



Universitat Politècnica de Catalunya
Departament d'Expressió Gràfica a l'Enginyeria
Programa de doctorado en Enginyeria Multimèdia

Tesis Doctoral

**Análisis experimental de los criterios
de evaluación de usabilidad de
aplicaciones multimedia en entornos
de educación y formación a distancia**

Presentada por: Hernane Borges de Barros Pereira
Director de tesis: Profesor Josep Maria Monguet Fierro

Barcelona, 15 de abril de 2002

Hernane Borges de Barros Pereira

Análisis experimental de los criterios de evaluación de usabilidad de aplicaciones multimedia en entornos de educación y formación a distancia

Tesis presentada al Curso de Doctorado en
Enginyeria Multimèdia del *Departament d'Expressió
Gràfica a l'Enginyeria* de la *Universitat Politècnica
de Catalunya*, como requisito parcial a la obtención
del título de Doctor por la *Universitat Politècnica de
Catalunya* en *Enginyeria Multimèdia*.

Area de concentración: Ingeniería de Producción

Director de tesis: Prof. Josep Maria Monguet Fierro
Universitat Politècnica de Catalunya

Barcelona
Departament d'Expressió Gràfica a l'Enginyeria de la UPC
2002

A Mila.

Agradecimientos

Estoy eternamente agradecido a mi familia, en especial a mi padre por su paciencia y tranquilidad, a mi madre por su seguridad y firmeza, a mis hermanos Alex Pereira y Soraia Pereira. Además, a Maria Emília R. Regina por su alegría y amor, a Marinete, Zé, Henrique y Guisepe Regina.

Me gustaría agradecer al profesor *Josep Maria Monguet*, mi director de tesis, por sus sugerencias durante esta investigación y al Laboratorio Multimedia (UPC) por el soporte tecnológico que me ha dado y por facilitarme algunos datos imprescindibles en el análisis experimental de esta investigación.

Agradezco a *Durval Lordelo Nogueira* por compartir no sólo las interminables horas de discusión sobre perspectivas filosóficas de la investigación, métodos de investigación, educación y ingeniería de software, sino también su amistad.

Me gustaría hacer referencia a la *Universidade Estadual de Feira de Santana*, en la cual soy profesor y que me ha apoyado hasta el momento concediéndome una “beca de estudios”, lo que me ha permitido llevar a cabo esta investigación.

Finalmente, me gustaría agradecer a: *José Luis Eguia* (por su amistad y confianza), *Eloi Barreto y Áurea*, *Carloman Carlos Borges*, *Francisco Zorzo* (por las buenas “charlas”), *Mario César Arciniegas*, *Franscesc Alpiste*, *Marta Manso*, *Eulàlia Massana*, *Roberto Rodríguez Hernández*, *Josep M. Balcells*, los compañeros del Laboratorio Multimedia (UPC), *Paula PI y Sebastià “Compa”*, *Rafael Lamaison*, *RÔsali Fernandes* (por su amistad y paciencia), *Toni Algaba*, *Trazíbulo Henrique Pardo Casas* (por sus consideraciones) y a muchos que directa o indirectamente contribuyeron en este trabajo.

Barcelona, España
15 de abril de 2002

Hernane Pereira

Índice General

Índice de Tablas	xi
Índice de Figuras	xiii
Resumen	xvi
Abstract	xviii

I Contexto, objetivos y metodología de la investigación	1
1 Introducción	2
1.1 Definición del problema	6
1.2 Objetivo de la tesis	7
1.3 Importancia de la investigación	8
1.4 Límites y limitaciones de la investigación	11
1.5 Cuestiones e hipótesis	13
1.5.1 Cuestión 01	14
1.5.2 Cuestión 02	15
1.5.3 Cuestión 03	16
1.6 Organización de la tesis	17
2 Metodología de la investigación	22
2.1 Fundamentos metodológicos de la investigación	23
2.1.1 Perspectivas filosóficas	24
2.1.2 Métodos de investigación cualitativa	27
2.1.2.1 Estudio de caso	28
2.1.2.2 Teoría fundamentada en datos	33
2.1.2.3 Comparación de los métodos	36
2.2 Procedimientos metodológicos	37
2.3 Estructura metodológica	42

II	Estudio teórico	45
3	Educación y formación a distancia y las tecnologías de la información y comunicación	46
3.1	De la educación hacia al aprendizaje: breves comentarios	49
3.2	Marcos teóricos	51
3.2.1	Diseño de la instrucción	52
3.2.2	Teoría de los objetivos educativos	55
3.2.3	Teoría de presentación de componente	57
3.2.4	Teoría de la elaboración	60
3.3	Educación y formación a distancia	62
3.3.1	Características del material didáctico a distancia	64
3.3.2	Tipos de público	65
3.3.3	Adopción de la EFD: la perspectiva de la difusión de la innovación	66
3.4	Nuevas tecnologías de la información y comunicación	68
3.4.1	Medios audiovisuales	70
3.4.2	Medios de comunicación de masas	70
3.4.3	Ordenador	70
3.4.4	Multimedia	71
3.4.5	Internet	72
3.4.5.1	El correo electrónico	73
3.4.5.2	Los grupos de noticias	74
3.4.5.3	Los foros	74
3.4.5.4	El protocolo de transferencia de archivos	74
3.4.5.5	El <i>Telnet</i>	75
3.4.5.6	La <i>World Wide Web</i>	76
3.4.6	Formatos analizados	76
3.4.7	Modelos de contenido	78
3.5	Aspectos éticos de la EFD	83
3.5.1	Ética computacional: breve conceptualización	83
3.5.2	Confidencialidad y “privacidad”	84
3.5.3	Conflicto de intereses	85
3.5.4	Actualización y acceso de la información	87
4	Usabilidad	89
4.1	Revisión de la literatura	91
4.2	Usabilidad: una característica de la ergonomía	94
4.2.1	Actividad mental: un breve repaso	97
4.3	Estándares internacionales	98
4.4	Principios de diseño	101

4.5	Test de usabilidad	102
4.5.1	Tipos de test	104
4.5.2	La configuración del entorno de test	106
4.5.3	Limitaciones	112
4.5.4	Revisión de los métodos de test de usabilidad	113
4.5.5	Técnicas de evaluación de usabilidad	117
4.5.5.1	Evaluación heurística	118
4.5.5.2	Revisión de guías y reglas	119
4.5.5.3	Seguimiento inter-disciplinar	119
4.5.5.4	Inspección de consistencia	120
4.5.5.5	Inspección basada en estándares	120
4.5.5.6	Seguimiento cognitivo	121
4.5.5.7	Inspecciones formales de usabilidad	121
4.5.5.8	Inspección de características	121
4.6	Ingeniería de usabilidad	122
5	Ingeniería de software	130
5.1	El software y su ingeniería	132
5.1.1	Proceso de software	136
5.2	Ciclo vida de software	138
5.2.1	Modelo codificar-y-fijar	138
5.2.2	Modelo de etapas	139
5.2.3	Modelo en cascada	140
5.2.4	Modelo de desarrollo orientado a prototipos	141
5.2.5	Modelo de desarrollo evolutivo	142
5.2.6	Modelo de transformación	143
5.2.7	Modelo espiral	144
5.3	Modelos y estándares internacionales de proceso de software .	146
5.3.1	Capability Maturity Model for Software	147
5.3.1.1	Estructura del CMM	148
5.3.2	Estándar ISO/IEC 15504	153
5.3.2.1	Estructura del ISO/IEC 15504	153
5.3.3	Bootstrap	156
5.3.3.1	Arquitectura del modelo de proceso Bootstrap	157
5.4	Proceso de test	158
5.4.1	Test de verificación, validación y usabilidad	159
5.4.2	Importancia de los test	162
5.4.3	Proceso de test en los modelos estándares	163
5.5	Modelos específicos de proceso de test	164
5.5.1	Modelo de madurez del test - TMM	165
5.5.2	Mejora del proceso de test - TPI	168

III Trabajo experimental y desarrollo de la investigación 172

6	Análisis experimental y resultados	173
6.1	Naturaleza de los test: análisis taxonómico	174
6.2	Meta-modelo	174
6.3	Taxonomía propuesta	178
6.3.1	Entidades	181
6.3.2	Indicadores causales	183
6.3.3	Condiciones	185
6.4	Colecta y análisis de los datos	187
6.5	Análisis de la literatura especializada	188
6.6	Cuestionarios aplicados	190
6.6.1	Cuestionario general sobre usabilidad	191
6.6.1.1	Propósito	191
6.6.1.2	Perfil del usuario general	191
6.6.1.3	Perfil del usuario multimedia	195
6.6.1.4	Características de las aplicaciones multimedia usadas en EFD	197
6.6.2	Cuestionario específico sobre usabilidad	199
6.6.2.1	Propósito	200
6.6.2.2	Perfil del usuario	200
6.6.2.3	Resultados y discusión	201
6.7	Identificación de los problemas de usabilidad	203
6.7.1	Estrategia de análisis	210
6.7.2	Definición de grupos	214
7	Modelo de test semántico y sintáctico	218
7.1	Introducción	219
7.2	Concepción del modelo SSTM	220
7.3	Diseño del modelo SSTM	220
7.3.1	Agentes	223
7.3.1.1	Usuario	224
7.3.1.2	Información	226
7.3.1.3	Aplicación	228
7.3.2	Ítems de interés	228
7.3.2.1	Contenido	230
7.3.2.2	Estructura	232
7.3.2.3	Presentación	234
7.3.2.4	Interacción	235
7.3.2.5	Operación	236

7.3.2.6	Actualización	238
7.3.2.7	Retroalimentación	239
7.3.3	Interrelaciones entre los agentes e ítems de interés . . .	240
7.3.4	Criterios de evaluación	242
7.4	Aplicación del modelo SSTM	243
7.4.1	Plan de trabajo del proyecto	244
7.4.2	La evaluación	245
7.4.3	Análisis de las interrelaciones entre los agentes	247
7.4.4	Herramientas de apoyo	250
8	Modelo SSTM: Criterios de Evaluación	254
8.1	Introducción	255
8.2	Descripción de los criterios de evaluación	256
8.2.1	Experiencia	257
8.2.2	Intuición	258
8.2.3	Funcionamiento	259
8.2.4	Portabilidad	260
8.2.5	Gestión de error	262
8.2.6	Tiempo de respuesta	263
8.2.7	Densidad	264
8.2.8	Veracidad	265
8.2.9	Apariencia	265
8.2.10	Asociación	267
8.2.11	Componente de la instrucción: Objetivos	267
8.2.12	Legibilidad	268
8.2.13	Precisión	270
8.2.14	Desempeño	270
8.2.15	Predicción	271
8.2.16	Componente de la instrucción: Test	272
8.2.17	Mantenimiento	274
8.2.18	Adaptabilidad	274
8.2.19	Consistencia	275
8.2.20	Organización	277
8.2.21	Indicación	278
8.2.22	Propiedad de ser completo	278
8.2.23	Componente de la instrucción: Actividades de aprendizaje	280
8.3	Interrelaciones entre los componentes del modelo SSTM	283
8.4	Consideraciones finales	288

IV	Conclusiones	290
9	Conclusiones y aportaciones	291
9.1	Conclusiones	292
9.2	Aportaciones experimentales	295
9.2.1	Correspondencia entre los procedimientos de test y los procesos de desarrollo	295
9.2.2	Análisis de las influencias determinantes	296
9.2.3	Modelo de test semántico y sintáctico	296
9.2.4	Estrategia de análisis de datos de usabilidad	296
9.3	Aportación teórica	297
9.4	Líneas futuras de investigación	301
V	Bibliografía, glosario y apéndices	302
	Bibliografía	303
	Glosario	319
A	Cuestionarios sobre la evaluación de la usabilidad de aplica- ciones multimedia usadas en educación	326
A.1	Cuestionario general sobre usabilidad	327
A.2	Cuestionario específico sobre usabilidad	331
B	Estudio lexicográfico de los elementos del Modelo SSTM	345
B.1	Estudio lexicográfico de los ítems de interés	346
B.1.1	Contenido	346
B.1.2	Presentación	347
B.1.3	Interacción	347
B.1.4	Estructura	348
B.1.5	Operación	349
B.1.6	Actualización	349
B.1.7	Retroalimentación	350
C	Influencias determinantes entre los elementos del Modelo SSTM	351
C.1	Análisis de las influencias determinantes	352
C.1.1	Experiencia	352
C.1.2	Intuición	354
C.1.3	Funcionamiento	356
C.1.4	Portabilidad	358

C.1.5	Gestión de error	359
C.1.6	Tiempo de respuesta	361
C.1.7	Densidad	363
C.1.8	Veracidad	365
C.1.9	Apariencia	367
C.1.10	Asociación	369
C.1.11	Componente de la instrucción: Objetivos	370
C.1.12	Legibilidad	372
C.1.13	Precisión	374
C.1.14	Desempeño	375
C.1.15	Predicción	379
C.1.16	Componente de la instrucción: Test	382
C.1.17	Mantenimiento	385
C.1.18	Adaptabilidad	389
C.1.19	Consistencia	393
C.1.20	Organización	396
C.1.21	Indicación	399
C.1.22	Propiedad de ser completo	403
C.1.23	Componente de la instrucción: Actividades de aprendizaje	407

Índice de Tablas

1.1	Síntesis de los ámbitos principales de la tesis.	4
1.2	Metas necesarias para el logro del objetivo de la tesis.	9
1.3	Relación de los temas del objeto de estudio de la presente investigación.	11
2.1	Marco de evolución del tema del presente estudio.	40
3.1	Fases históricas que producen un cambio de tecnología de transferencia de información en el proceso enseñanza-aprendizaje.	47
4.1	Estándares internacionales cuanto a la usabilidad de procesos y productos.	100
4.2	Tipos de test.	105
6.1	Análisis comparativo de propuesta de criterios de evaluación de usabilidad.	189
6.2	Análisis comparativo de propuesta de criterios de evaluación de usabilidad. (continuación)	190
6.3	Grupos de perfil de usuario.	192
6.4	Resumen de las definiciones de cada tipo de error. Fuente: Humphrey (1989).	203
6.5	Correlaciones entre los procesos generales y los criterios de evaluación de usabilidad.	206
6.6	Contexto de edición de las aplicaciones multimedia.	208
7.1	Tipo de contenido a ser transmitido.	232
7.2	Mapa de las interrelaciones entre los ítems de interés y los agentes.	241
7.3	Procesos de producción	246
8.1	Las influencias determinantes identificadas en el modelo SSTM.	284

B.1	Análisis lexicográfico de la palabra “contenido”: Sinónimos agrupados por similitud.	346
B.2	Análisis lexicográfico de la palabra “presentación”: Sinónimos ordenados por frecuencia.	347
B.3	Análisis lexicográfico de la palabra “interacción”: Sinónimos agrupados por similitud o ordenados por frecuencia.	347
B.4	Análisis lexicográfico de la palabra “estructura”: Sinónimos ordenados por frecuencia.	348
B.5	Análisis lexicográfico de la palabra “operación”: Sinónimos ordenados por frecuencia.	349
B.6	Análisis lexicográfico de la palabra “actualización”: Sinónimos agrupados por similitud o ordenados por frecuencia.	349
B.7	Análisis lexicográfico de la palabra “retroalimentación”: Sinónimos agrupados por similitud o ordenados por frecuencia.	350
C.1	Las influencias determinantes (ID) para experiencia	353
C.2	Las ID para intuición	355
C.3	Las ID para funcionamiento	356
C.4	Las ID para portabilidad	358
C.5	Las ID para gestión de error	360
C.6	Las ID para tiempo de respuesta	362
C.7	Las ID para densidad	364
C.8	Las ID para veracidad	366
C.9	Las ID para apariencia	367
C.10	Las ID para asociación	369
C.11	Las ID para componente de la instrucción - objetivos	371
C.12	Las ID para legibilidad	372
C.13	Las ID para legibilidad	374
C.14	Las ID para desempeño	376
C.15	Las influencias determinantes para predicción identificadas en el modelo SSTM.	379
C.16	Las ID para componente de la instrucción - test	382
C.17	Las ID para mantenimiento	385
C.18	Las ID para adaptabilidad	390
C.19	Las ID para consistencia	393
C.20	Las ID para organización	396
C.21	Las ID para indicación	400
C.22	Las ID para propiedad de ser completo	404
C.23	Las ID para componente de la instrucción - actividades de aprendizaje	408

Índice de Figuras

1.1	Modelo conceptual de estudio.	4
1.2	Ámbitos y contexto de la tesis doctoral.	5
2.1	Macro-procesos del método “estudio de caso” (<i>case study</i>). . .	31
2.2	Macro-procesos del método de la “teoría fundamentada” en datos (<i>grounded theory</i>).	34
2.3	Aplicación de los métodos “estudio de caso” y “teoría funda- mentada en datos”.	38
2.4	Estructura Metodológica de la investigación.	44
3.1	Relación del diseño de la instrucción con las áreas de investi- gación y acción.	53
3.2	Evolución del aprendizaje según los objetivos educativos. . . .	56
3.3	Matriz desempeño-contenido.	59
3.4	Evolución cronológica del uso de los tipos de media	69
3.5	Estructura de disciplinas GIM.	79
3.6	Modelos de contenidos GIM.	80
3.7	Estructura de la pantalla.	81
3.8	Estructuras de organización del contenido.	82
4.1	Esquema simple de los atributos del grado de aceptación de un producto.	95
4.2	Layouts del entorno de test de usabilidad.	111
4.3	Ciclo de vida de la ingeniería de usabilidad.	125
5.1	El modelo en cascada del proceso de software.	140
5.2	El modelo espiral del proceso de software.	145
5.3	Los niveles de madurez del proceso de software del CMM. . . .	149
5.4	Estructura interna del CMM.	151
5.5	Las KPA del CMM.	152
5.6	Los niveles de capacidad de proceso según ISO/IEC 15504. . .	155
5.7	La tríada Bootstrap.	156

5.8	Arquitectura de proceso Bootstrap versión 3.2.	157
5.9	El SDT Modelo U en punto	161
5.10	Los niveles de madurez del TMM.	165
5.11	La estructura del modelo de madurez del proceso de test. . . .	167
5.12	Los componentes de soporte para enfoques estructurados de test.	168
5.13	El esquema general del modelo TPI.	169
6.1	Meta-modelo del dominio de la naturaleza de los test.	175
6.2	Árbol taxonómico del dominio de la naturaleza de los test. . .	180
6.3	Grado de abstracción de la naturaleza de los test.	183
6.4	Visión general del esquema taxonómico de la naturaleza de los test.	186
6.5	Perfiles general y multimedia del usuario.	196
6.6	Medias de las respuestas de las preguntas.	198
6.7	Perfiles general y multimedia del usuario.	201
6.8	Medias de las respuestas de las preguntas.	202
6.9	Cantidad de problemas por criterio de evaluación de usabilidad.	205
6.10	Cantidad de problemas por aplicación multimedia.	207
6.11	Tabla de datos de la estrategia de análisis de usabilidad. . . .	212
7.1	Esquema general del Modelo de Test Semántico y Sintáctico. .	222
7.2	Interrelaciones entre los agentes del modelo SSTM.	224
7.3	Esquema del método de aplicación del modelo SSTM.	244
7.4	Plan de trabajo de proyectos	245
7.5	Informe de problemas de usabilidad y errores.	251
7.6	Herramienta del modelo SSTM usada durante el proceso de test.	253
8.1	Problema de funcionamiento	259
8.2	Problema de “portabilidad” considerando distintos navegadores WEB.	261
8.3	Problema de gestión de error	262
8.4	Problema de densidad semántica	264
8.5	Problemas de apariencia semántica	266
8.6	Presentación de los objetivos del curso.	268
8.7	Problema de legibilidad semántica	269
8.8	Componente de la instrucción: Test	273
8.9	Problema de consistencia semántica	276
8.10	Problema de indicación semántica.	279
8.11	Uso de un simulador como actividad de aprendizaje.	282
A.1	Cuestionario general sobre usabilidad, página 1.	328

A.2	Continuación del cuestionario general, página 2.	329
A.3	Continuación del cuestionario general, página 3.	330
A.4	Pantalla de apertura de la aplicación de test de usabilidad . .	331
A.5	Pantalla del menú principal de la aplicación de test de usabilidad	334
A.6	Cuestionario específico sobre usabilidad, página 1.	336
A.7	Continuación del cuestionario específico, página 2.	337
A.8	Continuación del cuestionario específico, página 3.	338
A.9	Continuación del cuestionario específico, página 4.	339
A.10	Continuación del cuestionario específico, página 5.	340
A.11	Continuación del cuestionario específico, página 6.	341
A.12	Continuación del cuestionario específico, página 7.	342
A.13	Continuación del cuestionario específico, página 8.	343
A.14	Continuación del cuestionario específico, página 9.	344

Resumen

La presente tesis doctoral gira en torno a la discusión sobre la interrelación entre la usabilidad del software educativo y su influencia en el diseño de materiales de contenido multimedia en formato CD-ROM y WEB. Actualmente, dentro de la ingeniería multimedia, la investigación sobre esta interrelación se vuelve importante debido al fenómeno de desarrollo creciente de las aplicaciones multimedia como herramientas educativas facilitando, de esta manera, el proceso de enseñanza y aprendizaje.

El objetivo de la tesis es presentar un conjunto de criterios de evaluación de usabilidad basado en análisis experimentales e identificar el grado de influencia que dichos criterios ejercen en el aprendizaje de las personas mediante el uso de aplicaciones multimedia usadas en educación y formación a distancia.

Para ello, ha sido necesario recurrir a los fundamentos teóricos de la educación (en particular de la educación y formación distancia), las nuevas tecnologías de la información y comunicación, la ingeniería de software y la ingeniería de usabilidad.

El desarrollo de la presente tesis se ha basado en la investigación cualitativa, debido a la necesidad de producir conocimiento que permita entender y explicar el mundo y los fenómenos sociales. Usando el interpretativismo como punto de partida, se utilizan los métodos la teoría fundamentada en datos (*grounded theory*) y el estudio de caso (*case study*) para llevar a cabo la colecta, la clasificación y el análisis de los datos.

La presente tesis presenta aportaciones de índole teórica y práctica.

De un punto de vista teórico, la tesis contribuye con la ergonomía de software al elaborar una fundación teórica para el desarrollo de aplicaciones multimedia a partir de tres principios de diseño de sistemas interactivos multimedia. Los principios son la atención dirigida al usuario y sus tareas, las

mediciones empíricas y el diseño iterativo. Estos principios representan una referencia importante para la ingeniería de usabilidad.

En este sentido, se presenta un modelo de test, denominado modelo de test semántico y sintáctico, compuesto por una estructura conceptual, un método de aplicación que considera los test de verificación, validación y usabilidad y herramientas de apoyo que permiten automatizar las actividades de test.

Considerada una extensión de los fundamentos teóricos, la perspectiva práctica del presente estudio se caracteriza por un proceso de test de aplicaciones multimedia, el cual detecta tanto los problemas y errores como los defectos y fallos que pueden afectar la aceptación y satisfacción del usuario y, por consiguiente, su aprendizaje.

Abstract

The present doctoral thesis is concerning the discussion of the relationship among the usability of the instructional software and its influence on the design of multimedia materials in CD-ROM and WEB formats. Nowadays, research performed regarding this relationship within the field of Multimedia Engineering, is rapidly becoming more important due to the growing development of the use of multimedia applications as educational tools, making the process of teaching and learning much easier.

The goal of the thesis is to submit a collection of approaches regarding usability evaluation based on experimental analysis and to identify the degree of influence that these approaches exert on learning abilities of people using multimedia for purposes such as education and training at distance.

In order to attain this objective, it has been necessary to appeal to the theoretical foundations of education (in particular of the distance education and training), new information and communication technologies, software engineering and usability engineering.

The development of this thesis has been based on Qualitative Research in order to produce knowledge, which allows to understand and explain the world and the social phenomena. Using the Interpretative approach as a starting point, the Grounded Theory and Case Study research methods have been used in the data gathering, classifying and analyzing.

The current thesis presents contributions of theoretical and practical nature.

From the theoretical point of view, this thesis contributes with the Software Ergonomics when elaborating a theoretical foundation for the development of multimedia applications starting from three principles of multimedia interactive systems design. The principles are the early focus on users and

tasks, the empirical measurement and the iterative design. Furthermore, these principles represent an important reference to the Usability Engineering.

In this way, a test model, called semantic and syntactical testing model, has been presented. This model is composed of a conceptual structure, an application method that takes into account the verification, validation and usability test, and support tools that allow to automate the test activities.

Regarded as an extension of the theoretical foundation, the practical perspective of this study is characterized by a multimedia application testing process which not only detects problems and errors but also defects and failures that can affect the user's acceptance and satisfaction and, consequently, his or her learning.

Parte I

Contexto, objetivos y metodología de la investigación

Capítulo 1

Introducción

Los Sistemas de Información son una ciencia de naturaleza social, además de técnica, y, por lo tanto, estudiados en diversos ámbitos bajo distintas perspectivas. Uno de los más recientes y emergentes campos de investigación en SI es el de las aplicaciones multimedia y su uso respecto a la transferencia de información. Se puede observar la interdisciplinariedad en la concepción y desarrollo, es decir, en el proceso de producción de sistemas interactivos multimedia, o simplemente aplicaciones multimedia.

La aplicación de las nuevas Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en diversos sectores de la sociedad está permitiendo cambios de paradigma en la ejecución y control de los procesos de producción. Actualmente, encontramos múltiples ejemplos de la utilización de las TIC en nuestra sociedad: desde bancos y supermercados, hasta escuelas y universidades.

Sin embargo, los factores que garantizan el éxito de productos formados por las TIC han sido y son principalmente aspectos como la confiabilidad o la facilidad de uso de dichos productos. Para lograr la alta calidad en

el desarrollo de aplicaciones multimedia, han sido necesarias muchas horas de trabajo de innumerables profesionales dedicados a probar aplicaciones que forman parte de nuestra vida cotidiana. Para ello se utilizan modelos, estrategias y métodos de calidad propuestos por los centros de investigación y por la industria. Los procesos de test no sólo se realizan dentro del ámbito de la ingeniería de software (e.g. test de verificación y validación), sino también en el ámbito de la ergonomía (e.g. test de usabilidad).

Cuando las aplicaciones multimedia son usadas como herramientas de soporte en el ámbito de la educación, su diseño exige fundamentos teóricos educativos que garanticen un proceso adecuado de transferencia de información que permitan el aumento del aprendizaje. Consecuentemente, se hace necesario adaptar los procesos de test, en concreto los de usabilidad, al mundo multimedia con el propósito de verificar no sólo si existen interrelaciones entre la usabilidad de una aplicación multimedia y el aprendizaje del usuario, sino también identificar en qué grado la primera influye en la segunda.

En este contexto, la presente investigación parte del plan de estudio conceptual propuesto por el Laboratorio Multimedia de la UPC, el cual se caracteriza por su interdisciplinariedad. Éste parte de un modelo que consiste en considerar tres áreas de conocimiento: la creación y diseño del contenido, el mercado y gestión de la producción multimedia y las tecnologías de la información y comunicación (Monguet, Fernandez, Fábregas y Moron, 2001). En la Figura 1.1, se presenta el modelo conceptual y las interrelaciones entre las áreas de conocimiento.

Usando el modelo conceptual presentado en la Figura 1.1 como punto de partida, la presente tesis se centra principalmente en los ámbitos de la

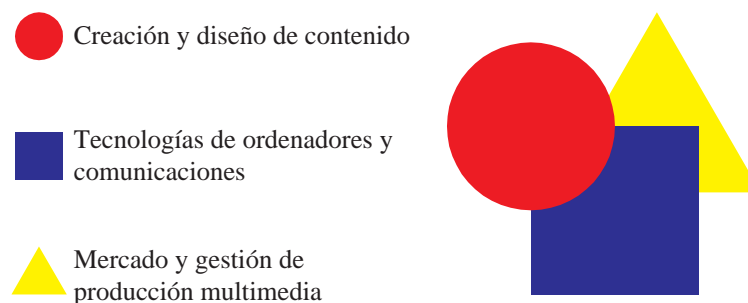


Figura 1.1: Modelo conceptual de estudio establecido por el Grupo de Investigación del Laboratorio Multimedia de la UPC.

ergonomía (i.e. creación y diseño y uso del contenido multimedia) y de la educación (y formación a distancia) que constituye el mercado de explotación de las aplicaciones multimedia desarrolladas en el Laboratorio Multimedia de la UPC. En la Tabla 1.1 se presenta una síntesis de los ámbitos principales de la presente tesis.

Tabla 1.1: Síntesis de los ámbitos principales de la tesis.

Ámbito	Estudio de interés	Propósito
Ergonomía	Las relaciones entre el usuario y su entorno de trabajo.	Identificar los indicadores y criterios que representan directrices para el estudio de la interacción hombre-ordenador en las aplicaciones multimedia, los cuales son señalados como criterios de usabilidad
Educación	Las relaciones entre el estudiante y el contenido de la aplicación multimedia.	Identificar los indicadores y criterios que indican las directrices para las aplicaciones multimedia respecto al aprendizaje del usuario.

La definición de los ámbitos principales ha permitido establecer ámbitos secundarios: las tecnologías de la información y comunicación y la ingeniería y proceso de software. Éstos enmarcan la presente investigación. A continuación, se identifica en la Figura 1.2 el contexto de esta investigación respecto

al modelo conceptual de estudio del Laboratorio Multimedia de la UPC al que se le ha añadido el ámbito de la ingeniería de software.

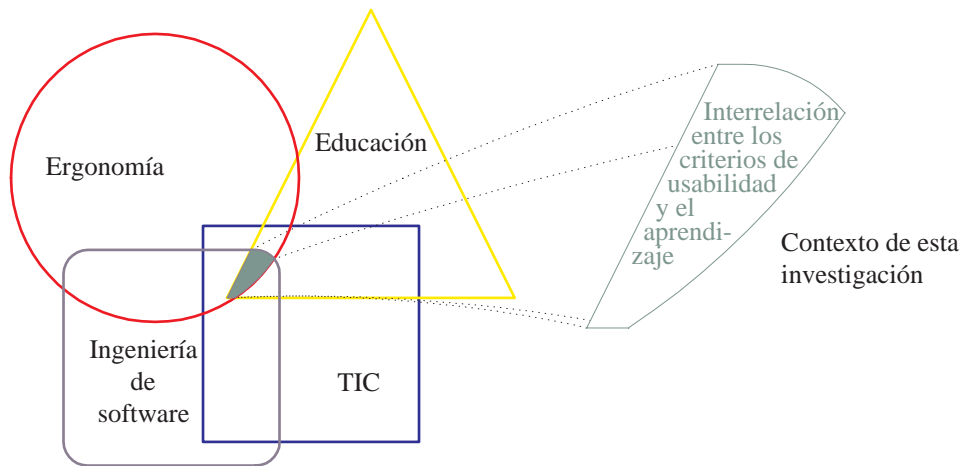


Figura 1.2: Ámbitos y contexto de la tesis doctoral.

De acuerdo con los métodos de investigación utilizados, la presente tesis consiste en

1. Una extensa colecta y análisis de criterios de evaluación a partir de la literatura especializada.
2. La verificación de los criterios seleccionados.
3. Su integración al modelo de test propuesto.
4. La evaluación de la validez y fiabilidad de dicho modelo.

1.1 Definición del problema

La presente investigación estudia los criterios de evaluación de usabilidad en relación con el aprendizaje del usuario de aplicaciones de contenidos multimedia en el entorno de la educación y formación a distancia (EFD), a través de un análisis empírico, en el cual se utilizan conceptos y métodos de procesos de evaluación. Dichos criterios se tornan relevantes cuando son definidos como requisitos de sistemas de información con énfasis en las aplicaciones multimedia. Una de las más claras y evidentes señales de esa necesidad son precisamente los problemas de usabilidad y errores encontrados durante el desarrollo y lanzamiento de dichas aplicaciones, lo que hace imprescindibles los procesos de test en las distintas fases del ciclo de vida de un sistema multimedia.

En la literatura se observan pocos estudios sobre los grados de influencia en la interrelación entre los criterios de evaluación de usabilidad de las nuevas TIC y el aprendizaje. El objeto de estudio es determinar las influencias entre la usabilidad y el aprendizaje. Por tanto, los límites de este tipo de estudio se definen con preguntas como “*¿los criterios de evaluación de usabilidad influyen en el aprendizaje de un usuario?*” y “*¿los objetivos del aprendizaje influyen en la selección de criterios de evaluación de usabilidad como requerimientos de diseño de aplicaciones multimedia?*”.

Estos límites establecen un campo de investigación que todavía no ha sido completamente explorado. Ante esto, se plante la presente tesis, que consiste en realizar un análisis experimental de los criterios de evaluación de usabilidad respecto a la adquisición y retención del conocimiento por parte

de los usuarios de aplicaciones multimedia para la educación y formación a distancia. Para ello, se propone un modelo de test de usabilidad que constituye una herramienta de soporte en el desarrollo de aplicaciones multimedia educativas.

Aunque han sido realizadas diversas investigaciones sobre temas de usabilidad, se hace necesario llevar a cabo más estudios con el propósito de consolidar dichos temas en relación al uso educativo de las aplicaciones multimedia, el cual se puede considerar aun un tema de investigación muy abierto. Los análisis realizados en esta investigación y el modelo propuesto pueden contribuir a la resolución de problemas identificados en la interrelación entre los criterios ergonómicos y el aprendizaje, cuando aplicaciones multimedia son usadas como herramientas para la instrucción.

1.2 Objetivo de la tesis

El objetivo de la tesis es presentar un conjunto de criterios de evaluación de usabilidad basado en análisis experimentales e identificar el grado de influencia que dichos criterios ejercen en el aprendizaje de las personas mediante el uso de aplicaciones multimedia usadas en educación y formación a distancia. Para lograr este objetivo, ha sido necesario establecer algunas metas (véase Tabla 1.2), las cuales determinaron la realización de estudios teóricos sobre los ámbitos de esta investigación (e.g. la ergonomía, la educación y formación a distancia, las nuevas tecnologías de la información y comunicación y la ingeniería de software) y de trabajos experimentales dentro del contexto de la investigación (e.g. la aplicación del modelo propuesto que considera los

valores semánticos y sintácticos durante la fase de producción y del producto acabado).

El planteamiento realizado en la presente tesis se define principalmente dentro de dos perspectivas.

La primera perspectiva considera la ingeniería de software y consiste en diseñar un proceso de test de verificación, validación y usabilidad capaz de identificar los problemas semánticos y sintácticos de una aplicación multimedia. Por lo tanto, a través de este enfoque se pretende lograr la mejora del proceso de desarrollo de software.

La segunda perspectiva se centra en la mejora de modelos multimedia de instrucción asociados a su uso, de manera que se consideran no sólo las teorías educacionales que tratan de temas relacionados con el diseño de materiales educativos, sino también la forma en la que se usa dichos materiales. Por lo tanto, se propone definir un conjunto de criterios de evaluación de usabilidad con el propósito de guiar el diseño de modelos de instrucción aplicados a sistemas interactivos multimedia.

1.3 Importancia de la investigación

Como se ha comentado, existen pocos estudios donde se haya verificado que la aplicación de criterios ergonómicos a los materiales didácticos aumenten el grado de aprendizaje de un alumno. Esta carencia es más significativa cuando se trata del uso de aplicaciones multimedia en ordenadores, debido a las exigencias tecnológicas actuales (e.g. el uso de sistemas informáticos que necesitan conexión a Internet). De manera que surge intrínsecamente

Tabla 1.2: Metas necesarias para el logro del objetivo de la tesis.

Metas	Prevista	Añadidas
Recopilar las técnicas, métodos, metodologías y modelos de test de usabilidad encontrados en la literatura y diseñar una taxonomía.	✓	
Investigar las relaciones entre los criterios de evaluación del modelo de test propuesto y los procesos de software de una aplicación multimedia .	✓	
Identificar las relaciones entre la usabilidad de aplicaciones multimedia y los modelos estándares de mejora de proceso de software y de test.	✓	
Diseñar un modelo de test de usabilidad con el enfoque en aplicaciones multimedia utilizados en educación a distancia.	✓	
Aplicar un cuestionario general sobre usabilidad con el proposito de refinar los criterios de evaluacion del modelo de test propuesto.		✓
Identificar las influencias determinantes en la correlacion entre los componentes del modelo de test propuesto.		✓
Investigar y experimentar técnicas para la mejora del modelo de test propuesto.	✓	
Aplicar un cuestionario específico sobre usabilidad asociado a un conjunto de aplicaciones multimedia desarrolladas por el Laboratorio Multimedia de la UPC.		✓
Analizar los resultados e identificar las correlaciones entre la usabilidad y el aprendizaje de los usuarios.		✓
Seleccionar los indicadores más adecuados.	✓	
Validar el modelo de test propuesto.	✓	
Aportar indicadores de usabilidad que contribuyan en la mejora de los procesos de software y en el desarrollo de aplicaciones multimedia utilizados en la educación a distancia.	✓	

una dependencia tecnológica a que gran parte de la población mundial está condicionada.

Por una parte, dicha dependencia exige una mayor infra-estructura tecnológica, lo que se traduce en nuevos problemas sociales, políticos y económicos (e.g. individualización de las personas, distribución de ordenadores en escuelas y el aumento de los costes, respectivamente). Por otra parte, para las nuevas tecnologías no existen fronteras geográficas, lo que posibilita una mejor distribución educacional entre la población.

De esta manera, las nuevas tecnologías de la información y comunicación están cambiando algunos paradigmas educacionales. Estos cambios son el resultado de aspectos socio-político-económicos tales como la globalización del comercio y la competitividad, los cuales están revolucionando algunos aspectos del proceso enseñanza-aprendizaje. Ante esto, es imprescindible saber no sólo si las personas usan dichas tecnologías de manera eficiente y eficaz, sino también si las personas aprenden fácilmente tanto la operación de la tecnología como la información (i.e. contenido) que se pretende transmitir.

En este marco, esta investigación aportará algunas contribuciones no sólo al diseño, desarrollo y producción de aplicaciones multimedia, sino también además al proceso de enseñanza-aprendizaje, principalmente a la adquisición y retención del conocimiento dentro del entorno de la educación y formación a distancia.

1.4 Límites y limitaciones de la investigación

Esta investigación puede ser considerada como una especie de marco que contribuye, con un conjunto de requerimientos ergonómicos, al diseño de sistemas interactivos multimedia en el entorno educativo. Así pues, la presente investigación está limitada por los temas de estudio, los cuales se clasifican en dos grupos: los centrales y los adyacentes (véase Tabla 1.3).

Tabla 1.3: Relación de los temas del objeto de estudio de la presente investigación.

Temas	Centrales	Adyacentes
El aprendizaje y la definición de criterios de aprendizaje.	✓	
La usabilidad y la definición de criterios de usabilidad (i.e. criterios ergonómicos).	✓	
La educación y formación a distancia.	✓	
Las tecnologías de la información y comunicación.	✓	
La ingeniería y proceso de software.		✓
Los procesos de test y sus métodos de evaluación.	✓	

Por otra parte, durante la investigación algunas limitaciones han sido identificadas:

- **Desarrollo de test de usabilidad formales.** A pesar de la carencia de la infraestructura necesaria para la realización de test de usabilidad formales, el método de inspección *evaluación heurística* ha sido utiliza-

do para la verificación de los problemas de usabilidad, reduciendo las restricciones durante la adquisición de los datos de usuario.

- **Muestra reducida de usuarios de test.** Se utiliza una reducida muestra de usuarios de test (i.e. de 05 a 07 usuarios por cada aplicación multimedia analizada). Autores como Nielsen (1993), Rubin (1994) y Mayhew (1999) argumentan que para la identificación de 75 a 85 % de los problemas es necesario un número de usuario de test entre 4 y 10.
- **Composición de las tablas para los análisis estadísticos.** Los primeros modelos de las aplicaciones multimedia desarrollados por el Laboratorio Multimedia no consideraban el modelo de test propuesto (véase Capítulo 7), de manera que ha sido necesario diseñar una estrategia para componer y analizar los datos del usuario y de los procesos de test (i.e. verificación, validación y usabilidad).
- **La identificación de las restricciones usadas en el diseño del modelo matemático del dominio de la naturaleza de los test.** Aunque el meta-modelo del dominio de la naturaleza de los test considere los enfoques analítico y matemático, la presente tesis investiga solamente el enfoque analítico, debido a que el estudio del enfoque matemático necesitaría de la infraestructura usada en los laboratorios de test formales.

1.5 Cuestiones e hipótesis

Considerando los ámbitos de esta investigación y su objetivo y metas planteadas, se establecen dos cuestiones generales a través de las cuales se formula la hipótesis principal de la tesis.

1. **¿Cuáles son los aspectos ergonómicos (y sus interrelaciones) asociadas a los elementos que componen el entorno de las aplicaciones multimedia usadas en educación y formación a distancia desde la perspectiva de la usabilidad?**
2. **¿De qué manera estos aspectos deberían ser utilizados para mejorar no sólo el proceso de diseño de aplicaciones multimedia, sino también la adquisición y retención del conocimiento con el uso de dichas aplicaciones?**

Considerando las aplicaciones multimedia usadas en educación y formación a distancia que representan el objeto de estudio de esta investigación y basándose en la interrelación entre los criterios de evaluación de usabilidad de sistemas interactivos multimedia y el aprendizaje del usuario, se hace la siguiente hipótesis general:

El uso de aplicaciones multimedia usadas como modelos de instrucción para la educación y formación a distancia, que consideren los criterios de evaluación de usabilidad relacionados con la organización del contenido, la estructura y la operación de la aplicación y con la

interacción hombre-ordenador aumenta la adquisición y retención del conocimiento por los usuarios.

Como un punto de partida para esta investigación, tres cuestiones auxiliares han sido determinadas.

A continuación, se presentan estas cuestiones y los comentarios sobre el tratamiento para la resolución de cada una de ellas.

1.5.1 Cuestión 01

¿Cuáles son las interrelaciones entre los criterios de evaluación de usabilidad (i.e. características ergonómicas) y el proceso de adquisición y retención del conocimiento por el usuario (i.e. características educacionales) de aplicaciones multimedia usadas en educación y formación a distancia?

Una de las nuevas áreas de actuación dentro de la ergonomía se caracteriza por el estudio sobre la usabilidad del software, al cual se le atribuye el término *ergonomía de software*. Cuando se trata con sistemas informáticos que serán usados por personas, la ergonomía de software establece un conjunto de criterios con el propósito de evaluar dichos sistemas desde las siguientes perspectivas: facilidad de aprender, facilidad de uso, adecuación a las necesidades del usuario y cuan agradable es el sistema durante su uso.

Por otra parte, dentro del ámbito de la educación (y formación a distancia) existen autores que investigan sobre la conexión entre la forma de presentar contenidos (i.e. los modelos de instrucción) y el aprendizaje de los estudiantes.

En este estudio, ha sido investigada la potencialidad de los criterios de evaluación de usabilidad que están asociados al grado de adquisición y retención del conocimiento de los usuarios respecto a los materiales educativos de contenido multimedia.

1.5.2 Cuestión 02

¿Cómo se podrían implementar los procesos de test (i.e. verificación, validación y usabilidad) que consideren los criterios de evaluación propuestos, no solamente en las fases finales sino también en todas las fases del ciclo de desarrollo de aplicaciones multimedia usadas en educación y formación a distancia?

En la última década, la ingeniería de usabilidad ha sido aplicada en varias áreas de conocimiento. Dentro del contexto de esta investigación, la ingeniería de usabilidad intenta establecer requerimientos de diseño de sistemas y verificar si estos han sido considerados durante el desarrollo. En este sentido, la ingeniería de usabilidad¹ ha intentado integrar la usabilidad a todo el ciclo de desarrollo de software, a través de modelos y estándares internacionales.

En este estudio, la ingeniería de software ha sido investigada, principalmente, desde de la perspectiva de la calidad de software soportada por los procesos de test. Por una parte, en el estudio de la calidad de software, se consideran los modelos (e.g. *Capability Maturity Model, Bootstrap*) y estándares internacionales (e.g. ISO/IEC 15504) de evaluación y mejora de procesos de

¹Un conjunto de métodos estructurados con el propósito de lograr la usabilidad óptima en el diseño de interfaz de usuario durante el desarrollo de un producto (Mayhew, 1999).

software. Por otra parte, en la investigación sobre la calidad de los procesos de test, se consideran los modelos específicos tales como el *Testing Maturity Model* y el *Test Process Improvement*. Se ha llegado a la conclusión que los test de usabilidad deberían ser definidos como una herramienta de apoyo incorporada a la ingeniería de software para mejorar de la calidad de software.

1.5.3 Cuestión 03

¿En qué contextos (i.e. productos o servicios) los criterios de evaluación de usabilidad pueden ser definidos como requisitos clave de aplicaciones multimedia con el propósito de lograr altos índices de aprendizaje?

Los medios usados como canal de transferencia de información (e.g. una página WEB o un producto distribuido en formato CD-ROM) poseen características específicas (e.g. la arquitectura de la información y la estructura de la aplicación) que deben ser consideradas durante las fases de diseño, desarrollo y test del ciclo de vida de la ingeniería de software. Los criterios de evaluación de usabilidad asociados a dichos medios influyen en la optimización del tiempo de adquisición y retención de conocimiento por el usuario.

En este estudio, los formatos (i.e. CD-ROM y WEB) de las aplicaciones multimedia han sido analizados desde el punto de vista de los modelos de instrucción. De esta manera, se ha concluido que la determinación de grupos de criterios de evaluación de usabilidad debe estar asociada al tipo de formato

en el cual la aplicación multimedia será desarrollada, y de acuerdo con el tipo de contenido que se propone.

1.6 Organización de la tesis

La presente tesis doctoral ha empezado con una introducción general sobre el contexto en el que se enmarca este estudio, algunos comentarios sobre los marcos teóricos que fundamentan la investigación, la problemática y los objetivos planteados, la importancia y limitaciones de la investigación y finalmente las cuestiones y hipótesis planteadas.

Esta tesis doctoral está constituida por cinco partes. Cada una de las partes agrupa en uno o más capítulos temas comunes. La primera parte, la cual se denomina *Contexto, objetivos y metodología de la investigación* de la tesis doctoral, consta de los Capítulos 1 y 2. La segunda parte, denominada *Estudio teórico*, consiste en los Capítulos 3, 4 y 5. La tercera parte, denominada *Trabajo experimental y desarrollo de la investigación*, está formada por los Capítulos 6, 7 y 8. La cuarta parte, denominada *Conclusiones*, consiste en el Capítulo 9. Finalmente, la quinta parte, denominada *Apéndices, glosario y bibliografía*, consiste en los Apéndices A, B y C, el Glosario y la Bibliografía.

A continuación se comenta brevemente los contenidos de cada uno de los siguientes capítulos.

- Primera Parte
 - **Capítulo 1 - Introducción:** Es el presente capítulo. Aquí, se ha sido descrito el contexto de la tesis frente a los ámbitos que

la delimitan, justificando la importancia de la investigación y los problemas que la limitaron.

- **Capítulo 2 - Metodología de la investigación:** En este capítulo se presentarán los fundamentos metodológicos de la investigación, definidos por las perspectivas filosóficas y los métodos de investigación usados para llevar a cabo la presente tesis doctoral. Además, se comentarán los procedimientos metodológicos y la estructura metodológica.

- Segunda Parte

- **Capítulo 3 - Educación y formación a distancia y las tecnologías de la información y comunicación:** En este capítulo se presentará una descripción pormenorizada sobre el ámbito de la educación (y formación a distancia): el mercado en el que se aplica la presente tesis. En este sentido, se inicia el capítulo definiendo los marcos teóricos educacionales para el objeto de estudio propuesto. Además, se resumen los estudios realizados respecto a las tecnologías relacionadas con el contexto de la investigación.
- **Capítulo 4 - Usabilidad:** En este capítulo se presentarán los marcos teóricos respecto a la usabilidad de aplicaciones multimedia usadas en educación y formación a distancia, compuestos por la ergonomía de software, los estándares internacionales, los principios de diseño y los tipos de test de usabilidad. Además, se presenta una breve revisión histórica de los principales estudios sobre el tema.

- **Capítulo 5 - Ingeniería de software:** En este capítulo se presentará una visión de la ingeniería de software dirigida a los procesos de test, con el propósito de verificar cómo se consideran los test de usabilidad dentro de la ingeniería de software, y de qué manera el grupo de los criterios de evaluación de usabilidad pueden ser determinados como uno de los requerimientos del desarrollo de software.
- Tercera Parte
 - **Capítulo 6 - Análisis experimental y resultados:** En este capítulo se describirán los procedimientos realizados durante la concepción del modelo propuesto. Se comentarán los trabajos de colecta de datos situándolos dentro de los métodos de investigación usados para desarrollar la presente tesis.
 - **Capítulo 7 - Modelo de teste semántico y sintáctico:** Este capítulo presentará el modelo de test propuesto, el cual fue diseñado a partir del dominio de la naturaleza de los test. El modelo consiste en una herramienta de soporte aplicada a los procesos de desarrollo de aplicaciones multimedia usadas en educación y formación a distancia. Además, se presenta una discusión sobre su concepción, diseño y aplicación.
 - **Capítulo 8 - Modelo SSTM: Criterios de Evaluación:** Este capítulo complementa el anterior. En éste, se detallarán los criterios de evaluación de usabilidad presentados en el Capítulo 7. Además, se presentarán los análisis sobre las influencias determi-

nantes entre los elementos del modelo SSTM.

- Cuarta Parte

- **Capítulo 9 - Conclusiones y aportaciones:** En este capítulo, a modo de consideraciones finales, se expondrán las conclusiones a las cuales se han llegado como fruto de esta investigación y que se considera una parte del trabajo que se pretende continuar en los próximos años.

- Quinta Parte

- **Bibliografía:** Finalmente, se presentarán las referencias bibliográficas usadas en la presente tesis.
- **Glosario:** En este apéndice se reunirán los diversos términos usados en la presente tesis, con el propósito para facilitar el entendimiento de dichos términos durante la lectura.
- **Apéndice A - Cuestionarios sobre la evaluación de la usabilidad de aplicaciones multimedia usadas en educación:** En este apéndice se presentarán los cuestionarios usados como herramientas de colecta de datos tanto para la validación del modelo propuesto como para la identificación de las correlaciones entre los criterios de evaluación de usabilidad y la adquisición y retención del conocimiento por el usuario.
- **Apéndice B - Estudio lexicográfico de los elementos del Modelo SSTM:** En este apéndice se presentarán íntegramente

los significados encontrados de para cada ítem de interés durante el estudio lexicográfico.

- **Apéndice C - Influencias determinantes entre los elementos del Modelo SSTM:** En este apéndice se presentará el análisis completo de las correlaciones (i.e. influencia determinante) entre los elementos del modelo SSTM.