classes, que es mostra a la Figura 5.12, està formada per les classes: *F) Recursos Tecnològics*, *G) Entorn de comunicació virtual* i *H) Fòrum*.

És important ressaltar que per fer l'especificació de totes les classes que formen part dels *Recursos dels Laboratoris Virtuals* s'ha seguit el següent criteri: s'ha especificat la informació mínima, però suficient, per fer la implementació posterior dels diferents recursos dels Laboratoris Virtuals. Aquesta simplificació s'ha fet a tots els nivells, tant

de la descripció de tipus de dades, com de la relació entre classes, com de la definició de restriccions. Amb aquesta simplificació s'augmenta la capacitat de compartir i ampliar l'ontologia amb altres comunitats educatives i, per altra banda, també es facilita la seva comprensió.

Per descriure aquestes tres classes s'han seguit els mateixos criteris enumerats a l'apartat anterior.

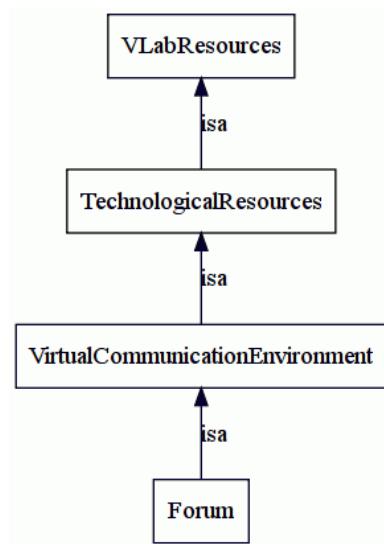


Figura 5.12: Dependència de la classe Fòrum respecte els recursos del VLab.

F) TechnologicalResources Class

La classe *Recursos Tecnològics* és una subclasse de VLabResources i ahora superclasse de tots els recursos tecnològics que conté l'ontologia (veure Figura 5.13).

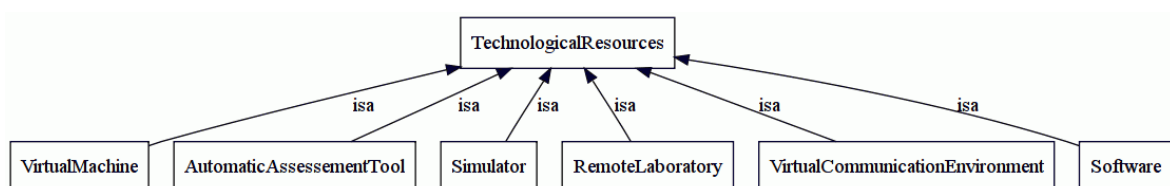


Figura 5.13: Recursos tecnològics del VLab.

Apar. 5.3. Especificació dels Laboratoris Virtuals basada en ontologies 127

i, ii) La classe *Recursos Tecnològics* no té *Object Properties* ni *Datatype Properties* pròpies.

iii) La visualització gràfica de la classe *Recursos Tecnològics* amb l'eina *Protégé* es mostra a la Figura 5.14:

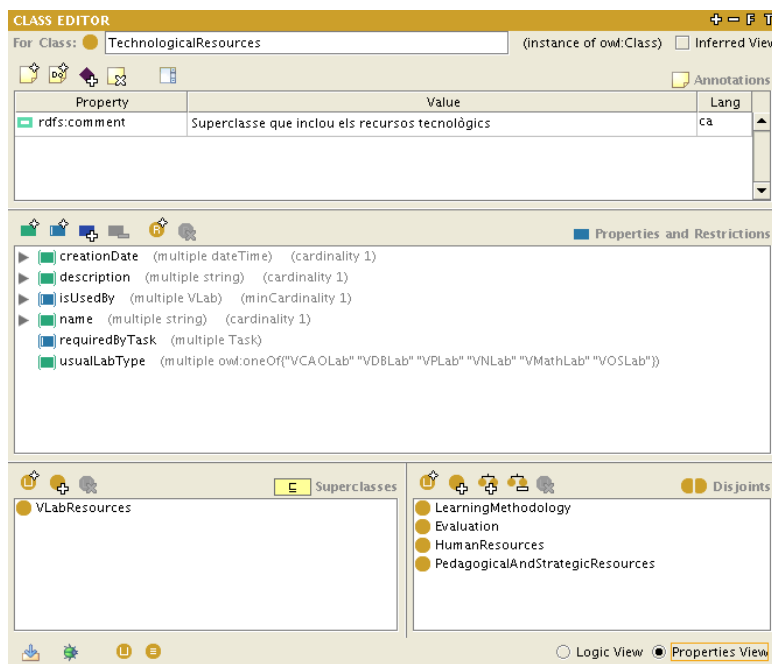


Figura 5.14: Vista de la classe *TechnologicalResources* amb l'eina *Protégé*.

G) VCE Class

La classe *Entorn de Comunicació Virtual* conté tots els recursos tecnològics de comunicació que es poden fer servir en el Laboratori Virtual (veure Figura 5.15).

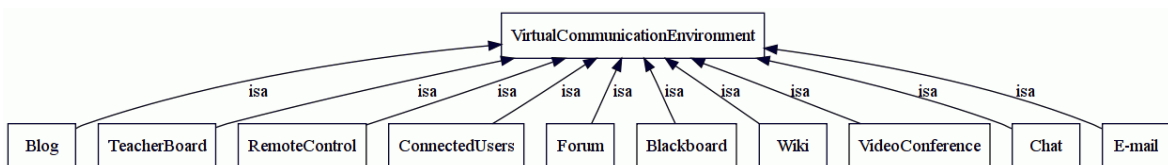


Figura 5.15: Entorn de comunicació virtual.

i, ii) La classe *Entorn de comunicació virtual* no té *Object Properties* ni *Datatype Properties* pròpies.

iii) La visualització gràfica de la classe *Entorn de Comunicació Virtual* amb l'eina *Protégé* es mostra a la Figura 5.16:

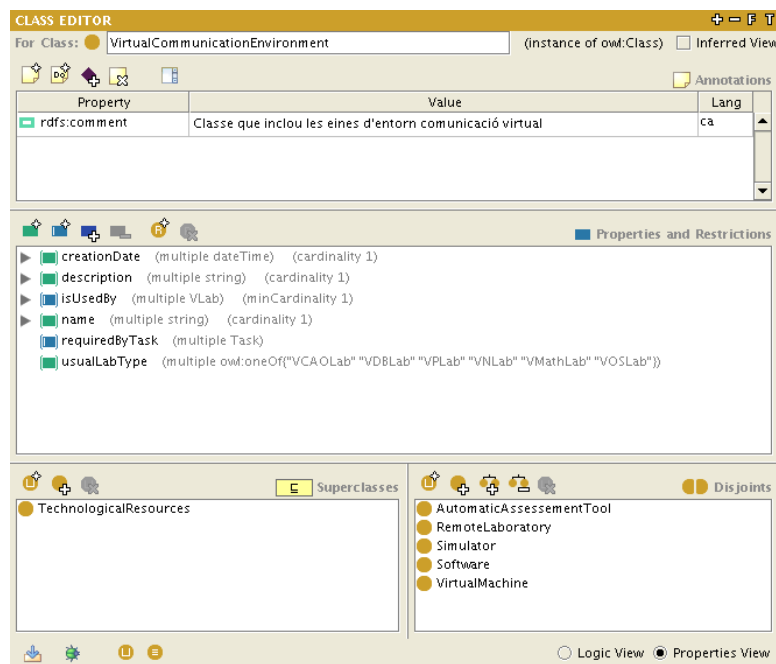


Figura 5.16: Vista de la classe *VCE* amb l'eina *Protégé*.

H) Forum Class

La classe *Fòrum* modela els fòrums de discussió d'un Laboratori Virtual.

i) Les *Object Properties* de la classe *Fòrum* es mostren a la Taula 5.12.

Nom	Rang	Descripció	Restricció
enabledToStudent	Student	Selecciona els estudiants que poden utilitzar el fòrum	Cap

Taula 5.12: *Object Properties* de la classe *Forum*.

Apar. 5.3. Especificació dels Laboratoris Virtuals basada en ontologies 129

ii) Les *Datatype Properties* de la classe *Fòrum* es mostren a la Taula 5.13.

Nom	Tipus	Descripció	Restricció
maxFileSize	“2MB”, “1MB”, “500KB”, “100KB”, “50KB”, “10KB”, “File upload forbidden” ó “Course upload limit”	Mida màxima dels fitxers adjunts enviats (si està permès)	Un
groupMode	“Without groups”, “Split groups” ó “Visible groups”	Defineix com es mostrarà el fòrum	Un

Taula 5.13: *Datatype Properties* de la classe *Forum*.

Les propietats d'aquesta classe venen donades per les característiques que es poden seleccionar al crear un nou fòrum a *Moodle*.

iii) La visualització gràfica de la classe *Fòrum* amb l'eina *Protégé* es mostra a la Figura 5.17:

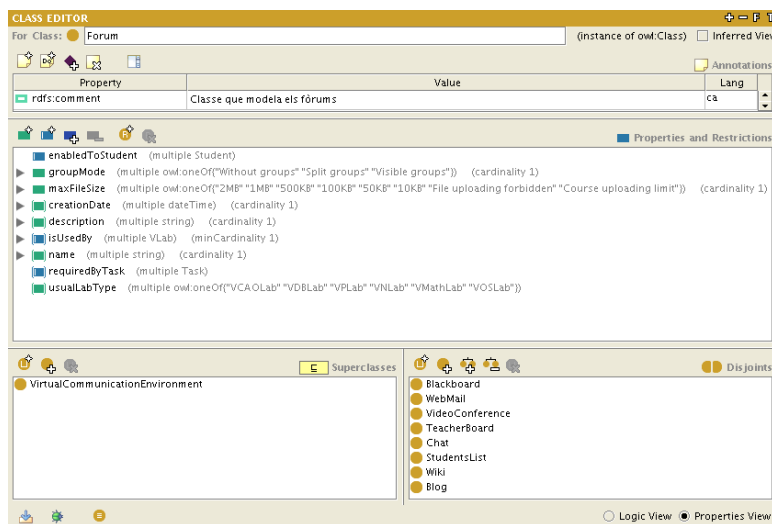


Figura 5.17: Vista de la classe *Forum* amb l'eina *Protégé*.

iv) Com a exemple, el codi OWL de la classe *Fòrum* es mostra a continuació:

```

3 <owl:Class rdf:about="#Forum">
  <rdfs:subClassOf>
  <owl:Class rdf:about="#VirtualCommunicationEnvironment"/>
  </rdfs:subClassOf>
  <owl:disjointWith>
  <owl:Class rdf:about="#Blackboard"/>
  </owl:disjointWith>
  <owl:disjointWith>
  </owl:disjointWith>
  </owl:Class>

```

```

13      <owl:Class rdf:about="#WebMail"/>
      </owl:disjointWith>
      <rdfs:subClassOf>
      <owl:Restriction>
13          <owl:cardinality rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
              >1</owl:cardinality>
              <owl:onProperty>
              <owl:DatatypeProperty rdf:ID="maxFileSize"/>
              </owl:onProperty>
      </owl:Restriction>
      </rdfs:subClassOf>
      <owl:disjointWith>
      <owl:Class rdf:about="#VideoConference"/>
23      </owl:disjointWith>
      <owl:disjointWith>
      <owl:Class rdf:about="#TeacherBoard"/>
      </owl:disjointWith>
      <owl:disjointWith>
      <owl:Class rdf:about="#Chat"/>
      </owl:disjointWith>
      <owl:disjointWith>
      <owl:Class rdf:about="#Wiki"/>
33      </owl:disjointWith>
      <owl:disjointWith>
      <owl:Class rdf:about="#StudentsList"/>
      </owl:disjointWith>
      <rdfs:subClassOf>
      <owl:Restriction>
              <owl:onProperty>
              <owl:DatatypeProperty rdf:ID="groupMode"/>
              </owl:onProperty>
              <owl:cardinality rdf:datatype="http://www.w3.org/2001/XMLSchema#int"
              >1</owl:cardinality>
      </owl:Restriction>
43      </rdfs:subClassOf>
      <owl:disjointWith rdf:resource="#Blog"/>
</owl:Class>

```

5.4 Resum

En la primera part d'aquest capítol s'ha realitzat una revisió de la literatura per escollir el sistema que millor pugui adaptar-se per especificar formalment la caracterització dels Laboratoris Virtuals realitzada al Capítol 4. A partir d'aquest estudi, s'ha escollit la web semàntica com el sistema que es farà servir en aquesta tesi per representar formalment els Laboratoris Virtuals. L'especificació semàntica es farà a partir d'ontologies, que permeten la descripció explícita del significat dels recursos.

La web semàntica permet emmagatzemar la informació necessària sobre el coneixement perquè aquest sigui processat per màquines, amb els avantatges que això comporta: consultes, inferències, classificacions, instanciació, etc. Per altra banda, aquesta representació dels Laboratoris Virtuals possibilita que altres universitats utilitzin i amplii l'ontologia proposada en l'àmbit de l'ensenyament.

En la segona part d'aquest capítol s'ha descrit, a mode d'exemple, una part repre-

sentativa de l'ontologia dels Laboratoris Virtuals.

Amb aquesta revisió de la literatura i l'especificació, basada en ontologies, dels Laboratoris Virtuals, s'han assolit l'*objectiu 3* i l'*objectiu 4* descrits al Capítol 1.

Capítol 6

Creació dels Laboratoris Virtuals a partir de l'ontologia

“Computers do not solve problems, they execute solutions”

Laurent Gasser

En aquest capítol es descriu el procés de creació dels Laboratoris Virtuals sobre una plataforma real d'aprenentatge a partir de l'especificació basada en ontologies realitzada al Capítol 5. El Laboratori Virtual resultant ha de permetre que els estudiants puguin realitzar les pràctiques de laboratori necessàries per assolir les competències requerides per una determinada assignatura d'Enginyeria Informàtica en un entorn virtual i estarà format per tots els recursos tecnològics, pedagògics i humans necessaris.

Per fer aquesta implementació es requereix, per una banda, d'una eina capaç de poder inferir i raonar a partir de l'especificació dels Laboratoris Virtuals; i per altra banda, d'una plataforma d'aprenentatge o *Course/Learning Management System* (C/LMS) perquè els estudiants i professors puguin accedir a un Laboratori Virtual real.

Per aquest motiu, aquest capítol s'ha estructurat en dos apartats. A l'Apartat 6.1 es fa una revisió dels raonadors d'ontologies i dels *C/LMS* que es troben a la literatura amb la finalitat d'escollir el que millor s'adapta a les necessitats d'aquest treball de

tesi. A continuació, a l'Apartat 6.2 es mostra, de manera resumida, els detalls de la implementació de l'eina que gestiona la creació dels Laboratoris Virtual.

Com a requeriment de la implementació és important destacar que el professor, usuari de l'aplicació, no requereix cap coneixement ni d'ontologies ni de Laboratoris Virtuals per posar en marxa el Laboratori Virtual associat a l'assignatura.

6.1 Revisió de la Literatura

En primer lloc s'ha fet una revisió de la literatura per escollir un raonador que pugui treballar amb ontologies escrites en llenguatge OWL. A continuació s'ha cercat a la literatura un *Course/Learning Management System (C/LMS)* que sigui capaç de contenir el Laboratori Virtual amb tots els recursos i les funcionalitats necessàries perquè ho puguin fer servir els usuaris de l'aplicació: estudiants i professors.

6.1.1 Raonadors

Un raonador és un programa capaç d'interpretar una o més ontologies i inferir conseqüències a partir d'un conjunt de fets o axiomes. En el cas particular d'aquest treball de tesis, el raonador ha de ser capaç d'inferir l'estructura i els recursos necessaris del Laboratori Virtual per tal d'assolir unes competències d'una determinada assignatura.

A la literatura es poden trobar diferents raonadors d'ontologies. Zou, et al. (2004) analitzen diferents raonadors enumerats a la Taula 6.1.

Les funcionalitats i característiques d'un raonador necessàries per aquest treball de tesi són les següents:

- Suport per raonar sobre ontologies escrites en *OWL-DL* donat que l'ontologia dels Laboratoris Virtuals està especificada en aquest llenguatge.

Característica	Raonador					
	Racer ^a	FaCT++ ^b	Pellet ^c	F-OWL ^d	Hoolet ^e	Surnia ^f
Lògica del raonador	LD	LD	LD	Frame,	Full FOL	Full FOL
Llenguatge d'ontologia suportat	OWL-DL	OWL-DL	OWL-DL	OWL-Full	OWL-DL	OWL-Full
Basat en	Lisp	Lisp	Java	XSB/ Flora	Vampire	Otter
Decidable	Sí	Sí	Sí	No	No	No
Suport a SPARQL	Sí	No	No	Sí	No	No
Verificador de consistència	Sí	Sí	Sí	No	No	No
Tipus d'interfície	DIG, Java, GUI	DIG, Command Line	DIG, Java	Java, GUI, Command Line	Java	Java
Llenguatge de regles	SWRL	SWRL en desenvolupament	SWRL	SWRL	SWRL	-
Documentació disponible	Sí	No	Sí	Sí	No	No
Tipus de llicència	Privativa	Gratuïta, codi tancat	Lliure	Lliure	Lliure	Lliure

^a<http://www.racer-systems.com/>

^b<http://owl.man.ac.uk/factplusplus/>

^c<http://pellet.owldl.com/>

^d<http://fowl.sourceforge.net/>

^e<http://owl.man.ac.uk/hoolet/>

^f<http://www.w3.org/2003/08/surnia/>

Taula 6.1: Comparació de diferents raonadors d'ontologies.

- Suport per comprovar la consistència d'una ontologia.
- Suport d'una interfície per connectar una aplicació externa al raonador de tipus Description Logic Interface (DIG), que és un protocol usat per l'eina *Protégé* (Bechhofer, et al., 2003).
- Suport d'un llenguatge de regles d'inferència com SWRL¹, RuleML² o JESS³.
- Suport d'ajuda i de documentació per poder utilitzar el raonador de manera eficient.
- Llicència basada en programari lliure. La possibilitat de tenir accés i poder modificar el codi font de l'aplicació és clau per conèixer el seu funcionament i per integrar el raonador en altres aplicacions.

La revisió de la literatura dóna com a resultat que un dels raonadors més indicat

¹<http://www.w3.org/Submission/SWRL/>

²<http://www.ruleml.org/>

³<http://herzberg.ca.sandia.gov/>

per aquest treball de tesi és el programa *Racer* (Haarslev & Möller, 2003) ja que, per una banda, compleix els requeriments i, per altra banda, és un dels raonadors més utilitzats amb ontologies durant els darrers anys. Malauradament, aquest programa que inicialment era lliure va esdevenir privatiu en dates posteriors al 2006. Per aquest motiu, ha estat necessari buscar alternatives.

A la Taula 6.1 es poden veure altres raonadors basats en programari lliure, però no tots compleixen amb els requeriments descrits anteriorment. El raonador que millor s'adapta a les necessitats d'aquest treball de tesi i compleix abastament els requeriments, és el programa *Pellet* (Sirin et al., 2007). *Pellet* és un dels programes que actualment tenen més suport i que, a més, pot ésser usat conjuntament amb l'editor d'ontologies *Protégé* utilitzat en aquest treball de tesi.

Pellet és un raonador per a *OWL-DL* de codi obert escrit en *Java* que utilitza les llibreries *Jena*⁴ per interpretar el codi XML i permet usar-se com a servidor DIG. DIG és una interfície comuna desenvolupada pel DL Implementation Group⁵ que interacciona amb raonadors de lògica descriptiva (DL) per permetre l'ús de raonadors externs i una gran varietat d'editors, com ara *Protégé*, per comprovar la consistència de l'ontologia i inferir noves classes, instàncies, propietats, etc.

A la darrera versió en desenvolupament de l'eina *Protégé*, *Protégé Alpha 4*, els raonadors *Pellet* i *FaCT++* (Tsarkov & Horrocks, 2006) venen incorporats al programa. Tot i això, s'ha optat per utilitzar la darrera versió estable dels dos programes, la versió 3.3.1 de *Protégé* i la versió 1.5.2 de *Pellet* i deixar de banda versions encara en desenvolupament.

⁴<http://jena.sourceforge.net/>

⁵<http://dl.kr.org/dig/>

6.1.2 Course/Learning Management System

En primer lloc, és important remarcar que existeixen diferents noms a la literatura per referir-se al sistema o programa que proporciona una plataforma d'aprenentatge virtual com el que es requereix per desenvolupar els Laboratoris Virtuals.

El terme més utilitzat a l'àmbit d'educació és el terme *Learning Management System* (LMS) que integra tots els aspectes per gestionar les activitats d'ensenyament. Un altre nom és el *Learning Content Management System* (LCMS), que ofereix els serveis que permeten gestionar continguts. LMCS inclou totes les funcions de creació, exportació i descripció de continguts per poder reutilitzar i compartir. A partir d'aquests dos noms, Colace, et al. (2003) proposen parlar de plataformes d'e-learning com la suma del LMS més LCMS i els recursos necessaris que es requereixin.

Un altre terme que apareix a la literatura és el *Course Management System* (CMS) que es refereix al sistema, o producte, que proveeix un entorn per desenvolupar cursos de manera virtual.

En aquest treball de tesi es farà servir el nom *Course/Learning Management System* (C/LMS) trobat recentment a la literatura per referir-se a la plataforma que proporciona un entorn d'aprenentatge virtual que permet gestionar i fer seguiment de cursos a distància donant cobertura tant als LMS com als CMS (Landon, et al., 2007).

Un C/LMS és una plataforma basada en tecnologia web que proveeix un entorn d'aprenentatge virtual als membres d'una comunitat educativa. Aquest entorn d'aprenentatge virtual ha d'incorporar els materials d'estudi, els recursos necessaris per gestionar la comunicació i la interacció d'estudiants i professors, així com de les eines de planificació de l'aprenentatge necessàries per al correcte seguiment del curs.

El nombre de C/LMS disponibles per a institucions d'educació universitària està

augmentant constantment donada l'alta demanda d'ensenyament no presencial en els darrers anys. Això ha fet que també existeixin un gran nombre d'estudis comparatius entre diferents C/LMS (Colace et al., 2003; Graf & List, 2005; Rego, et al., 2007).

A la Taula 6.2 es mostra una comparativa realitzada recentment per Rego et al. (2007) que s'ha analitzat en aquest treball de tesi per revisar les característiques i les funcionalitats dels diversos C/LMS.

De tots els C/LMS enumerats, els dos que millor s'adapten a les necessitats d'aquest treball de tesi són el *Blackboard*⁶ (anteriorment, *WebCT*) i el *Moodle*⁷. El Blackboard és molt utilitzat a Estats Units i està basat en programari privatiu; en canvi, el *Moodle* és molt utilitzat a Europa, concretament a Catalunya i està basat en programari lliure. Per aquest motiu el C/LMS escollit per allotjar els Laboratoris Virtuals en aquest treball de tesi és el C/LMS *Moodle*.

Moodle és un *Course Management System* (CMS) basat en programari lliure per a la creació de cursos a través d'Internet que ha estat dissenyat sota principis pedagògics constructivistes per tal que els docents puguin crear de manera ràpida i eficient un curs virtual. Dues altres característiques importants que han fet que sigui massivament utilitzat arreu del món són: que la interfície amb l'usuari es pot personalitzar fàcilment i que és molt flexible alhora de dissenyar cursos per part dels professors.

6.1.3 Programari escollit per fer la implementació dels VLab

A continuació es detallen el programari i les aplicacions que s'han escollit en aquest treball de tesi per realitzar la implementació de l'eina que gestiona la creació automàtica dels Laboratoris Virtuals:

⁶<http://www.blackboard.com/>

⁷<http://moodle.org/>

Característiques i funcionalitats	Plataformes C/LMS							
	Prog. privatiu				Prog. lliure			
	Blackboard	WebCT ^a	IntraLearn ^b	Angel ^c	ATutor ^d	Moodle	Sakai ^e	.LRN ^f
Aspectes Tècnics								
.. Interoperabilitat/integració	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
.. Compatibilitat amb algun estàndard	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
.. Extensibilitat	✗	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓
Adaptació i Personalització								
.. Personalització d'interfície	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓
.. Triar idioma d'interfície	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓
Administració								
.. Eina de gestió dels estudiants	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
.. Mecanismes d'accés a base de dades	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓
.. Seguiment dels usuaris	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✗
Gestió de recursos								
.. Autoria i edició de contingut	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
.. LO ^g	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
.. Cerca i indexació de LO	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓
.. Avaluació de la qualitat dels recursos	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
.. Compartició de LO	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗
Comunicació								
.. Fòrum	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
.. Xat	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗
.. Pissarra digital	✓	✗	✓	✓	✓	✗	✗	✗
.. Correu electrònic	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
.. Streaming d'àudio i video	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓
Avaluació								
.. Exercicis d'autoavaluació	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
.. Proves	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
.. Enquestes	✓	✓	✓	✗	✗	✓	✗	✗
Documentació	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

^a<http://www.webCT.com/> (actualment Blackboard)^b<http://www.intralearn.com/>^c<http://www.angellearning.com/>^d<http://atutor.ca/>^e<http://sakaiproject.org/>^f<http://dotlrn.org/>^gLO: objecte d'aprenentatge i altres tipus de gestió de contingut.

Taula 6.2: Comparativa de diferents plataformes d'aprenentatge virtual.

- Raonador: *Pellet* versió 1.5.2.
- C/LMS: *Moodle* versió 1.8.1+, que requereix de:
 - sistema operatiu: *Ubuntu Linux* versió 8.04.
 - llenguatge de programació web: *PHP* versió 5.2.4.
 - gestor de base de dades: *MySQL* versió 5.0.x.
 - llibreries de classes *PHP* (per consultar i modificar l'ontologia): *ARC2* versió 2008-01-19.
- llenguatge de consultes de l'ontologia: *SPARQL+*⁸ versió WD2005-11-23.
SPARQL+ és una variant de l'estàndard *SPARQL*, amb suport per modificar l'ontologia mitjançant les comandes: *INSERT* i *DELETE*.
- navegador web client: *Firefox* versió 3.0.x.

Es vol destacar que per al desenvolupament dels Laboratoris Virtuals en aquest treball de tesi, s'han prioritzat aquells llenguatges i aplicacions que més acceptació hagin tingut en els darrers anys en l'àmbit de l'educació i estiguin basats en el programari lliure.

6.2 Descripció de la creació dels Laboratoris Virtuals

En aquest apartat s'explica la part d'implementació que permet crear de manera guiada els Laboratoris Virtual. D'aquesta manera es pot provar de manera pràctica que l'ontologia creada al Capítol 5 funciona en un cas real. Per altra banda, donat que la part d'implementació no és l'objectiu d'aquest treball tesi no es dedica gaire espai en la seva descripció.

⁸<http://arc.semsol.org/docs/v2/sparql+/>

Per tenir una visió complerta de la implementació s'ha dividit l'explicació en dues parts, depenent del dos punts de vista:

- *Implementació des del punt de vista del client de l'aplicació*: descriu la part de l'aplicació que interacciona amb l'usuari.
- *Implementació des del punt de vista del servidor de l'aplicació*: descriu la part de l'aplicació, transparent a l'usuari, que té com a finalitat rebre la informació del client per processar-la i crear un Laboratori Virtual que compleixi les necessitats de l'assignatura.

Per facilitar el seguiment i l'enteniment d'aquestes dues parts de la implementació, s'ha dividit el procés de creació de Laboratori Virtual en sis passos anàlegs en les dues parts.

6.2.1 Implementació des del punt de vista del client de l'aplicació


Aquesta part de l'aplicació té com a objectiu guiar a l'usuari, a través d'una sèrie de pantalles accessibles des d'un navegador web, per crear un Laboratori Virtual sobre una plataforma real d'aprenentatge basada en *Moodle*. Posteriorment, els estudiants i els professors podran accedir al Laboratori Virtual, que tindrà el format d'una aula *Moodle*, que contindrà tots els recursos necessaris per a la realització de les activitats pràctiques d'una determinada assignatura.

És important fer notar que, prèviament a l'utilització d'aquesta eina, és necessari que el grup de professors que dissenyen l'assignatura hagin descrit les competències, activitats pràctiques i tasques que es requereixen en l'assignatura que es vol crear al Laboratori Virtual. A l'Apèndix 4 es mostra aquesta informació necessària a partir d'un exemple real en una assignatura d'iniciació a la programació.

Com s'ha esmentat anteriorment, l'aplicació facilitarà als professors el procés de creació dels Laboratoris Virtuals i no exigirà coneixements sobre Laboratoris Virtuals ni ontologies.

A continuació s'enumeren i es detallen els sis passos necessaris per crear un Laboratori Virtual.

Pas 1. El professor responsable de la creació del Laboratori Virtual selecciona una assignatura. A continuació, l'aplicació mostrarà les competències associades a l'assignatura seleccionada perquè finalment el professor en seleccioni les que es volen assolir (veure Figura 6.1).



Pas 1

Assistent de configuració: creant un nou VLab

Hola Teacher_1, tria una assignatura

Fonaments de Programació

Selecciona les competències a satisfer per a FonamentsDeProgramacio.

- Conèixer els diferents mecanismes per executar una aplicació (compiladors, intèrprets, etc.).
- Conèixer les bones pràctiques en la programació (sangria, comentaris, documentació, política de noms, etc.).
- Saber implementar (codificar) qualsevol disseny de programari.
- Conèixer la història dels llenguatges de programació.
- Conèixer en profunditat els llenguatges i les eines de programació (IDE) més actuals i populars.
- Conèixer profundament els recursos existents per a depurar un programa.
- Ser capaç d'entendre algorismes i programes escrits (en un llenguatge de programació concret) per d'altres, així com conèixer-ne alguns dels algorismes i components de biblioteques més acceptats per a problemes concrets (e.g. manipulació de dades, etc.).
- Saber escriure i implementar un algorisme que satisfaci uns requeriments preestablerts aplicant la metodologia més adequada (disseny descendent).
- Saber escollir l'estructura modular i de dades necessària per construir una aplicació.
- Saber construir aplicacions informàtiques mitjançant tècniques de desenvolupament, integració i reutilització.

<- Tornar Continuar ->

Figura 6.1: Pas 1 - selecció de l'assignatura i les competències.

Pas 2. L'aplicació mostra una llista d'activitats pràctiques que l'estudiant haurà de realitzar a partir de les competències que el professor ha seleccionat anteriorment. Cada una d'aquestes activitats pràctiques consta d'una o més tasques que poden ser desmarcades si es considera convenient (veure Figura 6.2 i Figura 6.3).

Pas 3. L'aplicació mostra un formulari on el professor ha d'omplir la següent informació sobre el Laboratori Virtual: nom del Laboratori Virtual, descripció del

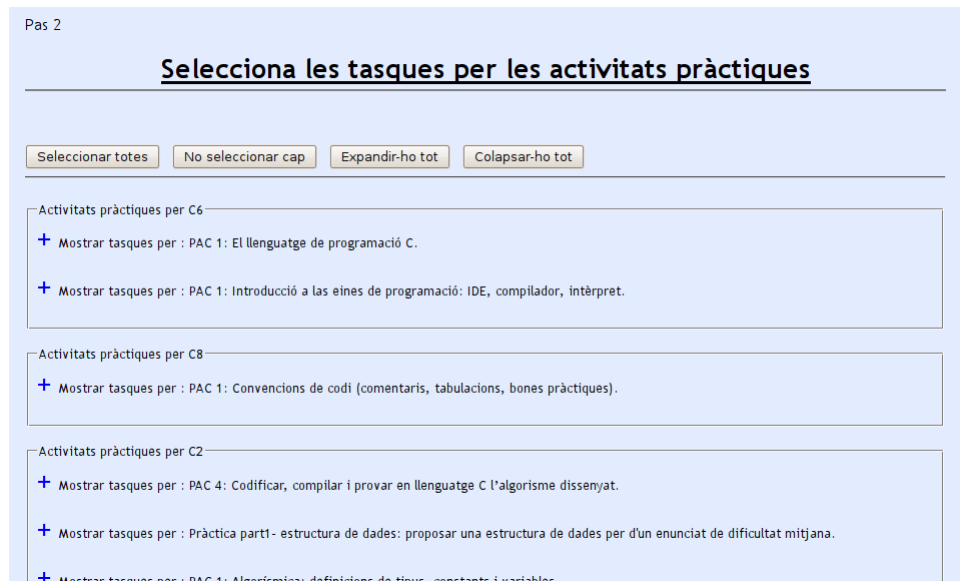


Figura 6.2: *Pas 2a* - selecció de les activitats pràctiques.

Laboratori Virtual, període de la docència, etc. En aquest *Pas 3* també es poden seleccionar algunes funcionalitats addicionals del Laboratori Virtual, com per exemple: mostrar els estudiants i professors connectats de l'aula o llistar els estudiants de l'aula (veure Figura 6.4).

Pas 4. A continuació, l'aplicació presenta una proposta de l'estructura necessària del Laboratori Virtual mitjançant una llista dels recursos necessaris per realitzar les tasques de laboratori seleccionades anteriorment. Tots els recursos estaran seleccionats per defecte i podran ser deseleccionats a petició del professor. Finalment el professor seleccionarà el tipus de Laboratori Virtual que s'està creant (VCAOLab, VDBLab, VPLab, VMathLab, VNLab o VSOLab) (veure Figura 6.5).

Pas 5. L'aplicació visualitza el detall de la creació del VLab i els recursos corresponents a l'entorn de *Moodle*. Al final d'aquest *Pas 5* es proporciona un enllaç a l'aula *Moodle*, que s'ha creat (veure Figura 6.6).

Pas 6. El nou VLab creat amb *Moodle* ja està actiu i inclou totes les eines i característiques necessàries per assolir les competències seleccionades al *Pas 1* (veure

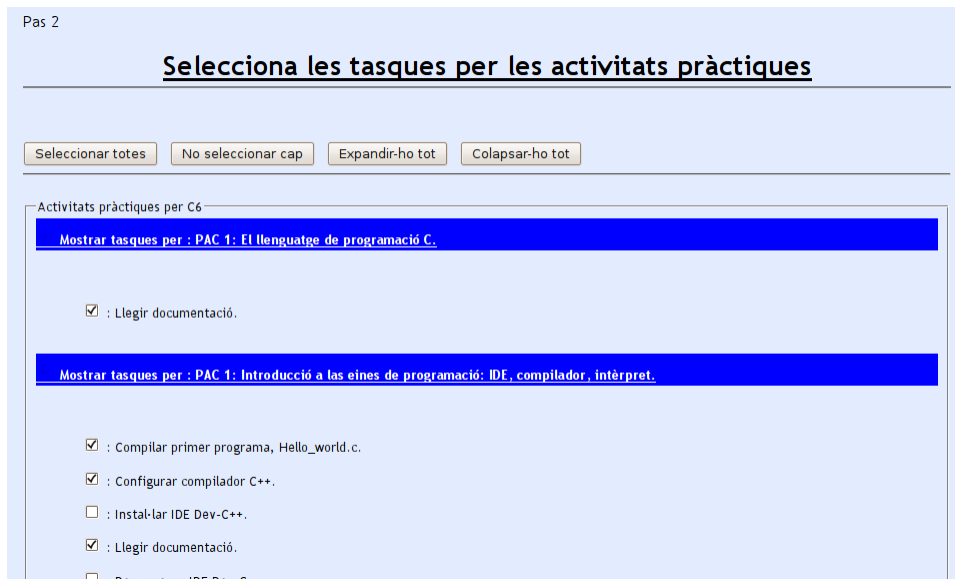


Figura 6.3: *Pas 2b* - selecció de les tasques de cada activitat pràctica.

Figura 6.7).

6.2.2 Implementació des del punt de vista del servidor de l'aplicació

Aquesta part de la implementació té com a objectiu processar la informació introduïda per l'usuari de l'aplicació per crear el Laboratori Virtual a partir de la informació emmagatzemada de l'ontologia. A la Figura 6.8 es mostra el disseny de capes de l'arquitectura i les tecnologies emprades en el desenvolupament de l'aplicació.

Aquesta arquitectura està formada pels següents elements principals:

- Un sistema operatiu que permet hostejar els components i eines de les capes superiors
- Un servidor web amb suport per al llenguatge *PHP*
- Un sistema gestor de bases de dades basat en *SQL*
- L'ontologia del Laboratori Virtual

Pas 3

Eines i competències seleccionades

Informació del curs	
Nom del nou curs:	<input type="text" value="Laboratori de Programació"/>
Resum del curs:	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; min-height: 100px;">El curs de Programació.</div>
Propietats addicionals	
<input checked="" type="checkbox"/>	Mostrar la presència dels estudiants
<input checked="" type="checkbox"/>	Mostrar la connexió dels estudiants

Figura 6.4: *Pas 3* - introducció de la informació sobre el nou VLab.

- Una llibreria de classes *ARC2*⁹ per realitzar consultes *SPARQL* avançades

L'aplicació, anomenada *Automated VLab*, està desenvolupada sobre el llenguatge de programació *PHP* que requereix d'un intèrpret d'aquest llenguatge incorporat al servidor web.

A continuació s'enumera i es detalla el procés de l'execució de l'aplicació des del punt de vista del servidor mitjançant sis passos. A la Figura 6.9 es mostra el flux d'informació entre el client i el servidor que estableixen els sis passos del procés de creació dels Laboratoris Virtuals.

Pas 1 (new.php). En aquest primer *Pas* i prèviament a qualsevol interacció amb l'usuari, es traspasa tota la informació emmagatzemada en l'ontologia a taules d'una base de dades *SQL*. Els motius pels quals s'ha decidit fer aquesta conversió han estat els següents:

- L'eina *Moodle* que s'ha escollit com a *C/LMS* per aquest treball de tesi

⁹<http://arc.semsol.org/>



Figura 6.5: *Pas 4* - proposta d'estructura del VLab.

conté la seva informació emmagatzemada en una base de dades basada en *SQL*.

- La llibreria de consultes avançades *SPARQL*, anomenada *ARC2*, treballa amb taules *SQL*.
- La consultes sobre taules *SQL* són més ràpides i no requereixen un ús excessiu de memòria.

Una vegada realitzada aquesta conversió a taules *SQL*, l'aplicació servidora ja està preparada per interactuar amb l'usuari.

El primer que fa l'aplicació és determinar, mitjançant la consulta *SPARQL*, que es mostra a continuació, quines assignatures imparteix el professor, usuari de l'aplicació, que s'ha identificat en el sistema:

```
SELECT DISTINCT ?Subject ?SubjectName
WHERE
{
    :IDENTIFICADOR_PROFESSOR :imparteixAssignatura ?Subject.
    ?Subject :name ?SubjectName.
}
```

A continuació, quan el professor selecciona una d'aquestes assignatures de la llista, el navegador envia a l'aplicació una petició pel mètode *GET* amb el nom

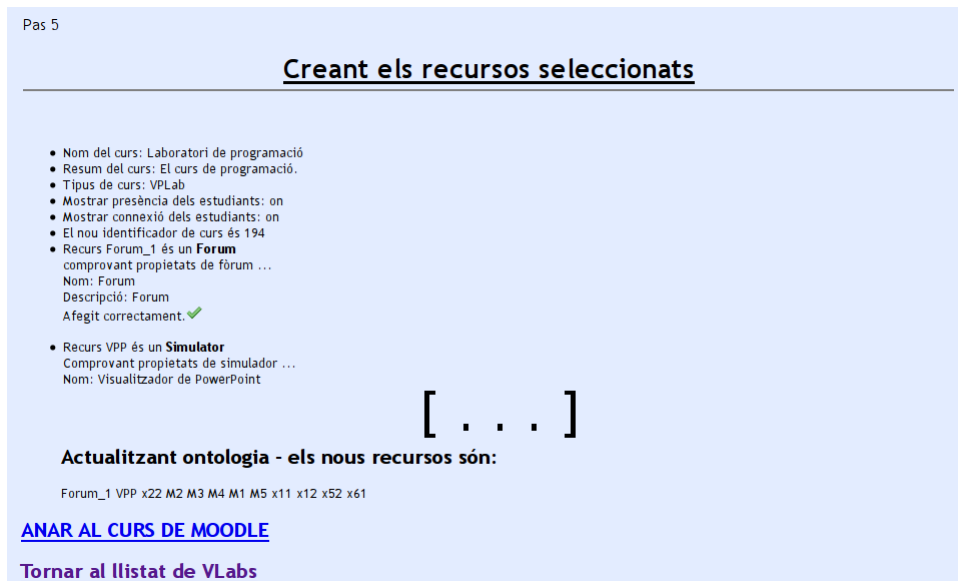


Figura 6.6: *Pas 5* - informació del procés i la creació de l'aula en *Moodle*.

de l'assignatura. El servidor retornarà la llista de competències associades a l'assignatura seleccionada, a partir de la següent consulta *SPARQL*:

```
SELECT DISTINCT ?Objective ?description
WHERE
{
    ?Objective :objective ?description;
    :requiredBySubject :ASSIGNATURA_SELECCIONADA
}
```

Pas 2 (practicalActivities.php). Un cop el professor ha seleccionat les competències que vol que assoleixin els estudiants, l'aplicació rebrà aquesta informació pel mètode *POST* i per cadascuna d'aquestes competències es realitzarà la següent consulta *SPARQL*:

```
SELECT DISTINCT ?PracticalActivity ?PracticalActivityName ?Description
WHERE
{
    :NOM_OBJECTIU :requiresPracticalActivity ?PracticalActivity.
    ?PracticalActivity :name ?PracticalActivityName;
    :practicalActivityDescription ?Description;
}
```

Com a resultat d'aquesta consulta, l'aplicació retornarà les activitats pràctiques que requereix aquella competència.

Tanmateix, per a cada activitat pràctica que retorna la consulta, es realitzarà una altra consulta per obtenir les tasques que les compona:

The screenshot shows the Moodle VLab interface. At the top, it says "Laboratori de Programació" and "Heu entrat com Admin Usuari (Sortida)". Below this, there's a navigation bar with "NomCurt" and "Laboratori de Programació". The main content area is titled "Esquema per setmanes" and lists various activities for a week. The activities include: Forum, Visualitzador de PowerPoint, Problemes d'instal·lació i configuració, Mòdul 2. Introducció a l'algorísmica (paper), Mòdul 3. Tractament seqüencial (paper), Mòdul 4. Tipus estructurats de dades (paper), Mòdul 1. Introducció a la programació (paper), Fonaments de programació (paper), Mòdul 5. Introducció a la metodologia de disseny descendent, Dev C++, Problemes per descarregar, and Errors més freqüents en la codificació. Below the list, there's a table showing dates and checkboxes for each week: 6 novembre - 12 novembre, 13 novembre - 19 novembre, 20 novembre - 26 novembre, and 27 novembre - 3 desembre. The interface also includes sidebars for "Persones", "Activitats", "Cerca fóruns", and "Administració".

Figura 6.7: *Pas 6* - visualització del VLab creat amb *Moodle*.

```
SELECT DISTINCT ?Task ?TaskName ?Description
WHERE
{
    :NOM_ACTIVITAT_PRÀCTICA :includesTask ?Task .
    ?Task :name ?TaskName;
    :description ?Description;
}
```

D'aquesta manera es genera de nou un altre formulari HTML amb una llista de les tasques, classificades per activitat pràctica, que poden ser seleccionades o deseleccionades per part del professor i que s'enviarà posteriorment al servidor.

Pas 3 i 4 (seleccio.php). L'aplicació mostra un formulari que permet introduir el nom de l'aula del Laboratori Virtual amb una descripció de la mateixa aula. El professor també pot triar si vol mostrar la presència i connexió dels estudiants, a l'aula del Laboratori Virtual. A continuació, l'aplicació mostra, a nivell informatiu, una llista de tots els recursos requerits per satisfer les competències seleccionades.

Finalment, el professor ha de confirmar que el procés i els recursos proposats per l'aplicació són correctes per poder crear definitivament el nou Laboratori Virtual.

Pas 5 i 6 (confirma_seleccio.php). Al finalitzar la creació dels recursos a la base

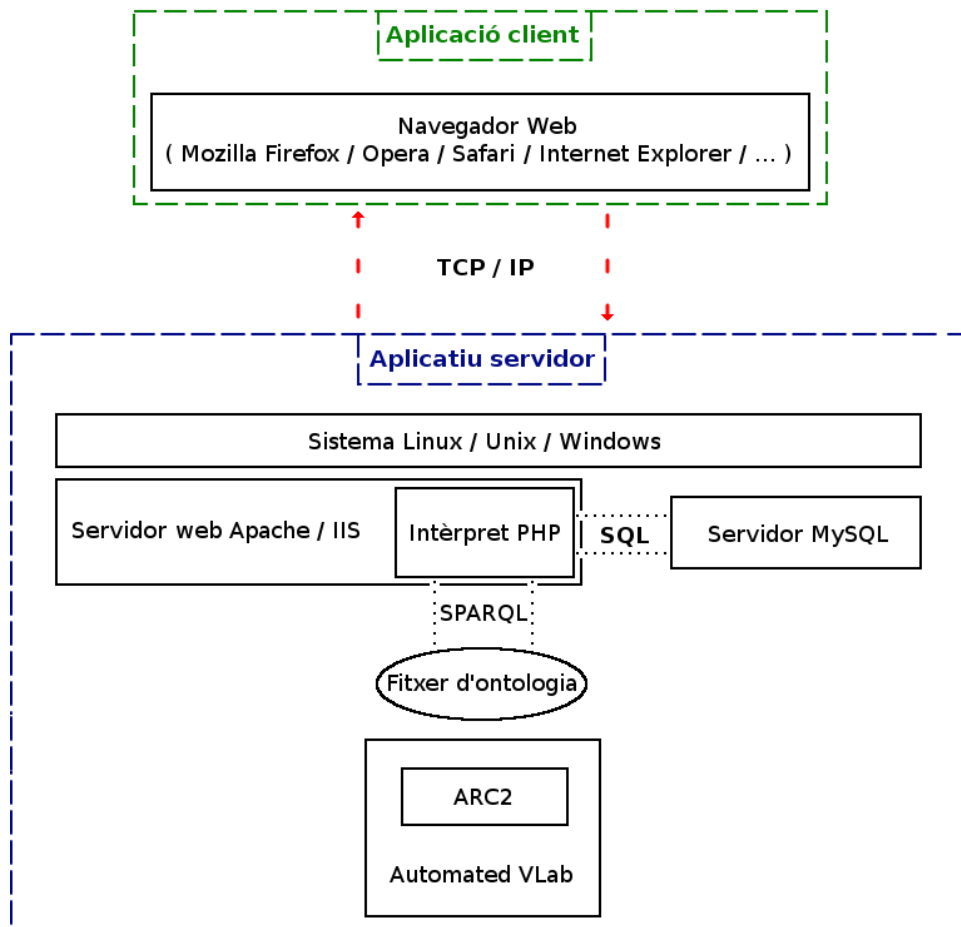


Figura 6.8: Arquitectura de desenvolupament per crear VLab.

de dades de *Moodle*, el sistema llegeix l'ontologia original, anomenada *ontology-importer.owl* i hi afegeix una nova instància amb el nou Laboratori Virtual creat, amb els seus recursos i descripcions. Aquest procés és el més complex de l'aplicació que inclou més línies de codi, donat que requereix interactuar directament amb Moodle. Tanmateix, l'aplicació mostra un resum de tot el procés i un enllaç a l'aula de *Moodle* que s'acaba de crear. Si hi hagués algun problema durant aquest procés es mostraria l'error corresponent.

Per a més detalls sobre la implementació, al mitjà d'emmagatzament digital adjunt a aquest treball de tesi, es pot consultar el codi complert i comentat de la implementació, l'ontologia complerta dels Laboratoris Virtual, les instàncies creades en la fases de

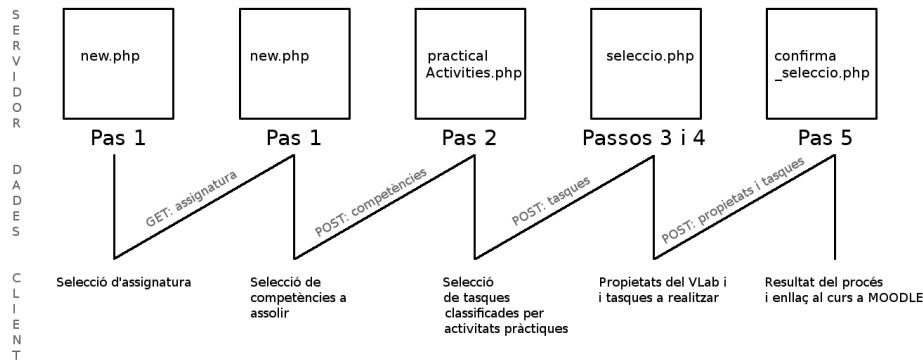


Figura 6.9: Fluxe d'informació entre l'aplicació client i la servidora.

proves i un vídeo demostratiu del funcionament de l'aplicació. Aquesta informació també es pot consultar a la web creada per aquest treball de tesi: <http://vlab.uoc.edu/>. Tot el material disponible a la web es pot utilitzar lliurement sota la llicència *Creative Commons Attribution*¹⁰ creada a partir aquest treball de tesi.

A la memòria, també s'adjunta un *CD-Live* amb el servidor de l'aplicació preparat per funcionar en qualsevol ordinador. El *CD-Live* incorpora tot el necessari, des del sistema operatiu fins el navegador web, per executar l'aplicació desenvolupada en aquest treball de tesi.

6.3 Resum

En aquest capítol s'ha mostrat el procés de creació d'una aula virtual, anomenada Laboratori Virtual, a partir de l'especificació realitzada al Capítol 5. L'aula virtual permet que els estudiants puguin realitzar les pràctiques de laboratori, necessàries per assolir les competències requerides, en un entorn virtual i està format per tots els recursos necessaris.

El procés de creació de l'aula virtual ha requerit, en primer lloc, d'un raonador que sigui capaç d'inferir l'estructura i els recursos necessaris del Laboratori Virtual

¹⁰<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/legalcode/>

per tal d'assolir unes competències d'una determinada assignatura i, en segon lloc, d'una plataforma d'aprenentatge perquè els estudiants i professors puguin accedir al Laboratori Virtual.

Una de les característiques que incorpora el raonador utilitzat, és que ha permès verificar que no existeixen incoherències en l'especificació dels Laboratoris Virtuals, realitzada a partir d'ontologies.

Amb la creació d'un Laboratori Virtual sobre una plataforma d'aprenentatge, basada en Moodle, s'assoleixen, per una banda, l'*objectius 5* i l'*objectius 6* descrits al Capítol 1 i , per altra banda, l'objectiu implícit de validar la caracterització i l'especificació proposada en aquest treball de tesi.

Capítol 7

Conclusions

Aquest capítol, amb el qual es finalitza la memòria d'aquest treball de tesi, té com a finalitat sintetitzar el treball realitzat, extreure'n les conclusions i presentar les línies de recerca que queden obertes en aquest camp.

7.1 Síntesi final del treball de tesi

Els ràpids i continus desenvolupaments en les tecnologies de la informació i les comunicacions dels darrers anys han incrementat el coneixement i la demanda de l'ensenyament a distància. D'entre els diferents escenaris possibles d'educació a distància, aquesta tesi s'ha particularitzat en la modalitat virtual que fa un ús intensiu de la tecnologia i utilitza Internet com a sistema de comunicació. En aquest nou entorn d'aprenentatge virtual, per tal d'assolir les competències dels estudis universitaris d'Enginyeria en Informàtica, és fa necessària la realització d'activitats pràctiques de laboratori de manera virtual. L'espai virtual on els estudiants realitzen aquestes pràctiques de laboratori s'anomena Laboratori Virtual i constitueix la temàtica central d'aquest treball de tesi.

En primer lloc, s'ha presentat una estructura general d'un Laboratori Virtual ba-

sada, per una banda, en l'experiència acumulada a la Universitat Oberta de Catalunya des de l'any 1998 i, per altra banda, a partir de l'anàlisi de les propostes procedents de la revisió de la literatura de l'àmbit i de les realitzades per altres universitats. El Laboratori Virtual proposat ha de proporcionar tots els recursos tecnològics, pedagògics i humans necessaris per a la realització d'activitats pràctiques virtuals de laboratori i substitueix al laboratori físic d'una universitat presencial tradicional. Per tal d'avaluar la idoneïtat de l'estructura de Laboratori Virtual proposada, a l'any 2007 es va adreçar un qüestionari als estudiants de dos tipologies representatives de Laboratoris Virtuals de la Universitat Oberta de Catalunya: el Laboratori Virtual de Programació i el Laboratori Virtual de Xarxes. Els resultats de l'enquesta mostren una alta rellevància de tots els onze recursos del Laboratori Virtual proposats en aquest treball on destaca el recurs humà del *Professor de Laboratori* que està considerat molt important o imprescindible en un entorn virtual d'aprenentatge, per la gran majoria dels estudiants.

L'estructura proposada per als Laboratoris Virtuals és una caracterització necessària però no suficient per a la creació automàtica de Laboratoris Virtuals en un entorn real d'aprenentatge. Per aquest motiu, en segon lloc, ha estat necessari realitzar una especificació formal dels Laboratoris Virtuals mitjançant una representació semàntica a partir d'ontologies, que proporciona un vocabulari de classes i relacions computable per un ordinador i afegeix la possibilitat de compartir el coneixement. Es va escollir la web semàntica, enlloc d'altres representacions sintàctiques, donat que facilita la descripció explícita sobre el significat dels recursos i permet emmagatzemar suficient informació sobre el coneixement perquè aquest sigui processat per màquines, amb tots els avantatges que això comporta: millores en les cerques, inferències, classificacions automàtiques i instanciació entre d'altres. Una de les característiques més importants d'utilitzar aquest model de representació per als Laboratoris Virtuals és la possibilitat que altres projectes integrin i ampliïn l'ontologia proposada en l'àmbit de l'ensenyament.

En tercer lloc, s'ha dissenyat i implementat una eina, sobre una plataforma real d'aprenentatge, que permet crear de manera guiada un Laboratori Virtual a partir de l'especificació basada en ontologies. El Laboratori Virtual resultant permet als estudiants realitzar les pràctiques de laboratori en un entorn virtual i està format per tots els recursos tecnològics, pedagògics i humans que són necessaris per assolir les competències requerides per una determinada assignatura d'Enginyeria en Informàtica. Cal destacar que els professors, usuaris de l'aplicació, no requereixen cap coneixement ni d'ontologies ni de Laboratoris Virtuals per posar en marxa el Laboratori Virtual associat a una assignatura.

Finalment, es pot concloure que tots els recursos identificats a la literatura revisada encaixen en l'estructura de Laboratori Virtual proposada i, per tant, l'estructura general pot servir com un model inicial per poder dissenyar i implementar qualsevol Laboratori Virtual en les Enginyeries en Informàtica i d'aquesta manera poder realitzar pràctiques de laboratori en un entorn d'aprenentatge virtual.

7.2 Aportacions del treball de tesi

De manera resumida, les principals contribucions d'aquest treball de tesi es descriuen a continuació:

- S'ha proposat una estructura general de Laboratori Virtual que pot servir com a punt de partida per a altres universitats o grups de recerca per realitzar pràctiques de laboratori en un entorn d'educació virtual. Aquesta estructura integrada conté un conjunt de recursos classificats segons factors tecnològics, pedagògics i humans determinats a partir de l'experiència acumulada en els darrers onze anys dissenyant i utilitzant Laboratoris Virtuals en les Enginyeries en Informàtica a la UOC. Amb aquesta aportació s'assoleixen l'*objectiu 1* i l'*objectiu 2* descrits al

Capítol 1.

- S'ha elaborat un estat de l'art dels estàndards en l'àmbit de l'educació i dels sistemes semàntics de representació de coneixement més significatius en aquest àmbit. L'estat de l'art ha permès determinar la millor manera de representar aquest coneixement així com detectar certs problemes respecte a una representació del coneixement basada exclusivament en els estàndards "sintàctics" en l'àmbit docent. Amb aquesta aportació s'assoleix l'*objectiu 3* presentat al Capítol 1.
- S'ha proposat una especificació formal dels Laboratoris Virtuals a partir d'ontologies. Amb aquesta aportació s'assoleix l'*objectiu 4* mostrat al Capítol 1.
- S'ha elaborat una eina capaç de convertir la definició semàntica basada en ontologies a un sistema real de gestió d'aprenentatge basat en el C/LMS *Moodle*. Amb aquesta aportació s'assoleixen l'*objectiu 5* i l'*objectiu 6* descrits al Capítol 1.
- S'han analitzat dos casos d'estudi per validar que el model proposat és suficient i complet per realitzar pràctiques de laboratori en les Enginyeries en Informàtica en un entorn virtual.
- A més, s'ha definit, dissenyat, implementat i avaluat un corrector automàtic de programes per un VPLab i s'ha adaptat, posat en marxa i avaluat un laboratori remot de xarxes per a un VNLab. Aquesta aportació, sobre dos recursos tecnològics importants dels Laboratoris Virtuals, no era un objectiu d'aquest treball de tesi.

Per acabar i partir de les aportacions presentades, es pot afirmar que s'han assolit tots els objectius específics i l'objectiu principal, formulats al Capítol 1.

7.2.1 Publicacions derivades d'aquest treball de tesi

Els articles escrits i acceptats de l'autor de la tesi i relacionats directament amb aquest treball de recerca són:

- **IEEE-TIE'08.** Josep Prieto-Blázquez, Joan Arnedo-Moreno and Jordi Herrera-Joancomartí. “*An Integrated Structure for a Virtual Networking Laboratory*”. IEEE Transactions on Industrial Electronics¹, vol. 55, num. 6, p.p. 2334–2342, 2008.
- **FIE'08.** Josep Prieto-Blázquez, Ivan García-Torà, Jordi Herrera-Joancomartí and Anna Guerrero-Roldán. “*Virtual Laboratory Ontology for Engineering Education*”. FIE'08: 38th Annual Conference on Frontiers in Education, vol. 1, p.p. 1:S2F-1. Saratoga (EEUU), 2008. IEEE Computer Society and IEEE Education Society.
- **SIIE'08.** Josep Prieto-Blázquez and Jordi Herrera-Joancomartí. “*A Virtual Laboratory Structure for Computer Engineering Education*”². International Symposium on Computers in Education, vol. 1, p.p. S11:1-6. Salamanca (Spain) 2008.
- **CAL'07.** Josep Prieto-Blázquez and Jordi Herrera-Joancomartí. “*Where is the teacher in a Virtual Learning Environment?*”. Computer Assisted Learning Conference. Dublin (Ireland), 2007. Computer and Education, Elsevier.
- **SIECI'06.** Angels Rius, Josep Prieto-Blázquez and Daniel Riera. “*Caso Real de un Corrector Automático de Programas en un Entorno Virtual de Aprendizaje*”.

¹JCR amb un factor d'impacte actual de 2.216.

²Notificació rebuda, el 12/11/08, del comitè de programa: “has been selected to be published at the International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET). The selection was very competitive, as only 10 papers were selected.” ISSN: 1863-0383.

Proceedings of the 5th Ibero-American Conference in Systems, Cybernetics and Information technology, vol. III, p.p. 106–111. Orlando (EEUU), 2006.

- **SIECT'05.** Josep Prieto-Blázquez and Xus Marco and Enric Serradell. “*Requerimientos tecnológicos para la docencia de programación en un entorno de aprendizaje a distancia*”³. Proceedings of the 4th Ibero-American Conference in Systems, Cybernetics and Information technology, vol. III, p.p. 113–118. Orlando (EEUU), 2005.
- **JENUI'02.** Xus Marco-Galindo and Josep Prieto-Blázquez. “*Necesidades Específicas para la Docencia de Programación en un Entorno Virtual*”. In Actas de las VIII Jornadas de Enseñanza Universitaria de Informática, Jenui 2002, pp. 5–12. Càceres (Spain), 2002.

L'article enviat i pendent d'acceptació de l'autor de la tesi relacionat directament amb aquest treball de recerca és:

- **IJEE'08.** Fermin Sánchez, David Megías i Josep Prieto-Blázquez. “*SiMR: an appropriate simulator tool to learn and practice about computer architecture*”. International Journal of Engineering Education⁴.

7.3 Treballs futurs

A continuació es descriuen de manera molt resumida, classificats per temàtica, les línies de recerca que han quedat obertes a partir d'aquest treball de tesi:

³Seleccionat com el *best paper* de la sessió “Aprendizaje y Enseñanza en Línea (e-learning)”.

⁴JCR amb un factor d'impacte actual de 0.356.

- **Caracterització dels Laboratoris Virtuals**

1. Incorporar nous recursos tecnològics a l'estructura proposada de Laboratoris virtuals. En els darrers dos anys han sorgit nous recursos tecnològics sota el paradigma de la tecnologia *Web 2.0* que s'haurien estudiar per incorporar a l'estructura general proposada. A EduTek⁵ es pot trobar una extensa llista d'aquests possibles recursos.
2. Estudiar i ampliar l'estructura proposada perquè doni suport a les Enginyeries en Telecomunicació. Per tal de donar suport a certes activitats pràctiques de laboratori de la nova titulació d'Enginyeria en Telecomunicació de la UOC es requereix una ampliació de l'estructura actual de Laboratoris Virtuals. La tipologia d'aquestes pràctiques són, en algunes assignatures, molt diferents a les Enginyeries en Informàtica donat que han d'accedir a dispositius físics que no estan preparats inicialment per tenir connexió remota.
3. Realitzar un estudi estadístic més precís sobre l'idoïnitat de l'estructura de Laboratori Virtual proposada. En aquest treball de tesi s'ha realitzat una anàlisi dels VNLab i VPLab a partir de l'opinió dels estudiants. Aquesta anàlisi es va fer per obtenir una primera impressió dels estudiants sobre els diferents recursos del Laboratori Virtual. De totes maneres, es creu convenient fer un estudi més exhaustiu sobre la rellevància que té cada un dels recursos proposats.

- **Especificació dels Laboratoris Virtuals**

1. Compartir l'ontologia amb altres universitat i grups de recerca perquè puguin provar, ampliar i millorar l'ontologia proposada. Des del primer moment que es va decidir especificar l'estructura dels Laboratoris Virtual a

⁵http://edutechwiki.unige.ch/en/List_of_web_2.0_applications/

partir d'ontologies, ha estat un objectiu compartir-la amb altres grups de recerca perquè puguin fer-la servir, amb les adaptacions que siguin necessàries, en nou entorn educatiu.

2. Adaptar l'ontologia perquè sigui compatible amb els principals estàndards de l'àmbit de l'educació. En el curs acadèmic 2007/2008 es van fer dos treballs finals de carrera en l'Enginyeria en Informàtica per adaptar una versió inicial de l'ontologia dels Laboratoris Virtuals a l'estàndard IEEE LOM, descrit en el Capítol 4 d'aquesta tesi. Aquests treballs finals de carrera van confirmar que aquesta conversió era possible i que no es requerien modificacions importants en l'ontologia. Un treball futur consistirà en adaptar l'ontologia resultant d'aquest treball de tesi perquè sigui compatibles amb dos estàndards de metadades més utilitzats en l'àmbit de l'educació: l'IMS-LD i l'IEEE LOM. D'aquesta manera es podrà compatir més fàcilment amb altres grups que estiguin treballant sobre aquests estàndards.

- **Creació dels Laboratoris Virtuals sobre un C/LMS**

1. Integrar el Laboratori Virtual creat sobre C/LMS *Moodle* al Campus Virtual de la UOC. Tal i com s'ha descrit en aquest treball de tesi es va escollir el C/LMS *Moodle* com a plataforma d'aprenentatge per hostejat els Laboratoris Virtuals. Per tal que els estudiants de la UOC el puguin utilitzar de manera transparent, es requereix d'un treball d'integració, adaptació i prova sobre la plataforma d'aprenentatge del Campus Virtual de la UOC.

Apèndix A

CAP: Corrector Automàtic de Programes

En aquest apèndix es descriu el Corrector Automàtic de Programes (CAP) com un dels recursos principals del Laboratori Virtual de Programació (VPLab) de la UOC analitzat al Capítol 3 d'aquest treball de tesi.

L'estructura d'aquest apèndix és la següent: en primer lloc, en l'Apartat A.1, es realitza una introducció del Corrector Automàtic de Programes, a continuació, en l'Apartat A.2 i en l'Apartat A.3, es mostren els detalls tècnics de l'arquitectura i les seves funcionalitats, respectivament. Finalment, en l'Apartat A.4, es mostra una avaluació per part dels estudiants de l'impacte del Corrector Automàtic de Programes.

A.1 Introducció del CAP

L'aprenentatge de les assignatures de programació en les Enginyeries en Informàtica o en altres enginyeries com en les Enginyeries en Telecomunicació es basa, fonamentalment, en la realització de múltiples exercicis pràctics de programació de dificultat progressiva, a través dels quals l'estudiant adquireix i consolida els seus coneixements sobre algorísmica mitjançant l'ús d'un o més llenguatges de programació. Un dels

aspectes que més incideixen en la qualitat del procés d'aprenentatge d'aquestes assignatures és l'avaluació, que exigeix un seguiment individual, essent millor quant més continuat sigui. Quan es tracta d'avaluar exercicis pràctics com programes, el professor ha de comprovar el correcte funcionament de cada programa. Aquest procés consisteix bàsicament en la compilació i execució de cadascun d'aquests programes sobre un determinat conjunt de proves. Es tracta, per tant, d'un procés molt repetitiu i monòton, que requereix molt temps de dedicació per part del professor. Per tant, l'existència d'eines que facilitin el procés de correcció dels exercicis beneficiarà tant a l'estudiant com al professor.

En un sentit ampli, la correcció automàtica de programes s'ha d'entendre com la comprovació de la seva correcta execució davant un conjunt de proves prefixades, validant inclús la complexitat, tipografia i estructura del codi font, a més de detectar possibles còpies entre les solucions aportades pels diferents estudiants.

Cal destacar que el Corrector Automàtic de Programes de la UOC, des de la seva concepció, ha pretès ser un sistema multiplataforma, estable i adaptable, capaç de satisfer les necessitats, actuals i futures de les assignatures que requereixin la realització de programes.

A.1.1 Antecedents

Des del mateix moment en què es van iniciar els estudis de l'Enginyeria Tècnica en Informàtica de Gestió i de l'Enginyeria Tècnica en Informàtica de Sistemes en la UOC, l'any 1997, es va detectar la necessitat d'incorporar una eina d'avaluació automàtica d'exercicis de programació. En aquell moment es va realitzar un estudi de les eines que existien al mercat, així com altres eines que algunes universitat havien creat per resoldre tal necessitat. Com a resultat de l'anàlisi dels diferents productes per realitzar

correccions automàtiques, es va escollir una eina anomenada *Ceilidh*¹, desenvolupat pel Departament de *Computer Science* de la Universitat de *Nottingham* (UK) (Higgins, et al., 2002). També es va contactar amb la Universitat *Royal Holloway of London* que havia adaptat l'eina per avaluar codi font escrit en *Pascal*, llenguatge de programació que s'utilitzava aleshores a la UOC a les assignatures fonamentals de programació.

A l'any 1998 es va adaptar el sistema *Ceilidh* al Campus Virtual de la UOC, ja que inicialment aquest sistema estava pensat únicament per a plataformes *UNIX* i amb una connexió *telnet* al servidor. Aquesta adaptació consistia en que els estudiants realitzaven els seus enviaments d'exercicis adjuntant el codi font al sistema de missatgeria del Campus Virtual i rebien automàticament un missatge amb la seva qualificació. El curs acadèmic de l'any 1998 va passar a estar a disposició dels 719 estudiants que aleshores cursaven l'assignatura *Fonaments de Programació* amb un total de 8 exercicis diferents.

En els anys posteriors es va ampliar el seu ús a altres assignatures i a altres llenguatges de programació com *Java* i *C*, fins arribar a ésser usat per més de 2.000 estudiants per semestre i arribant a màxims de 150 correccions en una hora.

A finals de l'any 2001 es va decidir prescindir de l'eina i començar a desenvolupar una eina pròpia a causa, principalment, de les dificultats en el manteniment i en les modificacions que feien insostenible la seva utilització. Dos anys més tard, l'equip docent va veure necessari tornar a disposar d'una eina com el corrector, però capaç de superar els problemes que van dur al seu abandonament. Així es va decidir dissenyar i desenvolupar el Corrector Automàtic de Programes que es presenta a continuació.

¹<http://www.cs.nott.ac.uk/ceilidh/>

A.2 Arquitectura del CAP

A nivell d'arquitectura, el Corrector Automàtic de Programes, s'executa sobre una màquina amb sistema operatiu *GNU/Linux* que utilitza *Apache Tomcat* com a servidor de pàgines web. Aquesta plataforma es descompon en dues parts: una interfície d'usuari com a front-end i un motor de compilació com a back-end. Ambdós programes han estat desenvolupats pràcticament de forma independent i, per a cada un d'ell, s'ha triat la tecnologia que s'ha considerat més adequada.

La interfície d'usuari està programada usant tecnologia web (*HTML*, *PHP*, *XSLT*, *JSP* i *Servlets*) i, amb la finalitat d'aconseguir la màxima independència entre les dades i la seva presentació, s'ha triat XML per emmagatzemar la informació. La unitat d'informació més rellevant que gestiona és l'exercici que és enviat pels estudiants per la seva correcció automàtica. El disseny d'aquest programa ha estat dut a terme tenint en compte que, en un futur, les unitats de gestió poguessin ser majors que les actuals, com per exemple agrupacions d'exercicis per obtenir col·leccions dels mateixos a mode de material optatiu o de reforç. A la Figura A.1 es mostra, a tall d'exemple, algunes de les pantalles de l'aplicació del Corrector Automàtic de Programes.

El motor de compilació està programat exclusivament en *PHP* i requereix d'una base de dades, *MySQL* en aquest cas, un compilador de *C* i una eina de comparació. Es va triar *PHP* perquè s'integrava molt bé amb el servidor web, era fàcil d'extendre o modificar i fàcilment migrable a altres plataformes quan fós necessari. Un cop triat *PHP* va ser molt fàcil seleccionar *MySQL* com a base de dades per emmagatzemar els exercicis. L'opció va ser clara donat que *MySQL* facilita la integració amb *PHP*, consumeix pocs recursos i, a més, ofereix suport per administrar el sistema i realitzar consultes. Pel que fa a les decisions de disseny preses durant el desenvolupament del motor de compilació, mencionar que es va procurar prioritzar la possibilitat de configurar a tots els nivells, des de l'ubicació de directori, el nom de la base de dades

o el propi compilador.

Ambdós programes, interfície d'usuari i motor de compilació, es complementen i s'integren perfectament per donar lloc a una bona eina docent en l'àmbit de la programació.

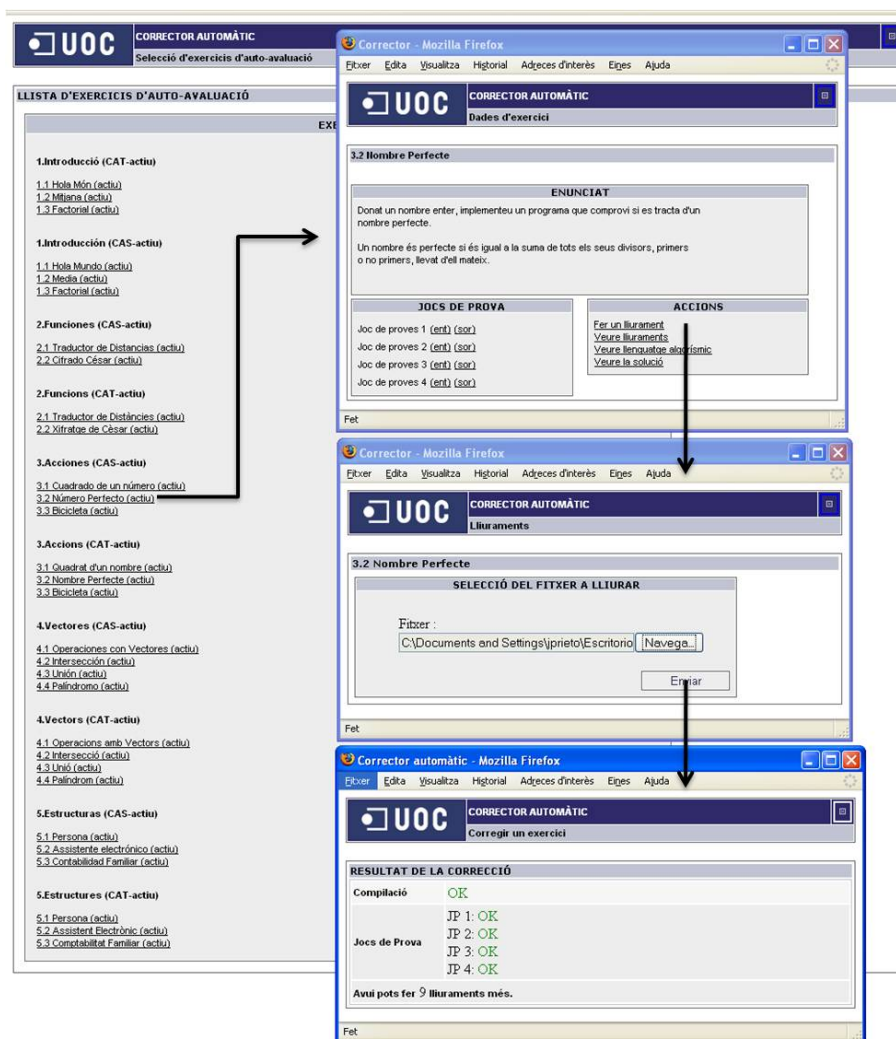


Figura A.1: CAP. Correcció d'un exercici.

A.3 Funcionalitats del CAP

Les funcionalitats Corrector Automàtic de Programes estan estretament relacionades amb les motivacions que van impulsar el seu desenvolupament que eren, per una banda, oferir suport a l'estudiant per detectar d'errors de compilació així com informació immediata respecte al funcionament dels seus programes; i per altra banda, permetre la gestió i correcció d'un gran nombre de programes. Entre les funcionalitats bàsiques del corrector automàtic de programes cal destacar:

- **Configuració i administració d'usuaris.** L'eina permet crear, administrar i configurar els comptes dels usuaris: professors i estudiants. Aquests estudiants estan agrupats per aules i semestre matriculat.
- **Gestió i control d'exercicis a corregir.** La gestió d'exercicis és una funcionalitat prèvia a la correcció d'aquests, la qual és duta a terme pel front-end de l'eina. Cada exercici es compon d'un enunciat, diversos jocs de prova i una solució. Gestionar els exercicis implica, en el moment de donar-lo d'alta, introduir-lo en el sistema, la qual cosa no significa que, a partir d'aquell instant, la correcció d'exercicis rebuts es realitzi respecte a la solució del nou exercici que acaba de ser donat d'alta. Per tant, a part de les operacions típiques de gestió d'exercicis, el corrector permet controlar l'accés a diferents exercicis mitjançant el mecanisme d'activació/desactivació.
- **Enviament dels exercicis realitzats pels estudiants i recepció del resultat.** L'eina proporciona una interfície web per enviar els exercicis de programació. La mateixa pàgina web i, de manera dinàmica, proporciona els resultats de la correcció als estudiants (veure Figura A.1).
- **Compilació i correcció instantània dels exercicis.** La compilació i la correcció d'exercicis són les funcionalitats més importants que du a terme l'eina.

La interfície d'usuari, o *front-end*, prepara les dades a transferir al motor de compilació i invoca al *back-end*, el qual, a part de compilar realitza la correcció automàtica d'exercicis. A continuació es descriu pas a pas el procés que es segueix:

1. Es comprova que l'estudiant que ha realitzat l'enviament no hagi superat el nombre màxim de lliuraments per dia i, en cas afirmatiu, s'emmagatzema una còpia de l'exercici.
2. Procedeix a la compilació i en cas de compilació amb errors, mostra per pantalla els errors detectats oferint suport a l'estudiant.
3. Executa els jocs de prova, públics i privats, en un temps límit del processador per evitar que un programa defectuós (o maliciós) pugui saturar el sistema. La correcció en aquest tipus d'eines es realitza per diferents nivells segons els elements que s'avaluen, però principalment consisteix en passar un cert joc de proves que, a partir d'unes dades d'entrada, comproven si la sortida és correcta.
4. Compara els resultats produïts amb els esperats i desa el resultat a la base de dades i en un fitxer de text.
5. Mostra per pantalla el resultat dels jocs de prova executats. Aquests resultats són les comparacions entre els resultats esperats i els que produeix el programa enviat a corregir (veure el darrer pas de la Figura A.1).

Dues característiques més que proporciona l'eina desenvolupada a la UOC és que permet detectar còpies d'exercicis entre tots els rebuts i que prepara uns informes per als professors amb els resultats de les correccions i treballs enviats pels seus estudiants.

	Activ.1	Activ.2	Activ.3	Activ.4	Pràct.
Nombre d'estudiants	484	422	405	368	380
Programes enviats	1429	963	962	1263	1473
Correccions/estudiants	2,95	2,28	2,38	3,43	3,88
Nivell de dificultat	baix	baix	mitjà	alt	alt
Obligatòria	No	No	No	No	Sí

Taula A.1: Activitat del CAP durant el curs 2006/2007.

A.4 Avaluació de l'impacte del CAP

En aquest apartat es presenten dos tipus de resultats. Es mostren, per una banda, els resultats relatius a la utilització del corrector corresponent al primer semestre del curs acadèmic 2006/2007; i per altra banda, els resultats referents al nivell de satisfacció dels estudiants en quant a ús del corrector.

A.4.1 Activitat del CAP

La Taula A.1 mostra les dades d'utilització del corrector automàtic desglossades per activitats durant el primer semestre del curs acadèmic 2006/2007. A la taula s'observa que l'assignatura consta de cinc activitats que involucren codificació, quatre d'elles opcionals (Activ.1, Activ.2, Activ.3 i Activ.4) i una última de caràcter obligatori (Pràct.). Els resultats mostren que en les activitats de caràcter opcional, a mida que s'incrementa el nivell de dificultat, el nombre d'estudiants que les realitza decreix, mentre que el nombre mitjà d'enviaments per estudiant incrementa. Això indica que per obtenir un resultat òptim cada cop són necessàries més proves, utilitzant els estudiants el corrector com a suport per aconseguir tal objectiu. En el cas de la pràctica, el nombre d'estudiants que la realitza (380) és superior al nombre que ha realitzat totes les activitats de tipus opcional (368) degut al seu caràcter obligatori per superar l'assignatura. La quantitat de programes enviats també és superior donada la seva complexitat.

A.4.2 Valoració del CAP per part dels estudiants

Per valorar el nivell de satisfacció dels estudiants en quant a ús del corrector es va preparar una enquesta de caràcter voluntari a l'any 2007 sobre els estudiants que van finalitzar l'assignatura el semestre anterior i als que actualment l'estava cursant. A les Taules A.2, A.3 i A.4 es mostren les 7 preguntes de l'enquesta, emplenada per 151 estudiants i les respostes dels estudiants.

A la vista de les respostes, el grau de satisfacció dels estudiants que han utilitzat el corrector i han realitzat l'enquesta és molt elevat. De les dades presentades se'n desprèn que al voltant d'un 75% dels estudiants han utilitzat el corrector i que en un 90% els ha resultat útil. Finalment, un 76% d'ells assegura que el corrector ha satisfet les seves necessitats. S'observa també que en un 72% dels casos l'eina ha funcionat bé i que el temps de resposta de la mateixa és més que acceptable (menor al minut). També és important veure que davant la proposta de millorar el corrector, afegint funcionalitats i millorant el rendiment, els estudiants estan majoritàriament a favor. Això, combinat amb l'alt grau de satisfacció de l'ús de l'eina, dona a entendre que és important seguir treballant en el corrector, ja que és una eina doblement útil: per a professors i per a estudiants. Finalment, els resultats indiquem que la meitat d'estudiants han usat el corrector com a compilador, ja que és una de les funcionalitats que el corrector incorpora. Això fa que l'estudiant no necessiti tenir a casa un compilador del llenguatge de programació *C* i simplement necessitaria un editor per fer les activitats.

Pregunta	Resposta									
	Cap		D'1 a 2 cops		De 3 a 5 cops		De 5 a 10 cops		Més de 10 cops	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Quantes vegades l'has utilitzat?	47	31.1%	15	9.9%	37	24.5%	24	15.8%	28	18.5%

Taula A.2: Pregunta 1 del qüestionari sobre el CAP.

Pregunta	Resposta			
	SÍ		NO	
	Nº	%	Nº	%
L'has trobat útil?	104	86.7%	16	13.3%
T'ha donat resposta a les teves necessitats?	88	73.9%	31	26.0%
Creus que val la pena millorar-lo?	95	80.5%	23	19.4%
L'has utilitzat com a compilador?	42	35.5%	76	64.4%
T'ha funcionat correctament?	95	85.5%	16	14.4%

Taula A.3: Preguntes de la 2 a la 6 del qüestionari sobre el CAP.

Pregunta	Resposta									
	De 2 a 10 seg.		De 0 a 2 seg.		De 10 a 60 seg.		D'1 a 5 min.		Més de 5 min.	
	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%	Nº	%
Quin ha estat el temps mitjà de resposta?	58	53.2%	40	36.7%	9	8.2%	2	1.8%	0	0.0%

Taula A.4: Pregunta 7 del qüestionari sobre el CAP.

Apèndix B

NETLAB: Laboratori Remot de Cisco

En aquest apèndix es descriu el NETLAB+^{®1} com un dels recursos principals del Laboratori Virtual de Xarxes (VNLab) de la UOC analitzat al Capítol 3 d'aquest treball de tesi.

L'estructura d'aquest apèndix és la següent: en primer lloc, en l'Apartat B.1, es realitza una breu introducció del NETLAB+[®], a continuació, en l'Apartat B.2 i en l'Apartat B.3, es mostren els detalls tècnics de l'arquitectura i les seves funcionalitats, respectivament. Finalment, en l'Apartat B.4, es mostra una avaluació de l'impacte del NETLAB+[®].

B.1 Introducció del NETLAB+[®]

El NETLAB+[®] és un Laboratori Remot que proporciona un mitjà per accedir a dispositius reals de xarxes, com per exemple encaminadors (*Routers*) i commutadors (*Switches*), mitjançant una connexió a Internet. És important mencionar que aquest Labo-

¹NETLAB+ is the intellectual property of Networking Development Group, NDG (<http://www.netdevgroup.com>). NETLAB Academy Edition was developed by NDG under contract with Cisco Systems, Inc.

ratori Remot no és un simulador de dispositius de xarxa donat que els usuaris estan accedint remotament pel port de consola a dispositius reals.

El NETLAB+[®] està organitzat en un o més POD². Un POD és una instància d'una determinada topologia suportada pel laboratori que pot ser reservada per un usuari. Cada POD conté un conjunt de dispositius de xarxes perfectament connectats i configurats per realitzar pràctiques de laboratori. A la figura B.2 es mostren dos configuracions diferents de POD (*POD 1* i *POD 2*) utilitzades en la UOC per realitzar pràctiques de laboratori en el Màster de *Cisco*.

Per altra banda, l'aplicació del NETLAB+[®] permet distingir fins a tres tipus diferents d'usuaris: estudiants, instructors i administradors.

- Els **estudiants** poden accedir i interactuar amb els dispositius que estan en un determinat POD, tal i com es mostra a la Figura B.1. Prèviament, els estudiants han hagut de reservar, a través d'una interfície web, el POD que tenen assignat. Quan un estudiant accedeix a un POD, el sistema realitza automàticament una neteja de les configuracions d'altres pràctiques realitzades anteriorment. D'aquesta manera, els estudiants sempre trobaran el POD en les mateixes condicions inicials. Una vegada situat a dins d'un POD, l'estudiant podrà accedir directament pel port de consola al commutador o encaminador real fent clic sobre el dispositiu de xarxa del NETLAB+[®]. L'aplicació web també proporciona accés als estudiants a les operacions de la capa de control de la corrent elèctrica, proporcionant un mitjà per realitzar accions que normalment només serien possibles amb un accés físic al dispositiu, com per exemple: encendre o apagar un dispositiu de xarxa, o bé reiniciar en mode especial per fer recuperació de contrasenyes. També es poden realitzar pràctiques en equip amb accés concurrent a tots els dispositius del POD, on tots els estudiants del grup poden accedir a qualsevol

²Acrònim anglès que significa "Point of Deployment".

dispositiu del POD alhora.

- Els **instructors** tenen els mateixos drets d'accés que els estudiants. A més, els instructors poden crear i agrupar comptes pels estudiants de la seva aula. Per a cada grup, s'especifica quins POD poden ser accedides i sota quines condicions (hores restringides de reserva, dies per fer pràctiques, hores que han de passar entre reserves, etc.). Cada instructor també pot revisar les reserves de POD dels seus estudiants i cancel·lar-les o modificar-les si s'escau necessari.
- L'**administrador** té com a principal responsabilitat la posada en marxa i el manteniment del servidor i dels POD. L'administrador també dóna d'alta als instructors i revisa els diferents logs del sistema. Totes aquestes tasques es poden dur a terme remotament via una interfície web, excepte, òbviament, la instal·lació i cablejat dels nous POD.

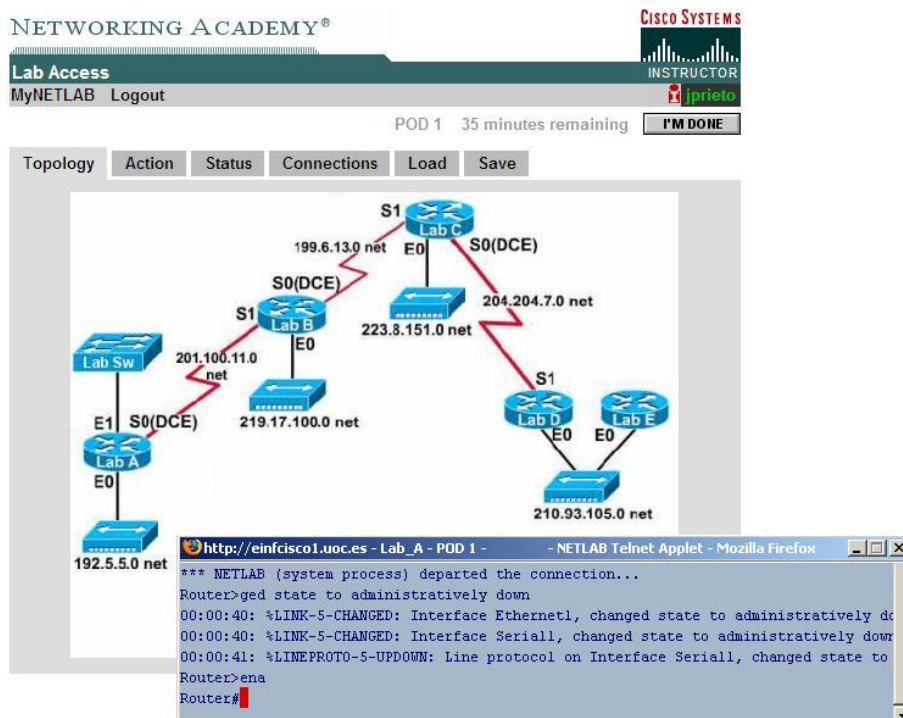


Figura B.1: Vista d'una sessió del NETLAB+[®].

B.2 Arquitectura del NETLAB+[®]

La disposició lògica del NETLAB+[®], mostrada a la Figura B.2, està dividida en tres capes diferents: els POD, la capa de control i el servidor principal.

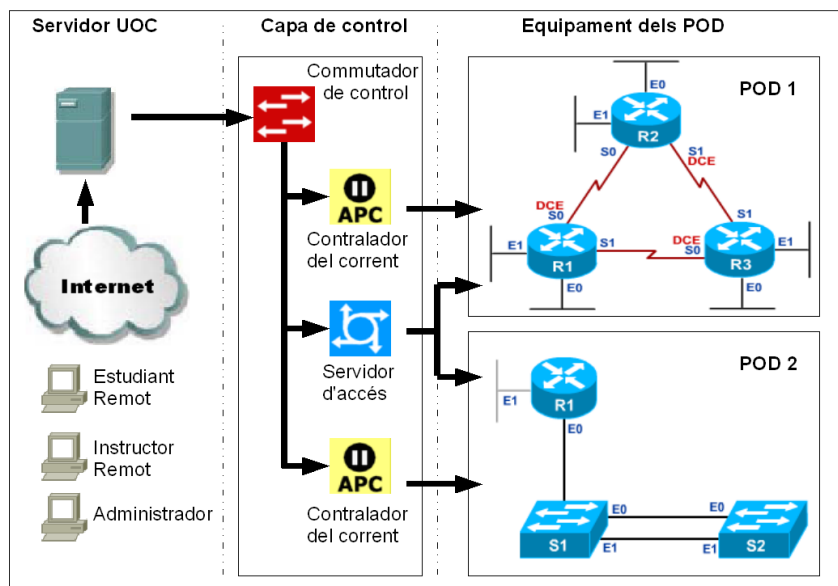


Figura B.2: Arquitectura del NETLAB+[®].

- El **POD** representa una topologia concreta de dispositius de xarxa utilitzada per fer pràctiques de laboratori. Cadascun d'aquests POD està compost per un nombre fix de dispositius físics de xarxa i el corresponent cablejat entre ells. Els POD estan aïllats entre si, actuant com espai de laboratori complet. Cada POD és modular i per tant es poden afegir els dispositius necessaris, instal·lant dispositius físicament i cablejant-los, per l'assoliment de les competències del currículum.
- La **capa de control** està formada per tots els dispositius interns que governen l'interacció amb el POD des de l'exterior. Els components més importants són el servidor d'accés, que controla la connectivitat pel port consola als diferents

dispositius dins un POD; i el controlador del corrent, que permet encendre i apagar remotament cada dispositiu d'un POD, proveint als usuaris un mecanisme d'accés al dispositiu que requereixi una acció de parada.

- El **servidor** és el nucli del sistema que proveeix la passarel·la a la capa de control i als POD. Els usuaris només necessiten un navegador web per tal de connectar-se al servidor i controlar els dispositius de xarxa de cada POD. El servidor que es fa servir a la UOC és un ordinador *IBM xSeries 305* basat en *GNU/Linux* muntat amb dues interfícies de xarxa, una per connexió externa amb els usuaris i l'altra per la connexió interna amb la capa de control.

B.3 Funcionalitats del NETLAB+[®]

Les característiques principals del NETLAB+[®] són les següents:

- **Reserva.** Un aspecte indispensable del NETLAB+[®] és la seva capacitat per proveir autònomament accés programat al diferents POD del laboratori i per permetre als instructors revisar les reserves actuals. Aquesta funció és de vital importància per proveir un servei 7x24³, que és requisit clau per a un Laboratori Remot.
- **Col·laboració.** El NETLAB+[®] proveeix un mitjà als estudiants per fer pràctiques en equips de treball, funcionalitat també molt important en un Laboratori Remot.
- **Tutorització guiada.** El NETLAB+[®] permet realitzar sessions guiades per part d'un instructor, que prèviament ha de programar una reserva de grup. Al fer-ho, tant l'instructor com l'estudiants, poden interactuar dins el laboratori de forma síncrona.

³7x24: disponibilitat 7 dies a la setmana i 24 hores al dia.

- **Restauració a un estat conegut.** El NETLAB+[®] ha de garantir que després de cada sessió de pràctiques tots els dispositius del POD de laboratori s'ajustin automàticament a un estat inicial conegut, per tal que el següent estudiant no es trobi el dispositiu amb una configuració desconeguda o anòmala.
- **Gravació de sessió de pràctiques.** El NETLAB+[®] permet que els estudiants pugin desar l'estat de la configuració actual per a qualsevol dispositiu d'un POD, de manera que posteriorment pot ser carregat de nou. Aquest servei permet als estudiants continuar amb sessions prèvies sense haver de tornar a començar de zero.
- **Accessibilitat.** El NETLAB+[®] ha de proveir una disponibilitat 7x24 a través d'Internet amb totes les característiques mencionades anteriorment.

A part de les característiques principals citades, el NETLAB+[®] també proporciona una eina per examinar les connexions i els treballs dels estudiants, de manera que l'instructor pot monitoritzar el procés d'aprenentatge dels seus estudiants.

B.4 Avaluació de l'impacte del NETLAB+[®]

L'avaluació del NETLAB+[®] s'ha realitzat a dos nivells, un primer nivell per mesurar el grau d'activitat que ha tingut el NETLAB+[®]; i un segon nivell per recollir la valoració que tenen els estudiants sobre el NETLAB+[®].

B.4.1 Activitat del NETLAB+[®]

A la Taula B.1 es descriu de manera resumida l'ús real del NETLAB+[®] de la UOC entre l'any 2006 i l'any 2007. Cada filera de la taula mostra un curs del Màster de *Cisco* diferent, el qual té un laboratori virtual assignat per realitzar les pràctiques de

Nom Curs	Nombre estudiants	Es-	Data inici	Data fi	Nombre pràctiques	Hores ús
EO 05-06/2	9		Mar 23, 2006	Jul 23, 2006	41	68
CCNA-0607	51		Nov 28, 2006	Jul 31, 2007	351	478
MONCCNA1-4	4		Jan 10, 2007	Jun 28, 2007	72	83
TSIE-CCNAII	16		Mar 8, 2007	Jul 8, 2007	23	23

Taula B.1: Activitat del NETLAB+[®] de l'any 2006 a l'any 2007.

xarxes; i per cada filera, es mostra el nombre d'estudiants de l'aula, les dates d'inici i final del curs, el nombre total d'activitats de laboratori realitzades, així com les hores totals d'ús del NETLAB+[®].

A nivell general, es pot resumir que durant aquest període s'han realitzat 487 activitats de laboratori a través del NETLAB+[®], amb un total de 652 hores d'ús.

B.4.2 Valoració del NETLAB+[®] per part dels estudiants

Per tal d'avaluar l'opinió del NETLAB+[®] entre els estudiants, l'enquesta presentada a l'Apartat 3.3.2 del Capítol 3 d'aquest treball de tesi també incloïa dues qüestions sobre NETLAB+[®] (Q13 i Q14).

La primera pregunta del qüestionari web relacionada amb el NETLAB+[®] (Q13) preguntava als estudiants si el NETLAB+[®] complia les expectatives per poder realitzar les pràctiques de laboratori de xarxes en un entorn d'aprenentatge virtual. Els resultats van ser satisfactoris donat que un alt nombre d'estudiants (63%) van respondre que *SI*.

La segona pregunta era de selecció múltiple (Q14) i estava dirigida per obtenir informació sobre els principals beneficis de l'utilització del recurs NETLAB+[®] per part dels estudiants, els quals podien seleccionar fins a quatre motius pels quals valoraven satisfactori el seu ús. La Taula B.2 mostra les diferents respostes dels estudiants, així com el nombre i percentatge d'estudiants que consideren aquest motiu important en el NETLAB+[®]. Les funcionalitats d'*accessibilitat en qualsevol moment* (69%) i *accessibilitat en qualsevol lloc* (63%) són les dues opcions millor valorades pels estudiants.

Respostes dels estudiants	N	% Estudiants
Puc usar NETLAB+ [®] en qualsevol lloc	29	63,27%
Puc usar NETLAB+ [®] en qualsevol moment	31	69,39%
El NETLAB+ [®] no requereix una instal·lació prèvia	23	51,02%
El NETLAB+ [®] sempre està disponible a l'inici de sessió	9	20,41%
El NETLAB+ [®] permet desar i recuperar les meves activitats	25	55,10%
El NETLAB+ [®] permet treballar en equip	5	10,20%
El NETLAB+ [®] és fàcil d'usar	12	28,57%
El NETLAB+ [®] és permet ús exclusiu	11	24,49%
Altres respostes	6	12,24%
Estudiants totals (màxim 4 opcions per estudiant)	49	

Taula B.2: Q14. Beneficis de NETLAB+[®].

Els resultats també mostren que la *capacitat de desar/recuperar l'estat de la sessió actual* (55%) i que *el NETLAB+[®] no requereix instal·lació prèvia* (51%) són valorats altament pels estudiants.

Apèndix C

Ontologia dels Laboratoris Virtuals (OWL)

En aquest annex estava previst mostrar el text OWL generat per l'editor d'ontologies *Protégé* utilitzat en aquest treball de tesi per especificar el coneixement dels Laboratoris Virtuals.

Finalment, per respecte al medi ambient, s'ha decidit no incloure les vint pàgines del text OWL en el format paper.

El text complert OWL es pot trobar en el format digital adjunt a aquesta memòria. També es pot consultar i descarregar de la següent web, relacionada directament amb aquest treball de tesi:

- Ontologia sense instàncies.

<http://vlab.uoc.edu/downloads/owl/ontology.owl>

- Ontologia amb instàncies en català.

http://vlab.uoc.edu/downloads/owl/ontology_ca_ins.owl

- Ontologia amb instàncies en anglès.

http://vlab.uoc.edu/downloads/owl/ontology_en_ins.owl

Apèndix D

Instanciació d'un VPLab

En aquest apèndix es mostra, a mode d'exemple, les dades necessàries per instanciar un Laboratori Virtual de Programació.

En primer lloc, a la Figura D.1 es llista les competències de grau, les competències d'estudis i les competències específiques que requereix assolir un estudiant en una assignatura inicial de programació, anomenada *Fonaments de Programació*. També s'especifica el grau d'assoliment d'aquesta competència en aquesta assignatura en concret. A continuació, a la mateixa figura, es detallen les activitats pràctiques i les tasques que són necessàries per tal d'assolir les competències de l'assignatura.

En segon lloc, a la Figura D.2 es detalla els prerequisits de cada competència, els prerequisits de cada activitat pràctica i els prerequisits de cada tasca. Per exemple, per compilar un primer programa escrit en *C++* (*Tasca 4*), abans es necessari descarregar el compilador (*Tasca 1*), instal·lar-lo (*Tasca 2*) i configurar-lo (*Tasca 3*).

En tercer lloc, a la Figura D.3 es mostra, en format taula, la relació entre les competències, activitats pràctiques, tasques i recursos del Laboratori Virtual. És a dir, per cada competència es mostren les activitats pràctiques necessàries per assolir la competència; per cada activitat pràctica es detallen les tasques necessàries per realitzar aquesta activitat; i al final, es mostra quins recursos són necessaris per realitzar cada

tasca.

Finalment, a la Figura D.4 es mostra els recursos predeterminats que ha d'incorporar per defecte una tipologia concreta de Laboratori Virtual.

C: Competències de l'assignatura Fonaments de Prgramació						
	Específiques			IsPractical? (yorfna)	Proficiency Level(1.5)	Descripció
	GravEI	Estudir	Assignatura			
C1			X	X	5	Conèixer en profunditat els llenguatges i les eines de programació (IDE) més actuals i populars.
C2			X	X	2	Saber implementar (codificar) qualsevol disseny de programari.
C3			X	X	3	Saber escollir l'estructura modular i de dades necessària per construir una aplicació.
C4			X		3	Saber escriure i implementar un algoritme que satisfaci uns requeriments preestablerts aplicant
C5			X		3	Ser capaça d'entendre algorismes i programes escrits (en un llenguatge de programació concret)
C6			X		5	Conèixer els diferents mecanismes per executar una aplicació (compiladors, intèrprets, etc.).
C7			X		3	Conocer profundamente los recursos existentes para depurar un programa.
C8			X		5	Conèixer les bones pràctiques en la programació (sangria, comentaris, documentació, política
C9			X		4	Conèixer la història dels llenguatges de programació.
C10	X	X	X	X	2	Saber construir aplicacions informàtiques mitjançant tècniques de desenvolupament, integració
PA: Activitats Pràctiques						
PA1						PAC 1: Introducció a les eines de programació: IDE, compilador,
PA2						PAC 1: El llenguatge de programació C
PA3						PAC 1: Algorísmica: definicions de tipus, constants i variables.
PA4						PAC 1: Codificar, compilar i provar en llenguatge C un algorisme donat.
PA5						PAC 1: Convencions de codi (comentaris, tabulacions, bones pràctiques).
PA6						PAC 2: Algorísmica: accions i funcions.
PA7						PAC 2: Codificar, compilar i provar en llenguatge C l'algorisme donat.
PA8						PAC 3: Algorísmica: tractament de seqüències.
PA9						PAC 3: Codificar, compilar i provar en llenguatge C el algorisme dissenyat.
PA10						PAC 4: Algorísmica: realitzar l'especificació i l'algorisme d'un enunciat de dificultat baixa.
PA11						PAC 4: Codificar, compilar i provar en llenguatge C l'algorisme dissenyat.
PA12						Pràctica part1- estructura de dades: proposar una estructura de dades per d'un enunciat de dificultat
PA13						Pràctica part2- disseny: realitzar l'especificació i disseny d'un enunciat de dificultat mitjana.
PA14						Pràctica part3- codificació: codificar, compilar i provar en llenguatge C l'algorisme dissenyat.
T: Tasques						
T1						Descarregar IDE Dev-C++.
T2						Instal·lar IDE Dev-C++.
T3						Configurar compilador C++.
T4						Compilar primer programa, Hello_world.c.
T5						Escriure programa en C sobre IDE Dev-C++.
T6						Compilar programa en C sobre IDE Dev-C++.
T7						Provar joc de proves del programa en C sobre IDE Dev-C++.
T8						Provar joc de proves del programa en C sobre IDE Dev-C++.
T9						Provar codificació al corrector automàtic.
T10						Lliurar exercici al professor.
T11						Lliurar programa escrit en C al corrector automàtic.
T12						Llegir documentació.

Figura D.1: Competències, pràctiques i tasques de *Fonaments de Programació*.

C: Competències de l'assignatura Fonaments de Programació									
Prerequisits									Descripció
C1	c4								Conèixer en profunditat els llenguatges i les eines de programació (IDE) més actuals i populars
C2	c1	c3	c4	c5	c6	c7	c8		Saber implementar (codificar) qualsevol disseny de programari.
C3	..								Saber escollir l'estructura modular i de dades necessària per construir una aplicació.
C4	c3								Saber escriure i implementar un algorisme que satisfaci uns requeriments preestablerts aplicant
C5	c2								Ser capaç d'entendre algorismes i programes escrits (en un llenguatge de programació concret
C6	c1								Conèixer els diferents mecanismes per executar una aplicació (compiladors, intèrprets, etc.).
C7	c1	c6							Conocer profundamente los recursos existentes para depurar un programa.
C8	..								Conèixer les bones pràctiques en la programació (sangria, comentaris, documentació, política
C9	..								Conèixer la història dels llenguatges de programació.
C10	c2								Saber construir aplicacions informàtiques mitjançant tècniques de desenvolupament, integraci
PA: Activitats Pràctiques -- Prerequisits									
PA1	..								PAC 1: Introducció a les eines de programació: IDE, compilador, intèrpret.
PA2	..								PAC 1: El llenguatge de programació C
PA3	PA2								PAC 1: Algorísmica: definicions de tipus, constants i variables.
PA4	PA1	PA2	PA3						PAC 1: Codificar, compilar i provar en llenguatge C un algorisme donat.
PA5	..								PAC 1: Convencions de codi (comentaris, tabulacions, bones pràctiques).
PA6	PA3								PAC 2: Algorísmica: accions i funcions.
PA7	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7		PAC 2: Codificar, compilar i provar en llenguatge C l'algorisme donat.
PA8	PA6								PAC 3: Algorísmica: tractament de seqüències.
PA9	PA8								PAC 3: Codificar, compilar i provar en llenguatge C el algorisme dissenyat.
PA10	PA8								PAC 4: Algorísmica: realitzar l'especificació i l'algorisme d'un enunciat de dificultat baixa.
PA11	PA10								PAC 4: Codificar, compilar i provar en llenguatge C l'algorisme dissenyat.
PA12	PA10								Pràctica part1- estructura de dades: proposar una estructura de dades per d'un enunciat de dific
PA13	PA12								Pràctica part2- disseny: realitzar l'especificació i disseny d'un enunciat de dificultat mitjana.
PA14	PA13								Pràctica part3- codificació: codificar, compilar i provar en llenguatge C l'algorisme dissenyat.
T: Tasques -- Prerequisits									
T1									Descarregar IDE Dev-C++.
T2	T1								Instal·lar IDE Dev-C++.
T3	T2								Configurar compilador C++.
T4	T3								Compilar primer programa, Hello_world.c.
T5	T4								Escriure programa en C sobre IDE Dev-C++.
T6	T5								Compilar programa en C sobre IDE Dev-C++.
T7	T6								Provar joc de proves del programa en C sobre IDE Dev-C++.
T8	T6								Provar joc de proves del programa en C sobre IDE Dev-C++.
T9	T8								Provar codificació al corrector automàtic.
T10	T8								Lliurar exercici al professor.
T11	T9								Lliurar programa escrit en C al corrector automàtic.
T12	..								Llegir documentació.

Figura D.2: Prerequisits de les competències, pràctiques i tasques.

RELACIÓ										
	Competències									
	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
PA1	x	x		x	x	x	x			x
PA2	x	x		x	x	x			x	x
PA3		x	x	x	x					x
PA4		x		x	x		x			x
PA5		x		x	x			x		x
PA6		x	x	x	x					x
PA7		x		x	x		x			x
PA8		x	x	x	x					x
PA9		x		x	x		x			x
PA10		x	x	x	x					x
PA11		x		x	x		x			x
PA12		x	x	x	x					x
PA13		x	x	x	x					x
PA14		x		x	x		x			x

Tasques											
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
x	x	x	x								x
											x
											x
x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
											x
											x
x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
											x
x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
											x
x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

VLAB Recursos: Recursos del Laboratori Virtual										
Tipologies de VLab										
Recursos Tecnològics										
A	VCE									
A1	email									
A2	forum									
A3	tauler									
A4	blog									
A5	wiki									
A6	presencia									
A7	xat									
A8	videoconferència									
A9	pissarra									
A10	control-remot									
A11	altres									
B	SIM									
C	REM									
D	CAP									
E	MAV									
F	PRG									
Recursos Pedagògics										
G	AVA									
H	DOC									
H1	apunts									
H2	programari-suport									
H3	FAQs									
H4	biblioteca-virtual									
H5	diccionaris									
H6	material-complement									
I	MET									
Recursos Humans										
J	PRF									
K1	teoria									
K2	laboratori									
K3	coordinador									
K	EST									

VCE											
email											
forum	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
tauler											
blog											
wiki											
pres											
xat											
voconf											
piss											
crem											
altres											
SIM				VPP	VPP	VPP					
REM											
CAP								x		x	
MAV											
PRG	x11										
AVA											
DOC										x	
apunt											
sysup	x21	x21	x21	x21	TC	TC				IMJP	
faq	x12	x22	x22	x22	x52	x652	x652	x652			
biblio											
dicc											
mcom					x51	x51	x51	x51			
MET											
PRF	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
teoria											
lab	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
coord											
EST	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

x11- IDE Dev C++ (EP)
x21-Manual d'instal·lació i configuració Dev ++ (M)

x12- problemes per desenvolupar (FAO)
x22- Problemes d'instal·lació i configuració. ((FAO))

Figura D.3: Relació de les competències, pràctiques, tasques i recursos del VPLab.

VLABResources: Recursos del Laboratori Virtual										
Tipologies de VLab				VPLab	VOSLab	VDBLab	VNLab	VCAOLab	VMathLab	
Recursos Tecnològics										
A	EVC			x	x	x	x	x	x	
A1		email								
A2		forum			x	x	x	x	x	
A3		tauler			x	x	x	x	x	
A4		blog								
A5		wiki								
A6		presencia			x	x	x	x	x	
A7		xat								
A8		videoconferència								
A9		pissarra								
A10		control-remot								
A11		altres								
B	SIM						x	x	x	
C	REM						x			
D	CAP			x						
E	MAV				x					
F	PRG			x	x	x				
Recursos Pedagògics										
G	AVA			x	x	x	x	x	x	
H	DOC			x	x	x	x	x	x	
H1		apunts								
H2		programari-suport			x	x	x			
H3		FAQs			x	x	x	x	x	
H4		biblioteca-virtual								
H5		diccionaris								
H6		material-complementari			x	x	x	x	x	
I	MET									
Recursos Humans										
J	PRF			x	x	x	x	x	x	
J1		teoria			x	x	x	x	x	
J2		laboratori			x	x	x	x	x	
J3		coordinador			x	x	x	x	x	
K	EST			x	x	x	x	x	x	

Figura D.4: Recursos predeterminats per tipologia de VLab.

Acrònims

AVA	Avaluació.
BOE	Boletín Oficial del Estado.
CAP	Corrector automàtic de programes.
CMS	Course Management System.
C/LMS	Course/Learning Management System.
DOC	Documentació i materials de suport.
ECTS	European Credit Transfer System.
EEES	Espai Europeu d'Educació Superior.
EI	Enginyeria Informàtica.
EST	Estudiant.
ETIG	Enginyeria Tècnica en Informàtica de Gestió.
ETIS	Enginyeria Tècnica en Informàtica de Sistemes.
EVC	Entorn virtual de comunicació.
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers.
IEEE LOM	IEEE Learning Object Metadata.
IMS LD	IMS Learning Design.
ISO	International Standards Organization.
LCMS	Learning Content Management System.
LMS	Learning Management System.
MAV	Màquina virtual.
MET	Metodologia d'aprenentatge.
PRF	Professor.
PRG	Programari específic.
OWL	Web Ontology Language.

RDF	Resource Description Framework.
RDFS	Resource Description Framework Schema.
REM	Laboratori Remot.
SCORM	Sharable Content Object Reference Model.
SIM	Simulador.
SWRL	Semantic Web Rule Language.
TIC	Tecnologies de la Informació i la Comunicació.
UOC	Universitat Oberta de Catalunya.
URI	Uniform Resource Identifier.
VCAOLab	Laboratori Virtual d'Estructura i Arquitectura d'Ordinadors.
VDBLab	Laboratori Virtual de Base de Dades.
VLab	Laboratori Virtual.
VMathLab	Laboratori Virtual de Matemàtiques.
VNlab	Laboratori Virtual de Xarxes.
VPLab	Laboratori Virtual de Programació.
VOSLab	Laboratori Virtual de Sistemes Operatius.
XML	eXtensible Markup Language.

Bibliografía

- H. S. Al-Khalifa & H. C. Davis (2006). ‘The evolution of metadata from standards to semantics in E-learning applications’. In *HYPertext '06: Proceedings of the seventeenth conference on Hypertext and hypermedia*, pp. 69–72, New York, NY. ACM.
- K. Ala-Mutka & H. Järvinen (2004). ‘Assessment Process for Programming Assignments’. In *ICALT'04: Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, pp. 297–301, Joensuu, Finland. IEEE Computer Society.
- ANECA (2005). ‘Libro Blanco del título de grado en Ingeniería Informática’. *Agencia Nacional de evaluación de la Calidad y Acreditación*. http://www.aneca.es/activin/docs/libroblanco_jun05_informatica.pdf (data último accés: 16.11.2008).
- E. Barberà, et al. (1999). ‘La incógnita de la educación a distancia’. Barcelona. ICE - Horsori Editorial, Barcelona.
- S. Bechhofer, et al. (2003). ‘The DIG description logic interface: DIG/1.1’. In *CEUR-WS.org'03: Proceedings of the 2003 Description Logic Workshop*, vol. 81.
- D. Becking & G. Schlageter (2002). ‘A Collaborative Lab and Learning Environment for a Virtual Database-Practical at the Virtual University’. In *ICCE'02: Proceedings of the International Conference on Computers in Education*, p. 799, Washington, DC. IEEE Computer Society.

- A. J. Berlanga-Flores & F. J. García-Peñalvo (2004). 'Introducción a los Estándares y Especificaciones para Ambientes E-learning'. In F. J. G. P. y M^a N. Moreno García (ed.), *Tendencias en el Desarrollo de Aplicaciones Web*, pp. 25–37, Chesapeake, VA.
- T. Berners-Lee, et al. (2001). 'The semantic Web'. *Scientific American* **284**(5):28–37.
- BOE (2007). 'REAL DECRETO 1393/2007, núm. 260 de 30 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas universitarias oficiales'. *Ministerio de Educación y Ciencia. Boletín Oficial del Estado*. <https://www.mepsyd.es/mecd/gabipren/documentos/files/2007-ensenanzas-univ-texto-rd.pdf> (data últim accés: 16.11.2008).
- J. T. F. Breis (2003). *Un Entorno de Integración de Ontologías para el Desarrollo de Sistemas de Gestión de Conocimiento*. Ph.D. thesis, Universidad de Murcia.
- T. Brush & J. Soye (2000). 'Implementation and evaluation of a student-centered learning unit: A case study'. *Journal Educational Technology Research and Development* **48**(3):79–100.
- F. Buendía & A. Hervás (2006). 'An Evaluation Framework for e-Learning Platforms Based on Educational Standard Specifications'. In *ICALT'06: Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, pp. 184–186.
- L. Cheniti-Belcadhi, et al. (2004). 'A Generic Framework for Assessment in Adaptive Educational Hypermedia'. In *IADIS'04: Proceedings of the International Association for Development of the Information Society Conference*.
- R. Cheung (2006). 'A web-based learning environment for object oriented programming'. *Int. J. Information and Operations Management Education* **1**(2):140–157.
- K. Chiu (1999). 'What are the benefits of a virtual laboratory for student learning?'. In *HERDSA Annual International Conference*, pp. 12–15, Melbourne.

- F. Colace, et al. (2003). 'Evaluating on-line learning platforms: a case study'. *Proceedings of the 36th Annual Conference on Hawaii International* p. 154.
- Computer-Curricula (2005). 'Model Curricula for Computing'. *IEEE Computer Society Press and ACM Press*. <http://www.computer.org/curriculum/> (data últim accés: 16.11.2008).
- I. Computer-Engineering-Curricula (2004). 'Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Computer Engineering'. *IEEE Computer Society Press and ACM Press*. <http://www.computer.org/curriculum/> (data últim accés: 16.11.2008).
- A. Computing-Science-Curricula (2001). 'Computing Curricula 2001, Computer Science'. *IEEE Computer Society Press and ACM Press*. <http://www.computer.org/curriculum/> (data últim accés: 16.11.2008).
- J. Conesa (2008). *Pruning and Refactoring Ontologies in the Development of Conceptual Schemas of Information Systems*. Ph.D. thesis, Universitat Politècnica de Catalunya.
- D. Connolly, et al. (2001). 'DAML+OIL Reference Description'. W3C Note. <http://www.w3.org/TR/2001/NOTE-daml+oil-reference-20011218> (data últim accés: 16.11.2008).
- J. E. Corter, et al. (2004). 'Remote versus hands-on labs: a comparative study'. In *FIE'04: 34th Annual Conference on Frontiers in Education*, vol. 2, pp. F1G:17–21.
- E. Damiani, et al. (2006). 'The Open Source Virtual Lab: a Case Study'. In *OSS'06: Workshop on Free and Open Source Learning Environments and Tools, FOSLET 2006*, Lugano, Switzerland.
- M. Dean & G. Schreiber (2004). 'OWL Web Ontology Language Reference'. *W3C Recommendation*. <http://www.w3.org/TR/owl-ref/> (data últim accés: 16.11.2008).

- D. Z. Deniz, et al. (2003). 'A novel approach to remote laboratories'. In *FIE'03: 33rd Annual Conference on Frontiers in Education*, vol. 1, pp. T3E:8–12.
- S. W. Dietrich, et al. (2008). 'Developing Advanced Courses for Undergraduates: A Case Study in Databases'. *Education, IEEE Transactions on* **51**(1):138–144.
- D. Dillman, et al. (1998). 'Principles for constructing web surveys'. Tech. Rep. SESRC-TR-98-50, Digital Equipment Corporation, Washington.
- J. Djordjevic, et al. (2000). 'An integrated environment for teaching computer architecture'. *IEEE Micro* **20**(3):66–74.
- J. Domingo-Ferrer (2003). 'Networking in the New ICT Curricula'. In *ITCC'03: IEEE International Conference on Information Technology: Coding and Computing*, pp. 20–24. IEEE Computer Society.
- B. Fechner, et al. (2006). 'Evaluation of a Virtual Computer Architecture Lab'. In *FernUniversität Hagen*.
- A. Gerber, et al. (2008). 'A Functional Semantic Web Architecture'. In *ESWC'08: 5th European Semantic Web Conference*, pp. 273–287.
- S. Graf & B. List (2005). 'An Evaluation of Open Source E-Learning Platforms Stressing Adaptation Issues'. In *ICALT'05: Proceedings of the IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies*, pp. 163–165. IEEE Computer Society.
- B. Gros (2002). 'Constructivism and designing virtual learning environments'. In *Proceedings of Society for Information Technology and Teacher Education International Conference 2002*, pp. 950–954, Nashville, Tennessee. AACE.
- T. R. Gruber (1993). 'Towards Principles for the Design of Ontologies Used for Knowledge Sharing'. In *Formal Ontology in Conceptual Analysis and Knowledge Representation*, Deventer, The Netherlands. Kluwer Academic Publishers.

- H. Grunbacher (1998). 'Teaching computer architecture/organisation using simulators'. *FIE'98: 28th Annual Conference on Frontiers in Education* **3**:1107–1112.
- A.-E. Guerrero & J. Minguillón (2006). 'Metadata for Describing Educational Competencies: The UOC Case'. In *WEBIST'06: International Conference on Web Information Systems and Technologies*, pp. 275–280.
- Guia-Competències-UOC (2007). 'Guia per a l'aplicació de competències'. Universitat Oberta de Catalunya.
- V. Haarslev & R. Möller (2003). 'Racer: A Core Inference Engine for the Semantic Web'. In *EON'03: Proceedings of the 2nd International Workshop on Evaluation of Ontology-based Tools*, vol. 87, Florida.
- K. Haase (2004). 'Context for semantic metadata'. In *MULTIMEDIA '04: Proceedings of the 12th annual ACM international conference on Multimedia*, pp. 204–211, New York, NY. ACM.
- D. Hardaway, et al. (2005). 'Outsourcing the university computer lab'. *Computer* **38**(9):100–102.
- U. Harms (2000). 'Virtual and remote labs in physics education'. In *Second European Conference on Physics Teaching in Engineering Education*, Budapest.
- C. Higgins, et al. (2001). 'Model of a Semi-Automatic Assessment Tool in Web-Based Learning Environment'. In *Proceedings of the 9th International Conference on Computers in Education*, pp. 217–224, Seoul, Korea.
- C. Higgins, et al. (2002). 'Diagram-based CBA using DATsys and CourseMaster'. *Computers in Education, 2002. Proceedings. International Conference on* **1**:167–172.
- I. Horrocks, et al. (2004). 'SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML'. W3c member submission. <http://www.w3.org/Submission/SWRL/> (data últim accés: 16.11.2008).

- W. Jochems, et al. (2003). 'Integrated E-Learning: Implications for Pedagogy, Technology and Organization'. London. RoutledgeFalmer, London.
- J. Jovanović, et al. (2007). 'Ontologies for Effective Use of Context in e-Learning Settings'. *Educational Technology and Society* **10**(3):47–59.
- L. C. Kaczmarczyk (2001). 'Accreditation and student assessment in distance education: why we all need to pay attention'. In *ITiCSE '01: Proceedings of the 6th annual conference on Innovation and technology in computer science*, pp. 113–116, New York, NY. ACM Press.
- D. Keegan, et al. (1988). 'Distance Education International Perspectives'. New York. Martin's Press, New York.
- B. Kneale, et al. (2004). 'Velnet: virtual environment for learning networking'. In *ACE '04: Proceedings of the sixth conference on Australasian computing education*, pp. 161–168, Darlinghurst, Australia. Australian Computer Society, Inc.
- B. Landon, et al. (2007). 'Peer Comparison of Course/Learning Management Systems, Course Materials Life Cycle, and Related Costs'. Tech. rep., Massachusetts institute of Technology.
- O. Lassila & R. Swick (1998). 'Resource Description Framework (RDF) model and syntax specification'. W3C Working Draft. <http://www.w3.org/TR/PR-rdf-syntax/>.
- E. A. Lawson & W. Stackpole (2006). 'Does a virtual networking laboratory result in similar student achievement and satisfaction?'. In *SIGITE '06: Proceedings of the 7th conference on Information technology education*, pp. 105–114, New York, NY. ACM Press.
- M.-C. Lee, et al. (2008). 'A practical ontology query expansion algorithm for semantic-aware learning objects retrieval'. *Comput. Educ.* **50**(4):1240–1257.

- L. J. Leitner & J. W. Cane (2005). 'A virtual laboratory environment for online IT education'. In *SIGITE '05: Proceedings of the 6th conference on Information technology education*, pp. 283–289, New York, NY. ACM Press.
- C. Levert & S. Pierre (2003). 'Designing Distributed Virtual Laboratories: Methodological and Telecommunications Aspects'. *International Journal on E-Learning* **2**(3):18–28.
- R. Levy, et al. (2003). 'The Jeliot 2000 program animation system'. *Comput. Educ.* **40**(1):1–15.
- S. Liu, et al. (2001). 'Virtual Networking Lab (VNL): its concepts and implementation'. In *Proceedings of the 2001 American Society for Engineering Education Annual Conference and Exposition, Albuquerque*.
- T. Lloret & J. Prieto (2003). 'Fundamentos tecnológicos del e-learning.'. Barcelona. Eduoc, Barcelona.
- J. Ma & J. V. Nickerson (2006). 'Hands-on, simulated, and remote laboratories: A comparative literature review'. *ACM Comput. Surv.* **38**(3):7.
- L. P. Maia & A. C. P. Jr. (2003). 'A simulator supporting lectures on operating systems'. In *FIE'03: 33th Annual Conference on Frontiers in Education*, vol. 2, pp. F2C:13–17.
- F. Manola & E. Miller (2004). 'RDF Primer'. *W3C Recommendation*. <http://www.w3.org/TR/2004/REC-rdf-primer-20040210/> (data últim accés: 16.11.2008).
- X. Marco-Galindo & J. Prieto-Blázquez (2002). 'Necesidades específicas para la docencia de programación en un entorno virtual'. In *Actas de las VIII Jornadas de Enseñanza Universitaria de Informática, Jenui 2002*, pp. 5 – 12, Cáceres.

- T. S. Meisalo V., Sutinen E. (2002). 'How to improve a virtual programming course?'. In *FIE'02: 32nd Annual Conference on Frontiers in Education*, vol. 1, pp. T2G:11–16.
- L. Molstad (2001). 'Teaching computer programming using distance education technology'. *J. Comput. Small Coll.* **17**(1):265–277.
- A. K. Noor & T. M. Wasfy (2001). 'Simulation of physical experiments in immersive virtual environments'. *Engineering Computations: Int. J. for Computer-aided Engineering and Software* **18**(3-4):515–538.
- N. Noy, et al. (2001). 'Creating Semantic Web Contents with Protégé-2000'. *IEEE Intelligent Systems* **2**(16):60–71.
- J. R. Pérez, et al. (2003). 'A "Development Web Environment" for Learning Programming Languages'. In *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 128–129. Springer Berlin / Heidelberg.
- A. Perez-Soltero, et al. (2006). 'Ontologies as Strategy to Represent Knowledge Audit Outcomes'. *International Journal of Technology, knowledge and Society* **2**(5):43–52.
- J. Prieto-Blázquez, et al. (2008a). 'An Integrated Structure for a Virtual Networking Laboratory'. *Industrial Electronics, IEEE Transactions on* **55**(6):2334–2342.
- J. Prieto-Blázquez, et al. (2008b). 'Virtual Laboratory Ontology for Engineering Education'. In *FIE'08: 38th Annual Conference on Frontiers in Education*, vol. 1, pp. S2F:1–6, Saratoga. IEEE Computer Society and IEEE Education Society.
- J. Prieto-Blázquez & J. Herrera-Joancomartí (2007). 'Where is the teacher in a virtual learning environment?'. *CAL'07: Computer Assisted Learning Conference*. Elsevier Science.
- J. Prieto-Blázquez, et al. (2005). 'Requerimientos tecnológicos para la docencia de programación en un entorno de aprendizaje a distancia'. In *Proceedings of the 4rt*

- Ibero-American Conference in Systems, Cybernetics and Information technology*, vol. III, pp. 113–118.
- H. Rego, et al. (2007). ‘Implementation of an E-Learning System - Learning Design and Learning Objects Management and Evaluation through Standardization of Resources’. In *Workshop on Blended Learning*, Pearson, pp. 206–216.
- A. M. Remigiusz J. Rak, Marcin Godziemba-Maliszewski (2006). ‘A proposal of virtual laboratory structure’. In *Proceedings of The 23rd IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference*, pp. 847–850.
- E. Reppenning, et al. (1999). ‘Collaborative use and design of interactive simulations’. In *CSCL’99: in Conference on Computer Supported Cooperative Learning*, pp. 475–487. ACM Press.
- A. Sangrà (2002). ‘A New Learning Model for the Information and Knowledge Society: The case of the Universitat Oberta de Catalunya (UOC)’. In *The International Review of Research in Open and Distance Learning*, vol. 2, Bachelona.
- A. Sen (2004). ‘Metadata management: past, present and future’. *Decision Support Systems* **37**(1):151–173.
- H. Shen, et al. (1999). ‘Conducting laboratory experiments over the Internet’. *Education, IEEE Transactions on* **42**(3):180–185.
- M. Sicilia (2006). ‘Metadata, semantics, and ontology: providing meaning to information resources’. *IJMSO* **1**(1):83–86.
- M. Sicilia (2007). ‘Competencies in Organizational E-Learning: Concepts and Tools’. pp. 253 – 269. Idea Group Publishing, Hershey/London.
- M. Sicilia & M. D. Lytras (2005). ‘On the representation of change according to different ontologies of learning’. *International Journal of Learning and Change* **1**:66–79.

- D. C. Sicker, et al. (2005). 'Assessing the Effectiveness of Remote Networking Laboratories'. In *Frontiers in Education, 2005: 35th Annual Conference on Frontiers in Education*, pp. S3F-7; S3F-12.
- M. R. Simonson (2000). 'Teaching and Learning at a Distance'. Merrill Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- E. Sirin, et al. (2007). 'Pellet: A practical OWL-DL reasoner'. *Journal of Web Semantics* **5**(2):51-53.
- S. Sivakumar, et al. (2005). 'A web-based remote interactive laboratory for Inter-networking education'. *IEEE Electron Device Lett.* **48**(4):586-598.
- F. Sánchez, et al. (2007). 'Estrategias de diseño para las titulaciones de Informática del EEES'. *NOVÁTICA* **187**:45-48.
- F. Sánchez & L. Ibarria (2001). 'SiMR: Entorno de simulación de la Máquina Rudimentaria'. In *Actas de las VII Jornadas de Enseñanza Universitaria de Informática, Jenui 2001*, pp. 425-248.
- D. Solomon (2001). 'Conducting Web-based surveys'. In *Practical Assessment, Research and Evaluation*, vol. 7.
- A. L. Tello (2002). *Métrica de Idoneidad de Ontologías*. Ph.D. thesis, Universidad de Extremadura.
- H. Thompson, et al. (2001). 'XML Schema Part 1: Structures'. *W3C Recommendation*. <http://www.w3.org/TR/xmlschema-1/> (data último acceso: 16.11.2008).
- L. Toderick, et al. (2005). 'A Reservation and Equipment Management System for Secure Hands-on Remote Labs for Information Technology Students'. In *FIE'05: 35th Annual Conference on Frontiers in Education*, pp. S3F:13-18.

- E. Tovar & M. Castro (2007). ‘Building Common Spaces in Engineering Education: A Review From ICECE05’. *Education, IEEE Transactions on* **50**:79–84. 1.
- D. Tsarkov & I. Horrocks (2006). ‘FaCT++ Description Logic Reasoner: System Description’. In *IJCAR’06: Proc. of the Int. Joint Conf. on Automated Reasoning*, vol. 4130 of *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, pp. 292–297. Springer.
- Tuning (2003). ‘Tuning Educational Structures in Europe’. Universidad de Deusto y Universidad de Groningen.
- Unesco (2005). ‘The Virtual University and e-learning. Models and messages’. <http://www.unesco.org/iiep/virtualuniversity/home.php> (data último acceso: 16.11.2008).
- M. Vallim, et al. (2006). ‘Practicing engineering in a freshman introductory course’. *IEEE Electron Device Lett.* **49**(1):74–79.
- I. Varlamis & I. Apostolakis (2006). ‘The present and future of standards for e-learning technologies’. *Interdisciplinary Journal of Knowledge and Learning Objects* **2**:59–66.
- C. A. Wedemeyer (1982). ‘Learning at the Back Door: Reflections on Non-Traditional Learning in the Lifespan’. *American Journal of Education* **90**(4):393–396.
- M. L. Williams, et al. (1999). ‘Distance Learning: The Essential Guide’. Thousand Oaks, CA. SAGE, Thousand Oaks, CA.
- G. S. Wolffe, et al. (2002). ‘Teaching computer organization/architecture with limited resources using simulators’. *SIGCSE Bull.* **34**(1):176–180.
- M. Wulff & T. Braun (2007). ‘OSLab: An Interactive Operating System Laboratory’. In *ERCIM EEIG: Technology-Enhanced Learning*.
- R. E. Yager (2000). ‘The Constructivist Learning Model’. *Science Teacher* **67**(1):44–45.

- C. Yehezkel, et al. (2001). ‘Computer Architecture with a Computer-Aided Learning Environment: State of the Art Simulators’. In *ICSEE’01: Intl. Conf. on Simulation and Multimedia in Engineering Education, Society for Computer Simulation*.
- Y. Zou, et al. (2004). ‘F-OWL: An Inference Engine for Semantic Web’. In *FAABS’04: Proceedings of the Third International Workshop Formal Approaches to Agent-Based Systems*, vol. 3228 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 238–248. Springer.