



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA TELEMÁTICA

Escuela Politécnica Superior
Universidad Carlos III de Madrid

TESIS DOCTORAL

**EPM: UN MODELO
PARA LA CARACTERIZACIÓN
Y DIAGNÓSTICO
DE PROCESOS EDUCATIVOS**

Autora: M^a Carmen Fernández Panadero
Licenciada en Ciencias Físicas

Directores:
Andrés Marín López.
Doctor Ingeniero de Telecomunicación

Abelardo Pardo Sánchez.
Doctor en Informática

2004

A Roberto y a Javi
A mis padres y hermanos
A Ángela

Pure mathematics is, in its way, the poetry of logical ideas
Albert Einstein

Agradecimientos

Son muchas las personas que con sus consejos, su apoyo o su cariño han contribuido a la realización de este trabajo. En estas páginas quiero dejar constancia de mi agradecimiento a todas ellas.

En primer lugar quiero agradecer a Andrés y Abelardo, mis tutores, todo el ánimo que me han dado, sobre todo en esta última etapa. A Andrés especialmente por su amistad y su sinceridad, el sabe cuánto la valoro, y por todos los buenos y malos momentos que hemos compartido a lo largo de estos años. A Abelardo por lo mucho que he aprendido a su lado, no sólo de sus consejos sino de esa forma tan especial de hacer las cosas, espero poder seguir aprendiendo a su lado durante mucho tiempo.

A mi hermano Javi por tantas cosas que no sabría por donde empezar. Por sus consejos, porque ha padecido todas y cada una de las decisiones que he tomado a lo largo de esta tesis y sobre todo por ser una persona maravillosa. Después de tantos años juntos firmaría donde fuera por un millón de años más.

A todos los compañeros del departamento de Ingeniería Telemática. A Carlos Delgado por darme la oportunidad de trabajar aquí y por su confianza durante todos estos años. A los compañeros de los primeros tiempos en especial a Simon y Salvador, a los de los últimos tiempos: Raquel, Jesús, Iria, Pablo y Florina, y a los de siempre: en especial a Peter, Luis y Nati por su ayuda y sus consejos. De todos he aprendido algo y me han dado mucho ánimo en los tiempos difíciles. A María por compartir embarazo, cuentas y risas. A los compañeros de Gradient con los que comparto intereses y papers y a los de programación: Tatou, Julio, Luis, Raúl, José María, Jesús Villamor y muy especialmente a Nati, JJ, Jesús y Raquel por compartir conmigo mucho más que una asignatura. Mi agradecimiento también a todos los que han pasado por aquí y luego nos han dejado: Liliana Torres, Jose Luis, Nacho y Arturo. Muchas gracias también a Vicente y a Liliana por recorrer a mi lado gran parte del camino y ser excelentes compañeros de viaje.

A las secretarias y los técnicos de laboratorio en especial a Aurora, Silvia,

Laura, Teresa Javier y Goyo por su eficacia en las tareas logísticas.

A Celeste, Goyo, Andrés y Carlos por un montón de ayuda pero especialmente por su amistad. A Javier Martínez Pereira porque esto nunca hubiera sido lo mismo sin él y porque aunque se fue muy de prisa sigue estando muy presente entre nosotros. Gracias a todos por tantos buenos momentos.

A todos los amigos del departamento de biblioteconomía con los que hemos ido de la mano en muchos proyectos, muy especialmente a Pirio por tantos kilómetros remados juntos.

A los miembros del grupo de Schlichter en la TUM, especialmente a Gunar Teege y Martin Lacher por las discusiones sobre cómo aplicar XML a la educación y a Friedle Bunke por un mes inolvidable.

A los alumnos que han realizado conmigo becas, trabajos dirigidos o proyectos fin de carrera. Gracias a todos por su colaboración y su amistad.

A los amigos de toda la vida por comprender mis ausencias y seguir a mi lado en los momentos importantes. En especial a Eva y a Maite por estar siempre al otro lado del teléfono en cualquier circunstancia y en cualquier país, y a Carlos por un montón de ayuda, y toneladas de comprensión. A Jose Miguel y Pili, Raquel y el Gran Eduardini por tantos debates de ciencia al calor de una founde de fruta y chocolate. Tenemos que recuperarlos. A Rogelio y Natalia y Luis y Rosa por preocuparse por mi y por compartir edificio, viajes y miles de experiencias extraordinarias.

Mi agradecimiento también para Helena y todas las compañeras del centro de salud por haberme dado tanto ánimo en la recta final.

A mi familia, por todo su apoyo y comprensión, sin ellos no hubiese sido posible este trabajo. Un recuerdo muy especial para Pedro, y mis abuelos que vieron el comienzo de esta tesis pero no han podido ver su final. A mis hermanos Rubén y Silvio por tantos tragos que nos ha tocado pasar juntos sin perder ni por un segundo el sentido del humor. A mi padre por demostrar que nunca es demasiado tarde para cambiar y a mi madre por ser la persona más buena y más fuerte del mundo.

A Ángela que con menos de un año ya le ha tocado vivir una tesis desde dentro y desde fuera por ayudarme como nadie a darle a cada cosa la importancia que tiene y por hacerme la persona más feliz del mundo.

Por último a Roberto por su apoyo incondicional, su paciencia sin límites y su comprensión infinita. Doy gracias a Dios por cada minuto de mi vida que he pasado a tu lado y sólo espero ser cada día mejor persona para hacerte un poco más feliz.

Resumen

Los cambios sociales unidos a los avances pedagógicos y tecnológicos acontecidos en los últimos años han provocado un aumento exponencial en la demanda de formación y una revolución en la forma de entender la educación. Estos cambios han obligado a todos los elementos que intervienen en el proceso, alumnos, profesores, contenidos y herramientas a adaptarse a esta nueva situación, y han aumentado considerablemente la complejidad del panorama educativo.

Los modelos, que siempre han jugado un papel importante en la comprensión de los procesos de enseñanza-aprendizaje, han pasado a ser una herramienta imprescindible para el seguimiento y control de la práctica educativa. Uno de los principales problemas a los que se enfrenta hoy el modelado de la práctica educativa es la integración de los modelos existentes y la obtención de resultados cuantitativos.

En esta tesis se propone la creación de EPM (Educational Practice Model), un modelo matemático para la caracterización y diagnóstico de procesos educativos. Este modelo surge del intento de resolver el problema de modelado de la educación como un caso particular de un problema más general: la representación de sistemas dinámicos en interacción con un entorno. Este cambio de enfoque a un nivel de abstracción superior para resolver el problema se inspira en dos ideas fundamentales: el proceso de abstracción seguido por la física para obtener una representación unificada de las interacciones fundamentales y el concepto de meta-representación propuesto por Heylighen para la representación de sistemas dinámicos.

Utilizando como base estas dos ideas se propone una meta-representación que permite generar representaciones distintas para describir la evolución de cada uno de los elementos de la práctica educativa: profesores, alumnos o recursos educativos. En este trabajo se presenta el desarrollo matemático para la representación de uno de estos problemas: describir la evolución del estado de conocimiento de un alumno a lo largo de un curso.

La representación desarrollada permite caracterizar los diferentes elementos que intervienen en la práctica educativa, detectar problemas, identificar sus causas y proponer soluciones a los problemas detectados. El proceso de detección permite determinar el momento en el que se producen los problemas, cuantificar su magnitud e indicar los objetivos involucrados. El proceso de diagnóstico y propuesta de soluciones permite discriminar si los problemas de efectividad del curso se deben a la heterogeneidad del grupo de alumnos, a la dificultad intrínseca de los objetivos involucrados, al diseño de los materiales didácticos o a la forma de impartirlos.

El modelo propuesto facilita la reutilización y comparación no sólo de los elementos que constituyen el curso (acciones docentes, unidades didácticas y mecanismos de evaluación) sino también de la información recogida durante su impartición como son los resultados de evaluación o la efectividad de cada uno de los elementos utilizados.

Abstract

Social changes and advances in technology and pedagogy during the last few years have produced an exponential increase in the demand for training and a revolution in the way education is understood. All the players involved in this process: students, teachers, contents and tools, need to adapt to this new situation. This fact has increased the complexity of the educational environment.

Models, that have always played an important role in the understanding of the teaching-learning processes, are now a requirement to monitor and control the educational practice. One of the main problems faced by modeling is the integration of the pre-existent models and the ability of obtain quantitative results.

In this dissertation, the Educational Practice Model (EPM) is proposed. EPM is a mathematical model for characterization and diagnosis of educational processes. This model arises from an attempt to resolve the problem of modeling education as a particular case of a more general modeling problem: representation of dynamical systems in interaction with their environments. This change of approach to a higher level of abstraction is inspired by two fundamental ideas: the abstraction process followed by Physics to unify the representation of the fundamental interactions, and the concept of meta-representation proposed by Heylighen to represent dynamical systems.

Based on these two ideas, a meta-representation is proposed that allows different representations to be generated in order to describe different elements of educational practice: teachers, students or educational resources. In this thesis, the mathematical development to represent one of this elements is proposed: description of the evolution of the degree of knowledge of a student during a course.

The representation developed here characterizes the elements involved in the educational practice for very practical purposes: detecting problems, diagnosis, and even proposing solutions. The detection process warns about pro-

blems appearing and indicates about their magnitude (quantification of their importance), and location (discrimination of objectives involved). The diagnosis and proposal of solutions can distinguish if the problems of effectiveness are related to heterogeneity of the group of students, inherent difficulty of the objectives involved, design of the didactic materials, or the way they are used.

The proposed model not only makes it easier to reuse and compare educational resources (teaching actions, didactic units and mechanisms of evaluation), but also provides ways to reuse and compare the information obtained during the course itself, the effectiveness of the resources, or the results of the evaluation.

Índice

Agradecimientos	I
Resumen	III
Abstract	V
1. Introducción y objetivos	1
1.1. Motivación de la tesis	3
1.2. Objetivos	5
1.3. Plan de trabajo	6
1.4. Estructura de la memoria	7
2. Estado de la cuestión	9
2.1. Contexto de la tesis	10
2.1.1. La tecnología al servicio de la educación	11
2.1.2. Análisis de un caso real	11
2.1.3. XML: Modelado y Personalización	12
2.1.4. Implementación	13
2.2. Modelos en Pedagogía	14
2.2.1. Concepto de educación	14
2.2.2. Concepto de currículum	16
2.2.3. Modelos de conocimiento	17
2.3. Modelos en tecnología	21

2.3.1.	Necesidades de los usuarios	22
2.3.2.	Necesidad de estandarización	23
2.3.3.	Principales iniciativas de estandarización	24
2.3.4.	Estado actual de los estándares	27
2.3.5.	Otros modelos	35
2.3.6.	Implementaciones de referencia	35
2.4.	Conclusiones	38
3.	Modelo de comunicación	41
3.1.	La educación como sistema de comunicación	42
3.2.	El profesor como transmisor	43
3.2.1.	Intencionalidad de la comunicación	43
3.2.2.	Caracterización de la señal	43
3.2.3.	Rango de emisión	45
3.3.	El alumno como receptor	46
3.3.1.	Interpretación de la señal	46
3.3.2.	Rango de recepción	47
3.4.	La evaluación como sistema de detección	47
3.4.1.	Rango de detección	48
3.4.2.	Escala de medida	48
3.5.	Problemas en la comunicación	49
3.5.1.	Problema semántico	50
3.5.2.	Efectividad del proceso de comunicación	52
3.6.	Conclusiones	52
4.	Modelo EPM	
	Educational Practice Model	55
4.1.	Problema general:	
Evolución de sistemas dinámicos		56
4.1.1.	Metarrepresentación de un sistema dinámico	56

4.1.2.	Representación de un proceso educativo	58
4.2.	Diseño del curso	59
4.2.1.	Definición de objetivos	59
4.2.2.	Caracterización espectral del curso	62
4.2.3.	Codificación múltiple	72
4.2.4.	Caracterización espectral de la evaluación	81
4.3.	Caracterización del alumno	102
4.3.1.	El espacio de conocimiento	103
4.3.2.	El vector estado puro	104
4.3.3.	El operador estado mezcla	105
4.3.4.	Magnitudes observables	108
4.3.5.	Ampliando la representación	111
4.3.6.	Estados separables	115
4.4.	Discusión	116
4.5.	Conclusiones	117
5.	Aplicaciones del modelo EPM	121
5.1.	Detección de problemas de diseño	122
5.1.1.	Inconsistencias en la planificación	122
5.1.2.	Análisis de trayectorias UD y E	123
5.2.	Detección de problemas de rendimiento	125
5.2.1.	Análisis de trayectorias reales	126
5.2.2.	Problemas de rendimiento de carácter individual	127
5.2.3.	Problemas de rendimiento de carácter general	127
5.3.	Comparación de unidades didácticas y acciones docentes	130
5.3.1.	Caracterización matemática	132
5.3.2.	Escenarios de aplicación	132
5.4.	Reutilización de resultados	135
5.5.	Conclusiones	136

6. Caso de estudio	139
6.1. Contexto experimental	140
6.1.1. Objetivos y organización del curso	140
6.1.2. Arquitectura	141
6.1.3. Contenido	142
6.2. Diseño del curso	143
6.2.1. Definición de objetivos	143
6.2.2. Caracterización de las unidades didácticas	143
6.2.3. Caracterización de las acciones docentes	154
6.2.4. Caracterización de la evaluación	162
6.3. Caracterización del alumno	175
6.3.1. Exhaustividad en la medida de los resultados	176
6.3.2. Rendimiento en función de los objetivos	178
6.3.3. Rendimiento en una evaluación no exhaustiva	181
6.3.4. Reutilización del estado del alumno	185
6.4. Discusión	187
6.5. Conclusiones	188
7. Conclusiones y líneas de trabajo futuro	193
7.1. Conclusiones	194
7.2. Contribuciones	196
7.3. Líneas de trabajo futuro	201
7.3.1. Extensiones al modelo	201
7.3.2. Nuevas aplicaciones	204
7.3.3. Implementación del modelo	207
Glosario de términos	213

Índice de Tablas

4.1. Parámetros de la representación	58
4.2. Objetivos del curso	63
4.3. Caracterización espectral de las unidades didácticas	66
4.4. Caracterización espectral de los contenidos del curso	67
4.5. Acciones docentes asociadas al bloque temático de herencia . . .	71
4.6. Caracterización espectral de la prueba de evaluación	89
4.7. Caracterización espectral de dos preguntas de examen	89
4.8. Nivel de exhaustividad en un proceso de evaluación	102
5.1. Corrección de inconsistencias en el proceso de diseño	123
5.2. Problemas de rendimiento de carácter individual	128
5.3. Problemas de rendimiento de carácter general	131
5.4. Comparación de unidades didácticas UD y acciones docentes AD	133
6.1. Objetivos del curso	144
6.2. Caracterización espectral de las unidades didácticas por temas .	144
6.3. Duración estimada y rendimiento esperado para cada tema . . .	145
6.4. Caracterización espectral de las unidades didácticas por módulos	145
6.5. Duración estimada y rendimiento esperado para cada módulo . .	146
6.6. Valores corregidos del tiempo asignado t'_j a la consecución de un objetivo y de su peso relativo $\hat{\beta}'_j$ para futuras ediciones del curso	150
6.7. Valores corregidos del rendimiento esperado $\hat{\eta}'_i$ y el tiempo asig- nado \hat{t}'_i para futuras ediciones del curso	150

6.8. Dedicación por objetivo (en minutos)	151
6.9. Modulo 1: Secuenciación de acciones docentes	156
6.10. Modulo 4: Secuenciación de acciones docentes	158
6.11. Descomposición espectral de AD para el recorrido 1	161
6.12. Descomposición espectral de AD para el recorrido 2	161
6.13. Caracterización espectral de las pruebas de evaluación	162
6.14. Nota esperada y peso estimado para cada prueba de evaluación	162
6.15. Valores corregidos para los pesos relativos de las pruebas de evaluación	165
6.16. Caracterización espectral de la evaluación desglosando el pro- yecto personal	171
6.17. Nota esperada y peso estimado para cada prueba de evaluación desglosando el proyecto personal	172
6.18. Estado esperado al finalizar las pruebas de evaluación	176
6.19. Calificaciones obtenidas en el proceso de evaluación	179
6.20. Calificaciones obtenidas en el proceso de evaluación ponderadas por el peso relativo de cada prueba	179
6.21. Rendimiento estimado	182
6.22. Resultados y márgenes de error por objetivos	184
6.23. Resultados y márgenes de error (valores medios)	185
6.24. Rendimiento real para los objetivos O_1 y O_2	186

Índice de Figuras

3.1. Modelo extendido para la comunicación educativa.	42
3.2. Problemas en la comunicación	49
4.1. Trayectoria esperada en función de las unidades didácticas	72
4.2. Trayectoria esperada para el bloque temático de herencia	73
4.3. Codificación Múltiple.	74
4.4. Trayectorias Alternativas	79
4.5. Trayectorias alternativas en función del rendimiento esperado . . .	81
4.6. Trayectorias alternativas en el espacio de objetivos	82
4.7. Trayectoria en función de los resultados de evaluación	92
4.8. Evaluacion	94
5.1. Análisis comparativo de trayectorias	125
5.2. Efecto esperado de la codificación múltiple en la dispersión de los resultados de evaluación	130
5.3. Reutilización resultados de evaluación	137
6.1. Arquitectura	141
6.2. Rendimiento esperado en función del tiempo	152
6.3. Trayectoria esperada en función de las unidades didácticas	153
6.4. Distribución temporal de tareas para el módulo 1	157
6.5. Distribución temporal de tareas para el módulo 4	159
6.6. Recorridos alternativos en función del tipo de objetivos. Corres- ponde a la aplicación de los operadores AD_A y AD_B	161

6.7. Trayectoria esperada en función de las pruebas de evaluación . .	167
6.8. Trayectoria en función de las pruebas de evaluación utilizando distintos valores de γ_l	168
6.9. Trayectoria esperada en función de las pruebas de evaluación . .	170
6.10. Dos secuenciacines posibles del proceso de evaluación	173
6.11. Análisis comparativo trayectoria utilizando distinto peso relativo para las pruebas de evaluación	180
6.12. Análisis comparativo trayectoria esperada frente a trayectoria seguida en función de las pruebas de evaluación	180
6.13. Descomposición espectral del estado del alumno para cada prueba de evaluación	183
6.14. Estado esperado del alumno y margen de error (casos I, II y III)	185
6.15. Proyección del estado del alumno sobre los objetivos O_1 y O_2 . .	187

NOTACIÓN

Símbolo	Significado
$\bar{\alpha}$	Exhaustividad media de un proceso de evaluación
α_j	Exhaustividad con que se mide la consecución del objetivo O_j
β_j	Peso asignado al objetivo O_j
$\tilde{\beta}_j$	Peso estimado por el modelo para el objetivo O_j
γ_l	Peso asignado a la prueba de evaluación ξ_l
$\tilde{\gamma}_l$	Peso estimado por el modelo para la prueba de evaluación ξ_l
Γ	Número de recorridos alternativos que ofrece un curso
Δ	Incremento
ϵ	Fracción de objetivos no medidos en el proceso de evaluación
$\bar{\eta}$	Rendimiento medio obtenido
$\bar{\eta}_D$	Rendimiento medio demostrado en un proceso de evaluación
$\bar{\eta}_R$	Rendimiento medio real (teniendo en cuenta exhaustividad)
$\hat{\eta}$	Rendimiento medio esperado
Φ	Vector estado del alumno en función de las calificaciones obtenidas en cada prueba de evaluación
$\hat{\Phi}$	Vector estado esperado del alumno en función de las calificaciones obtenidas en las pruebas de evaluación
Φ_l	Estado del alumno en función de las calificaciones tras realizar la prueba de evaluación ξ_l
Ψ	Vector estado del alumno expresado en función del rendimiento en objetivos
$\hat{\Psi}$	Vector estado esperado del alumno en función del rendimiento en objetivos
$\hat{\Psi}_i$	Vector estado esperado del alumno en función del rendimiento en objetivos tras cursar la unidad didáctica C_i
ρ	Matriz densidad. Estado de un alumno cuando sólo se dispone de información parcial sobre su rendimiento
σ_j	Desviación típica obtenida en la distribución de rendimientos η_j de un conjunto de alumnos
ξ	Conjunto de pruebas de evaluación de un curso
ξ_l	Cada una de las pruebas de evaluación de un curso

Símbolo	Significado
---------	-------------

A	Operador aceleración
A	Conjunto de acciones docentes asociadas a un curso
A_i	Operador acción docente asociada a la unidad didáctica C_i
γA_i	Operador acción docente asociado a la unidad didáctica γC_i
B	Magnitud observable sobre el estado de un alumno
C	Vector de unidades didácticas de un curso
C_i	Unidad didáctica
γC_i	Unidad didáctica perteneciente al camino γ
c_{ij}	Importancia de la unidad C_i para la consecución del objetivo O_j
$\{c_{ij}\}$	Matriz caracterización espectral de las unidades didácticas
D	Operador desplazamiento
e_j	Vector unitario en el eje correspondiente al objetivo O_j
e_{lj}	Importancia de la prueba ξ_l para medir la consecución de O_j
$\{e_{lj}\}$	Matriz caracterización espectral de las pruebas de evaluación
E	Número de estados posibles en los que se puede encontrar un alumno
H	Espacio vectorial métrico y topológico que representa al alumno
I	Número de unidades didácticas de un curso
J	Número de objetivos de un curso
L	Número de pruebas de evaluación de un curso
m	Operador masa
n_l	Calificación obtenida en la prueba ξ_l
\hat{n}_l	Calificación esperada en la prueba ξ_l
\bar{n}	Calificación media obtenida
$\hat{\bar{n}}$	Calificación media esperada
O_j	Objetivo del curso
p_e	Probabilidad de encontrar al alumno en el estado Ψ_e
P_e	Proyector sobre el estado Ψ_e
P_j	Proyector sobre el objetivo O_j
p_γ	Número de unidades didácticas que componen el camino γ
r_{lj}	Fracción del objetivo O_j conseguida con la respuesta a la pregunta ξ_l
$\{r_{lj}\}$	Matriz caracterización espectral de las respuestas de evaluación
t_i	Duración asignada a la unidad didáctica C_i
\hat{t}_i	Duración estimada por el modelo para la unidad didáctica C_i
t_{total}	Duración total del curso
V	Operador velocidad

Capítulo 1

Introducción y objetivos

Las necesidades de la sociedad de la información unidas a los avances producidos en pedagogía y tecnología durante las últimas décadas han supuesto una revolución en la forma de entender el proceso educativo y de llevarlo a la práctica.

Entre los principales retos educativos de la sociedad actual se encuentran la formación permanente y la educación a distancia. La formación permanente supone una extensión del periodo de formación a toda la vida del individuo y viene a dar respuesta a la necesidad de nuevos conocimientos que surgen en una sociedad en continuo cambio. Por otra parte, la educación a distancia pretende resolver las limitaciones de tiempo y espacio de una sociedad que vive de prisa y se ha convertido en uno de los medios de transmisión del conocimiento más habituales en la sociedad actual.

Estos dos factores han contribuido considerablemente al aumento de la demanda educativa en los últimos tiempos, pero también han influido en que se produzca una pérdida de control sobre el proceso educativo. Por un lado, los cursos de reciclaje y formación continua escapan a la educación reglada. Esto hace que no exista un marco común que permita compararlos entre sí o determinar el nivel de competencia del alumno de acuerdo a unos criterios establecidos. Por otro lado, la formación a distancia supone una pérdida de contacto entre el alumno y el profesor y requiere de mecanismos de seguimiento que permitan controlar eficazmente la evolución del alumno.

Paralelamente a este cambio social, se han producido avances en pedagogía que han supuesto una evolución de los modelos de conocimiento, las técnicas didácticas y los roles del alumno y el profesor. De una educación centrada en el desarrollo cognitivo se ha pasado a una educación centrada en valores donde

además de conocimientos conceptuales y procedimentales se exige al alumno la adquisición de ciertas actitudes y habilidades que faciliten su forma de desenvolverse en una sociedad en continuo cambio. Esto ha hecho que proliferen técnicas didácticas como el aprendizaje basado en casos, aprendizaje basado en problemas o aprendizaje basado en proyectos que tienen en cuenta estas demandas.

El rol del alumno ha evolucionado para convertirse en el principal responsable de su propio aprendizaje. Para ello necesita formación que le permita aprender a construir su propio conocimiento. El rol del profesor también ha evolucionado. De ser un mero transmisor del conocimiento ha pasado a convertirse en un mediador del proceso de aprendizaje donde su principal responsabilidad no es enseñar correctamente sino que el alumno aprenda. Para conseguirlo, la atención del profesor ya no se centra únicamente en la elaboración y transmisión de unos contenidos que cubran los objetivos propuestos, sino que tiene que tener en cuenta la situación en la que se encuentra el alumno para diagnosticar sus necesidades y ritmos de aprendizaje y reconducirle al cumplimiento de dichos objetivos utilizando los recursos a su alcance.

Los avances en tecnología han introducido también cambios importantes en el desarrollo de los materiales y en la evolución de las interacciones que tienen lugar durante el proceso educativo. El aumento del parque de ordenadores y los dispositivos de almacenamiento han permitido enriquecer los materiales educativos con contenido multimedia y aumentar la capacidad de interacción del alumno con el contenido. Por otra parte, la aparición de Internet y la mejora de las redes de comunicaciones han facilitado la difusión de todos esos materiales y han contribuido a la introducción de nuevas formas de comunicación entre alumnos y profesores. Estas tecnologías han permitido además una mayor actualización de los contenidos educativos y un acceso fácil y rápido a materiales complementarios.

Todos estos avances en tecnología han contribuido a la proliferación de materiales educativos y de herramientas que dan soporte a la docencia y al aprendizaje. En este panorama tan complejo se ha hecho necesario la creación de estándares para facilitar la reutilización e interoperabilidad de toda la tecnología desarrollada para dar soporte a la educación.

Las disciplinas tales como filosofía, psicología, sociología, pedagogía, informática, telemática, etc. han estudiado hasta la fecha las interacciones que tienen lugar en el proceso educativo. Todas ellas coinciden en la necesidad de elaborar modelos para comprender cómo transcurren estos procesos y razonar más fácilmente sobre ellos detectando potenciales problemas y avanzando posibles soluciones.

Los cambios sociales, unidos a la evolución de la pedagogía y la tecnología, han revolucionado el mundo de la educación y han obligado a realizar una adaptación de todos los elementos que intervienen en el proceso: alumnos, profesores, contenidos y herramientas de apoyo.

Las implicaciones de todos estos cambios en el modelado de la práctica educativa son muchas y han supuesto un aumento considerable de la complejidad del panorama educativo. Los modelos que siempre han jugado un papel importante en la comprensión de los procesos de enseñanza-aprendizaje han pasado a ser una herramienta imprescindible para el seguimiento y control de la práctica educativa.

1.1. Motivación de la tesis

La complejidad creciente del panorama educativo, motivada por todos los cambios sociológicos, pedagógicos y tecnológicos descritos en la sección anterior, dificulta enormemente el proceso de observación, análisis y mejora de la práctica docente. A continuación se describen las principales necesidades derivadas de la situación actual, que plantean nuevos retos para la caracterización y diagnóstico de los procesos educativos, y que han servido como motivación para el desarrollo de esta tesis.

- Es necesario el uso de modelos para **abordar la complejidad** del proceso educativo especialmente en aquellas situaciones donde la pérdida de control es mayor como en el caso de la formación a distancia o en aquellas situaciones en las que el número de alumnos es muy alto.
- Los avances en pedagogía y el aprendizaje centrado en el alumno obligan a realizar un seguimiento más detallado de su evolución para adaptar la enseñanza a sus necesidades concretas. Este hecho contrasta con la pérdida de control mencionada en el apartado anterior. Es necesario proporcionar mecanismos que permitan **hacer un seguimiento** no sólo de la evolución del alumno sino del proceso educativo completo incluso en aquellas situaciones en las que el contacto alumno-profesor no es directo. Este seguimiento facilitaría el diagnóstico permitiendo detectar si las herramientas utilizadas, la secuenciación de contenidos o la forma en la que son presentados es adecuada, y permitiría por tanto, realizar análisis desde los que establecer medidas concretas para la mejora de la práctica educativa.

- Los avances en tecnología han favorecido un aumento considerable en la elaboración de software educativo. Principalmente en la elaboración de cursos on-line o en soporte CD-ROM. Es muy difícil evaluar la efectividad de estos cursos y compararlos. Es necesario proporcionar guías de procedimientos y mecanismos de evaluación, métricas o plantillas que permitan **evaluar comparativamente** el resultado de todas estas experiencias educativas.
- Se ha hecho un enorme esfuerzo en todo el mundo para la reutilización de material educativo entre diferentes cursos e instituciones, esto ha llevado al desarrollo de estándares que faciliten estas prácticas. En una sociedad donde la formación continua es una realidad cada vez más patente existe un enorme potencial en la reutilización de otras formas de información recogidas durante la práctica educativa, como son la información sobre el rendimiento de un alumno, y la efectividad de determinados materiales, técnicas didácticas o mecanismos de evaluación. Para **facilitar la reutilización**, tanto de los materiales educativos como de los resultados recogidos durante la práctica educativa, es necesario establecer los parámetros que permitan **caracterizar** cada uno de estos elementos.
- El intento de sistematización del estudio de la práctica educativa ha traído consigo la elaboración de diferentes modelos para describir cada uno de los elementos que constituyen un sistema de aprendizaje. Estos modelos vienen de diferentes disciplinas y cada uno de ellos se fija en una parte concreta del proceso educativo y no siempre proporcionan una descripción completa de la realidad que modelan. Esto impide en muchos casos la integración de dichos modelos en un **marco más general** y la obtención de **resultados cuantitativos**.

Todos los aspectos mencionados contribuyen a dibujar un panorama complejo. Las diferentes disciplinas tratan de abordar esta complejidad proponiendo modelos que se entremezclan para explicar las diferentes facetas del proceso educativo. En esta tesis se pretende contribuir a clarificar esta situación realizando una revisión y clasificación de los principales modelos utilizados hasta la fecha en pedagogía y tecnología, identificando sus objetivos, limitaciones y ámbitos de aplicación. Posteriormente se aborda el problema desde un nivel superior de abstracción, donde el proceso educativo se entiende como un conjunto de sistemas dinámicos en interacción. Se propone un modelo matemático que refleja esta nueva visión y permite analizar la evolución del estado de conocimiento de un alumno a lo largo de un curso. Finalmente se proporciona un caso de estudio para ilustrar la aplicación del formalismo al análisis de un curso real.

1.2. Objetivos

El principal objetivo de esta tesis es contribuir al modelado de procesos educativos mediante el desarrollo de **Educational Practice Model**, (en adelante **EPM**) un modelo matemático para la caracterización y diagnóstico de procesos educativos. Este objetivo fundamental se consigue a través de tres subobjetivos:

1. Realizar un estudio y clasificación de los modelos utilizados en educación desde el punto de vista de la pedagogía y la tecnología.
 - Concretar las definiciones de educación y currículum que se van a utilizar en el contexto de este trabajo y analizar los modelos asociados a ellas.
 - Revisar los principales modelos de conocimiento existentes
 - Analizar las necesidades desde el punto de vista de la tecnología de los diferentes actores que intervienen en el proceso educativo
 - Revisar los principales organismos de estandarización involucrados en el proceso educativo y analizar los estándares existentes clasificándolos en función de los elementos que modelan.
2. Proporcionar una extensión al modelo de Shannon que permita el estudio de los procesos educativos desde el punto de vista de un sistema de comunicación y facilite la interpretación del modelo EPM.
3. Formalizar el modelo EPM inspirándose en las últimas tendencias utilizadas para la representación de sistemas dinámicos en interacción. El modelo debe ser capaz de describir los diferentes elementos del proceso educativo como casos particulares de este tipo de sistemas. Proporcionar el desarrollo matemático para su aplicación al estudio de la evolución de un alumno en el contexto de un curso.

La principal meta de diseño para la elaboración del modelo es que sea suficientemente sencillo para facilitar su adopción y suficientemente potente para justificar su uso. Durante el desarrollo del modelo se cubrirán los siguientes aspectos:

- Proporcionar una descripción general de los elementos que intervienen en el proceso educativo definiendo los objetos matemáticos que los representan.

- Describir los estados del sistema sobre los que se tenga incertidumbre.
 - Proporcionar mecanismos de análisis que permitan la detección y diagnóstico de problemas educativos y faciliten la propuesta de soluciones y la reutilización de resultados.
4. Aplicar el modelo EPM a un curso real. Con esta aplicación se pretende por un lado demostrar la validez del modelo para el análisis del diseño e impartición de un curso y por otro, proporcionar un caso de estudio que pueda servir como guía para la aplicación del modelo.

1.3. Plan de trabajo

La metodología seguida para conseguir los objetivos propuestos en la tesis ha sido la siguiente:

1. Revisión de los conceptos de educación y currículum y estudio de la evolución de los modelos de conocimiento utilizados en pedagogía para comprender el proceso educativo.
2. Identificación de las principales necesidades de cada uno de los colectivos que intervienen en el proceso educativo y cómo afectan al desarrollo de herramientas y estándares educativos.
3. Estudio de los principales estándares desarrollados para modelar el proceso educativo. Clasificación de los mismos en función de la realidad que modelan, estudio de las características comunes de estos modelos y las necesidades que tienen en cuanto a su representación.
4. Extensión del modelo de Shannon para su adaptación a la descripción de procesos educativos.
5. Formalización matemática del modelo EPM. Aplicación a la descripción de la evolución del estado de conocimiento de un alumno durante la realización de un curso.
6. Estudio de las aplicaciones del modelo EPM como mecanismo de representación y de su potencia para facilitar las labores de diseño, evaluación, análisis diagnóstico y reutilización de resultados.
7. Aplicación del modelo propuesto a un caso de estudio y discusión de los resultados obtenidos.

1.4. Estructura de la memoria

En el capítulo 2 se describe el contexto en el que se ha desarrollado esta tesis y se revisan y clasifican los principales modelos pedagógicos y tecnológicos utilizados para describir la práctica educativa.

En el capítulo 3 se propone una extensión al modelo de comunicación de Shannon para proporcionar una visión de la educación en un nivel de abstracción intermedio entre la realidad que se quiere representar y el modelo matemático propuesto.

En el capítulo 4 se presentan las ideas fundamentales que han servido como inspiración a este trabajo y se desarrolla el modelo matemático EPM que permite caracterizar la evolución del estado de un alumno durante la realización de un curso.

En el capítulo 5 se discuten las principales aplicaciones del modelo y se presentan mecanismos para la caracterización, análisis, diagnóstico y evaluación del proceso educativo.

La exposición del modelo se completa en capítulo 6 mediante el desarrollo de un caso de estudio que ilustra su aplicación al análisis de un curso real.

Finalmente en el capítulo 7 se exponen, a modo de conclusión, las principales contribuciones y líneas de trabajo futuro.

Capítulo 2

Estado de la cuestión

La demanda educativa de la sociedad actual, unida a la constante evolución de la pedagogía y la tecnología, hacen de la práctica educativa una realidad en continuo cambio que resulta difícil de describir.

Para abordar el problema de la representación de procesos educativos, es necesario realizar un estudio previo de la evolución que han sufrido los modelos que se han utilizado hasta la fecha para acercarse a la comprensión de estos procesos.

Del análisis de estos modelos se desprenden las necesidades que es preciso cubrir para la elaboración de un marco general de representación que permita describir el proceso educativo desde un punto de vista más abstracto, facilite la integración de los modelos existentes y permita la obtención de resultados cuantitativos.

En este capítulo se estudian los principales modelos utilizados en pedagogía y tecnología para la representación de la práctica educativa. En la sección 2.1 se describen los proyectos que se han realizado en paralelo al desarrollo de esta tesis y que han permitido experimentar directamente la evolución de la pedagogía y la tecnología en los últimos años. En la sección 2.2 se estudian los modelos relacionados con las definiciones de educación y de currículum y los que describen los procesos cognitivos que tienen lugar durante el proceso de aprendizaje. En la sección 2.3 se tratan los modelos utilizados por las herramientas de apoyo a la docencia y el estado actual de los estándares asociados. Por último, en la sección 2.4 se resumen las principales conclusiones extraídas del análisis del estado del arte que servirán como requisitos de diseño para el desarrollo del modelo EPM.

2.1. Contexto de la tesis

Esta tesis se ha realizado en el marco de varios proyectos de investigación que han contribuido a la comprensión y el análisis del estado del arte. También se ha realizado en este periodo una estancia en la Universidad Técnica de Munich mediante una acción integrada entre España y Alemania. Por todo ello se ha decidido agrupar todos estos trabajos en una sección previa que permita contextualizar las condiciones en las que se ha abordado el estudio del estado del arte. La estancia en Alemania y dos de los proyectos están relacionados con la tele-educación y los otros dos con el periodismo electrónico. A continuación se describe brevemente cada uno de los proyectos y se analiza cronológicamente en cuatro etapas su influencia en el desarrollo de esta tesis.

En el proyecto **SEBASTIÁN** (CAM 07T/0015/19) [101] el objetivo era desarrollar una herramienta educativa basada en tecnología Internet. La función principal de esta herramienta era facilitar al profesor la labor de creación y distribución de cursos que pudieran ser seguidos de forma personalizada según los conocimientos previos, aptitudes e intereses del alumno.

En el proyecto **INTEND** (NSF IIS 9811568) [61] el objetivo era investigar formas de mejorar el rendimiento de equipos de ingenieros distribuidos geográficamente trabajando en un proyecto común y analizar la utilidad de la herramienta de trabajo colaborativo utilizada como soporte para la comunicación e intercambio de información entre los miembros del equipo.

En el proyecto **PERIOTRÓNICO** (CICYT TEL97-0788) [89] el objetivo era desarrollar un periódico electrónico personalizado en el que las opciones de personalización permitieran al usuario adaptar tanto el contenido como la presentación a sus necesidades.

En el proyecto **INFOMEDIA** (CICYT TEL 1999-0207) [59], que supone la continuación del proyecto Periotrónico, se introduce el estándar NewsML [62] que es un lenguaje desarrollado por el IPTC para la descripción de contenido periodístico y se extienden las capacidades de personalización para permitir su presentación en múltiples dispositivos tales como ordenador, teléfono móvil, PDA, etc.

La estancia en el **Institut Für Informatik** de la Universidad Técnica de Munich se hizo mediante una acción integrada entre el departamento de Telemática de la Universidad Carlos III de Madrid [63] y el grupo de Informática Aplicada y Sistemas Cooperativos de la Universidad Técnica de Munich [60]. Durante cuatro semanas se realizó un estudio de las aplicaciones de XML, XSL, XLL y SMIL en entornos educativos, se analizaron los estándares exis-

tentes hasta el momento, especialmente LTSA y LOM y se probaron varias herramientas para el manejo de documentos basados en XML.

2.1.1. La tecnología al servicio de la educación

Esta primera etapa, corresponde al trabajo realizado en las primeras fases del proyecto Sebastián. Este trabajo supuso un primer acercamiento al estudio de las implicaciones de la introducción de la tecnología Internet en el mundo de la educación. Una de las principales conclusiones extraídas durante esta etapa fue que los cambios introducidos por la tecnología no sólo afectan a los recursos materiales involucrados, sino también a los procesos cognitivos, es decir, a las formas en las que el individuo procesa el conocimiento. Esto hizo reflexionar sobre la necesidad de estudiar la práctica educativa no sólo desde el punto de vista de la tecnología sino también desde el punto de vista de la pedagogía. Durante este periodo se revisaron los principales modelos de conocimiento y el uso que se hacía de ellos en las herramientas educativas. También en esta fase se exploraron nuevas formas de presentación de contenido educativo como son las metáforas y los montajes multimedia. En [40] se describe una metáfora desarrollada para la presentación de contenidos en el marco del proyecto Sebastián, que pretende facilitar la forma en que los alumnos se orientan en el uso de las herramientas educativas.

2.1.2. Análisis de un caso real

Esta segunda etapa corresponde al trabajo realizado durante el proyecto INTEND. Este proyecto sirvió como entorno de experimentación donde se pudieron analizar algunos aspectos relacionados con los problemas del aprendizaje colaborativo. La situación analizada consistió en la colaboración entre estudiantes de la universidad Carlos III y estudiantes de la universidad de Michigan para la realización de un proyecto de ingeniería común. La experiencia adquirida durante la realización de este proyecto permitió contrastar en la práctica dos de las ideas fundamentales sobre el proceso educativo que sirvieron de base para el desarrollo del modelo EPM.

La primera es la necesidad de mantener una coherencia en el proceso de diseño de una experiencia educativa entre los objetivos que se pretende conseguir, el tiempo dedicado a cada uno de ellos y los criterios de evaluación con los que se va a medir su consecución. Si estos factores, inherentes a cualquier proceso educativo, no son coherentes entre sí el resto de los elementos tecnológicos introducidos no pueden suplir estas carencias.

La segunda es la forma en la que el proceso de evaluación afecta al sistema que se quiere evaluar. En el caso de estudio se observó, por ejemplo, como la forma de comunicación entre los diferentes miembros del equipo de trabajo era completamente distinta dependiendo de si los alumnos eran o no conscientes del registro de esta interacción.

2.1.3. XML: Modelado y Personalización

Esta tercera etapa corresponde a la estancia en la Universidad Técnica de Munich y al trabajo realizado durante los proyectos Periotrónico, Sebastián e Infomedia y está fuertemente relacionada con el estudio del estándar XML [117] y algunas de sus aplicaciones: la creación de lenguajes de marcado, la personalización de contenido y la transformación de documentos entre distintos formatos. Esta tercera etapa transcurrió en tres fases.

La primera fase corresponde con la aparición en 1998 del estándar XML. En esta etapa, en la que aún no había proliferado el desarrollo de lenguajes basados en XML, se realizó un estudio en detalle del estándar y de sus posibilidades para la creación de lenguajes de marcado. Se participó en la elaboración de dos lenguajes: JML para la descripción de contenido periodístico dentro del proyecto Periotrónico y EML para la descripción y presentación de contenido educativo dentro del proyecto Sebastián. El conocimiento sobre el lenguaje XML adquirido durante esta fase facilitó el estudio posterior de los estándares relacionados con el modelado de los diferentes elementos de la práctica educativa que se mencionan en la sección 2.3.

En una segunda fase, el uso de XML en los dos proyectos mencionados, nos hizo reflexionar sobre la estructura interna de los documentos en formato electrónico y sobre la necesidad de separar el contenido de la presentación, la navegación y del comportamiento del documento en su interacción con el usuario. Esta separación permite gestionar de forma independiente la personalización de cada uno de estos elementos. La separación de los diferentes tipos de personalización es uno de los factores que contribuyó a la introducción, en el modelo de comunicación propuesto en el capítulo 3, de la separación entre la codificación semántica (relacionada con la comprensión de los contenidos) y la codificación técnica (relacionada con las preferencias del alumno en cuanto a presentación)

En la tercera fase se trabajó en la utilización de XSLT [22] como mecanismo para la transformación de los documentos XML en otros formatos. Este mecanismo fue clave para comprender las dificultades de integración del conjunto de estándares que modelan un mismo elemento. En particular, el uso de XSLT en

los proyectos Periotrónico e Infomedia facilitó la integración de los lenguajes utilizados en el marco de estos proyectos con los estándares emergentes como NewsML [62].

Las principales conclusiones extraídas de la aplicación de XML a los proyectos Periotrónico, Sebastián e Infomedia se han presentado en jornadas y congresos nacionales [70], [71], [34], [74], [38], [94], congresos internacionales [36], [73], [72], [97], [19] y revistas [37] y [105].

2.1.4. Implementación

Durante el desarrollo de los proyectos Sebastián, Periotrónico e Infomedia se desarrollaron varias herramientas basadas en el uso de XML. Las principales funciones de estas herramientas eran: la caracterización de contenido, la presentación en distintos formatos y distintos dispositivos, la conversión entre formatos y la personalización de contenido en función de las características o preferencias del usuario.

En el contexto del proyecto Sebastián se realizaron varios prototipos para la presentación de metáforas y montajes multimedia como los que se describen en [40] y [41]. También se desarrolló una herramienta de apoyo a la docencia que facilitaba la creación de contenidos basados en XML y su personalización en función del perfil del estudiante, su nivel de conocimiento y sus preferencias de presentación. Las características de esta herramienta se describen en [19], [17] y [18].

En el contexto de los proyectos Periotrónico e Infomedia además de la realización de herramientas de personalización y presentación se trabajó en la caracterización y catalogación de materiales ya existentes para facilitar su búsqueda, reutilización y personalización. En este sentido se crearon herramientas tanto para la caracterización automática o semiautomática de contenido pre-existente [86] como para la edición manual de nuevos contenidos [106]. Esta última herramienta permite además la importación, conversión y exportación de documentos en diferentes formatos.

Todos los prototipos realizados durante el desarrollo de estos proyectos han servido para estimar la dificultad del desarrollo de modelos de contenido y de usuario, la creación de lenguajes que soporten estos modelos y la integración de los lenguajes diseñados con los lenguajes pre-existentes y los estándares de facto desarrollados posteriormente. También han permitido abordar las dificultades de catalogación, personalización y presentación de contenido multimedia.

La presentación de estos prototipos en congresos nacionales e internacio-

nales ha permitido comprobar la enorme oferta de materiales educativos y herramientas de soporte a la docencia existentes, así como la dificultad de establecer criterios que permitan evaluarlos comparativamente.

2.2. Modelos en Pedagogía

En esta sección se engloban bajo el nombre “modelos pedagógicos” todos aquellos modelos que han sido utilizados en el mundo de la pedagogía y que giran en torno a los conceptos de **educación**, **currículum** y **modelo de conocimiento**.

El concepto de educación permite identificar los rasgos característicos del proceso educativo: intención, acción, efecto, proceso y sistema. El currículum articula la forma en que la educación se lleva a la práctica (determinantes curriculares, objetivos, métodos de enseñanza-aprendizaje, evaluación, etc.) y engloba tanto la planificación de la educación como el análisis y la evaluación de la práctica real. Por último los modelos de conocimiento describen diferentes formas de entender el aprendizaje e influyen en el papel que juegan el sujeto docente y discente en el aprendizaje así como en el desarrollo del currículum educativo. A continuación se describen en detalle cada uno de estos puntos.

2.2.1. Concepto de educación

El concepto de educación ha evolucionado mucho a lo largo del tiempo [95], [75], [87]. Para este estudio se parte del concepto de educación propuesto por Castillejo [20] que además de reflejar el carácter intencional del proceso educativo permite tratar la educación desde varios puntos de vista: como interacción, como proceso y como sistema:

Definición 2.2.1 (Educación). *La educación es una acción y un proceso intencional, continuo y sistemático de perfeccionamiento de la persona en cualquiera de sus dimensiones (intelectual, física, estética, profesional, ética, ...).*

Uno de los aspectos que más investigación han suscitado en el mundo de la pedagogía ha sido el análisis sistémico de la educación, en particular su estudio como sistema de comunicación. Son muchos los autores que han utilizado esta perspectiva [110]. Todos ellos se basan en el modelo original propuesto por Shannon [102] en el que se explica la comunicación como un proceso mediante el cual se produce un intercambio de información entre un emisor y un receptor

mediante un mensaje a través de un canal de comunicación y según un código conocido por ambos.

La teoría expuesta por Shannon hace referencia a los problemas técnicos de la comunicación pero no a los problemas humanos. Esta nueva perspectiva fue introducida un año más tarde por Weaver [113] lo que permitió aplicar el concepto de sistema de comunicación a un campo más amplio pero sólo desde un punto de vista cualitativo. Para Weaver la comunicación es un procedimiento mediante el cual un mecanismo o individuo produce un efecto sobre otro. Esta visión introduce en el sistema la consideración de dos nuevos problemas. El **problema semántico** que hace referencia a la diferencia entre las interpretaciones del significado del mensaje por parte del emisor y el receptor y el **problema de la efectividad** que hace referencia a las diferencias entre el efecto producido en el receptor y el efecto deseado.

La comunicación educativa tiene características importantes que lo diferencian de otros procesos de comunicación humana, en [32] se propone un modelo de comunicación extendido que refleja algunas de estas características y permite representar tareas propias del proceso educativo. En el capítulo 3 se desarrolla el modelo de comunicación propuesto.

Aunque los modelos basados en la educación como sistema de comunicación parten de un modelo matemático [102] su aplicación al mundo de la educación se hace sólo desde un punto de vista cualitativo lo que no permite obtener resultados cuantificables.

La descripción de los dos problemas principales (el problema semántico y de efectividad) requieren caracterizar las diferencias entre el estado esperado y el estado observado del alumno. Estos dos problemas al no aparecer en el modelo inicial de Shannon no tienen una representación matemática dentro de los modelos estudiados.

Un modelo global para la representación de la educación, además de reflejar todas las características de las definiciones aceptadas (intencionalidad, acción, proceso y sistema), debe ser capaz de proporcionar una representación explícita que permita caracterizar el estado de un alumno, establecer las diferencias entre el estado observado y el estado esperado y realizar análisis comparativos sobre la efectividad de diferentes procesos educativos para la modificación de dicho estado.

Uno de los principales problemas a los que se enfrenta una representación de este tipo es el carácter subjetivo de la realidad que se pretende modelar. Una representación explícita debe ser capaz de manejar la incertidumbre asociada a la observación de realidades complejas (p.e. el estado de conocimiento de un

alumno) que no se pueden determinar con absoluta precisión.

2.2.2. Concepto de currículum

Una vez definido el concepto de educación es necesario indicar cómo llevarlo a la práctica. La planificación de la práctica educativa se refleja habitualmente en un documento denominado **currículum educativo** que responde a las preguntas qué enseñar, cómo y porqué. El concepto de currículum también ha evolucionado a lo largo del tiempo [96] y existen muchas formas de entenderlo dependiendo del modelo de conocimiento subyacente y el papel asignado al alumno y al profesor en el proceso, de la relación teoría-práctica, etc. Para este estudio se ha utilizado la acepción de currículum propuesta en la Logse [67] para nuestro sistema educativo.

Definición 2.2.2 (LOGSE: Currículum). *Se entiende por currículum el conjunto de objetivos, contenidos, métodos pedagógicos y criterios de evaluación de cada uno de los niveles, etapas, ciclos, grados y modalidades del sistema educativo que regulan la práctica docente.*

Esta definición, dada en principio para la educación formal (reglada), es extensible a la educación no formal y al aprendizaje automático eliminando las referencias al sistema educativo (señaladas en negrita en la definición).

Entre los componentes del currículum se pueden distinguir los siguientes [12]: determinantes curriculares, objetivos, método de enseñanza, recursos, evaluación del rendimiento y evaluación del currículum. Por evaluación del rendimiento se entiende la valoración del grado de cumplimiento por parte del alumno de los objetivos de aprendizaje propuesto, mientras que la evaluación del currículum hace referencia a la valoración de la efectividad del proceso educativo en su conjunto y las decisiones tomadas para mejorarla.

No se utilizan en general modelos globales asociados al currículum en su conjunto, normalmente se definen modelos genéricos asociados a disciplinas concretas o modelos particulares asociados a algunos de los componentes curriculares.

Los **modelos asociados a disciplinas concretas** suelen estructurarse en forma de guías didácticas y secuenciaciones de contenido para enseñar determinadas materias. Entre este tipo de modelos cabe destacar en el campo de Computer Science ACM curricula guidelines [1] así como iniciativas europeas respaldadas por el CEN como ICT curricula for the 21st century [107]

Los modelos asociados a determinados componentes curriculares

no suelen ser especificaciones o modelos formales sino que se estructuran normalmente en forma de taxonomías o inventarios que se ponen a disposición de la comunidad educativa por medio de portales como GEM [44] en Estados Unidos, Schoolnet [100] en Europa o EdNA [28] en Australia. Entre las taxonomías más utilizadas cabe citar las siguientes: taxonomías de objetivos como la de Bloom [14] o el ciclo de Kolb [65]; inventarios de técnicas didácticas como el propuesto por el TEC de Monterrey [64]; inventarios de patrones pedagógicos como los que aparecen en el portal “The pedagogical patterns project” [90] o los desarrollados para enseñar programación orientada a objetos [103], inventarios de estilos de aprendizaje como los propuestos por Richard Felder [33] (uno de los más utilizados), el de Pask [88], Honey y Mumford [48] y Dunn & Dunn [46]; inventarios de técnicas de aprendizaje que se concretan normalmente en documentos sobre técnicas de estudio que se pueden encontrar en la mayoría de los portales educativos. Algunos portales como LSDA [68], o el centro para la investigación de la universidad de Michigan CRLT [23] además de proporcionar este tipo de herramientas disponen de soporte adicional para utilizarlas.

Un marco general para la representación de procesos educativos debe ser capaz de reflejar cada uno de los elementos que describe el currículum para la planificación y evaluación de la práctica educativa. Para ello debe ser suficientemente flexible para permitir la representación de sistemas de aprendizaje definidos mediante diferentes inventarios de objetivos, técnicas didácticas, estilos de aprendizaje, patrones pedagógicos, etc.

Del mismo modo, debe ser capaz de reflejar de forma equivalente secuenciaciones de contenido asociadas a materias concretas, permitiendo una representación que ofrezca varios caminos alternativos para adaptarse a diferentes situaciones educativas (varios perfiles de aprendizaje, diferencias de nivel, etc.)

2.2.3. Modelos de conocimiento

En este apartado se describen las dos corrientes más importantes dentro de los modelos de conocimiento: conductismo y cognitivismo. Ambas surgen como una reacción a las teorías asociacionistas de G. Wundt y han producido importantes contribuciones a la teoría del aprendizaje y a la psicología educativa como las propuestas por Skinner (aprendizaje conductista), Ausubel (aprendizaje significativo), Bruner (aprendizaje por descubrimiento) y Novak (aprendizaje constructivista). En el desarrollo de estas teorías han sido de gran importancia las aportaciones experimentales de E. Thorndike sobre la motivación y Paulov y la escuela rusa sobre el funcionamiento del reflejo condicionado.

Una descripción más detallada de todos estos paradigmas se puede encontrar en [98].

Asociacionismo

Esta teoría concibe el aprendizaje como el resultado de la formación de conexiones (asociaciones) entre estímulos y respuestas observables, es decir interpreta el aprendizaje como la formación de hábitos. En el campo experimental uno de los psicólogos que más contribuyeron al desarrollo de esta teoría fue el norteamericano E. Thorndike que desarrolló las tesis de Pavlov, enunció la teoría de aprendizaje por ensayo y error y fue uno de los primeros en atribuir importancia a la motivación en el aprendizaje. También introdujo el concepto de transferencia que hace referencia a la la facilidad de afrontar nuevos problemas cuando estos tienen características similares a los ya resueltos.

Conductismo

El conductismo parte de los principios asociacionistas que relacionan los conceptos de estímulo y respuesta y trata de analizar, predecir y controlar la conducta humana. En la psicología conductista el concepto clave es el condicionamiento aunque cabe distinguir entre dos tipos de condicionamiento, el condicionamiento clásico (Pavlov y la escuela rusa) y el condicionamiento operante propuesto por B.F. Skinner. El **condicionamiento clásico** nace de la noción de reflejo y para que se produzca el aprendizaje es necesaria la presencia de un estímulo condicionado que esté presente siempre que se produzca la actividad. Si ese estímulo condicionado es constante el individuo aprenderá a responder a él del mismo modo que lo haría si existiera el estímulo natural. El **condicionamiento operante**, sin embargo se produce en ausencia de estímulos y se basa en el concepto de refuerzo. Las conductas que tienen una respuesta placentera tienden a repetirse. Es decir las conductas se refuerzan o se extinguen en función de sus consecuencias.

Las teorías conductistas por lo general se aplican para el aprendizaje de automatismos, hábitos de conducta y conocimientos memorísticos. Las técnicas de refuerzo positivo y negativo del conductismo operante se utilizan mucho para generar hábitos de conducta.

En los últimos años se ha utilizado frecuentemente como método de realimentación en ejercicios de auto-evaluación donde se asocia la respuesta correcta o incorrecta a un sonido (agradable o desagradable) o a ciertos mensajes de ánimo. Estos mecanismos sacan gran partido de las nuevas tecnologías como

Javascript y JSP (Java Server Pages) que permiten capturar el comportamiento del usuario y presentar realimentación de forma inmediata sin necesidad, muchas veces de acceder de nuevo al servidor.

Cognitivismo

Las teorías cognitivas parten del Gestaltismo o Psicología de la Forma que se desarrolló principalmente en Alemania a principios del siglo XX. El cognitivismo entiende el aprendizaje como un proceso más complejo que el esquema descrito por los conductistas. Estiman que el aprendizaje es el resultado de una reorganización de percepciones y de la formación de nuevas relaciones como resultado de la experiencia. La psicología cognitiva se ocupa del estudio de los procesos de conocimiento incluyendo las distintas funciones de la mente. Plantea dos problemas fundamentales, por un lado la elaboración de un modelo de la complejidad de la mente y por otro la descripción de cada uno de sus componentes.

Algunos de los fenómenos más analizados son el pensar, el procesado de la información y la resolución de problemas. La mayoría de los modelos aplicables a la teoría cognitiva proceden de las propuestas de la Teoría de Procesamiento de la información de Shannon [102], de la psicofisiología y de la neurología.

Existen muchos modelos derivados de la teoría cognitiva, a continuación se describen los tres más utilizados: aprendizaje significativo, el aprendizaje por descubrimiento y el aprendizaje constructivista.

Aprendizaje significativo

Su máximo exponente es D. Ausubel. Esta teoría se basa en el procesamiento mental que realiza el alumno de la información recibida por el profesor y el establecimiento de relaciones con el conocimiento previamente adquirido.

El alumno procesa la información que recibe mediante la recepción de señales físicas que luego asimila y memoriza. El alumno explora los conocimientos nuevos y los incorpora a lo que ya sabe. Para ello utiliza los siguientes principios mentales: la reconciliación integradora (síntesis de proposiciones en un principio más general), la subsunción (ordenación de ideas en otras pre-existentes) y la consolidación (asimilación de conceptos mediante la aplicación práctica y la ejemplificación).

Una de las principales características de este tipo de aprendizaje es el carácter expositivo de la enseñanza que se basa en la existencia de una estruc-

tura lógica del contenido a aprender. El proceso comienza con la propuesta de un organizador previo (contenido introductorio) a partir del cual el profesor proporcionará a los alumnos contenidos con sentido, organizados y secuenciales. Un ejemplo de este tipo de aprendizaje es la elaboración de un mapa conceptual.

Este tipo de presentación resulta muy útil para dar una visión general de conjunto de lo que se quiere explicar y es frecuente en los tutoriales que acompañan a las herramientas de software en forma de visita guiada por sus principales características.

Aprendizaje por descubrimiento

Es un refinamiento del aprendizaje significativo y se debe principalmente a las teorías de J. Bruner. El aprendizaje por descubrimiento se caracteriza por la presentación de secuencias a partir de las que el alumno pueda inducir un principio general y por el aprendizaje mediante ensayo y error. Esta forma de ver la enseñanza es opuesta al aprendizaje memorístico. Entre sus ventajas destaca que es un aprendizaje motivador, que favorece la maduración del estudiante y facilita la transferencia a otras situaciones. Entre sus inconvenientes destaca que requiere mucho tiempo, que en algunos estudiantes no existe la motivación inicial y que algunos alumnos pueden llegar a conclusiones erróneas.

El modelo de aprendizaje por descubrimiento es el que utilizan las herramientas de simulación tales como simuladores de vuelo, tutoriales médicos, etc. y pretenden que el alumno aprenda de su propia experiencia.

Aprendizaje constructivista

El constructivismo es uno de los modelos más defendidos por la pedagogía en los últimos tiempos. Esta teoría se debe principalmente al trabajo de Novak. Para Novak el conocimiento es un proceso de construcción interna, de reorganización cognitiva de los modelos mentales utilizados por el estudiante. Este conocimiento se construye a partir de la experiencia y los conocimientos previos mediante el cambio conceptual.

El modelo constructivista es de difícil aplicación en los entornos educativos actuales en los que el contacto profesor-alumno no siempre es directo. El constructivismo se basa fundamentalmente en el cambio de los modelos de conocimiento del alumno. Esto requiere un gran esfuerzo de recogida de información previa del estudiante para detectar el modelo previo (bien directamente

sobre un alumno concreto o bien a través de la experiencia docente del profesor con distintos alumnos). Esta información no siempre es fácil de recoger, especialmente cuando el alumno y el profesor están separados en tiempo y espacio o cuando el número de alumnos es elevado, y no siempre está disponible cuando la materia a impartir es novedosa.

Ninguna de las teorías descritas hasta ahora es capaz de explicar por sí sola todos los procesos de aprendizaje. Cada una tiene sus aportaciones y limitaciones. En los sistemas de aprendizaje actuales se pueden encontrar métodos didácticos (tutoriales, simulaciones, micro-mundos, etc.) que se adaptan a diferentes visiones pedagógicas (transmisión-recepción, aprendizaje por descubrimiento, conductismo o constructivismo).

Los modelos de conocimiento describen diferentes formas de entender el aprendizaje que influyen directamente en la forma en que se definen los roles del profesor, el alumno y el currículum en el proceso educativo.

Un marco general para describir el proceso educativo debe ser suficientemente flexible para representar situaciones educativas basadas en los diferentes modelos. Además debe simplificar el proceso de recogida, almacenamiento y reutilización de la información del estudiante para facilitar la aplicación de los métodos pedagógicos más modernos (constructivismo) que requieren un mayor control sobre la práctica educativa.

2.3. Modelos en tecnología

La evolución en las herramientas y las redes de comunicaciones han hecho que durante las últimas dos décadas hayan proliferado sistemas telemáticos de todo tipo orientados a la enseñanza y el aprendizaje de cualquier tipo de disciplina. Esos sistemas difieren entre sí enormemente desde su concepción hasta las tecnologías implicadas en su desarrollo y utilización.

Los modelos utilizados en tecnología dibujan un panorama bastante complejo que ha puesto de manifiesto las necesidades de los diferentes colectivos que participan en el mercado de la educación y su influencia en los procesos de estandarización.

En la actualidad las diferentes organizaciones para la estandarización junto con algunas de las empresas del sector y otros organismos educativos trabajan en distintas iniciativas para llegar a un modelo genérico de arquitectura y un conjunto común de interfaces, modelos de datos y mecanismos de interacción que permitan a las diferentes plataformas educativas interoperar entre sí e in-

tercambiar información sobre los contenidos, alumnos, información de gestión, etc.

A continuación se describe el panorama actual indicando cuáles son las prioridades de estandarización, cuál es la situación actual de los estándares y cuáles las organizaciones involucradas en el desarrollo de cada uno de ellos. Por último, se dedica una sección a los esfuerzos de implementación y difusión de material educativo realizados por el MIT (Massachusetts Institute of Technology) en los últimos años debido a su enorme impacto en la comunidad educativa.

2.3.1. Necesidades de los usuarios

Las necesidades para los diferentes colectivos identificadas por los principales organismos de estandarización son:

- Creadores de contenido. Los creadores de contenido necesitan herramientas que faciliten la creación multimedia de recursos. Es importante además proporcionar mecanismos que aseguren la calidad y permitan representar y documentar el contenido creado.
- Proveedores de contenido (intermediarios entre el creador de contenido y los usuarios). Demandan la posibilidad de incluir contenido en un sistema de aprendizaje y proporcionar información adicional que describa ese contenido de forma estándar en varios idiomas. Un aspecto importante es la posibilidad de que dicho contenido y los metadatos que lo acompañan puedan ser reutilizados en otros sistemas de aprendizaje.
- Usuarios intermedios. Demandan la posibilidad de pre-seleccionar el contenido para los usuarios finales y estructurarlo y comentarlo de acuerdo a sus necesidades particulares. Este contenido estructurado será entregado más tarde a los estudiantes. Este proceso deber estar establecido de forma que pueda ser realizado por personas o por agentes software. Del mismo modo deben proporcionarse mecanismos que permitan hacer un seguimiento del progreso del estudiante.
- Los usuarios finales necesitan herramientas que les permitan crear contenido por sí mismos, participar en el proceso de aprendizaje, comunicarse con otros usuarios o buscar contenidos adicionales. Es necesario que todos estos contenidos sean accesibles desde un navegador web o puedan ser descargados para permitir el acceso sin conexión a la red. Otro de los

requisitos de los usuarios finales es que los sistemas desde los que acceden puedan prestarle asistencia inteligente para la realización de estas tareas.

- Los gestores necesitan herramientas para la facturación y el comercio electrónico.

La mayoría de las herramientas comerciales proporcionan casi todos estos servicios. Hay organismos como EduTools [29], que se encargan de elaborar periódicamente una comparativa de la funcionalidad ofrecida por las diversas herramientas.

Las herramientas de soporte más utilizadas en la actualidad son WebCT [114] y Blackboard [13] a nivel comercial. El principal problema que presentaban estas herramientas en un principio era su escaso soporte a los estándares educativos. Esta situación ha cambiado en los últimos años y han aparecido nuevas versiones que soportan la mayor parte de las especificaciones de IMS [52] y SCORM [3].

2.3.2. Necesidad de estandarización

La industria educativa mueve en el mundo millones de dólares por año. Gran parte de la inversión se realiza en tecnologías de la información y su integración en los entornos de aprendizaje. Existe una gran variedad de factores que hacen el mercado de la educación tan complejo. Los estudiantes pueden ser de educación reglada o no reglada, niños o adultos, accediendo siempre desde un mismo punto o desde distintos terminales de diversa naturaleza. Los entornos pueden ser puestos individuales, redes locales, Internet. El curso puede impartirse localmente o a distancia, de forma síncrona o asíncrona, de forma individual o utilizando aprendizaje colaborativo, etc. Toda esta riqueza de posibilidades hace imprescindible la elaboración de estándares internacionales para permitir la interoperatividad.

Las áreas más demandadas por el mercado para su estandarización son las siguientes:

- Vocabularios y taxonomías. Son necesarios para fijar una terminología comprensible por usuarios y máquinas. Deben adaptarse a las necesidades de los diferentes países y dominios de conocimiento.
- Arquitecturas. Es necesaria la estandarización de la arquitectura de un sistema educativo a varios niveles y desde varias perspectivas. Es importante la identificación de sus componentes y de los flujos de información entre ellos.

- **Sistemas de gestión.** Es necesario estandarizar la forma en que se implementa la comunicación entre los diferentes componentes definidos en la arquitectura (contenido educativo, estudiantes, plataformas, etc.)
- **Contenido educativo.** Es necesario crear estándares que permitan su catalogación y localización. También son necesarios mecanismos para estructurar internamente el contenido y permitir su agrupación con otros contenidos para formar entidades más complejas.
- **Información del estudiante.** Es necesario crear estándares para los distintos tipos de información disponible: identificación del usuario, métricas sobre su rendimiento, su currículum, preferencias, objetivos, etc.
- **Mecanismos de evaluación.** Los distintos colectivos demandan la existencia de tecnologías que permitan la reutilización de la información de evaluación entre plataformas, la elaboración de preguntas, la evaluación automática o semi-automática, así como mecanismos universales de certificación y sistemas de acreditación.
- **Mecanismos de soporte para el aprendizaje colaborativo.**

2.3.3. Principales iniciativas de estandarización

Durante los últimos años diferentes organizaciones han ido liderando distintas iniciativas para tratar de poner un poco de orden a complejidad de las tecnologías relacionadas con la educación. A continuación se describen en orden cronológico algunas de las más importantes.

- **AICC (1988) [4].** Organización internacional que surgió inicialmente enfocada a las necesidades de la industria de la aviación aunque con el tiempo las especificaciones elaboradas por esta organización han sido aplicadas en general para toda la comunidad educativa independientemente del dominio de aplicación.
- **DCMI (1995) [24].** Iniciativa a nivel internacional que surgió como una propuesta de Dublin Core para describir recursos educativos que facilitarían la interoperatividad entre plataformas.
- **ARIADNE (1996) [8].** Proyecto europeo de investigación (RTD) perteneciente al IV programa marco cuyo principal propósito es el desarrollo de herramientas y metodologías para producir, gestionar y reutilizar materiales educativos con soporte electrónico. El proyecto se desarrolló en

dos fases (1996-1998, 1998-2000). Los resultados de este proyecto han sido de gran importancia para el desarrollo de algunos estándares y colaboran activamente con CEN y LTSC. Durante el proyecto se crearon varios CDS (Centros de Desarrollo y Soporte) encargados del mantenimiento y desarrollo de las herramientas de la asociación y de asesorar técnica y pedagógicamente al resto de los miembros.

Tres de las contribuciones más importantes del proyecto fueron: la elaboración de **CDF** (Curriculum Description Format) [9] que proporciona información genérica (metadatos) del curso, una **tabla de disciplinas** traducida a tres idiomas y una **lista de metadatos** que posteriormente fue tomada como base por LTSC para su estandarización.

- **IEEE LTSC** (1996) [69]. Organización internacional que tiene varios grupos de trabajo para el desarrollo de estándares en tecnología educativa. También elaboran guías y recomendaciones para el desarrollo de componentes, herramientas, tecnologías y métodos de diseño que faciliten el desarrollo, mantenimiento e interoperatividad entre plataformas educativas. Entre sus principales grupos de trabajo se encuentran:
 - P1484.1 Architecture and Reference Model
 - P1484.2 Learner Model
 - P1484.3 Glossary
 - P1484.11 Computer Managed Instruction
 - P1484.12 Learning Object Metadata
 - P1484.14 Semantics and Exchange Bindings
 - P1484.15 Data Interchange Protocols
 - P1484.18 Platform and Media Profiles
 - P1484.20 Competency Definitions
- **SIF** (1997) [104]. Organismo estadounidense compuesto de más de cien miembros entre los que se encuentran vendedores de software, departamentos de estado de educación y organizaciones de educación primaria y secundaria. Su objetivo es definir un conjunto de reglas para permitir la interoperatividad de los distintos programas de software y el intercambio de datos entre organismos educativos.
- **IMS** (1997) [52]. Consorcio internacional que incluye organizaciones académicas y comerciales. Proporciona una visión modular a la educación en línea. Uno de sus principales objetivos es disminuir el coste de la

educación y mejorar el acceso al aprendizaje. El IMS es uno de los organismos más activos en la producción de especificaciones para la práctica educativa. Los documentos elaborados por el IMS han sido tomados como base para la estandarización por CEN/ISSS WS-LT, IEEE LTSC e ISO/IEC JTC1 SC36. Actualmente sus principales esfuerzos se centran en: el desarrollo de modelos de metadatos [53], agregación de contenido [56], modelos de usuario [54] y modelos de evaluación [57] aunque también elaboran especificaciones en otros campos como la definición de competencias [55] y la secuenciación de contenidos [58]

- **GEM** (1997) [44]. Iniciativa del departamento de educación de los Estados Unidos junto con la National Library of Education para proporcionar a los profesores americanos un acceso a los recursos educativos basados en Internet. Uno de los resultados de este proyecto es la creación de un portal de acceso a recursos educativos denominado The Gateway [43].
- **ADL** (1997) [2]. Iniciativa del departamento de defensa del gobierno de los Estados Unidos. Este organismo define un modelo de agregación de contenido y un entorno de ejecución para los objetos de aprendizaje. Denominan SCORM al conjunto de especificaciones definidas a partir del refinamiento y adaptación de estándares procedentes de distintas fuentes (AICC, ARIADNE, IMS, LTSC) al aprendizaje basado en web. Se centran principalmente en los mecanismos para agregación de contenido SCOs y la comunicación entre los contenidos y la plataforma de gestión.
- **PROMETEUS** (1999) [91]. Sociedad europea de organizaciones empresariales y académicas que engloba a más de 500 entidades cuyo objetivo es una aproximación común al desarrollo de contenidos y servicios. Prometeus coopera con actividades de investigación y demostración como ARIADNE y European Schoolnet. Las propuestas sobre los desarrollos a realizar en Europa se envían al IEEE LTSC como requisitos de usuario para la elaboración de estándares. En la actualidad tienen varios grupos de interés (SIG: Special Interest Groups) que se encargan de la elaboración de recomendaciones y guías que envían a los organismos de estandarización como CEN e IEEE
- **CEN/ISSS WSLT** (1999) [116]. Este organismo articula los estándares a nivel europeo. Recoge especificaciones realizadas por otros organismos y propone áreas críticas en el proceso de estandarización.
- **ISO/IEC JTC1/SC36** (1999) [99]. Organismo de estandarización a nivel internacional que se encarga de elaborar estándares relacionados

con las tecnologías de la información para educación y formación. Actualmente cuenta con la colaboración de 20 países y tiene cuatro grupos de trabajo activos. El grupo WG1 está encargado del desarrollo de vocabularios específicos de cada dominio, WG2 se dedica al desarrollo de estándares para permitir la colaboración, y WG3 se encarga de la elaboración de estándares relacionados con los modelos de datos y protocolos necesarios para intercambiar información del estudiante (datos personales, evaluaciones, currículum, objetivos, etc.). Recientemente (Julio 2002) se ha formado un cuarto grupo WG4 relacionado con la gestión y entrega del material educativo. Se espera que en breve se forme un nuevo grupo de trabajo (WG5) relacionado con los metadatos educativos tomando como base el estándar LOM del LTSC. Este organismo trabaja en estrecha colaboración con CEN\ISSS WSLT y IEEE LTSC.

- **GESTALT** (1999) [45]. Proyecto europeo ACTS (AC91) encargado de la integración de los resultados de tres proyectos anteriores PROSPECT (AC052), RENAISSANCE (AC100) y GAIA (AC221). El principal objetivo de este proyecto era crear un demostrador on-line de un sistema de enseñanza. El resultado más relevante fue el desarrollo de una arquitectura basada en componentes para la intermediación y entrega de contenidos educativos. Esta arquitectura fue tomada por el IEEE LTSC como uno de los puntos de partida para la elaboración del estándar LOM [80] de arquitectura educativa.
- **ALIC** (2000) [6]. Iniciativa Japonesa enfocada a la investigación desarrollo y aplicación y promoción de una infraestructura avanzada de aprendizaje que incluya especificaciones, herramientas, sistemas y metodologías. Actualmente participan en la elaboración de algunos estándares y colaboran activamente en el WG2 de SC36.
- **Schoolnet** (2002) [100]. Asociación a nivel europeo en la que participan los ministerios de educación de 20 países para ayudar al desarrollo de la educación y para proporcionar soporte educativo a profesores y alumnos de toda Europa. Proporciona portales con recursos y servicios educativos para cada país, ejemplos prácticos de aplicación de las tecnologías de la información y oportunidades de colaboración entre países.

2.3.4. Estado actual de los estándares

Las áreas más activas en la actualidad en materia de estandarización son los modelos de contenido, en particular los metadatos y los modelos de agre-

gación de contenido. Se han producido grandes avances en los últimos años en el modelado del estudiante, los modelos de arquitectura y los estándares asociados a los sistemas de gestión (LMS: Learning Management Systems). Hay además una gran demanda de modelos de evaluación y descripción de competencias, aunque llevan menos tiempo de desarrollo. Existen iniciativas importantes en la elaboración de mecanismos de soporte a la colaboración, y otros modelos asociados con la definición de vocabularios, mecanismos de accesibilidad, aspectos legales, etc. pero aún están en sus primeras fases de desarrollo.

Modelos de metadatos

La necesidad de intercambiar y localizar contenidos apropiados en la web ha hecho que la definición de metadatos asociados a los contenidos educativos haya sido uno de los campos en los que más se ha trabajado en los últimos años. Los dos aspectos claves para la definición de metadatos son por un lado la descripción del recurso (Data Description) y por otro la información necesaria para su recuperación (Resource Location). Las tres especificaciones que más han influido en la definición de metadatos han sido DCMI [25], IMS-Metadata [53] y LOM [83].

Estas tres especificaciones tienen muchas partes en común y han coexistido durante varios años. A lo largo de todo este tiempo las organizaciones que soportan cada una de estas especificaciones han llegado a un acuerdo para proporcionar equivalencias entre ellos. En la actualidad los principales organismos de estandarización CEN [116] e ISO [99] se han puesto de acuerdo en trabajar en la estandarización ISO de LOM que ya es estándar del IEEE [69] desde junio de 2002.

LOM está estructurado en varias categorías que contienen etiquetas que permiten describir el contenido de forma general, atendiendo a su ciclo de vida, sus características técnicas, educativas o los aspectos relacionados con los derechos de propiedad intelectual asociados al recurso e incluso incluye una categoría meta-metadatos que permiten proporcionar información sobre los metadatos asociados al recurso y no sobre el recurso en sí mismo.

Como normalmente diferentes comunidades de usuarios necesitan diferentes tipos de metadatos los organismos de estandarización han contemplado la existencia de soluciones particulares mediante la extensión de las propuestas comunes utilizando mecanismos de **modularización** en la definición de los estándares y la **elaboración de perfiles** basados en estos módulos para su extensión. Estos mecanismos ya han sido utilizados con éxito en otros

estándares como HTML 4.01 [111] y SMIL 2.0 [112]

Además de las especificaciones mencionadas para la descripción de metadatos, existen organizaciones como OAI [76] que trabajan junto con proveedores de datos y proveedores de servicios para definir un protocolo OAI-PMH (Protocol for Metadata Harvesting) [66] que facilite su recolección.

Modelos de agregación de contenidos

Entre los modelos de agregación de contenido las principales iniciativas son **IMS Content Packaging Information Model** [56] de IMS y **SCO** [3] de ADL que está basado en el primero.

IMS Content Packaging es un conjunto de estructuras que pueden ser utilizadas para intercambiar contenidos. Su característica principal es la existencia de un fichero XML que describe los recursos contenidos en el paquete y su forma de organización.

Los SCO (Shareable Content Object) son unidades autocontenidas de aprendizaje que pueden agruparse pero no fragmentarse. La forma de agregar SCOs que utiliza ADL son instrucciones almacenadas en un fichero, tomado de la especificación de IMS, que indica cómo deben secuenciarse.

El objetivo de estos modelos de agregación de contenidos es facilitar el intercambio de información entre los sistemas de creación de contenido, los sistemas de gestión de aprendizaje (LMS) y los entornos de ejecución.

Modelos de estructuración interna de contenidos

Estos modelos están mucho menos desarrollados que los modelos anteriores, es necesario que los diferentes organismos se pongan de acuerdo en los niveles de granularidad y las nomenclaturas para cada uno de ellos. El organismo de estandarización europeo CEN define cuatro niveles de granularidad aunque su uso no está extendido a toda la comunidad:

- Átomos como por ejemplo un fragmento de texto, un vídeo, etc.
- Unidades de contenido: recursos autocontenidos que no conviene dividir.
- Unidades compuestas: agregación de unidades de contenido incluyendo los mecanismos de navegación entre ellas.
- Cursos: experiencias educativas complejas con un horizonte temporal más largo y conectadas normalmente a un sistema de acreditación

En general no hay mucha diferencia entre los dos niveles centrales que se suelen denominar genéricamente **RLOs** (Reusable Learning Objects). Existen muchas definiciones de objetos de aprendizaje [115] algunas más restrictivas que otras pero todas ellas coinciden en estas tres características:

- Deben poder ser referenciados
- Deben contener información educativa
- Deben ser capaces de ensamblarse entre sí

La capacidad de ser referenciados se garantiza asociando metadatos a cada recurso educativo, la capacidad de agregación se garantiza mediante la existencia de modelos de agregación como SCO o IMS Content Packaging. Esta capacidad de ensamblarse es la que utilizan las diferentes metáforas para definir los objetos educativos como las piezas de los juegos de construcción o los átomos que se unen entre sí para formar moléculas. La segunda característica, es decir la información que contienen los objetos de aprendizaje, es sobre la que aún no existe una especificación. La comunidad educativa no se ha puesto de acuerdo en si debe o no existir y cómo debe ser un estándar que describa la información contenida en un recurso educativo.

A nivel europeo el CEN ha realizado un estudio liderado por la Open University de Holanda en colaboración con la British University en Gran Bretaña y la UNED en España que ha examinado los lenguajes de modelado utilizados en Europa [92]. Entre los lenguajes estudiados se encuentran: **EML** [92] de la Open University, **PALO** [93] de la UNED, y **LMML** [109] de la universidad de Passau. Otras contribuciones más recientes realizadas en este campo han sido **TML** [51] de la universidad de Bristol y **TeachML** [108] elaborado dentro del proyecto Targeteam por la TUM de Munich en colaboración con la University of Armed Forces.

La mayoría de estas iniciativas no han trascendido la aplicación para la que fueron diseñados. La iniciativa que más posibilidades tiene de convertirse en estándar en el futuro es la especificación **CDF** [9] propuesta dentro del proyecto ARIADNE ya que es la especificación que tomará como base el IEEE para estudiar la posibilidad de desarrollar un estándar para la descripción de contenidos.

Modelos de estudiante

Los modelos de estudiante se basan en la elaboración de modelos de usuario ya estudiados en otros campos ajenos a la educación. La mayoría de las

herramientas telemáticas para la educación utilizan modelos desarrollados específicamente para la aplicación en la que son utilizados aunque normalmente utilizan características del usuario que se pueden englobar en una de estas categorías: conocimiento del dominio, conocimiento del sistema, objetivos, planes, preferencias, habilidades o capacidades generales e información personal.

Estos modelos difieren entre sí enormemente en la forma en que adquieren y almacenan la información cubriendo un abanico enorme de posibilidades que van desde la introducción directa de la información por parte del propio alumno, profesor o administrador del sistema hasta su completa determinación por parte del sistema, pasando por multitud de estados intermedios en los que se realiza una combinación de ambos mecanismos.

Normalmente la información personal y los objetivos del alumno en la mayoría de los sistemas se introducen directamente mediante formularios. Los planes se suelen determinar mediante análisis de los registros de interacción almacenados en el sistema. El conocimiento del dominio se suele obtener mediante los resultados de la evaluación. Para determinar otras características como las preferencias del usuario, su conocimiento sobre el sistema o sus habilidades generales se suelen utilizar técnicas mixtas en las que inicialmente se utilizan los datos introducidos por el usuario y se van modificando dependiendo del resultado de la interacción con el sistema. Una descripción detallada de los ejemplos más relevantes de estos tipos de modelos de usuario se pueden encontrar en [11] y [15]

Es importante señalar que las necesidades de estandarización en este campo separan la definición del modelo de usuario de la definición de los modelos de competencia. Los modelos de competencia están íntimamente relacionados con los modelos de estudiante y de evaluación y hacen referencia a la forma en que se debe describir el conocimiento de un usuario sobre determinada materia. Estos modelos se tratarán más en detalle al hablar de los modelos de evaluación.

En cuanto a la definición de los modelos de estudiante las principales iniciativas son **LIP** (IMS Learner Information Package) [54] propuesta por IMS y **PAPI** [84] propuesta por el IEEE y aceptada para su estudio por el ISO. Las principales categorías contempladas por este estándar son: información personal, información de portafolios (incluye información histórica del estudiante: títulos obtenidos, cursos realizados, trabajos, etc.), información sobre su rendimiento, preferencias y estilo de aprendizaje, relaciones académicas (con profesores, cursos, otros estudiantes, etc.) y parámetros de seguridad.

Aunque existen algunas especificaciones aceptadas para el intercambio de información personal como vCard [49] [50] no hay una especificación suficien-

temente sólida para el modelo de usuario como para permitir su uso extensivo.

La estandarización de los modelos de usuario requiere etapas de estandarización previas derivadas de las necesidades particulares de los distintos países, en cuanto a los estilos de aprendizaje, la definición de competencias y los requisitos de privacidad. En Europa, los diferentes ministerios de educación de los países miembros están trabajando en el desarrollo de un currículum y una definición de competencias común para todos los países de la Unión hasta nivel universitario. Eso supone homogeneizar los sistemas de enseñanza.

Además de los problemas que presentan otras áreas de estandarización, el modelo de usuario debido a la complejidad de la realidad que modela, tiene un alto componente subjetivo en la valoración de aspectos como conocimientos, planes, capacidades, etc. Esto obliga a este tipo de modelos a contemplar de algún modo la incertidumbre sobre la información que manejan.

Algunos de los mecanismos más utilizados para el manejo de la incertidumbre en las herramientas educativas están tomados del mundo de la inteligencia artificial como la lógica multievaluada, lógica borrosa, razonamiento probabilístico, razonamiento basado en coeficientes de certeza, las redes bayesianas y la teoría de Dempster-Shafer. Estos mecanismos junto con algunos ejemplos de uso se describen en detalle en [16] y [118].

Modelos de evaluación

La Comunidad Europea en el documento “Teaching and Learning towards the learning society” [31] identificó las principales acciones clave relacionadas con el proceso de evaluación para conseguir una sociedad de aprendizaje en Europa:

- Definir esquemas de referencia sobre las habilidades a adquirir (skills reference charts)
- Introducir sistemas para acreditar la adquisición de dichas habilidades.
- Hacer disponibles estos sistemas de acreditación.
- Mantener un control del progreso de cada individuo en la adquisición de estas habilidades.
- Desarrollar sistemas que reconozcan la cualificación vocacional con el uso de procedimientos de evaluación definidos por varios organismos sociales (gobierno, educación, empresa).

- Realizar una modularización de la educación y los cursos en Europa, al menos hasta la educación superior, esto presupone que todas las universidades cambien a un mismo sistema de créditos, acelerando así el proceso de reconocimiento modular entre cursos similares en las universidades europeas. En esta línea de trabajo, destaca la **Declaración de Bolonia** [30], un documento por el cual la mayoría de los ministerios de educación de los países miembros de la Unión Europea se compromete en la elaboración de un Espacio Europeo de Educación Superior (EEES).

Algunas de las acciones clave mencionadas ya han sido abordadas por los principales organismos de estandarización. El LTSC ha formado un grupo de trabajo para la elaboración de un estándar para la definición competencias denominado **Competency Definition Data Object** [85]. Su trabajo se basa en el documento previo elaborado por IMS: **Reusable Competencies Definition Information Model** [55].

La definición de competencia en una determinada materia en el contexto de un sistema distribuido se define especificando cuatro aspectos:

- Identificador que permita referenciar de forma única la competencia.
- Tipo de competencia: indica la naturaleza e intención de aquello sobre lo que se vaya a evaluar la competencia del alumno, por ejemplo una meta, habilidad, capacidad, actitud, etc.
- Definición de competencia:
 - Estado. Es la competencia propiamente dicha expresada como el estado esperado (p.e.: Manejo del procesador de texto LaTeX)
 - Rendimiento. Indica el conjunto de estados posibles para cada nivel de rendimiento. Para indicarlo es necesario especificar el nivel (p.e.: principiante, medio, experto). Las condiciones o el contexto en las que se aplica la competencia (p.e.: en plataforma Windows 98 o superior). El criterio que permita valorar el grado de competencia (p.e.: Ser capaz de abrir, cerrar y modificar buffers. Ser capaz de moverse dentro de un documento o entre documentos, utilizando combinaciones de teclas y opciones de menú.)
- Metadatos que describan la definición de competencia como un recurso educativo.

Para la descripción de ejercicios y mecanismos de evaluación el estándar más aceptado en la actualidad es el propuesto por IMS: **QTI** (Question and Test Interoperability) [57]

Arquitecturas y modelos de gestión

El modelo de arquitectura que más se maneja actualmente es **LTSA** [80] propuesto por el LTSC del IEEE. Este modelo, aún en fase de borrador, describe una arquitectura genérica para los sistemas educativos telemáticos en la que se describen a alto nivel los componentes de un sistema educativo y los flujos de intercambio de datos. Esta especificación es independiente del modelo pedagógico o cultural elegido así como del contenido de la materia a enseñar o la plataforma sobre la que se realiza.

Parte de los componentes de este modelo genérico de arquitectura se concretan en los modelos de gestión asociados con las herramientas educativas conocidos normalmente como LMS (Learning Management Systems) o CMI (Course Management Instruction). Estos modelos se centran en las necesidades de interoperatividad y comunicación entre los diferentes elementos que intervienen en la práctica educativa. Una vez que existen formatos para describir los contenidos, los usuarios y la evaluación se hace necesario estandarizar la forma en la que unas partes del sistema se comunican con las otras.

Hasta ahora este tipo de funcionalidad venía dada por herramientas comerciales como Blackboard [13] o WebCT [114] ampliamente utilizadas en los entornos educativos ya que proporcionaban un conjunto de servicios mutuamente compatibles a todos los usuarios de la plataforma. Entre las responsabilidades de estos sistemas están los aspectos de seguridad, el manejo de contenidos, los mecanismos de evaluación y la gestión de los derechos sobre cada uno de ellos.

El proceso de estandarización de los sistemas de gestión pasa por describir cómo se producen los intercambios de información entre los diferentes componentes de un sistema educativo. En la actualidad los dos modelos más utilizados en la práctica son **SCORM** [3] en Estados Unidos y el modelo desarrollado por el proyecto **ARIADNE** en Europa [8]. Desde el LTSC se ha propuesto un proceso de unificación de ambos modelos para pasar luego a una fase de estandarización. Esta propuesta contempla además la integración a nivel de datos y a nivel de APIs, para ello ha dividido en dos grandes bloques el tratamiento de los CMI:

- **Data Model for Object Communication** [81]. Describe la información que intercambian los distintos componentes del sistema con el LMS o los distintos LMS entre sí. Esta sección parte de los modelos de datos propuestos por AICC y trata simplemente de corregir ambigüedades y adaptarlos a las necesidades actuales. En este modelo de datos se contempla también la información que intercambia el contenido educativo con el sistema de gestión. Este tipo de información viene descrita por

especificaciones como IMS Packaging y SCORM.

- **ECMAScript API for Content to Runtime Services Communication** [82]. Esta segunda parte de la especificación trata de armonizar las propuestas de AICC y ADL-SCORM. Este API permite la comunicación entre el contenido y el LMS utilizando el lenguaje ECMAScript.

En cuanto a la parte de infraestructura, los organismos de estandarización en Europa como el CEN y la mayoría de sus organismos colaboradores coinciden en la opinión de que no es necesario un proceso de estandarización específico para determinar los requisitos y la infraestructura necesaria para desarrollar la tecnología educativa. En Estados Unidos el AICC [4] orientado a la industria de la aviación si desarrolló en sus orígenes especificaciones en este sentido para identificar los elementos hardware y software necesarios para una estación de trabajo y los ha ido actualizando hasta hoy: **Courseware Delivery Stations** [5]

2.3.5. Otros modelos

Una de las áreas de estandarización en las que se está trabajando actualmente es en los mecanismos de **colaboración**. Ha sido especialmente importante en este campo la propuesta de ALIC [6] en Japón que se ha tomado como documento base para el grupo de trabajo WG2 de ISO.

El CEN para Europa está trabajando en la **efectividad en el aprendizaje** y en la gestión de un programa de **entrega y acreditación**. También se ha identificado la necesidad de estandarizar algunos **aspectos legales** relativos a los derechos de autor, protección y privacidad de los datos, aspectos que tengan en cuenta la responsabilidad según las diferencias entre las leyes de los distintos países, etc. Esto va más allá del alcance de este trabajo.

2.3.6. Implementaciones de referencia

Una vez establecidos los principales estándares para el modelado de procesos educativos, es necesario disponer de herramientas que soporten estos estándares. Estas herramientas facilitan la creación y difusión de contenidos, y el desarrollo de software educativo.

La mayoría de los organismos de estandarización proporcionan implementaciones de referencia para cada una de las especificaciones que proponen. Normalmente estas implementaciones no son un producto terminado sino un

ejemplo para los desarrolladores. Por otra parte, las herramientas comerciales también están evolucionando hacia nuevas versiones que soportan los estándares más extendidos. El principal problema de estas herramientas es que, aunque son un producto terminado, resultan muy caras y comprometen el desarrollo posterior de la organización que las utiliza con una determinada compañía de software.

En los últimos años el MIT (Massachusetts Institute of Technology) ha realizado importantes contribuciones en este sentido que han modificado significativamente la situación existente y han supuesto un enorme impacto en el panorama educativo. Por un lado, ha contribuido de forma muy significativa a la difusión de contenido educativo mediante iniciativas como OCW (MIT's OpenCourseWare) [77] y DSpace (MIT's digital repository) [27]. Por otro, ha contribuido a mejorar los estándares tanto a nivel nacional como internacional y ha desarrollado arquitecturas abiertas como OKI (Open Knowledge Initiative) [78] y dotLRN [26] para la creación de sistemas de gestión de cursos y portales educativos. Para cada una de estas iniciativas el MIT ha proporcionado implementaciones de referencia utilizando como modelos de intercambio de datos los estándares existentes. A continuación se describen brevemente cada una de estas iniciativas.

- **OCW** Es una iniciativa a diez años para difundir 2000 cursos del MIT a través del web de forma gratuita. Pretende ser un ejemplo para otras instituciones como modelo de difusión del conocimiento.
- **DSpace** Es un archivo de los 10.000 artículos de investigación y otras publicaciones que el MIT genera anualmente. DSpace proporciona una implementación de referencia de una biblioteca digital y una arquitectura de servicio que puede ser adoptada por otras instituciones o interactuar con ellas.
- **OKI** Es una iniciativa que surge de la colaboración del MIT con otras universidades y organismos de estandarización y propone una arquitectura abierta y extensible que especifica cómo los componentes de un entorno de software educativo pueden comunicarse entre sí y con otras plataformas. OKI proporciona un conjunto de interfaces para la definición de servicios denominados OSID's (Open Service Interface Definitions) y proporciona una implementación de referencia para cada uno de ellos. También proporciona el código fuente de dos sistemas de gestión de aprendizaje que están en producción. Uno de ellos desarrollado por el MIT y el otro por la universidad de Stanford.

- **dotLRN** Es una plataforma abierta para la creación de aplicaciones educativas basadas en web. Esta iniciativa incorpora estándares como SCORM. Es un proyecto OpenACS [79] que sirve como marco de referencia para la creación de portales educativos. Proporciona un conjunto de aplicaciones integradas que dan soporte a la gestión de cursos y comunidades on-line.

La importancia de la contribución del MIT radica en tres factores: ha desarrollado sus propias **herramientas con soporte para los estándares** existentes, las ha puesto a disposición de la comunidad educativa bajo licencias de **software libre** y las ha utilizado dentro de su propia institución sirviendo así como **ejemplo de aplicación** para otras organizaciones.

Como se ha podido ver en esta sección los modelos utilizados en tecnología se ocupan principalmente de la caracterización de los diferentes actores que intervienen en el proceso y los flujos de información que intercambian.

El panorama tecnológico actual es bastante complejo, lo que ha puesto de manifiesto una necesidad de estandarización para facilitar el intercambio de información entre los diferentes miembros de la comunidad educativa y la interoperatividad entre las distintas plataformas de aprendizaje. Aunque en los últimos años se han hecho grandes avances para la estandarización de interfaces y modelos de datos, los estándares están aún poco maduros.

Por otro lado las necesidades particulares de cada colectivo así como las diferencias culturales entre países obligan a menudo a extender los modelos generales para adaptarse a situaciones concretas.

En la actualidad se ha escogido XML como lenguaje de representación para la mayoría de los estándares existentes y se han propuesto los mecanismos de modularización y definición de perfiles de lenguaje para facilitar su extensión y adaptación a las necesidades de los usuarios.

Otro de los problemas con los que se enfrentan los estándares educativos es que debido a la complejidad de la realidad que modelan (en especial los modelos asociados a la descripción del alumno y a la evaluación) es necesario el manejo de incertidumbre.

Un marco general para la descripción del proceso educativo debe ser suficientemente flexible para permitir la incorporación de los nuevos estándares a medida que se vayan desarrollando así como su extensión y adaptación a necesidades concretas.

2.4. Conclusiones

En este capítulo se ha presentado el contexto en el que se ha desarrollado este trabajo y se ha realizado una revisión de las propuestas utilizadas para modelado de procesos educativos en pedagogía y tecnología. Este análisis ha puesto de manifiesto un panorama complejo en el que existen multitud de modelos que se entremezclan para analizar las diferentes facetas del proceso educativo.

La experiencia adquirida durante los proyectos realizados en paralelo al desarrollo de esta tesis ha permitido concluir que:

- Es necesario abordar el proceso educativo desde el punto de vista tecnológico y pedagógico. Un modelo general para la representación de procesos educativos debe ser capaz de representar cursos que utilicen diferentes modelos pedagógicos y diferentes tecnologías para su presentación.
- Es necesario mantener una coherencia en el proceso de diseño de una experiencia educativa entre los objetivos que se quieren conseguir, el tiempo dedicado a cada uno de ellos y los criterios de evaluación con los que se va a medir su consecución. Un modelo general debe ser capaz de detectar estas inconsistencias.
- Es necesario analizar en detalle el proceso de evaluación para comprobar cómo afecta el diseño de la evaluación al resultado de las magnitudes que se quieren evaluar.
- Los materiales educativos son entidades complejas y es necesario analizar por separado el contenido propiamente dicho, de su presentación, su secuenciación y su diseño pedagógico.
- Los estándares no son algo estático sino que evolucionan para adaptarse mejor a la realidad que modelan. Cualquier forma de representación que incluya estos estándares debe ser suficientemente flexible para permitir su evolución.
- El desarrollo de contenidos y de herramientas de apoyo a la docencia y el aprendizaje son labores complejas que tienen elevados costes de desarrollo. Existe una gran oferta de materiales educativos y herramientas de soporte pero resulta complejo establecer criterios que permitan evaluarlos comparativamente.

El análisis de los modelos existentes ha permitido concluir que:

- Los modelos estudiados facilitan la comprensión de los procesos educativos pero no permiten obtener resultados cuantificables.
- Para caracterizar la efectividad de un proceso educativo es necesario disponer de mecanismos que permitan cuantificar las diferencias entre el estado del alumno antes y después del proceso educativo.
- Estas diferencias son una realidad subjetiva. Para proporcionar una representación explícita de esta información es necesario manejar la incertidumbre asociada al proceso de evaluación y a las diferencias entre el estado esperado y el estado observado.
- Los modelos asociados a la definición de currículum educativo proporcionan diferentes inventarios de objetivos, técnicas didácticas y estilos de aprendizaje. Un modelo general de representación debe permitir describir procesos educativos asociados a cualquiera de estas descripciones. También debe permitir la representación de cursos personalizables que se adapten a diferentes situaciones educativas.
- La pedagogía proporciona diferentes modelos de conocimiento. Cada una de estas visiones otorga un papel diferente al profesor y al alumno en el proceso de aprendizaje. Un modelo genérico debe ser suficientemente flexible para ser capaz de representar situaciones educativas asociadas a los diferentes modelos.
- Los modelos más modernos como el constructivismo requieren un mayor conocimiento del estado del alumno. Es necesario disponer de mecanismos que faciliten el proceso de recogida, almacenamiento y reutilización de la información del estudiante.
- Son muchos los estándares que se han creado para facilitar el intercambio de información entre sistemas educativos. La estandarización en materia educativa es un proceso bastante reciente, esto hace que continuamente aparezcan nuevos estándares o se modifiquen los existentes. Un marco general para la descripción de los procesos educativos debe permitir la incorporación de los estándares existentes y ser suficientemente flexible para poder incorporar estándares nuevos o extender los existentes.

El análisis del estado del arte se ha realizado teniendo como objetivo la creación de un marco general para la representación de procesos educativos. Las conclusiones extraídas bajo este punto de vista definen algunas de las características que debería tener este nuevo modelo de representación. Estas

características han servido como requisitos de diseño para el desarrollo del modelo EPM.

En esta primera aproximación al problema educativo se han considerado sólo aquellos procesos de aprendizaje en los que el sujeto que aprende es una persona. En el capítulo 7 se menciona como trabajo futuro el estudio cuando el sujeto que aprende es una máquina.

Capítulo 3

Modelo de comunicación

Una vez analizados los modelos utilizados en pedagogía y tecnología para la descripción de cada uno de los elementos que intervienen en la práctica educativa se hace necesario el estudio de los modelos que describen el proceso educativo en su conjunto. La mayoría de estos modelos se basan en la descripción de la educación como sistema de comunicación [110] y su principal inconveniente es que realizan la descripción únicamente desde un punto de vista cualitativo.

En este capítulo se propone un modelo de comunicación que extiende el modelo propuesto por Shannon [102] teniendo en cuenta las puntualizaciones introducidas por Weaver [113] para la comunicación humana, e introduciendo algunos aspectos del proceso educativo que no se contemplan en los modelos de comunicación propuestos hasta la fecha como son: la definición de los objetivos educativos, la secuenciación de contenidos, los aspectos pedagógicos, los modelos de conocimiento, las capacidades del alumno y el profesor y los procesos de evaluación.

En la sección 3.1 se describe el modelo propuesto. En las secciones 3.2, 3.3, y 3.4 se presentan las principales características del profesor como emisor, del alumno como receptor y de la evaluación como sistema de detección. En la sección 3.5 se describen los problemas más frecuentes de la práctica educativa bajo la perspectiva de un sistema de comunicación y finalmente en 3.6 se resumen las conclusiones de este capítulo.

3.1. La educación como sistema de comunicación

Para describir la práctica educativa como modelo de comunicación es necesario hacer explícitos los siguientes elementos:

- la intencionalidad del proceso de comunicación (objetivos del curso)
- las funciones del transmisor (profesor) y receptor (alumno)
- la forma de caracterizar la señal a transmitir (relación entre unidades didácticas, acciones docentes y objetivos)
- los procesos de codificación (diseño y secuenciación de las unidades didácticas y acciones docentes) y decodificación (asimilación del mensaje por parte del alumno) de dicha señal
- los distintos tipos de ruido que pueden afectar al proceso (problemas educativos)
- los resultados de la comunicación (efectividad del curso)

En la figura 3.1 se muestra el modelo de comunicación propuesto donde los bloques sombreados corresponden al modelo de Shannon.

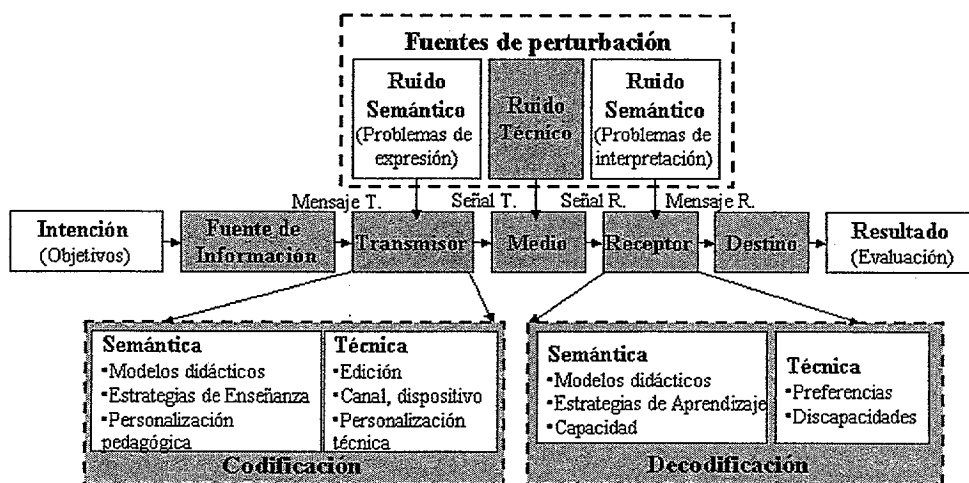


Figura 3.1: Modelo extendido para la comunicación educativa.

Este modelo, además de facilitar la visión del proceso educativo, permite cuantificar ciertas magnitudes como son el rendimiento del alumno, la diferencia entre el conocimiento transmitido por el profesor y el conocimiento asimilado por el alumno y la caracterización espectral de un contenido o un ejercicio de evaluación en función de los objetivos del curso. Toda esta información cuantitativa permite realizar comparaciones entre cursos, sistemas de tele-educación y bloques de contenido codificados de distinta forma.

En este capítulo se proporciona la visión cualitativa del proceso y se incluyen referencias al capítulo 4 donde se introducen las expresiones matemáticas que permiten obtener resultados cuantitativos.

3.2. El profesor como transmisor

Las funciones de un transmisor son: adaptar la señal al medio, proteger la transmisión frente a perturbaciones y realizar una utilización eficiente de los canales de comunicación. En el modelo extendido para la comunicación de la figura 3.1 las funciones del profesor están representadas por el transmisor del modelo de Shannon y los bloques de intención y codificación. El bloque de intención hace referencia a la definición de los objetivos del curso. El bloque de codificación incluye la caracterización espectral de los contenidos en función de los objetivos, y los procesos de codificación técnica y semántica.

3.2.1. Intencionalidad de la comunicación

El profesor define la intencionalidad del proceso educativo mediante los objetivos del curso. La definición de los objetivos incluye no sólo su enumeración sino también la asignación de un peso relativo que tenga en cuenta la importancia de cada objetivo en el contexto general del curso y su dificultad. Los objetivos constituyen la base del espacio matemático que se utiliza en el capítulo 4 para representar la evolución del estado del alumno. Las condiciones para su definición se detallan en el capítulo 4, sección 4.2.1.

3.2.2. Caracterización de la señal

Para cumplir los objetivos de la comunicación el profesor envía una señal al alumno. Esta señal se caracteriza estableciendo su dependencia en el tiempo y en función de los objetivos. La dependencia temporal se traduce en una

secuenciación de la información a transmitir en piezas más pequeñas que denominaremos unidades didácticas (definición 4.2.5). La dependencia de la señal en función de los objetivos del curso se establece indicando en qué medida cada unidad didáctica contribuye a la realización de cada uno de los objetivos.

La expresión matemática para la caracterización espectral de las unidades didácticas en función de los objetivos y la representación matemática de las acciones docentes asociadas a cada unidad se describen en el capítulo 4, sección 4.2.2.

Una vez caracterizada la señal, el resto de las funciones del transmisor (adaptar la señal al medio, proteger la transmisión de perturbaciones y utilizar eficazmente los canales de comunicación) se tienen en cuenta en el proceso de codificación. La codificación en el proceso educativo consiste en seleccionar una forma de expresar y presentar los contenidos al alumno. Puede ser **única** si presentamos el mismo contenido de la misma forma a todos los alumnos o **múltiple** si ofrecemos varias posibilidades para adaptarse mejor a los diferentes perfiles, canales de distribución o dispositivos de acceso. En el proceso de codificación podemos distinguir dos categorías que denominaremos **codificación semántica** y **codificación técnica**.

Definición 3.2.1 (Codificación semántica). *Proceso mediante el cual se decide la forma en que se estructuran y presentan los contenidos de una unidad didáctica atendiendo a consideraciones pedagógicas para hacerlos más comprensibles para el alumno.*

Para realizar la codificación semántica de los contenidos el profesor utiliza distintas estrategias que quedan reflejadas en el currículum del curso. Estas estrategias engloban desde la selección de un modelo de conocimiento genérico (transmisión-recepción, aprendizaje conductista, por descubrimiento o constructivista) hasta la aplicación de una técnica didáctica (aprendizaje basado en casos, basado en problemas o basado en proyectos). También se tienen en cuenta otros aspectos como la dificultad intrínseca de la materia, el nivel de conocimiento del alumno, su estilo de aprendizaje, su edad o el contexto socio-cultural en el que se encuentra.

Definición 3.2.2 (Codificación Técnica). *Proceso mediante el cual se decide la forma en que se estructuran y presentan los contenidos de una unidad didáctica atendiendo a consideraciones técnicas para hacerlos más accesibles para el alumno.*

La codificación técnica tiene que ver con los aspectos de adaptación de la señal al canal y al dispositivo de presentación. En este tipo de codificación

se realizan tareas como la selección de medios de apoyo audiovisual, edición multimedia de contenidos o resolver los problemas de accesibilidad de usuarios con alguna discapacidad física.

Las diferentes formas de codificar un contenido se traducen en que existen varias versiones de una misma unidad didáctica que se pueden presentar al alumno. La caracterización matemática de los cursos que presentan varias alternativas para su seguimiento (codificación múltiple) se analiza en el capítulo 4, sección 4.2.3

3.2.3. Rango de emisión

Definición 3.2.3 (Rango de emisión). *Se denomina rango de emisión al conjunto de situaciones educativas en las que un emisor se comporta adecuadamente, es decir, en las que la codificación es óptima. Estas situaciones se pueden caracterizar por sus habilidades pedagógicas en general o por su efectividad para transmitir una materia concreta.*

Atendiendo a las habilidades pedagógicas generales podemos hablar de rangos de emisión centrados en un **tipo de objetivos** (conceptuales, procedimentales, actitudinales), en una **técnica didáctica** concreta (aprendizaje basado en casos, basado en problemas, basado en proyectos) o en un cierto **modelo de conocimiento** (transmisión-recepción, aprendizaje conductista, aprendizaje constructivista). Esta definición es aplicable independientemente de la clasificación que se utilice para los objetivos, técnicas didácticas o modelos de conocimiento.

Ejemplo: Un profesor de laboratorio tendrá su rango de emisión en los objetivos procedimentales ya que se centra en fomentar las habilidades prácticas del alumno. Un profesor de derecho que además ejerza la abogacía y conozca muchos casos reales para ilustrar los contenidos que transmite tendrá su rango de emisión en la enseñanza basada en casos. Un buen conferenciante tendrá su rango de emisión en el modelo de conocimiento transmisión-recepción. □

Atendiendo a la materia en concreto podemos definir los rangos de emisión a cualquier nivel de granularidad.

Ejemplo: En un nivel de granularidad muy grueso (áreas de conocimiento) se puede hablar de buenos emisores en el rango de la física, la literatura o la informática. En un nivel de granularidad más fino (temas) se puede hablar de sistemas que tengan su rango de emisión en la transmisión de la teoría de la relatividad, la poesía de Garcilaso o la programación de interfaces gráficas de usuario. □

3.3. El alumno como receptor

El alumno actúa como receptor y destino de la comunicación ya que recibe los contenidos del curso y los interpreta. En la teoría de comunicación el receptor hace las operaciones inversas a las realizadas por el transmisor. En el proceso educativo es necesario añadir al modelo de receptor los aspectos pedagógicos y cognitivos que afectan a su funcionalidad como su capacidad de aprendizaje o los problemas asociados a la interpretación y asimilación de la información (decodificación técnica y semántica).

Los aspectos relacionados con la representación matemática del estado de conocimiento del alumno se discuten en el capítulo 4, sección 4.3

3.3.1. Interpretación de la señal

La recepción de la señal en el proceso educativo no es un proceso pasivo ya que implica la interpretación y asimilación de la información que contiene. Todos los aspectos relacionados con la interpretación de la señal se representan en el modelo mediante los bloques de decodificación. Podemos distinguir dos tipos de decodificación que denominaremos decodificación **semántica** y decodificación **técnica**.

Definición 3.3.1 (Decodificación semántica). *Proceso mediante el cual el alumno interpreta y procesa mentalmente la información recibida.*

La decodificación semántica depende de las habilidades personales del alumno, de su motivación, estilo de aprendizaje, técnicas de estudio empleadas y del modelo de conocimiento utilizado en la codificación (transmisión-recepción, conductista, constructivista, etc.) que le obliga a tomar un papel más o menos activo en el aprendizaje.

Definición 3.3.2 (Decodificación técnica). *Proceso mediante el cual el alumno percibe e interpreta a través de sus sentidos la señal recibida.*

La decodificación técnica no hace referencia al procesamiento intelectual de la información. Está relacionada únicamente con la forma en que el estudiante recibe físicamente los contenidos presentados en virtud de las características de su dispositivo de acceso (resolución, número de colores, soporte audio-vídeo), canal de comunicación y de sus limitaciones físicas como por ejemplo una discapacidad auditiva o visual.

3.3.2. Rango de recepción

En un proceso educativo no todos los receptores se comportan de la misma forma. Es habitual que se presenten diferencias en la interpretación y asimilación de los objetivos por parte de los distintos alumnos. Estas diferencias dependen de las características del receptor y del mensaje. La capacidad del alumno como receptor está limitada por el volumen de información que es capaz de recibir en un tiempo determinado y por su capacidad de aprendizaje. La capacidad del alumno es una magnitud difícil de cuantificar puesto que varía con el tiempo y depende fuertemente del tipo de contenido recibido. A algunos alumnos les cuesta más la asimilación de ciertos objetivos que a otros. Esto se refleja en el modelo de comunicación porque el receptor se comporta como un filtro para las componentes de la señal relacionadas con dichos objetivos. Las diferencias en la capacidad de los alumnos como receptores quedan reflejadas en las magnitudes observables que se definen en la sección 4.3.4.

Definición 3.3.3 (Rango de recepción). *Se denomina rango de recepción al conjunto de situaciones educativas en las que el receptor obtiene su mejor rendimiento, es decir en las que la decodificación es óptima. Estas situaciones se pueden caracterizar por el perfil de aprendizaje del alumno o por el tipo de objetivos asimilados.*

Existen numerosas tipologías para caracterizar los perfiles de aprendizaje (Pask [88], Honey y Mumford [48], Dunn & Dunn [46]) una de las más utilizadas es la propuesta por Richard Felder [33] que clasifica a los alumnos en 4 categorías cada una de las cuales puede tomar dos valores: activo-reflexivo, sensitivo-intuitivo, visual-verbal, secuencial-global.

Ejemplo: Un estudiante visual tendrá su rango de recepción en los contenidos presentados de forma visual (gráficos, esquemas, etc.) y tenderá a filtrar la información que se presente de forma verbal. El mismo esquema se puede utilizar para cualquier otra categorización de estilos de aprendizaje. Del mismo modo se puede caracterizar el rango de recepción en función de los objetivos. En este caso se hablaría, por ejemplo, de alumnos con buena capacidad de recepción en el rango de las matemáticas, la literatura o la música. □

3.4. La evaluación como sistema de detección

En el caso de la educación, el objetivo del proceso de comunicación no es la transmisión del mensaje en sí mismo, sino el cambio de estado que ese mensaje induce en el receptor a su llegada.

El estado del receptor o nivel de conocimiento del alumno, no se puede conocer directamente sino que es necesario introducir un procedimiento de medida o prueba de evaluación que permita estimar su valor.

La diferencia entre el estado esperado y el estado medido es lo que permite determinar si la comunicación se ha producido con éxito. Esto queda reflejado en la figura 3.1 mediante el bloque de resultados.

3.4.1. Rango de detección

Definición 3.4.1 (Rango de detección). *Se denomina rango de detección al conjunto de situaciones educativas en las que un proceso de evaluación resulta eficaz para estimar el rendimiento del alumno. Estas situaciones se pueden caracterizar por el conjunto de objetivos que cubre el proceso de evaluación.*

Ejemplo: La realización de dictados ha demostrado ser un mecanismo muy eficaz para detectar las faltas de ortografía del alumno. Se puede decir por tanto, que el rango de detección del dictado está caracterizado por el conjunto de objetivos relacionados con la asimilación de las reglas ortográficas. □

3.4.2. Escala de medida

Cuando se diseña un detector, no es suficiente indicar su rango de recepción, también hay que indicar cuales son los valores posibles que puede arrojar como resultado de la medida. En el caso de la comunicación educativa esto obliga a definir las calificaciones permitidas para cada prueba y en qué condiciones se obtiene cada una de ellas (criterios de evaluación).

Cuando dos receptores se encuentran en el mismo estado, un buen detector debería devolver la misma medida en ambos casos, independientemente del observador encargado de mirar el resultado. Es decir, una prueba de evaluación bien diseñada debe conducir a la misma calificación para dos alumnos que tengan el mismo estado de conocimiento, independientemente de quien realice la corrección.

Para garantizar que una prueba de evaluación funciona como un buen detector es necesario dejar claros los valores posibles de la medida (calificaciones permitidas) y los criterios de evaluación. Cuanto mejor diseñados estén los criterios de evaluación más probable es que dos evaluadores distintos lleguen a la misma calificación para el mismo alumno o para dos alumnos distintos con el mismo estado de conocimiento.

En el capítulo 4, sección 4.2.4 se proporcionará la caracterización matemática del proceso de evaluación y se discutirán otras peculiaridades que afectan a la evaluación como sistema de detección.

3.5. Problemas en la comunicación

Las perturbaciones en el proceso de comunicación pueden producirse a nivel del emisor, el receptor o el canal tal y como refleja la figura 3.2. Pueden ser de origen técnico o de origen semántico. Las de origen técnico están relacionadas con problemas en el canal de comunicación o en el proceso de codificación y decodificación técnica. Las de origen semántico hacen referencia a los problemas del emisor y el transmisor para explicar o comprender el mensaje respectivamente.

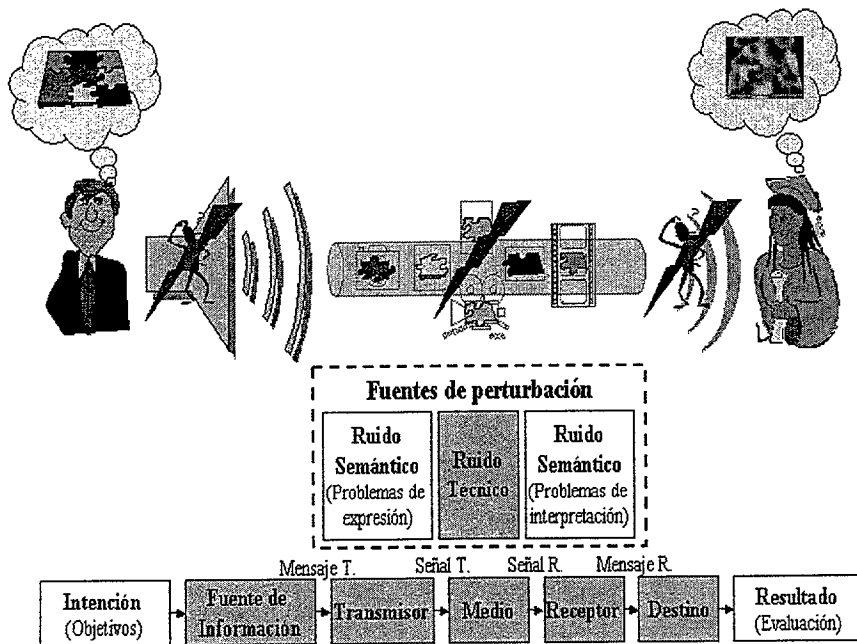


Figura 3.2: Problemas en la comunicación

Todas estas perturbaciones se pueden agrupar dentro de los dos problemas fundamentales del proceso de comunicación enunciados por Weaver [113]: el problema semántico y el problema de la efectividad de la comunicación.

- El **problema semántico** hace referencia a la diferencia entre las interpretaciones del significado del mensaje por parte del emisor y el receptor.
- El **problema de la efectividad** hace referencia a las diferencias entre el efecto producido en el receptor y el efecto deseado.

Estos dos problemas inherentes a cualquier proceso de comunicación humana toman especial relevancia en el caso de la comunicación educativa donde además es necesario obtener medidas cuantitativas de las desviaciones respecto a la situación esperada.

Analizando comparativamente el resultado esperado de la comunicación y el resultado medido en el proceso de evaluación podemos detectar los problemas mediante la atenuación y la distorsión que sufre la señal a su paso por el sistema de comunicación. La atenuación en un objetivo representa un bajo rendimiento en la asimilación del mismo. La distorsión de la señal indica que existen atenuaciones diferentes para los distintos objetivos.

3.5.1. Problema semántico

Los problemas de origen semántico tienen lugar en la codificación del mensaje por parte del profesor o en la decodificación por parte del alumno. Los problemas de codificación se producen cuando las unidades didácticas no expresan adecuadamente el conocimiento a transmitir y los de decodificación cuando el alumno no interpreta adecuadamente la información recibida, o no la asimila por completo.

La atenuación que sufre la señal en determinados objetivos a su paso por el sistema de comunicación puede atribuirse tanto al emisor/profesor como al receptor/alumno.

- **Problemas en la codificación:** Si se detecta el mismo problema para la mayoría de los receptores, se puede atribuir la atenuación al emisor, es decir, a una mala codificación del mensaje por parte del profesor. En este caso el problema se debe a que, al diseñar los contenidos, el profesor infravaloró la atenuación de ciertas componentes de la señal a su paso por el sistema de comunicación, es decir, infravaloró la dificultad de un objetivo en concreto o simplemente no lo supo transmitir de forma efectiva.

Cuando se produce esta situación el profesor puede tratar de eliminar el problema de varias formas:

- Introduciendo redundancia en el mensaje inicial para enfatizar los objetivos que sufren mayor atenuación a su paso por el sistema. La redundancia se introduce mediante la repetición del mismo contenido o la presentación de los mismos objetivos de distintas formas.
- Introduciendo amplificadores que fortalezcan la señal mediante el uso de evaluaciones intermedias que por una parte detectan la atenuación en la asimilación y por otra consiguen disminuirla produciendo una realimentación inmediata .

Por su parte el alumno puede tratar de evitar este problema tratando de captar la señal de más de un emisor. Esto puede conseguirlo mediante el estudio de unidades didácticas adicionales que traten los mismos objetivos.

- **Problemas en la decodificación:** Si el problema se detecta de forma aislada en un único receptor lo podemos atribuir a su capacidad de recepción en las componentes atenuadas. Es decir a los problemas individuales del alumno para asimilar determinados objetivos. En este caso el problema es que el receptor se comporta como un filtro para determinadas componentes de la señal. Este problema puede ser atacado por el profesor amplificando el mensaje en esas componentes o por el alumno mejorando su capacidad de recepción para esos objetivos.
- **Problemas derivados de los rangos de emisión y recepción:** A veces los problemas semánticos no se presentan de forma individual o globalmente, sino que se producen situaciones intermedias en las que podemos clasificar a los emisores y receptores en grupos. Cada uno de estos grupos se comporta adecuadamente en determinadas situaciones educativas y presentan problemas en otras. Caracterizaremos estas situaciones como rangos de emisión y recepción (definiciones 3.2.3 y 3.3.3).

El profesor puede mejorar su efectividad emitiendo simultáneamente en diferentes rangos. Esto se consigue mediante la elaboración de recorridos alternativos uno por cada rango de recepción de su audiencia. También puede ampliar su rango de emisión mediante el aprendizaje de nuevas técnicas didácticas.

El alumno puede mejorar su efectividad como receptor escogiendo emisores que emitan en su rango de recepción y ampliando este mediante el uso de técnicas de estudio adecuadas a su perfil.

3.5.2. Efectividad del proceso de comunicación

El proceso de comunicación tiene como efecto un cambio en el estado del receptor. Para comprobar si la comunicación ha sido efectiva es necesario medir el estado del receptor antes y después de recibir la señal, es decir, medir el conocimiento del alumno antes y después del curso. También es necesario establecer la diferencia entre el estado esperado, el estado detectado por el proceso de evaluación y el estado real.

Definición 3.5.1 (Efectividad). *Diremos que un curso es efectivo si la diferencia entre el estado esperado del receptor y el estado medido es menor que un cierto valor umbral para un número significativo de alumnos que siguen el curso.*

Para cuantificar los problemas de efectividad es necesario especificar el procedimiento de **medida** que nos permita calcular el estado del receptor a partir del nivel de conocimientos del alumno y definir el concepto de **distancia** que permita calcular las diferencias entre el estado esperado y el estado medido.

La caracterización matemática del estado del alumno en función de los objetivos del curso se analiza en el capítulo 4, sección 4.3. Los aspectos relacionados con el proceso de medida y la incertidumbre asociada a éste se analizan en la sección 4.2.4. La naturaleza del conocimiento hace que el estado del alumno sea una magnitud difícil de cuantificar ya que no se puede medir con precisión y no se puede evitar que el propio proceso de medida (evaluación) influya en el resultado. Esto introduce fundamentalmente dos problemas. Por una parte la única información que se tiene del estado del alumno es la que se puede estimar mediante el proceso de evaluación. Por otra la medida realizada mediante la evaluación es imprecisa ya que lleva asociada una incertidumbre. Esta incertidumbre es en parte debida a la naturaleza de la magnitud que se está tratando de medir (el conocimiento) y en parte asociada al diseño exhaustivo o no del proceso de evaluación. La caracterización matemática del estado del alumno cuando se tiene información incompleta se detalla en la sección 4.3.3

3.6. Conclusiones

En este capítulo se ha desarrollado la visión del proceso educativo como modelo de comunicación. Con esta visión se establece un puente entre la realidad que se quiere representar: el proceso educativo, y su representación matemática como interacción de sistemas dinámicos.

Esta capa intermedia ha permitido introducir magnitudes que facilitarán la interpretación de los resultados cuantitativos del modelo EPM que se propone en el capítulo 4 como son:

- Los conceptos de codificación y decodificación técnica y semántica.
- El concepto de efectividad de un proceso educativo.
- El rango de emisión para caracterizar las situaciones educativas en que una unidad didáctica o una acción docente resulta eficaz para transmitir conocimiento.
- El rango de recepción para caracterizar las situaciones educativas en las que a un alumno le resulta más fácil aumentar su conocimiento.
- El rango de detección para caracterizar las situaciones en las que una prueba de evaluación es eficaz para determinar el estado de conocimiento de un alumno.

Capítulo 4

Modelo EPM Educational Practice Model

La extensión del modelo de Shannon realizada en el capítulo anterior ha permitido dar una visión cualitativa de un proceso educativo concreto: la comunicación profesor-alumno que tiene lugar durante la realización de un curso. La efectividad de este proceso de comunicación se evalúa mediante el cambio experimentado por el alumno durante el proceso.

Una vez comprendida la relación entre la realidad que se quiere describir y el modelo propuesto se hace necesario definir, caracterizar y cuantificar cada una de las magnitudes descritas. En este capítulo se describen los objetos matemáticos utilizados para modelar el proceso educativo, cómo surgen las relaciones entre ellos y los resultados y conclusiones que se pueden extraer de su aplicación.

En la sección 4.1 se expone el origen del modelo como un intento de aplicar las técnicas de representación de sistemas dinámicos al ámbito de la educación. En la sección 4.2 se describen los elementos fundamentales del modelo y se proporciona una caracterización matemática de los objetivos, contenidos, acciones docentes y mecanismos de evaluación. En la sección 4.3 se analiza la representación del estado del alumno en el espacio definido por los objetivos del curso y en el espacio definido por las pruebas de evaluación y se proporciona una aproximación que facilita el proceso de transformación entre ambas. También se proporcionan mecanismos para extender la representación incluyendo nuevas magnitudes observables. Por último, en la sección 4.5, se discuten las principales conclusiones extraídas del desarrollo del modelo.

4.1. Problema general: Evolución de sistemas dinámicos

El modelo EPM que se desarrolla en este capítulo, surge del intento de resolver el problema educativo como un caso particular de un problema más general: el problema de la representación de la evolución de sistemas dinámicos en interacción con un entorno. Este cambio de enfoque a un nivel de abstracción superior para resolver el problema se inspira en dos ideas fundamentales:

1. El **proceso de abstracción** que ha seguido la física a lo largo de los años desde la descripción de problemas individuales hasta las grandes teorías de unificación a las que se tiende en la actualidad. El principal objetivo de estas teorías es obtener una representación unificada de la interacción de la que se puedan derivar todas las interacciones conocidas.
2. El **concepto de meta-representación** [47]. Heylighen, tras analizar distintos campos de conocimiento como la física, la teoría cognitiva, la teoría de sistemas y la inteligencia artificial, trata de buscar una teoría general para la representación de sistemas en evolución y llega a la conclusión de que no existe una estructura de representación básica que pueda ser aplicada de forma eficiente a todos los problemas de dominio. Para solucionar este problema introduce el concepto de meta-representación que permite expresar lo que tienen en común todas las representaciones y proporciona un marco general para su integración. A partir de este esquema se pueden derivar diferentes representaciones para cada problema de dominio concreto.

4.1.1. Metarrepresentación de un sistema dinámico

Utilizando como base estas dos ideas se ha definido una meta-representación, más concreta que la propuesta por Heylighen, que ha permitido aprovechar algunos de los desarrollos matemáticos utilizados en física tanto en el formalismo clásico como en el formalismo cuántico para describir los procesos educativos.

La meta-representación propuesta se basa en tres conceptos: estructura, estado y proceso.

1. **Estructura.** Es la parte estática de la representación, aquello que no varía con la evolución y que permite distinguir al sistema que se está analizando del entorno. Por eso se hablará indistintamente de estructura o

de sistema. Para su representación se utilizarán espacios vectoriales dotados de una métrica, para poder calcular distancias entre vectores del espacio, y de una topología, para poder definir métricas equivalentes que correspondan con la visión de diferentes observadores.

2. **Estado.** Permite describir aquellos aspectos del sistema que cambian durante su evolución y que pueden ser debidos, en parte, a la interacción con el entorno. Para su representación se utilizan los vectores del espacio que pueden ser objetos matemáticos de complejidad arbitraria.
3. **Proceso.** Es la parte dinámica de la representación. Se denomina proceso a todos los mecanismos que envían de un estado del sistema a otro. Se tratarán especialmente dos tipos de procesos:
 - a) Proceso de medida. Es el mecanismo mediante el cual se pasa del estado real del sistema al estado detectado por el observador.
 - b) Evolución. Es el mecanismo mediante el cual se pasa del estado del sistema en un instante de tiempo t a un estado posterior $t + \Delta t$

Para representar los procesos se utilizarán operadores definidos dentro del espacio vectorial que representa el sistema.

Este esquema propuesto para describir sistemas en evolución se puede considerar una meta-representación puesto que permite obtener representaciones distintas modificando los objetos matemáticos que representan los estados del sistema, variando la estructura del espacio de estados o modificando las propiedades que tienen que cumplir el grupo de operadores que describen los procesos del sistema.

Las principales ventajas de disponer de una meta-representación son:

- **Reutilización de desarrollos matemáticos.** La forma general de abordar el problema, como un problema de representación en un entorno dinámico, permite reutilizar los resultados obtenidos en un determinado contexto, en otros contextos que presenten características similares. En estos casos, el problema matemático ya ha sido resuelto y el aplicarlo a un nuevo contexto sólo se modifica la interpretación de los objetos matemáticos utilizados.
- **Manejo de la complejidad.** La descripción independiente del sistema de representación permite abordar problemas de diferente nivel de complejidad manteniendo el planteamiento general y cambiando los objetos

matemáticos que describen el estado del sistema por objetos más sencillos o más complejos según los requisitos del problema. En este caso, se mantiene la metodología de aplicación del formalismo y lo que varía son los objetos matemáticos que se tratan y la definición de las operaciones matemáticas asociadas a ellos.

4.1.2. Representación de un proceso educativo

Para facilitar la comprensión del modelo, en las siguientes secciones se desarrolla una representación concreta, derivada del esquema de meta-representación descrito en el apartado anterior, para analizar un problema educativo: **Describir la evolución de un conjunto de alumnos que sigue un curso para modificar su estado de conocimiento respecto a una materia.** Los parámetros de la representación se especifican en la tabla 4.1.

Parámetro	Interpretación	Representación matemática
Sistema	Alumno	Espacio de J dimensiones que corresponden con los J objetivos del curso
Estado	Nivel de conocimiento del alumno	Vector de J componentes
Proceso de medida	Evaluación	Operador que a partir del estado del alumno permite calcular su rendimiento para un determinado objetivo.
Proceso de evolución	Cambio de nivel de conocimiento del alumno	Operador que a partir del estado del alumno en un instante t indica su estado en un instante posterior.

Tabla 4.1: Parámetros de la representación

Como se utiliza el mismo espacio vectorial para representar a todos los alumnos, en la práctica, será suficiente con utilizar un único espacio vectorial y representar cada alumno mediante su estado de conocimiento. Al final de este capítulo y en el capítulo 7 se proponen algunos mecanismos para extender esta representación.

4.2. Diseño del curso

Para caracterizar un curso es necesario definir los objetivos de aprendizaje, las unidades didácticas, las acciones docentes y los mecanismos de evaluación utilizados para cuantificar en qué medida se cumplen los objetivos propuestos.

4.2.1. Definición de objetivos

La definición de los objetivos de aprendizaje de un proceso educativo es uno de los aspectos claves para la aplicación del modelo.

Definición 4.2.1 (Objetivos de aprendizaje). *Se denominan objetivos de aprendizaje de un proceso educativo al conjunto de los conceptos, procedimientos y actitudes que se espera que adquiera el alumno al final del mismo. En el modelo propuesto se representa cada uno de los objetivos seleccionados como un eje en un espacio n -dimensional. Si el proceso educativo tiene J objetivos el espacio matemático tendrá J dimensiones (O_1, O_2, \dots, O_J) .*

Definición 4.2.2 (Rendimiento η_j). *Se denomina rendimiento y se denota como η_j al grado de consecución que ha alcanzado un alumno para el objetivo O_j y se estima su valor mediante los resultados obtenidos por el alumno en las pruebas de evaluación.*

Los objetivos de aprendizaje hacen referencia no sólo al conocimiento del estudiante de un tema en particular sino a sus habilidades en general. En el modelo de comunicación expuesto en el apartado anterior los objetivos juegan un doble papel. Por un lado permiten definir la intencionalidad del proceso educativo, por otro, sirven como base para la caracterización matemática del resto de los elementos. Del mismo modo que en teoría de la comunicación resulta útil describir las señales electromagnéticas mediante su descomposición en frecuencias aquí se utiliza una representación análoga para caracterizar tanto los contenidos como los mecanismos de evaluación mediante su descomposición espectral en objetivos.

Hay varias formas en las que se pueden clasificar los objetivos atendiendo al dominio cognitivo, afectivo o psicomotriz. Uno de los sistemas de clasificación más referenciados es la taxonomía de Bloom [14] que identifica seis categorías principales en el dominio cognitivo: conocimiento, comprensión, aplicación, análisis, síntesis y evaluación.

El modelo propuesto es suficientemente flexible para soportar cualquier tipo de clasificación. Realizar una clasificación adicional de los objetivos según

sus tipos permite obtener una visión más reducida del espacio en la que cada dimensión agrupa todos los objetivos de un mismo tipo. Esta forma de representación resulta útil para realizar análisis desde el punto de vista pedagógico y no supone ninguna variación en la forma de aplicar el modelo.

Los objetivos se pueden definir con diferentes niveles de granularidad. Cuanto más detallada es la definición más información se puede extraer de la aplicación del modelo. La situación ideal consistiría en realizar un desglose de objetivos hasta su nivel más elemental, pero esto podría dar lugar a una lista excesivamente larga y difícil de manejar. La situación más habitual es que el curso se planifique mediante una lista reducida de objetivos más generales.

Se denominarán **micro-objetivos** a los objetivos elementales y **macro-objetivos** a los objetivos generales que tengan una estructura interna de objetivos elementales o macro-objetivos de menor dimensión.

Definición 4.2.3 (Micro-objetivo). *Objetivo fundamental que no puede descomponerse en objetivos más elementales. Se caracteriza por dos propiedades fundamentales: pueden considerarse independientes entre sí (ortogonales) y su grado de consecución sólo puede tomar dos valores discretos que indican la realización ($\eta_j = 1$) o no realización ($\eta_j = 0$) de dicho objetivo.*

Definición 4.2.4 (Macro-objetivo). *Objetivo general que tiene estructura interna que permite dividirlo en objetivos más elementales o agrupaciones de estos. Se caracteriza porque su grado de consecución puede tomar valores intermedios ($\eta \in [0, 1]$) que indican diferentes niveles de consecución del objetivo o consecución de sólo algunos de los objetivos elementales que lo forman.*

Cuando a un objetivo O_j se le puede atribuir un valor de consecución intermedio es señal de que no es suficientemente elemental sino un subespacio formado por varios objetivos elementales $O_j = \{O_{j1}, O_{j2}, \dots, O_{jk}, \dots, O_{jK}\}$. Utilizar objetivos generales supone mirar el problema desde una perspectiva más amplia a costa de perder precisión. En este cambio de perspectiva se realiza una reducción del espacio en la que el conjunto de dimensiones asociadas a los objetivos elementales O_{jk} se colapsan en una sola representada por el objetivo general O_j . El colapso de varias dimensiones en una sola trae asociado un proceso de pérdida de distinciones en el sentido descrito por Heylighen [47]. No es posible distinguir entre dos alumnos que obtengan distinto rendimiento en los objetivos elementales O_{jk} si su rendimiento en el objetivo general O_j es el mismo. Esta pérdida de distinciones puede ser total o parcial:

- **Pérdida total.** En este caso se pierde toda la información relativa a los objetivos elementales y la valoración del objetivo general se puede

interpretar como una probabilidad que refleja la pérdida de información asociada al proceso de pérdida de distinciones. De este modo $\eta_j = 0,7$ indica una probabilidad del 70 % de que el alumno haya cubierto el objetivo en su totalidad.

- **Pérdida parcial.** En este caso la información relativa a los objetivos elementales no se pierde por completo. Aunque los objetivos O_{jk} no aparezcan como ejes del espacio la información relativa a su rendimiento se mantiene asociada a los criterios de evaluación. De este modo cada criterio de evaluación refleja en realidad la valoración de cada uno de los objetivos elementales O_{jk} que componen el objetivo general O_j que se está evaluando.

$$\eta_j = 0,7 = \frac{1}{10} \sum_{k=1}^{10} \eta_{jk} = \begin{cases} \eta_{j1} = \eta_{j2} = \dots = \eta_{j7} = 1 \\ \eta_{j8} = \eta_{j9} = \eta_{j10} = 0 \end{cases}$$

A diferencia de lo que ocurría en el caso anterior $\eta_j = 0,7$ no se puede interpretar como una probabilidad, sino que indica que el alumno ha cumplido 7 de los 10 criterios de evaluación aplicables o lo que es lo mismo que ha realizado 7 de los 10 objetivos elementales O_{jk} que componen el objetivo general O_j . Cuando la pérdida de distinciones no es total se puede volver a aumentar la precisión de la representación asociando de nuevo un eje a cada uno de los objetivos elementales.

En la práctica, el procedimiento a seguir para definir los objetivos consiste en:

1. Elaborar la lista de conocimientos, procedimientos y actitudes que se espera que haya adquirido el alumno después del proceso educativo: $(O_1, O_2, \dots, O_j, \dots, O_J)$.
2. Etiquetar como micro-objetivos u objetivos discretos a aquellos cuyo grado de consecución sólo pueda tomar los valores 0 y 1 y macro-objetivos u objetivos continuos a aquellos cuyo grado de consecución pueda tomar valores intermedios dentro del intervalo $[0,1]$. La lista final puede estar formada por micro-objetivos, macro-objetivos o una combinación de ambos.
3. Asignar un peso β_j a cada objetivo teniendo en cuenta su dificultad y su importancia relativa dentro del curso.
4. Comprobar que los objetivos así definidos cumplen las siguientes propiedades:

- a) **Ortogonalidad.** Los objetivos deben ser independientes entre sí o al menos se deben poder evaluar de forma independiente.
- b) **Normalización.** Independientemente de que todos los objetivos tengan la misma importancia ($\beta_j = 1/J \quad \forall j$) o no, se debe cumplir la condición de normalización dada por la ecuación 4.1:

$$\sum_{j=1}^J \beta_j = 1 \quad (4.1)$$

Aunque el modelo es aplicable a cualquier proceso educativo, para facilitar su comprensión, la exposición se centrará en su aplicación a un curso.

Ejemplo: Supóngase el diseño de un curso sobre programación orientada a objetos (desde ahora OOP) en java con J objetivos diferentes. Como se ha dicho los objetivos se pueden categorizar de varias formas, por simplicidad se escogen únicamente tres categorías que hacen referencia a la asimilación de conceptos (C), la asimilación de los procedimientos (P) para realizar determinadas tareas complejas como la codificación de un programa y los relativos a las actitudes del estudiante (A). En la tabla 4.2 se resumen los objetivos relacionados con el concepto de herencia. Como se puede ver los objetivos O_1, O_4 y O_6 forman parte de los objetivos conceptuales (C), O_3, O_4, O_5 y O_6 están relacionados con los procedimentales (P) y finalmente O_2 y O_6 hacen referencia a los actitudinales (A).

Este bloque temático ha sido diseñado para que los cinco primeros objetivos se cubran con la asistencia del profesor y el último mediante trabajo personal del alumno. Para ello se ha organizado el curso en cinco sesiones de 50 minutos cada una. Cuatro de ellas dedicadas a clases presenciales y una al trabajo personal.

Por simplicidad se le ha atribuido la misma importancia a todos los objetivos. Todos ellos son macro-objetivos y aunque no son independientes entre sí se puede valorar su consecución de forma independiente.

Debido a la clasificación adicional que se ha realizado de los objetivos en tres tipos se puede reducir el espacio a tres dimensiones y analizar cómo evoluciona el alumno en función de su actitud, su capacidad para asimilar conceptos o para realizar procedimientos. □

4.2.2. Caracterización espectral del curso

Una vez definidos los objetivos del curso es necesario planificar cómo se va a llevar a cabo el proceso educativo. Para ello se seleccionan o se diseñan

O_j	Objetivos	Peso (β_j)	C	P	A
O_1	Comprender el concepto de herencia	$\beta_1 = 1/6$	x		
O_2	Comprender su utilidad	$\beta_2 = 1/6$			x
O_3	Ser capaz de modelar ejemplos sencillos	$\beta_3 = 1/6$		x	
O_4	Conocer la sintaxis y la terminología de la herencia en java	$\beta_4 = 1/6$	x	x	
O_5	Ser capaz de implementar ejemplos sencillos	$\beta_5 = 1/6$		x	
O_6	Ser capaz de implementar ejemplos complejos utilizando todo lo aprendido	$\beta_6 = 1/6$	x	x	x

Tabla 4.2: Objetivos del curso

contenidos, recursos y técnicas didácticas para conseguir que el alumno cumpla los objetivos definidos en un tiempo determinado. Este procedimiento denominado diseño instruccional tiene en cuenta factores como el perfil del alumno o el contexto socio-cultural en el que se desarrolla el curso.

El resultado de la planificación es un conjunto de unidades didácticas (definición 4.2.5) y acciones docentes (definición 4.2.6) que pretenden inducir determinados cambios en el estado de conocimiento del alumno. Los mecanismos de evaluación permitirán determinar si estas acciones consiguen o no los resultados esperados. En el modelo de comunicación las unidades didácticas y acciones docentes constituyen el mensaje que el emisor quiere transmitir al receptor.

Definición 4.2.5 (Unidad didáctica). *Se denomina unidad didáctica (UD) a la unidad seleccionada para secuenciar el contenido del curso. Cada unidad didáctica se representa mediante un vector C_i en el espacio de objetivos. El vector C_i indica el incremento de conocimiento que se espera que experimente un alumno al cursar la unidad didáctica C_i como indica la ecuación 4.2 donde $\widehat{\Psi}_{i-1}$ y $\widehat{\Psi}_i$ representan el estado de conocimiento esperado antes y después de cursar la unidad didáctica.*

$$\widehat{\Psi}_i = \widehat{\Psi}_{i-1} + C_i \quad (4.2)$$

El proceso de descomposición del curso en unidades más pequeñas puede hacerse a cualquier nivel de granularidad. Las unidades didácticas representan diferentes temas, secciones o conceptos dependiendo del nivel de granularidad escogido. La naturaleza de las unidades didácticas también puede ser distinta dependiendo del tipo de curso, el contexto en el que se imparte y su forma de

codificación (lecturas, clases presenciales, transparencias, ejercicios, casos de estudio, trabajos, prácticas, simulaciones)

La transmisión de una unidad didáctica desde el emisor al receptor lleva por lo general asociadas un conjunto de acciones que denominaremos globalmente acciones docentes.

Definición 4.2.6 (Acción docente). *Se denomina acción docente (AD) asociada a una unidad didáctica C_i al conjunto de acciones planificadas para asimilar dicha unidad didáctica. La acción docente asociada a la unidad didáctica C_i se representa mediante un operador A_i que transforma un vector del espacio $\widehat{\Psi}_{i-1}$ en otro $\widehat{\Psi}_i = \widehat{\Psi}_{i-1} + C_i$. Donde $\widehat{\Psi}_{i-1}$ y $\widehat{\Psi}_i$ representan el conocimiento esperado antes y después de cursar la unidad didáctica C_i .*

$$\begin{aligned} \widehat{\Psi}_{i-1} &\xrightarrow{A_i} \widehat{\Psi}_i = \widehat{\Psi}_{i-1} + C_i \\ A_i \widehat{\Psi}_{i-1} &= \widehat{\Psi}_i \end{aligned} \tag{4.3}$$

La definición permite incluir como acciones docentes tanto las acciones realizadas por el profesor o el sistema de enseñanza (impartir una clase, resolver un ejercicio a modo de ejemplo o mostrar una simulación) hasta las acciones realizadas por el propio alumno para mejorar su estado de conocimiento (memorizar un concepto, elaborar un esquema, resumen o gráfico). Las acciones docentes realizadas por el profesor están íntimamente relacionadas con las **técnicas didácticas** y las del alumno con las **técnicas de estudio**.

Los únicos requisitos que se exigen a las acciones docentes es que estén asociadas a una unidad didáctica y que figuren en la planificación del curso. Esta forma de abordar el problema permite tratar de manera unificada programas de educación presencial, educación a distancia o incluso programas educativos de diferentes países que utilizan versiones más o menos activas del aprendizaje. La tendencia actual es hacia una visión activa del aprendizaje en la que el alumno juega el papel protagonista y por tanto la planificación del curso gira entorno a las actividades que debe realizar el alumno.

Caracterización espectral de las unidades didácticas

Atendiendo a las definiciones del apartado anterior se puede caracterizar el contenido de un curso con I unidades didácticas como un vector C que representa el incremento de conocimiento que debería experimentar un alumno al seguir el curso. Este vector es la resultante de componer los incrementos

debidos a cada una de las unidades didácticas C_i (ecuación 4.4).

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_i + \dots + C_I \quad (4.4)$$

Para poder cuantificar el efecto esperado del curso sobre el estado de conocimiento del alumno es necesario establecer una relación de dependencia entre cada una de las unidades didácticas y los objetivos que pretende cubrir. Esto se consigue rellenando la tabla 4.3. Para hacerlo basta con indicar para cada objetivo en qué unidades se va a tratar y con qué porcentaje en cada una de ellas. Los coeficientes c_{ij} indican la importancia de la unidad didáctica C_i para cubrir el objetivo O_j .

Para dar valor a estos coeficientes es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. **Condición de normalización.** La suma de todos los coeficientes c_{ij} relativos a un mismo objetivo O_j debe ser la unidad como indica la ecuación 4.5. Es decir, sumando las contribuciones de todas las unidades didácticas para la consecución de un objetivo debemos llegar a la realización total del mismo.

$$\sum_{i=1}^I c_{ij} = 1 \quad \forall j \quad (4.5)$$

2. **Rendimiento esperado ($\hat{\eta}_i$).** La suma de todas las contribuciones a los diferentes objetivos c_{ij} dentro de una misma unidad didáctica C_i , ponderada por el peso β_j de cada objetivo permite calcular el incremento esperado en el rendimiento del alumno $\hat{\eta}_i$. Este valor es una medida de la fracción del curso que se espera que asimile el alumno al cursar la unidad didáctica C_i .

$$\hat{\eta}_i = \sum_{j=1}^J c_{ij}\beta_j \quad (4.6)$$

3. **Estimación de la duración temporal (\hat{t}_i).** Los productos $c_{ij}\beta_j$, utilizados para el cálculo del rendimiento esperado, dan también una idea del tamaño y dificultad de la unidad didáctica C_i . Este valor permite realizar una primera estimación del tiempo relativo (\hat{t}_i) que se debe dedicar a la unidad C_i a partir de la duración total del curso (t_{total}).

$$t_i \approx \hat{t}_i = t_{total} \sum_{j=1}^J c_{ij}\beta_j \quad (4.7)$$

Las diferencias entre la duración asignada directamente por el profesor a cada unidad didáctica t_i y la duración estimada por el modelo \hat{t}_i reflejan problemas de diseño. Estos problemas se deben a la inconsistencia entre el peso asignado directamente a los objetivos del curso y el que se le atribuye indirectamente según el tiempo que se les dedica a lo largo del curso. Más adelante se tratará la forma de corregir estas inconsistencias.

4. **Granularidad de los objetivos.** A la vista del desglose realizado en la tabla 4.3 se puede concluir que cuando un objetivo O_j se trata en distintas unidades didácticas se puede considerar un macro-objetivo, ya que es susceptible de ser evaluado de forma independiente en cada una de ellas. Sin embargo, si se trata en una única unidad didáctica, se puede tratar como macro o micro-objetivo según convenga evaluar su rendimiento de forma discreta $\eta_j \in \{0, 1\}$ o de forma continua $\eta_j \in [0, 1]$.

U. didáctica	O_1	O_2	...	O_j	...	O_J	Duración estimada $\hat{t}_i = t_{total} \sum_{j=1}^J c_{ij} \beta_j$
C_1	c_{11}	c_{12}	...	c_{1j}	...	c_{1J}	t_1
C_2	c_{21}	c_{22}	...	c_{2j}	...	c_{2J}	t_2
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots	\ddots	\vdots	
C_i	c_{i1}	c_{i2}	...	c_{ij}	...	c_{iJ}	t_i
\vdots		\vdots	\ddots	\vdots	\ddots		\vdots
C_I	c_{I1}	c_{I2}	...	c_{Ij}	...	c_{IJ}	t_I
Normalización $\sum_{i=1}^I c_{ij} = 1$	1	1	...	1	...	1	$\sum_{i=1}^I \hat{t}_i = t_{total}$

Tabla 4.3: Caracterización espectral de las unidades didácticas

Ejemplo: Siguiendo con el ejemplo anterior “OOP en Java”, en la tabla 4.4 se puede ver la caracterización espectral de los contenidos del curso en función de los objetivos. Se muestra a modo de ejemplo la descomposición espectral de la unidad didáctica C_3 : “¿Para qué es útil el concepto de herencia?”. Esta unidad cubre los objetivos O_2 y O_3 en un porcentaje representado por los coeficientes $c_{32} = 1/2$ y $c_{33} = 1$. Además analizando la tabla se puede concluir que O_1 , O_2 y O_4 son macro-objetivos ya que se tratan en dos unidades didácticas y son susceptibles de ser evaluados independientemente en cada una de ellas mientras que O_3 , O_5 y O_6 se pueden considerar a efectos prácticos como macro o micro-objetivos según convenga en el proceso de evaluación evaluar su consecución o no consecución de forma global o considerando niveles intermedios. En este

Unidades didácticas	O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6	\hat{t}_i	t_i
C_1 Definición de herencia	1/2						21	20
C_2 ¿Para qué sirve la herencia? I: Conceptos de especialización y generalización	1/2	1/2					42	30
C_3 ¿Para qué sirve la herencia? II: Ejemplos		1/2	1				62	50
C_4 ¿Cómo se implementa la herencia? I: Terminología y sintaxis				1/2			21	30
C_5 ¿Cómo se implementa la herencia? II: Ejemplos				1/2	1		62	70
C_6 Trabajo personal						1	42	50
Normalización: $\sum_{i=1}^I c_{ij} = 1$	1	1	1	1	1	1	250	250

Tabla 4.4: Caracterización espectral de los contenidos del curso

ejemplo se consideran todos los objetivos como macro-objetivos. Si se suman los elementos de la tabla por columnas se puede comprobar que se cumple la condición de normalización (ecuación 4.5) para todos los objetivos.

Si se realiza la suma ponderada de los elementos de la tabla por filas aplicando la ecuación 4.7, se obtiene una estimación del tiempo relativo \hat{t}_i que se debería asignar a cada unidad. La columna t_i representa el tiempo real asignado. La duración real se ha obtenido modificando ligeramente la duración estimada \hat{t}_i para ajustar las unidades didácticas a la distribución temporal de sesiones. Este ajuste se ha realizado teniendo en cuenta que este bloque temático se imparte en cuatro sesiones de 50 minutos más una sesión de 50 minutos adicional para el trabajo personal. \square

La relación de dependencia representada en la tabla 4.3 se puede resumir en la ecuación 4.8.

$$C = \sum_{i=1}^I C_i \implies C_i = \sum_{j=1}^J c_{ij} \cdot O_j; \quad (4.8)$$

Esta relación se puede expresar también de forma matricial como indica la

ecuación 4.9

$$C = \underbrace{\begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ \vdots \\ C_i \\ \vdots \\ C_I \end{pmatrix}}_{\{C_i\}} = \underbrace{\begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1j} & \cdots & c_{1J} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2j} & \cdots & c_{2J} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{i1} & c_{i2} & \cdots & c_{ij} & \cdots & c_{iJ} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{I1} & c_{I2} & \cdots & c_{Ij} & \cdots & c_{IJ} \end{pmatrix}}_{\{c_{ij}\}} \underbrace{\begin{pmatrix} O_1 \\ O_2 \\ \vdots \\ O_j \\ \vdots \\ O_J \end{pmatrix}}_{\{O_j\}} \quad (4.9)$$

Ajustes sobre la planificación de unidades didácticas

Cuando la duración asignada directamente a las unidades didácticas t_i no se corresponde con la duración estimada por el modelo \hat{t}_i mediante la ecuación 4.7, el análisis de estas diferencias permite detectar inconsistencias en la planificación del curso.

Si las diferencias son pequeñas se pueden atribuir a los ajustes necesarios para redondear las sesiones en intervalos regulares y que no haya saltos abruptos entre temas. Si las diferencias son grandes es necesario analizar en detalle la planificación del curso para detectar cual de estos tres factores es el origen de la inconsistencia:

- la distribución de objetivos entre las distintas unidades didácticas c_{ij}
- la asignación temporal realizada directamente a cada unidad didáctica t_i
- el peso relativo β_j que se atribuye a cada objetivo dentro del curso

El primer factor es el más objetivo de los tres y por tanto el menos susceptible de error. Si se trata de micro-objetivos, los coeficientes c_{ij} valen 1 o 0 indicando simplemente para cada tema si el objetivo está involucrado o no. Si se trata de macro-objetivos queda cierto margen a la subjetividad al indicar qué fracción de cada objetivo se trata en cada tema.

Al ser el primer factor el más objetivo de los tres, normalmente las diferencias entre el tiempo asignado y el estimado se deben a inconsistencias entre el segundo factor y el tercero. Estas inconsistencias se hacen más patentes si en lugar de analizar el tiempo asignado por unidades didácticas se realiza por objetivos. El dedicar más tiempo del estimado a un determinado objetivo indica que en la práctica se les está dando más peso dentro del curso que el

que tenía asignado inicialmente. Mientras que si se les resta tiempo es como si en la práctica se le otorgase un peso menor. Es importante recordar que al calcular el peso del objetivo se debe tener en cuenta no sólo su importancia relativa dentro del curso sino también su dificultad.

Una vez calculadas estas diferencias, sólo resta comprobar cual de los dos pesos es el que mejor se adapta a las características reales del curso y ajustar la planificación (duración de las unidades didácticas o peso de los objetivos) de acuerdo a las conclusiones obtenidas:

- Si se considera que el peso asignado inicialmente a los objetivos β_j es correcto bastará con modificar en la planificación el tiempo asignado a cada unidad didáctica t_i para ajustarse a la duración adecuada a dicho peso \hat{t}_i
- Si se considera que la duración asignada inicialmente t_i es correcta será necesario ajustar los pesos de los objetivos para que reflejen la importancia real que se les está atribuyendo dentro del curso según su duración.

El segundo escenario planteado es el más frecuente. Normalmente, tras repetir un curso en varias ediciones, se tiene una idea bastante clara del tiempo que hay que dedicar a cada objetivo para que el alumno lo asimile. En este caso se da por válida la asignación temporal corregida por la experiencia t'_i y se recalculan los pesos de los objetivos según la ecuación 4.10

$$\hat{\beta}_j = \frac{1}{t'_{total}} \sum_{i=1}^I t'_i c_{ij} \quad t'_{total} = \sum_{i=1}^I t'_i \quad (4.10)$$

Al corregir los pesos asignados a cada objetivo se hace necesario actualizar también los valores del rendimiento esperado al finalizar cada unidad didáctica (ecuación 4.6) para reflejar el efecto de la nueva distribución de pesos.

Caracterización de las acciones docentes

Utilizando la definición 4.2.6 se puede representar la acción de impartir un curso mediante un operador acción docente A que aplicado a un vector del espacio $\hat{\Psi}_0$ (estado inicial) lo transforme en otro $\hat{\Psi}_f$ (estado final). El estado inicial representa los requisitos que el curso impone al alumno y el estado final refleja el nivel de conocimiento correspondiente a la consecución de todos los objetivos.

$$A\hat{\Psi}_0 = \hat{\Psi}_f \quad (4.11)$$

El operador global del curso A es en realidad el resultado de la composición de un conjunto de operadores más elementales (ecuación 4.12) donde cada operador acción docente A_i representa la aplicación individual de cada una de las unidades didácticas C_i . Nótese que los operadores están ordenados temporalmente de derecha a izquierda que es el orden en el que se aplican.

$$A = A_I \circ A_{I-1} \circ \dots \circ A_i \dots \circ A_2 \circ A_1 \quad (4.12)$$

Si se tiene en cuenta que los vectores C_i representan el incremento de conocimiento debido a la unidad didáctica i y los vectores $\widehat{\Psi}_{i-1}$ y $\widehat{\Psi}_i$ el estado de conocimiento esperado antes y después de cursar dicha unidad (ecuación 4.2), se puede representar matemáticamente la impartición del curso como la aplicación sucesiva de un conjunto de operadores (ecuaciones 4.13 y 4.14).

$$\begin{aligned} A_1 \widehat{\Psi}_0 &= \widehat{\Psi}_1 = \widehat{\Psi}_0 + C_1 \\ A_2 \widehat{\Psi}_1 &= \widehat{\Psi}_2 = \widehat{\Psi}_1 + C_2 \\ &\vdots \\ A_i \widehat{\Psi}_{i-1} &= \widehat{\Psi}_i = \widehat{\Psi}_{i-1} + C_i \\ &\vdots \\ A_I \widehat{\Psi}_{I-1} &= \widehat{\Psi}_I = \widehat{\Psi}_{I-1} + C_I \end{aligned} \quad (4.13)$$

$$A \widehat{\Psi}_0 = A_I A_{I-1} \dots A_2 A_1 \widehat{\Psi}_0 = \widehat{\Psi}_I = \widehat{\Psi}_f \quad (4.14)$$

Ejemplo: En la tabla 4.5 se muestran las acciones docentes asociadas a las unidades didácticas descritas en la tabla 4.4 para explicar el concepto de herencia. En este ejemplo se analizan únicamente las cuatro sesiones de clases presenciales. Las tres primeras se imparten en aulas de teoría y consisten en la presentación de los conceptos por parte del profesor mediante clases magistrales, así como la presentación de ejemplos sencillos, ejercicios resueltos y casos de estudio. La última sesión se imparte en un aula de prácticas y consiste en la realización de ejercicios prácticos por parte del alumno bajo la supervisión de un profesor de prácticas para resolver sus dudas. Las acciones docentes asociadas a una unidad didáctica pueden tener distintos niveles de granularidad. En la tabla se puede apreciar como A_1 , A_2 y A_4 se han expresado como una única acción mientras que A_3 y A_5 se han representado mediante la composición de dos acciones distintas. \square

Trayectoria UD

El efecto de impartir un curso se refleja en el modelo como un desplazamiento del vector que representa el estado del alumno en el espacio de objetivos.

Sesión	C_i	A_i	Acción Docente	$t(min)$
S_1	C_1	A_1 :	Clase magistral	50
	C_2	A_2 :	Clase magistral	
S_2	C_3	A_{31} :	Clase magistral	50
		A_{32} :	Exposición caso de estudio	
S_3	C_4	A_4 :	Exposición ejemplos sencillos	50
	C_5	A_{51} :	Resolución ejercicios prácticos	
S_4	C_5	A_{52} :	Realización supervisada de ejercicios prácticos	50

Tabla 4.5: Acciones docentes asociadas al bloque temático de herencia

La forma en que cada una de las acciones docentes desplaza al vector permite describir la trayectoria que se espera que siga el alumno a lo largo del curso. Esta trayectoria, que denominaremos trayectoria-UD, se traza como la unión entre varios puntos intermedios que representan el estado esperado del alumno $\widehat{\Psi}_i$ al finalizar cada una de las unidades didácticas C_i (figura 4.1).

Para dibujar esta trayectoria sería necesario un espacio de $J + 1$ dimensiones: una dimensión para representar el tiempo y las J restantes para representar el rendimiento en cada uno de los objetivos $(O_1, O_2, \dots, O_j, \dots, O_J)$. Para facilitar su visualización se descompone esta representación en dos:

- una trayectoria en un espacio de dos dimensiones (figura 4.2 (a))
- un diagrama de barras asociado a cada punto de la trayectoria (figura 4.2 (b))

La trayectoria en dos dimensiones representa el rendimiento medio esperado $\widehat{\eta}_i$ al finalizar cada una de las unidades didácticas C_i en función del tiempo. El diagrama de barras asociado a cada punto de la trayectoria se calcula a partir de la descomposición espectral (tabla 4.3) y permite representar por separado el rendimiento esperado para cada uno de los objetivos $\widehat{\eta}_j$. La pendiente de esta trayectoria da una idea de la velocidad a la que se transmite el conocimiento.

Ejemplo: La aplicación de las acciones docentes descritas en la tabla 4.5 al estado del alumno permite trazar la trayectoria esperada para el bloque temático de herencia (figura 4.2). □

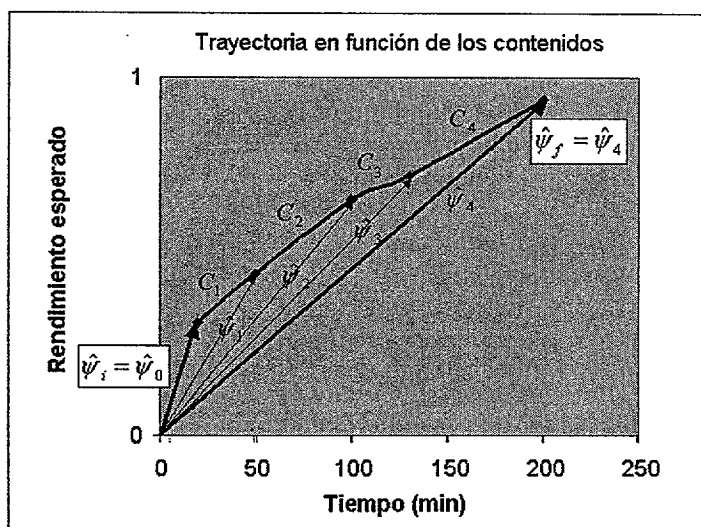


Figura 4.1: Trayectoria esperada en función de las unidades didácticas

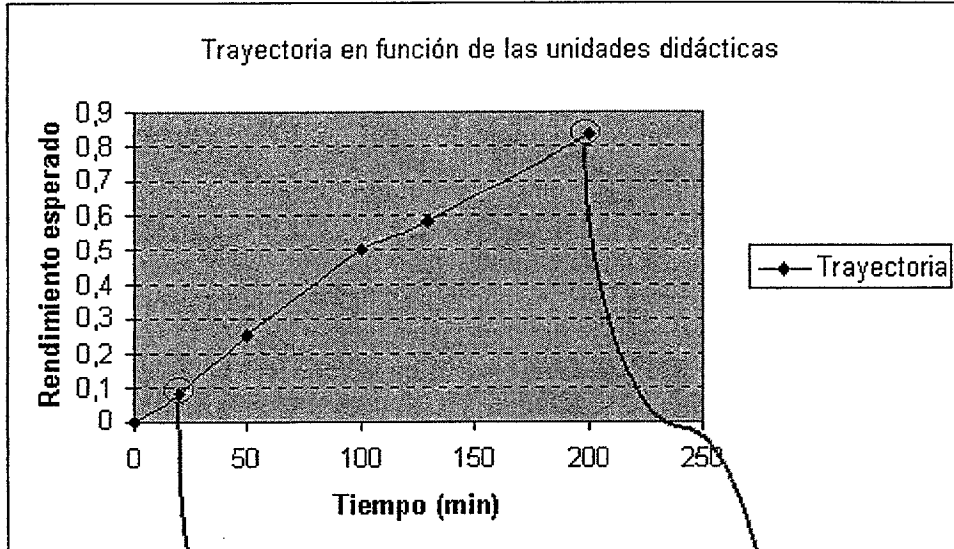
4.2.3. Codificación múltiple

Cada bloque de contenido puede presentarse al alumno de una única forma (codificación única) o pueden ofrecerse varias alternativas (codificación múltiple). Cada una de las formas de codificación ofrece al alumno un camino alternativo para seguir el curso (figura 4.3). Las razones que obligan a diversificar un curso en varios caminos pueden ser de origen semántico (definición 3.2.1) para hacer más comprensible el mensaje al alumno, o pueden ser de origen técnico (definición 3.2.2) para hacerlo más accesible.

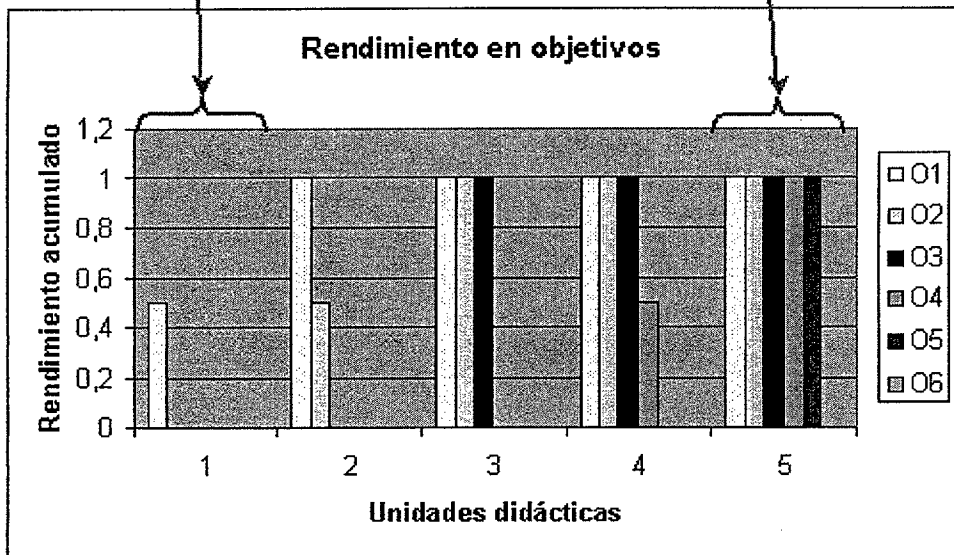
Una codificación alternativa se puede conseguir de varias formas:

- introduciendo nuevas unidades didácticas o acciones docentes
- secuenciando de forma distinta las unidades didácticas o acciones docentes existentes
- presentando distintas versiones de una unidad didáctica y/o acción docente.

La figura 4.3 ilustra las distintas posibilidades.



(a)



(b)

Figura 4.2: Trayectoria esperada para el bloque temático de herencia

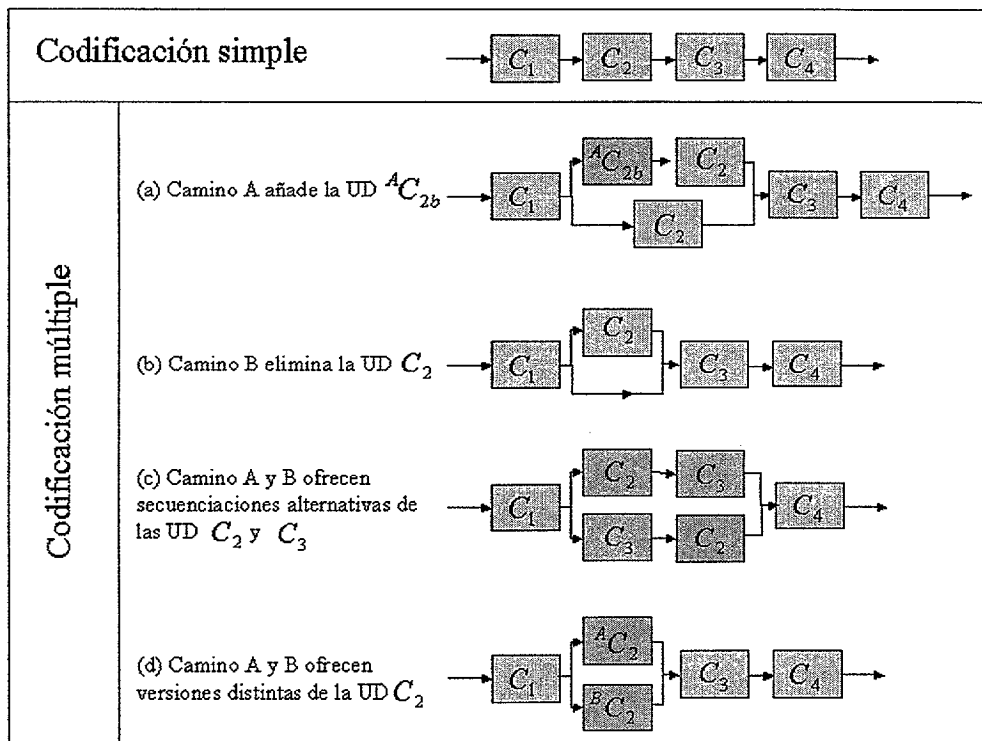


Figura 4.3: Codificación Múltiple.

Tipología

Una vez caracterizado un curso C mediante las unidades didácticas representadas por los vectores C_i y las acciones docentes que lo componen representadas por los operadores A_i (ecuación 4.15), todas las posibilidades descritas en la figura 4.3 se reducen a dos: introducir modificaciones en las unidades didácticas o introducir modificaciones en las acciones docentes.

$$C = \begin{cases} (C_1, C_2, \dots, C_i, \dots, C_I) \\ (A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_I) \end{cases} \quad (4.15)$$

La multiplicidad en la codificación puede conseguirse principalmente de dos formas:

- **Diversificando las unidades didácticas C_i .** Es decir ofreciendo distintos contenidos para conseguir unos mismos objetivos.
- **Diversificando las acciones docentes A_i .** Es decir ofreciendo varias alternativas a la forma de impartir una misma unidad didáctica.

Teniendo en cuenta esta división se pueden considerar tres casos de codificación múltiple: según si la diversificación se produce a nivel de acciones docentes, de unidades didácticas o de ambas. Para cada uno de estos casos se presentan tres escenarios de aplicación.

- Para modelar un **proceso normal** en el que se utiliza la codificación múltiple para tener en cuenta la heterogeneidad de los receptores.
- Para modelar la **atenuación** de la señal a su paso por el sistema de comunicación.
- Para modelar la **amplificación** de la señal que minimiza los efectos de la atenuación a su paso por el sistema.

1. **Caso I:** $\begin{cases} = C_i & \text{Mismas unidades didácticas} \\ \neq A_i & \text{Distintas acciones docentes} \end{cases}$

Este caso permite modelar las siguientes situaciones:

- Procesos educativos en los que se **reutiliza un mismo contenido en diferentes contextos** como por ejemplo un curso que se imparte simultáneamente a varios grupos de alumnos o distintas ediciones de un mismo curso.

- Atenuación de la señal debida a la **eliminación de acciones docentes** como por ejemplo cuando el alumno no asiste a una clase presencial pero sí dispone del material del curso.
- Amplificación de la señal debido a la **introducción de acciones docentes** adicionales. Esta situación tiene lugar cuando se acude a una tutoría o a otro alumno para que vuelva a explicar los mismos contenidos de forma distinta.

Cuando la multiplicidad en la codificación se debe a la forma de impartir el curso, el análisis comparativo del rendimiento obtenido en los diferentes caminos permite cuantificar la **efectividad de cada acción docente** (ver apartado 5.3).

2. **Caso II:** $\begin{cases} \neq C_i & \text{Distintas unidades didácticas} \\ = A_i & \text{Mismas acciones docentes} \end{cases}$

Este caso permite modelar principalmente las siguientes situaciones:

- procesos educativos en los que las características del alumno o el canal de comunicación obligan a modificar la codificación de los contenidos creando diferentes versiones para **facilitar la accesibilidad**. Por ejemplo:
 - Crear dos versiones del mismo curso para idiomas distintos.
 - Utilizar materiales adaptados para alumnos con discapacidades auditivas o visuales.
 - Utilizar material audiovisual en diferentes resoluciones en un curso vía web para adaptarse al ancho de banda del canal de comunicación utilizado (LAN, Módem, ADSL, etc.).

También pueden utilizarse contenidos distintos para adaptarse a las preferencias, al modelo de conocimiento o al perfil de aprendizaje del alumno pero normalmente este tipo de adaptaciones afectan no sólo a las unidades didácticas sino también a las acciones docentes asociadas a ellas y por eso se trata esta situación en el caso III.

- Atenuación de la señal debido a la **eliminación de unidades didácticas**. Esta situación se produce cuando el alumno deja de recibir parte del material del curso por problemas de distribución como por ejemplo cuando en un curso vía web uno de los enlaces a los materiales docentes deja de funcionar.
- Amplificación de la señal mediante la **introducción de unidades didácticas adicionales**. Esta situación se produce cuando en uno de los caminos se introducen contenidos adicionales para cubrir los

mismos objetivos como por ejemplo añadir referencias bibliográficas, o proporcionar otros contenidos que cubran los mismos objetivos (ej. enlaces a otros cursos de características similares).

El análisis comparativo de rendimiento en este caso permite caracterizar la **efectividad de una unidad didáctica** para cumplir determinados objetivos (ver apartado 5.3). Esta caracterización se puede hacer también en función de los alumnos si se dispone de grupos de análisis con alumnos de perfiles definidos.

3. **Caso III:** $\begin{cases} \neq C_i & \text{Distintas unidades didácticas} \\ \neq A_i & \text{Distintas acciones docentes} \end{cases}$

Este caso en el que los caminos se diferencian tanto por las unidades didácticas que utilizan como por la forma de impartirlas permite modelar las siguientes situaciones:

- cursos adaptativos en los que se quiere **atender a la diversidad** del alumnado modificando tanto el contenido como la forma de impartirlo para adaptarse a sus preferencias, nivel de conocimiento, o perfiles de aprendizaje.
- Atenuación de la señal debida a la pérdida de una unidad didáctica y/o una acción docente.
- Amplificación de la señal mediante la introducción de unidades didácticas y/o acciones docentes adicionales.

El análisis comparativo del rendimiento en los diferentes caminos permite caracterizar la **efectividad de la combinación de una unidad didáctica y las acciones docentes asociadas** a la misma (ver sección 5.3)

Caracterización matemática

Para caracterizar matemáticamente un curso con varios caminos alternativos se denomina Γ al número de codificaciones alternativas que ofrece un curso y se etiqueta con el superíndice γ con $\gamma = A, B, C, \dots$ a cada uno de los caminos individuales.

Atendiendo a esta notación se denominan $({}^A C_i, {}^B C_i, \dots, {}^\gamma C_i, \dots, {}^\Gamma C_i)$ las diferentes codificaciones de una misma unidad didáctica C_i , una por cada camino alternativo.

Los caminos que representan las distintas codificaciones de un curso pueden tener distinta longitud bien por su duración temporal o porque el número de unidades didácticas que lo componen p_γ sea distinto. Pero en el diseño se supone que la contribución global de cada uno de los caminos a la consecución de los objetivos del curso es la misma. Es decir, el incremento esperado en el conocimiento del alumno al concluir el curso sigue siendo C independientemente del camino γ seguido.

$$\gamma C = \sum_{i=1}^{p_\gamma} \sum_{j=1}^J \gamma C_{ij} O_j \quad (4.16)$$

Del mismo modo se puede codificar el conjunto de acciones docentes asociadas a un curso representadas por el operador A de Γ formas distintas (${}^A A, {}^B A, \dots, {}^\gamma A, \dots, {}^\Gamma A$) una por cada camino alternativo que ofrezca el curso. La acción docente ${}^\gamma A$ correspondiente al camino γ puede a su vez ser el resultado de la composición de p_γ acciones docentes individuales ${}^\gamma A_i$ una por cada acción docente como indica la ecuación 4.17.

$${}^\gamma A = {}^\gamma A_{p_\gamma} \circ {}^\gamma A_{p_\gamma-1} \circ \dots \circ {}^\gamma A_2 \circ {}^\gamma A_1 \quad (4.17)$$

Cada acción docente supone una transformación de un punto a otro del espacio de estados. El número de acciones docentes p_γ y por tanto de transformaciones puede ser distinto para cada camino. El efecto global de aplicar todas las transformaciones correspondientes a un mismo camino es llevar al alumno al estado de conocimiento esperado representado por $\widehat{\Psi}_I$.

Cuando la codificación múltiple afecta a la caracterización espectral de los estados esperados intermedios esta multiplicidad se refleja en la trayectoria que se desdobra en varios caminos. En la figura 4.4 se muestran las trayectorias seguidas para los casos presentados en la figura 4.3. Se puede ver como los casos (a) (b) y (c) dibujan trayectorias alternativas mientras que el caso (d) no modifica el gráfico ya que las dos codificaciones (${}^A C_2, {}^B C_2$) de la unidad didáctica C_2 conducen al mismo estado esperado, es decir al mismo punto del espacio. Las unidades didácticas que figuran en negrita en el gráfico corresponden a la trayectoria seguida para la codificación simple $C = \{C_1, C_2, C_3, C_4\}$

Ejemplo: Siguiendo con el ejemplo de “OOP en Java”, para explicar el tema de herencia (ver tabla 4.4) se pueden ofrecer al alumno varios caminos alternativos. Aquí se ponen como ejemplo cuatro formas de codificación múltiple que corresponden a las cuatro situaciones descritas en la figura 4.3. Por simplicidad se han introducido variaciones únicamente en las unidades C_2 y C_3 aunque el modelo se puede aplicar independientemente del número de unidades didácticas (UD) involucradas.

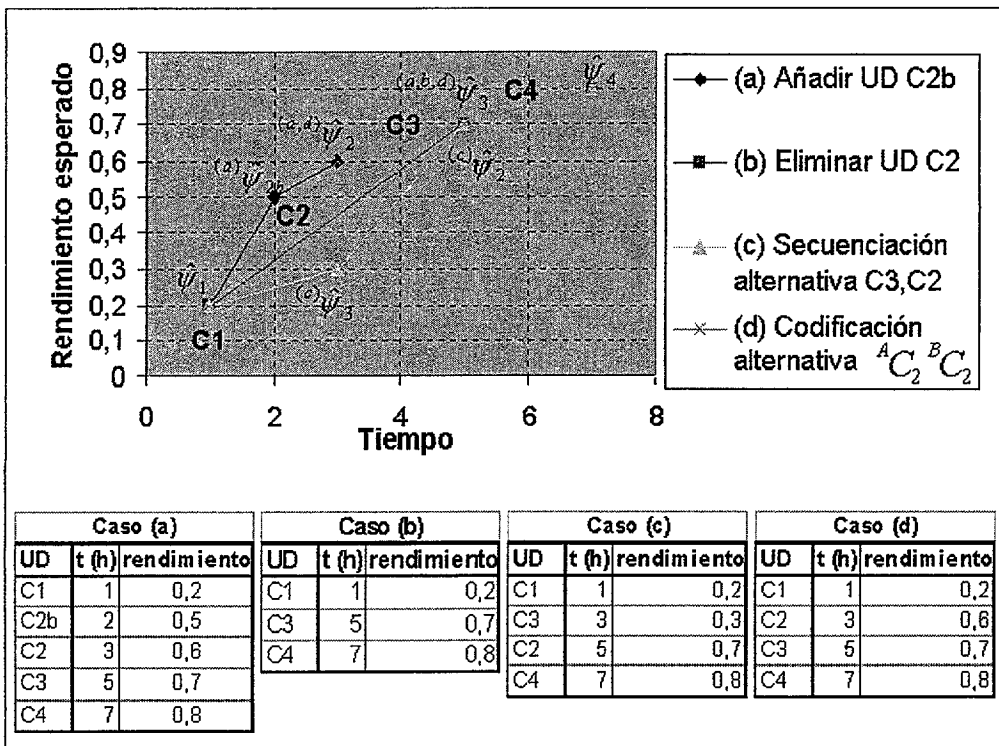


Figura 4.4: Trayectorias Alternativas

1. Se diseña un camino alternativo A para estudiantes con dificultades de aprendizaje. Consiste en **añadir una unidad didáctica** C_{2b} que cubre el objetivo O_1 y ofrece explicaciones más detalladas sobre los conceptos de especialización y generalización. De este modo el camino básico ($\gamma = A$) consta de 6 unidades didácticas ($P_A = 6$) mientras que el camino normal tiene sólo 5 ($P_B = 5$)
2. Se diseña un camino alternativo A para estudiantes de nivel avanzado. Se ha **eliminado la unidad didáctica** C_2 donde se explican los conceptos básicos de especialización y generalización para dejar más tiempo a la unidad C_3 donde se cubren los mismos contenidos mediante ejemplos. En este caso la longitud del camino es menor $P_A = 4$
3. Se diseñan dos recorridos alternativos para atender simultáneamente a las necesidades de los estudiantes “activos” y “reflexivos”. Estas dos categorías corresponden a los perfiles de aprendizaje descritos por Richard Felder [33]. Los estudiantes activos asimilan mejor la información cuando hacen algo con ella mientras que los reflexivos prefieren pensar primero sobre un concepto antes de ponerlo en práctica. Este tercer caso permite atender a las necesidades de ambos tipos de estudiantes ofreciendo una **secuenciación distinta** para cada uno de ellos. A los estudiantes reflexivos se les presentan primero los conceptos (unidad C_2) y luego los ejemplos (unidad C_3) mientras que para los estudiantes activos el orden de presentación sería el contrario. La longitud de los caminos coincide $P_A = P_B = 5$
4. Se diseñan dos caminos alternativos para atender simultáneamente a las necesidades de los alumnos “visuales” y “verbales” [33]. Los alumnos visuales asimilan mejor la información presentada de forma visual (gráficos, esquemas, etc.) mientras que los alumnos verbales prefieren una descripción con palabras. Una **doble codificación de la unidad** C_2 permite diseñar material con más contenido visual ${}^A C_2$ o más contenido verbal ${}^B C_2$. La longitud de los caminos coincide independientemente de la forma de codificación elegida $P_A = P_B = 5$

Las cuatro alternativas presentadas corresponden a lo que en la tipología se ha denominado caso III ya que las diferencias entre los caminos requieren también distintas acciones docentes para adaptarse a los distintos tipos de alumnos.

Si se representa el rendimiento esperado en cada uno de los caminos en función del tiempo (figura 4.5) se puede comprobar que, al contrario de lo que

ocurría en la figura 4.4, las distintas codificaciones del curso no se aprecian en la trayectoria. Esto es así porque tal y como ha sido diseñado el curso el rendimiento medio por unidad de tiempo es muy similar independientemente del camino seguido. Sin embargo si se analiza la trayectoria seguida por los alumnos en el espacio de objetivos (figura 4.6) se puede apreciar claramente las diferencias entre los cuatro recorridos propuestos.

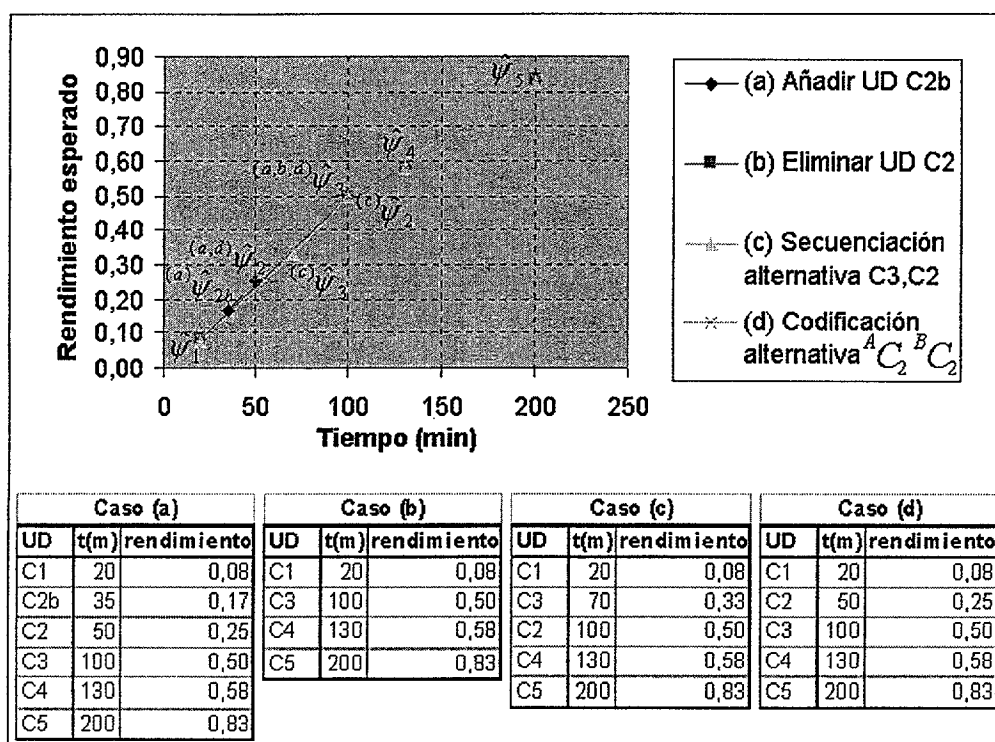


Figura 4.5: Trayectorias alternativas en función del rendimiento esperado

□

Estos cursos se pueden comparar en función del rendimiento obtenido por los alumnos ponderando cada camino con su probabilidad de aparición (sección 5.3).

4.2.4. Caracterización espectral de la evaluación

Cuando se diseña un curso se pretende que un alumno que cumpla con los requisitos especificados como condiciones iniciales y siga las diferentes uni-

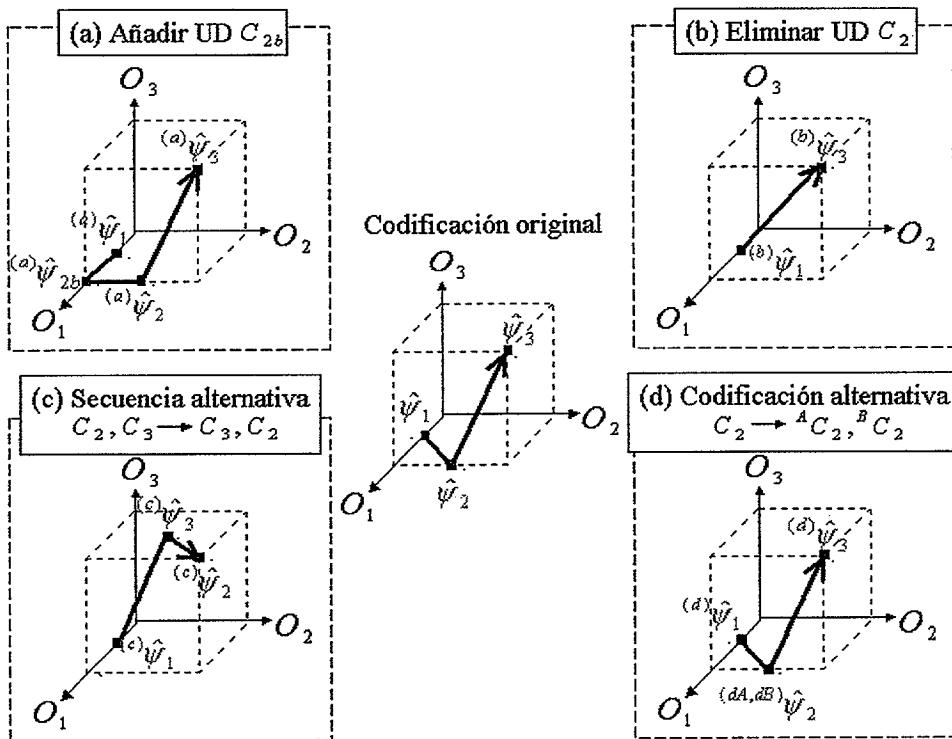


Figura 4.6: Trayectorias alternativas en el espacio de objetivos

dades didácticas diseñadas llegue al final del curso con un determinado nivel de conocimiento. Este nivel viene representado por la realización de todos los objetivos propuestos en el programa.

En la práctica esto no ocurre y cuando un conjunto de alumnos sigue un curso se obtiene una dispersión en los resultados de modo que los niveles de conocimiento finales son en general distintos entre sí y distintos del esperado. Por todo ello, la planificación del curso debe incluir un conjunto de mecanismos de evaluación que permitan comprobar en qué grado se han cubierto los objetivos previstos. La evaluación puede realizarse al final del curso o puede secuenciarse a lo largo de todo el proceso para determinar si hay desviaciones significativas con respecto a la planificación inicial que puedan corregirse en el transcurso del proceso educativo mediante la aplicación de unidades didácticas o acciones docentes adicionales.

Desde un punto de vista psicológico el estado de conocimiento del alumno es una magnitud incognoscible, imposible de determinar de forma precisa. El proceso de evaluación puede verse como un proceso de estimación de este estado. En esta representación se utilizará el vector $\hat{\Psi}$ para representar el estado esperado del alumno en cada punto del curso y Ψ para representar su estado real.

En esta sección se analiza la caracterización del proceso de evaluación en función de los objetivos del curso. Es importante destacar que el modelo no está limitado por los mecanismos de evaluación ya que permite representar el rendimiento del alumno independientemente de la forma de evaluación utilizada: examen tradicional, preguntas tipo test, ejercicios de programación, proyectos, documentos, etc.. Incluso se pueden introducir otros tipos de información más sofisticada como el nivel de interés del estudiante medido por su nivel de interacción con el material del curso o con el tutor.

En los siguientes apartados se analiza la representación matemática del operador evaluación y del rendimiento del alumno en esa evaluación y se detallan las principales peculiaridades del proceso de evaluación que condicionan su representación matemática.

Observaciones al proceso de evaluación

El proceso de evaluación presenta varias peculiaridades que afectan a la forma de calcular el estado de conocimiento del alumno:

- **No se sabe nada del estado del sistema (nivel de conocimientos del alumno) hasta que no se realiza una medida (evaluación).**

Esta evaluación puede ser un examen tradicional o un proceso de medición más complejo como por ejemplo el registro de interactividad de un alumno con un sistema educativo vía web o la participación en un foro.

- Durante el proceso de evaluación se produce una pérdida de distinciones en el espacio de estados del sistema. Es decir **no es posible distinguir entre dos estados diferentes Ψ y Ψ' que conduzcan al mismo resultado en la evaluación**. Por tanto no se puede afirmar nada del estado en el que se encontraba el sistema antes del proceso de medida, sólo se pueden hacer afirmaciones sobre el estado evaluado.
- **La medida del estado de conocimiento del alumno mediante el proceso de evaluación sólo puede tener como resultado un conjunto discreto de valores**. Estos valores vienen especificados por el propio proceso de evaluación y por analogía con el formalismo cuántico los denominaremos **autovalores del operador evaluación**.

Ejemplo: Si evaluamos el rendimiento de un objetivo con calificaciones del 1 al 10 los autovalores del operador evaluación serán los valores permitidos entre 1 y 10. Tendremos por tanto 10 autovalores si puntuamos con números enteros o 100 si puntuamos utilizando una cifra decimal. \square

- **El estado de conocimiento del alumno tras el proceso de evaluación está limitado a un conjunto discreto de vectores posibles del espacio** que vendrá determinado por el propio proceso de evaluación y que por analogía con el formalismo cuántico denominaremos **autoestados del operador evaluación**. Estos autoestados representan el estado de conocimiento correspondiente a cada una de las posibles calificaciones contempladas por el proceso.

Ejemplo: Supóngase un curso que consta de 5 macro-objetivos y un proceso de evaluación que estima el rendimiento de cada uno de ellos asignando un número entero del 1 al 10. En este caso la representación viene dada por un vector de 5 componentes cada una de las cuales puede tomar 10 valores distintos. Por tanto se tienen 10^5 estados posibles que corresponden a las combinaciones de 10 elementos tomados de 5 en 5. \square

Se puede decir que los posibles estados de un alumno son en realidad un conjunto discreto. Esto se puede justificar por el proceso de medida o por la propia naturaleza del proceso cognitivo.

- Desde el punto de vista de la medida el único medio de conocer el estado de conocimiento de un alumno es evaluarle. La evaluación

es un proceso discreto en el tiempo (ya que se produce en determinados instantes durante el proceso de aprendizaje). También es discreto en la forma de realización ya que es imposible preguntar sobre toda la materia y lo que se hace es un "muestreo" del espacio de conocimiento del que luego se extrapolan los resultados al resto del espacio. En el mejor de los casos el muestreo cubre todos los objetivos. Por último, también es discreto en los resultados ya que, como se apuntó previamente, el mecanismo de calificación suele consistir en etiquetar al alumno con un conjunto discreto de valores.

- Cabe preguntarse si esta "discretización" del espacio de estados es sólo consecuencia del proceso de medida o si tiene algún sentido más allá y es inherente a la naturaleza del conocimiento. Aunque la transmisión de conocimiento se realice de forma continua, después de haber estado expuesto a una serie de conocimientos llega un momento en que el alumno "pasa el umbral" y lo comprende o no lo comprende. Esta naturaleza intrínsecamente "discreta" de la comprensión queda reflejada en el formalismo por medio de los micro-objetivos u objetivos elementales cuyo nivel de realización sólo puede ser 0 o 1.
- Hay que contemplar la posibilidad de que el resultado de la evaluación sea diferente dependiendo del evaluador. Por tanto para caracterizar de forma consistente la evolución del alumno es **necesario especificar el conjunto de evaluadores que consideraremos equivalentes a efectos del problema tratado** y proporcionar mecanismos (criterios de evaluación) que garanticen que la caracterización de la evolución del alumno es la misma independientemente de quien realice el proceso de evaluación.

Caracterización espectral de la prueba de evaluación

El proceso de evaluación se representa mediante un operador ξ que consta a su vez de varias partes $\{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_l, \dots, \xi_L\}$ que reflejan la estructura interna de dicha evaluación. A cada prueba de evaluación ξ_l se le asigna un peso γ_l que representa la importancia de dicha prueba en la evaluación global. Al igual que ocurría con los contenidos la subdivisión del proceso de evaluación en pruebas se puede hacer a cualquier nivel de granularidad sin perder generalidad.

Ejemplo:

- si ξ representa el proceso global de evaluación ξ_l representa cada una de

las evaluaciones parciales o exámenes realizados durante el curso. En el máximo nivel de granularidad $\xi_l = \xi_j$ se evalúa independientemente el rendimiento de cada uno de los micro-objetivos O_j .

- Si ξ representa un examen, ξ_l representa cada una de las preguntas del mismo.
- Si ξ representa una pregunta de examen, ξ_l representa cada uno de los criterios de evaluación aplicables a dicha pregunta.
- Esta representación se puede también utilizar en cualquier tipo de pruebas de evaluación por ejemplo si ξ es una práctica de un curso de programación, ξ_l representa las diferentes pruebas a las que se somete el programa para comprobar si funciona correctamente.

□

El procedimiento para aplicar el modelo es el mismo independientemente del nivel de granularidad escogido. Por tanto sin perder generalidad se puede decir que la evaluación se representa mediante un operador ξ que es el resultado de la composición de un conjunto de operadores ξ_l que representan cada una de las subtareas en que se ha dividido el proceso de evaluación:

$$\xi : \{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_l, \dots, \xi_L\} \quad (4.18)$$

El operador evaluación se define en un espacio de dimensión L (ecuación 4.18) donde en cada eje se representa el rendimiento obtenido en cada una de las pruebas de evaluación o en un espacio de dimensión J (ecuación 4.19) donde en cada eje se representa el nivel de realización de cada uno de los objetivos del curso.

$$\xi : \{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_j, \dots, \xi_J\} \quad (4.19)$$

En este apartado se describe el operador en términos de las pruebas de evaluación que es la representación más utilizada y más adelante se analiza la relación entre ambas representaciones.

Para poder pasar de una representación a otra es necesario disponer de la descomposición espectral del proceso de evaluación en términos de los objetivos del curso (tabla 4.6). Para construir esta tabla hay que especificar para cada objetivo en cuál de las pruebas se está evaluando y en qué porcentaje. De este modo el coeficiente e_{lj} representa la fracción del objetivo O_j que se evalúa en la tarea de evaluación ξ_l

Al dar valor a estos coeficientes es importante tener en cuenta estos dos aspectos:

1. **Condición de normalización:** La suma de la contribución de todas las preguntas a un mismo objetivo debe ser la unidad (ecuación 4.20).

$$\sum_{l=1}^L e_{lj} = 1 \quad (4.20)$$

Esta condición sólo se cumple cuando el conjunto de las pruebas de evaluación $(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_l, \dots, \xi_L)$ mide por completo el rendimiento de todos y cada uno de los objetivos del curso, en ese caso se dice que la evaluación es exhaustiva.

Definición 4.2.7 (Exhaustividad de una prueba de evaluación).
Se denomina exhaustividad de una prueba de evaluación a la capacidad de dicha prueba de valorar el nivel de cumplimiento de todos los objetivos del curso. Se dice que la prueba es exhaustiva si evalúa completamente todos los objetivos del curso y no lo es si existe algún objetivo que no se haya evaluado o se haya evaluado sólo de forma parcial.

Para cuantificar la exhaustividad de un proceso de evaluación se introducen los coeficientes $\alpha_j \in [0, 1]$. Donde cada α_j se denomina **grado de exhaustividad** para el objetivo O_j e indica con qué profundidad se trata dicho objetivo en el proceso de evaluación, es decir, qué fracción del objetivo O_j se está midiendo en la evaluación ξ (ecuación 4.21). Se puede calcular directamente la exhaustividad para cada objetivo a partir de la tabla 4.6 sumando los coeficientes por columnas.

$$\alpha_j = \sum_{l=1}^L e_{lj} \leq 1 \quad \begin{cases} \text{Exhaustiva} & \text{si } \alpha_j = 1 \quad \forall j \\ \text{No exhaustiva} & \text{si } \exists j \quad / \quad \alpha_j < 1 \end{cases} \quad (4.21)$$

Para obtener una medida de la **exhaustividad global** de un proceso de evaluación es necesario ponderar la exhaustividad de cada objetivo por la importancia que se atribuye a dicho objetivo dentro del curso tal y como indica la ecuación 4.22

$$\bar{\alpha} = \sum_{j=1}^J \beta_j \alpha_j \quad 0 < \bar{\alpha} < 1 \quad (4.22)$$

En este apartado se calculan las ecuaciones para el caso general reflejando cómo afecta la exhaustividad a los resultados de la evaluación.

En los siguientes apartados se analiza con más detalle el concepto de exhaustividad.

2. **Rendimiento esperado ($\hat{\eta}_l$):** Se calcula por analogía a las unidades didácticas sumando para cada prueba de evaluación ξ_l su contribución a evaluar cada uno de los objetivos O_j ponderada por el peso β_j de dicho objetivo en el curso.

$$\hat{\eta}_l = \sum_{j=1}^J e_{lj}\beta_j \quad (4.23)$$

3. **Estimación del peso de cada prueba ($\hat{\gamma}_l$):** El modelo permite estimar el peso relativo $\hat{\gamma}_l$ que debería tener cada prueba en la evaluación global. Este peso se calcula del mismo modo que el rendimiento esperado ya que ambas magnitudes reflejan el incremento que se espera en la calificación global del alumno tras la realización de cada prueba de evaluación (ecuación 4.24).

$$\gamma_l \approx \hat{\gamma}_l = \sum_{j=1}^J e_{lj}\beta_j \quad (4.24)$$

Las diferencias entre el peso asignado directamente por el profesor a cada una de las pruebas γ_l y el peso estimado por el modelo $\hat{\gamma}_l$ reflejan problemas de diseño. Estos problemas se deben a la inconsistencia entre el valor de β_j asignado inicialmente a los objetivos del curso en virtud de su importancia y dificultad, y el que se les atribuye indirectamente según el peso que se les otorga en las pruebas de evaluación. Más adelante se tratará la forma de corregir estas inconsistencias.

Si la evaluación es exhaustiva la suma de los coeficientes $\hat{\gamma}_l$ de todas las preguntas debe ser la unidad, en caso contrario la suma de los coeficientes da como resultado la exhaustividad global (ecuación 4.25).

$$\sum_{l=1}^L \hat{\gamma}_l = \bar{\alpha} \leq 1 \quad (4.25)$$

Cuando la evaluación no es exhaustiva para que la suma de los pesos asignados a cada prueba siga siendo la unidad es necesario normalizar los coeficientes $\hat{\gamma}_l$ por la exhaustividad global (ecuación 4.26)

$$\text{Peso prueba } \xi_l = \frac{\hat{\gamma}_l}{\sum_{l=1}^L \hat{\gamma}_l} = \frac{\hat{\gamma}_l}{\bar{\alpha}} \quad (4.26)$$

Prueba de evaluación	O_1	O_2	\dots	O_j	\dots	O_J	Peso= $\hat{\gamma}_l/\bar{\alpha}$
	(β_1)	(β_2)		(β_j)		(β_J)	$\hat{\gamma}_l = \sum_{j=1}^J e_{lj}\beta_j$
ξ_1	e_{11}	e_{12}	\dots	e_{1j}	\dots	e_{1J}	$\hat{\gamma}_1$
ξ_2	e_{21}	e_{22}	\dots	e_{2j}	\dots	e_{2J}	$\hat{\gamma}_2$
\vdots	\vdots	\vdots	\ddots	\vdots	\ddots	\vdots	
ξ_l	e_{l1}	e_{l2}	\dots	e_{lj}	\dots	e_{lJ}	$\hat{\gamma}_l$
\vdots		\vdots	\vdots	\ddots	\vdots	\ddots	\vdots
ξ_L	e_{L1}	e_{L2}	\dots	e_{Lj}	\dots	e_{LJ}	$\hat{\gamma}_L$
Grado exhaustividad $\alpha_j = \sum_{l=1}^L e_{lj}$	α_1	α_2	\dots	α_j	\dots	α_J	$\sum_{l=1}^L \hat{\gamma}_l \leq 1$

Tabla 4.6: Caracterización espectral de la prueba de evaluación

Teniendo en cuenta las relaciones establecidas en la tabla 4.6 se puede caracterizar matemáticamente el operador evaluación mediante la ecuación 4.27 donde el operador P_j indica el proyector sobre el eje correspondiente al objetivo O_j .

$$\xi_l = \frac{1}{\hat{\gamma}_l} \sum_{j=1}^J e_{lj}\beta_j P_j \quad (4.27)$$

Ejemplo: Continuando con el ejemplo en la tabla 4.7 se puede ver la caracterización espectral por objetivos de dos preguntas de examen para el curso "OOP en java". Para construir esta tabla es necesario indicar para cada uno de los objetivos qué pruebas de evaluación miden su rendimiento y en qué porcentaje. En este caso el objetivo O_1 se evalúa por completo en la primera pregunta y los objetivos O_2 y O_3 en la segunda.

Preguntas del examen		O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6	$\hat{\gamma}_l$
ξ_1	¿Qué es la herencia?	1	0	0	0	0	0	1/6
ξ_2	¿En qué situaciones puede ser útil la especialización?. Describe un ejemplo e implementalo	0	1	1	0	0	0	2/6
Grado exhaustividad $\alpha_j = \sum_{j=1}^6 e_{lj}$		1	1	1	0	0	0	3/6

Tabla 4.7: Caracterización espectral de dos preguntas de examen

Si se aplica la ecuación 4.24 a los coeficientes de la tabla teniendo en cuenta que todos los objetivos tienen la misma importancia ($\beta_j = 1/6 \quad \forall j$) se obtiene

una estimación del peso de cada pregunta en la evaluación global. De este modo se puede ver que la primera pregunta debería tener un peso $\hat{\gamma}_1 = 1/6$ en la evaluación global mientras que la segunda debería valer doble que la primera $\hat{\gamma}_2 = 2/6$ ya que evalúa el doble de objetivos.

En cuanto a la exhaustividad del proceso de evaluación a la vista de la tabla se puede decir que la primera pregunta evalúa exhaustivamente el objetivo O_1 y la segunda los objetivos O_2 y O_3 pero si el examen estuviese formado únicamente por estas dos preguntas la evaluación global no sería exhaustiva, ya que sería necesario añadir preguntas que evaluaran el resto de los objetivos.

□

Ajustes sobre la planificación de la evaluación

Cuando el peso asignado directamente a las pruebas de evaluación en el programa del curso γ_l no se corresponde con el peso estimado por el modelo $\hat{\gamma}_l$, el análisis de sus diferencias permite detectar inconsistencias en la planificación del proceso de evaluación.

Si las diferencias son grandes es necesario determinar cual de estos tres factores es el origen del problema:

- la valoración de cada objetivo en las pruebas de evaluación e_{lj}
- la asignación de pesos γ_l realizada directamente a cada prueba de evaluación
- el peso relativo β_j asignado a cada objetivo del curso

Normalmente estas inconsistencias se deben a que el peso β_j atribuido a cada objetivo en el curso no se corresponde con la importancia que se le da en las pruebas de evaluación. Cuando una prueba tiene más peso del estimado es que en la práctica se le está dando a los objetivos involucrados más importancia que la asignada inicialmente.

Una vez detectada la inconsistencia hay que determinar cual de los dos pesos es el que mejor se adapta a la realidad, si el que se le asigna directamente β_j o el que se le atribuye indirectamente mediante el proceso de evaluación.

En el primer caso sería necesario ajustar el peso γ_l asignado inicialmente al valor $\hat{\gamma}_l$ estimado por el modelo. En el segundo caso habría que corregir el peso atribuido a cada objetivo inicialmente β_j , en virtud de su importancia en

el proceso de evaluación (ecuación 4.28).

$$\widehat{\beta}_j = \frac{1}{\bar{\alpha}} \sum_{l=1}^L \gamma_l e_{lj} \quad t'_{total} = \sum_{i=1}^I t'_i \quad (4.28)$$

Al corregir los pesos asignados a cada objetivo es necesario actualizar también los valores del rendimiento esperado al finalizar cada prueba de evaluación (ecuación 4.23) para reflejar el efecto de la nueva distribución de pesos.

A partir de ahora no se hará distinción entre los valores asignados (β_j, t_i, γ_l) y los valores estimados $(\widehat{\beta}_j, \widehat{t}_i, \widehat{\gamma}_l)$ del peso de los objetivos, duración de las unidades didácticas e importancia de las pruebas de evaluación ya que se suponen ajustados en fases previas y por tanto consistentes entre sí. Para denotar estas magnitudes se utilizará a partir de ahora la notación más sencilla: (β_j, t_i, γ_l)

Trayectoria-E

La trayectoria en función de las pruebas de evaluación, que denominaremos trayectoria-E, se dibuja por analogía a la trayectoria-UD mediante dos representaciones gráficas: una sucesión de puntos en un espacio de dos dimensiones que representa el rendimiento medio esperado $\widehat{\eta}_l$ al finalizar cada prueba de evaluación y un diagrama de barras asociado a cada punto de la trayectoria que representa el rendimiento esperado para cada objetivo $\widehat{\eta}_j$. La pendiente de la trayectoria-E da una idea de la velocidad con la que se mide la asimilación de conocimiento (figura 4.7).

La detección de problemas de diseño mediante el análisis comparativo de la trayectoria-UD y la trayectoria-E se analiza en el capítulo 5.

Caracterización espectral de los resultados de evaluación

La aplicación del operador evaluación al vector que representa el estado del alumno permite obtener el resultado de la evaluación. El resultado se puede expresar de distinta forma dependiendo de si utiliza como sistema de referencia el espacio definido por los **objetivos** del curso o el definido por las **pruebas de evaluación** y dependiendo de si el operador se aplica sobre el **estado esperado** del alumno $\widehat{\Psi}$ o sobre su **estado real** Ψ :

- En el **espacio de los objetivos del curso**, de dimensión J , la aplicación de cada una de las componentes del operador evaluación ξ_j al vector que

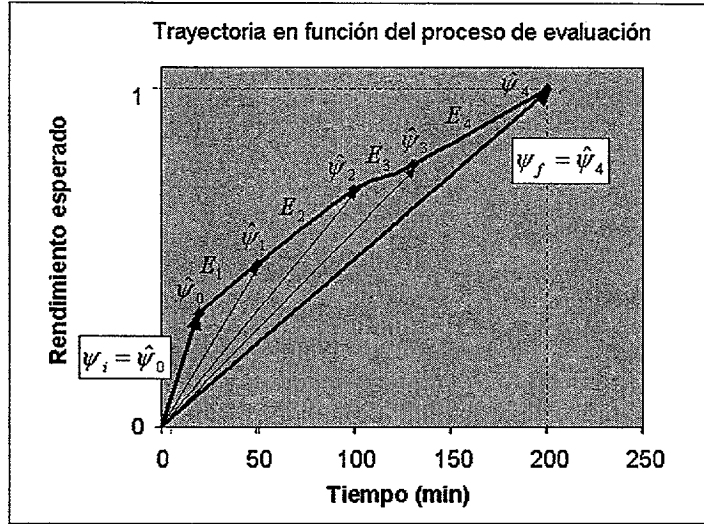


Figura 4.7: Trayectoria en función de los resultados de evaluación

representa el estado del alumno Ψ da como resultado su rendimiento η_j para el objetivo correspondiente O_j como indica la ecuación 4.29.

$$\xi_j \Psi = \eta_j \Psi \quad \eta_j \in [0, 1] \quad (4.29)$$

Aplicando el mismo operador al estado esperado del alumno tras la evaluación del objetivo O_j , representado por $\hat{\Psi}_j$, se obtiene como resultado el máximo rendimiento para dicho objetivo $\eta_{j,max}$ (ecuación 4.30).

$$\xi_j \hat{\Psi}_j = \eta_{j,max} \hat{\Psi}_j \quad \eta_{j,max} = 1 \quad (4.30)$$

- Del mismo modo en el **espacio de las pruebas de evaluación**, de dimensión L, la aplicación de cada una de las componentes del operador ξ_l al vector estado Ψ da como resultado la nota obtenida para dicha prueba n_l (ecuación 4.31). Si se aplica el mismo operador sobre el estado esperado se obtiene la nota máxima (ecuación 4.32).

$$\xi_l \Psi = n_l \Psi \quad n_l \in [0, 1] \quad (4.31)$$

$$\xi_l \hat{\Psi}_l = n_{l,max} \hat{\Psi}_l \quad n_{l,max} = 1 \quad (4.32)$$

Es importante tener en cuenta que en la notación utilizada se ha desacoplado la puntuación de cada prueba n_l de su peso relativo dentro de la evaluación global γ_l . Del mismo modo, en el espacio de objetivos, se ha desacoplado el rendimiento de cada objetivo η_j de su peso dentro del curso β_j . Esta decisión se ha tomado para facilitar la reutilización de las pruebas de evaluación y sus resultados. De este modo cualquier prueba de evaluación y cualquier objetivo puede ser utilizado en dos cursos distintos y tener distinto peso en cada uno de ellos para la calificación global.

Los coeficientes γ_l y β_j se introducen al componer varias pruebas individuales para formar la evaluación global. La puntuación esperada tras el proceso de evaluación global viene dada por el vector 4.33:

$$n_{max} = (\gamma_1 n_{1,max}, \dots, \gamma_l n_{l,max}, \dots, \gamma_L n_{L,max}) = (\gamma_1, \dots, \gamma_l, \dots, \gamma_L) \quad (4.33)$$

La relación entre las pruebas de evaluación ξ_l y los objetivos O_j dada por la tabla 4.6 determina la relación existente entre la nota esperada para cada prueba $n_{l,max}$ y el rendimiento esperado para cada objetivo $\eta_{j,max}$ tal y como indican las ecuaciones 4.34 y 4.35 donde los coeficientes e_{lj} representan el peso de la respuesta esperada (con puntuación $n_{l,max}$) en la consecución del objetivo O_j , o lo que es lo mismo, la fracción del objetivo O_j que se evalúa en la tarea de evaluación ξ_l .

$$\underbrace{\begin{pmatrix} \gamma_1 n_{1,max} \\ \gamma_2 n_{2,max} \\ \vdots \\ \gamma_l n_{l,max} \\ \vdots \\ \gamma_L n_{L,max} \end{pmatrix}}_{\{\gamma_l n_{l,max}\}} = \underbrace{\begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} & \cdots & e_{1j} & \cdots & e_{1J} \\ e_{21} & e_{22} & \cdots & e_{2j} & \cdots & e_{2J} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{l1} & e_{l2} & \cdots & e_{lj} & \cdots & e_{lJ} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ e_{L1} & e_{L2} & \cdots & e_{Lj} & \cdots & e_{LJ} \end{pmatrix}}_{\{e_{lj}\}} \underbrace{\begin{pmatrix} \beta_1 \eta_{1,max} \\ \beta_2 \eta_{2,max} \\ \vdots \\ \beta_j \eta_{j,max} \\ \vdots \\ \beta_J \eta_{J,max} \end{pmatrix}}_{\{\beta_j \eta_{j,max}\}} \quad (4.34)$$

$$n_{l,max} = \frac{1}{\gamma_l} \sum_{j=1}^J e_{lj} \beta_j \eta_{j,max} \quad (n_{l,max} = \eta_{j,max} = 1) \quad (4.35)$$

Análogamente la puntuación obtenida por el alumno debida a sus respuestas en las pruebas de evaluación se puede representar mediante el vector 4.36

$$n = (\gamma_1 n_1, \gamma_2 n_2, \dots, \gamma_l n_l, \dots, \gamma_L n_L) \quad n_l \in [0, 1] \quad (4.36)$$

Cada una de las componentes del vector n_l se expresa en función del rendimiento máximo permitido $\eta_{j,max}$ como indican las ecuaciones 4.37 y 4.38

donde los coeficientes r_{lj} representan el grado de consecución del objetivo O_j que demuestra el alumno al realizar la tarea de evaluación ξ_l

$$\underbrace{\begin{pmatrix} \gamma_1 n_1 \\ \gamma_2 n_2 \\ \vdots \\ \gamma_l n_l \\ \vdots \\ \gamma_L n_L \end{pmatrix}}_{\{\gamma_l n_l\}} = \underbrace{\begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1j} & \cdots & r_{1J} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2j} & \cdots & r_{2J} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{l1} & r_{l2} & \cdots & r_{lj} & \cdots & r_{lJ} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{L1} & r_{L2} & \cdots & r_{Lj} & \cdots & r_{LJ} \end{pmatrix}}_{\{r_{lj}\}} \underbrace{\begin{pmatrix} \beta_1 \eta_{1,max} \\ \beta_2 \eta_{2,max} \\ \vdots \\ \beta_j \eta_{j,max} \\ \vdots \\ \beta_J \eta_{J,max} \end{pmatrix}}_{\{\beta_j \eta_{j,max}\}} \quad (4.37)$$

$$n_l = \frac{1}{\gamma_l} \sum_{j=1}^J r_{lj} \beta_j \eta_{j,max} \quad (4.38)$$

Operador Evaluación

$$\xi = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_l, \dots, \xi_L)$$

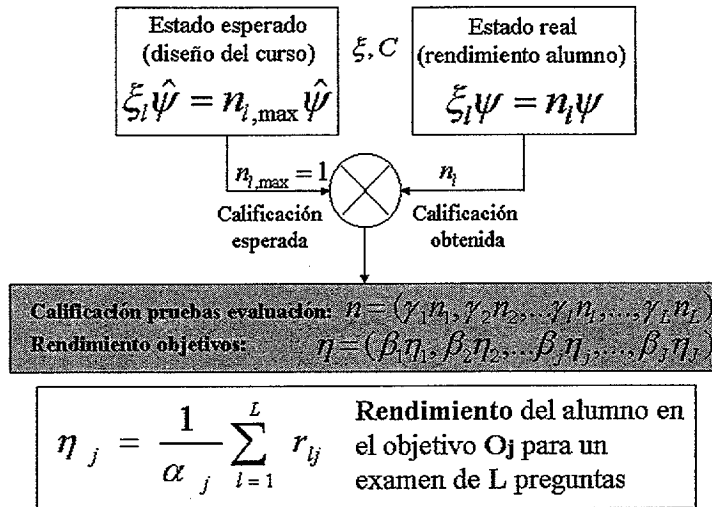


Figura 4.8: Evaluación

Hay que destacar que los vectores $n_{l,max}$ y n_l son de dimensión L (número de subdivisiones del proceso de evaluación) y no de dimensión J (número de objetivos del curso) ya que están expresados en términos de las pruebas de evaluación $\{\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_l, \dots, \xi_L\}$ y no en términos de los objetivos del curso

$\{O_1, O_2, \dots, O_j, \dots, O_J\}$. En general se cumple que $J > L$. En el siguiente apartado se analiza la relación entre ambas representaciones y se proporcionan mecanismos para pasar de una a otra.

Relación entre pruebas de evaluación y objetivos del curso

La caracterización espectral del proceso de evaluación en función de los objetivos permite obtener los resultados del proceso de evaluación de dos formas distintas:

- Mediante la nota obtenida en cada una de las **pruebas de evaluación** n_i
- Mediante el rendimiento obtenido en cada uno de los **objetivos del curso** η_j

Rendimiento en función de las pruebas de evaluación. Es la forma más habitual de calcular el nivel de conocimientos del alumno. En este caso, se caracteriza al alumno mediante el vector n cuyas componentes n_i indican la calificación obtenida en cada una de las pruebas de evaluación ξ_i ponderada por el peso γ_i de dicha prueba en la evaluación global (ecuación 4.36).

La **nota media** se obtiene como el promedio de los resultados obtenidos en las diferentes pruebas de evaluación ponderado por el peso γ_i de cada una de estas pruebas en el resultado final. Si la evaluación no es exhaustiva, es necesario normalizar por la suma de los coeficientes γ_i es decir por la exhaustividad global (ecuación 4.39).

$$\bar{n} = \frac{\sum_{i=1}^L \gamma_i n_i}{\sum_{i=1}^L \gamma_i} = \frac{1}{\bar{\alpha}} \sum_{i=1}^L \gamma_i n_i \quad (4.39)$$

Rendimiento en función de los objetivos del curso. En este caso, el rendimiento del alumno se representa mediante el vector η donde cada componente η_j mide el nivel de realización del alumno del objetivo O_j ponderado por el peso β_j de dicho objetivo en el curso:

$$\eta = (\beta_1 \eta_1, \beta_2 \eta_2, \dots, \beta_j \eta_j, \dots, \beta_J \eta_J)$$

$$\begin{cases} \eta_j \in \{0, 1\} & \text{Si } O_j \text{ es un micro-objetivo} \\ \eta_j \in [0, 1] & \text{Si } O_j \text{ es un macro-objetivo} \end{cases} \quad (4.40)$$

Si O_j es un objetivo elemental o micro-objetivo (definición 4.2.3) η_j sólo podrá tomar los valores 0 y 1 mientras que si se trata de un macro-objetivo (definición 4.2.4) puede tomar cualquier valor permitido dentro del intervalo $[0, 1]$. A partir de ahora se consideran los dos casos simultáneamente diciendo que $\eta_j \in [0, 1]$.

El rendimiento de cada objetivo η_j se calcula sumando los coeficientes r_{lj} para todas las tareas L en que se ha subdividido el proceso de evaluación y normalizando por el grado de exhaustividad α_j con que se evalúa dicho objetivo (ecuación 4.41).

$$\eta_j = \frac{1}{\alpha_j} \sum_{l=1}^L r_{lj} \quad \eta_j \in [0, 1] \quad (4.41)$$

Del mismo modo, se define el **rendimiento medio general** $\bar{\eta}$ ponderando el rendimiento de cada uno de los objetivos η_j por la importancia β_j de dicho objetivo en el curso y por la exhaustividad relativa $\frac{\alpha_j}{\bar{\alpha}}$ con que se mide.

$$\bar{\eta} = \frac{1}{\bar{\alpha}} \sum_{j=1}^J \alpha_j \beta_j \eta_j \quad \sum_{j=1}^J \beta_j = 1 \quad (4.42)$$

Comparación de las dos formas de evaluación. Si la evaluación está bien construida las dos formas de evaluación deben conducir a los mismos resultados medios (ecuación 4.43).

$$\bar{n} = \bar{\eta} \quad (4.43)$$

Para demostrarlo, basta sustituir en la ecuación de la nota media 4.39 n_l por su valor (ecuación 4.38) y utilizar la definición del rendimiento η_j dada en la ecuación 4.41 para llegar a la ecuación del rendimiento medio 4.42.

$$\begin{aligned} \bar{n} &= \frac{1}{\bar{\alpha}} \sum_{l=1}^L \gamma_l n_l = \frac{1}{\bar{\alpha}} \sum_{l=1}^L \gamma_l \underbrace{\left(\frac{1}{\gamma_l} \sum_{j=1}^J r_{lj} \beta_j \right)}_{n_l} = \frac{1}{\bar{\alpha}} \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^J r_{lj} \beta_j = \\ &= \frac{1}{\bar{\alpha}} \sum_{j=1}^J \beta_j \underbrace{\left(\sum_{l=1}^L r_{lj} \right)}_{\alpha_j \eta_j} = \frac{1}{\bar{\alpha}} \sum_{j=1}^J \beta_j \alpha_j \eta_j = \bar{\eta} \end{aligned} \quad (4.44)$$

Normalmente, el procedimiento utilizado para caracterizar al alumno es el valor del rendimiento **en función de los resultados de las pruebas de**

evaluación. El principal problema de esta representación es que dificulta la reutilización de los resultados de la evaluación en otros cursos. Esto es así porque ofrece como resultado la nota del alumno, pero no el proceso de evaluación que se ha seguido para llegar a esa calificación. Por tanto, al reutilizar los resultados de la evaluación en otros cursos, se está asumiendo implícitamente que el rendimiento de todos los objetivos del curso es el indicado por la nota media (ecuación 4.45). Es decir, si el alumno obtiene como calificación $\bar{n} = 0,7$, se está asumiendo que conoce al 70 % todos los objetivos del curso ($\eta_j = 0,7 \quad \forall j$). En realidad, esta calificación puede responder a otras situaciones, como por ejemplo que el alumno haya realizado 7 objetivos de 10 y desconozca por completo el resto. Como no se tiene un procedimiento para discriminar qué objetivos ha cumplido y cuáles no, por simetría del problema en la práctica se asume la aproximación dada por la ecuación 4.45

$$\eta_j \approx \bar{n} \quad \forall j \quad (4.45)$$

Sin embargo, si se dispone de los resultados de la evaluación **en función de los objetivos del curso**, se pueden reutilizar los resultados directamente en cualquier curso que comparta objetivos con el actual. El nivel de realización del alumno obtenido en el primer curso, proyectado sobre el espacio de objetivos comunes, se puede utilizar como una estimación de su estado inicial de conocimiento al empezar el segundo.

El principal problema de esta segunda forma de calificación (en función de objetivos) es que resulta un proceso bastante costoso ya que implica asignar valor a todos los coeficientes r_{lj} valorando en cada prueba de evaluación ξ_l cómo las respuestas del alumno miden su nivel de realización de cada uno de los objetivos del curso.

Por todo lo anterior se puede concluir que:

- calcular el rendimiento **en función de las pruebas de evaluación** (n_l) resulta poco eficaz cuando se quiere reutilizar los resultados de la evaluación en otros cursos
- calcular el rendimiento **en función del nivel de realización de cada uno de los objetivos** (η_j) requiere analizar las respuestas del alumno con un nivel de detalle que resulta muy costoso en la mayoría de los casos.

En el modelo se propone una solución intermedia que consiste en:

1. Obtener el rendimiento del alumno en función de las pruebas de evaluación n_l

2. Estimar el nivel de realización de cada uno de los objetivos η_j a partir de las calificaciones obtenidas en las pruebas de evaluación n_l . Esta estimación se realiza en virtud de la descomposición espectral de la evaluación en función de los objetivos (tabla 4.6).

Para hacer el cálculo el procedimiento a seguir es el siguiente:

1. Se parte de la relación existente entre las pruebas de evaluación y los objetivos dada por la matriz $\{e_{lj}\}$ (ver tabla 4.6 y ecuaciones 4.34 y 4.35).
2. Se calcula una matriz pseudo-inversa $\{\tilde{e}_{jl}\}$ (ecuación 4.46) que permita obtener la relación de dependencia del rendimiento esperado $\eta_{j,max}$ en función de la nota esperada $n_{l,max}$ en las pruebas de evaluación (ecuaciones 4.47 y 4.48). La matriz $\{\tilde{e}_{jl}\}$ se calcula transponiendo la matriz $\{e_{lj}\}$ y multiplicando cada coeficiente e_{lj} por la importancia del objetivo β_j dividida por el peso de la pregunta γ_l en la evaluación global. En caso de que la evaluación no sea exhaustiva es necesario normalizar además por el grado de exhaustividad α_j del objetivo O_j .

$$\tilde{e}_{jl} = \frac{1}{\gamma_l} e_{lj} \frac{\beta_j}{\alpha_j} \quad (4.46)$$

$$(\beta_j \eta_{j,max}) = \sum_{l=1}^L \tilde{e}_{jl} (\gamma_l n_{l,max}) \quad (4.47)$$

$$\underbrace{\begin{pmatrix} \beta_1 \eta_{1,max} \\ \beta_2 \eta_{2,max} \\ \vdots \\ \beta_j \eta_{j,max} \\ \vdots \\ \beta_J \eta_{J,max} \end{pmatrix}}_{\{\beta_j \eta_{j,max}\}} = \underbrace{\begin{pmatrix} \tilde{e}_{11} & \tilde{e}_{12} & \cdots & \tilde{e}_{1l} & \cdots & \tilde{e}_{1L} \\ \tilde{e}_{21} & \tilde{e}_{22} & \cdots & \tilde{e}_{2l} & \cdots & \tilde{e}_{2L} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{e}_{j1} & \tilde{e}_{j2} & \cdots & \tilde{e}_{jl} & \cdots & \tilde{e}_{jL} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{e}_{J1} & \tilde{e}_{J2} & \cdots & \tilde{e}_{Jl} & \cdots & \tilde{e}_{JL} \end{pmatrix}}_{\{\tilde{e}_{jl}\}} \underbrace{\begin{pmatrix} \gamma_1 n_{1,max} \\ \gamma_2 n_{2,max} \\ \vdots \\ \gamma_l n_{l,max} \\ \vdots \\ \gamma_L n_{L,max} \end{pmatrix}}_{\{\gamma_l n_{l,max}\}} \quad (4.48)$$

3. Una vez conocida la relación de dependencia entre los rendimientos y las notas esperadas en las pruebas de evaluación (ecuaciones 4.47 y 4.48) se puede estimar el valor del rendimiento de cada objetivo η_j a partir de la matriz $\{\tilde{e}_{jl}\}$ y los resultados de las pruebas de evaluación n_l tal y como indican las ecuaciones 4.49 y 4.50. Estas ecuaciones se pueden expresar de forma más compacta eliminando los coeficientes β_j y γ_l (ecuación 4.51)

y utilizando directamente la matriz traspuesta $\{e_{jl}\}$ en vez de la pseudo-inversa $\{\tilde{e}_{jl}\}$

$$\beta\eta_j \approx \sum_{l=1}^L \tilde{e}_{jl}\gamma_l n_l \quad (4.49)$$

$$\underbrace{\begin{pmatrix} \beta_1\eta_1 \\ \beta_2\eta_2 \\ \vdots \\ \beta_j\eta_j \\ \vdots \\ \beta_J\eta_J \end{pmatrix}}_{\{\beta_j\eta_j\}} \approx \underbrace{\begin{pmatrix} \tilde{e}_{11} & \tilde{e}_{12} & \cdots & \tilde{e}_{1l} & \cdots & \tilde{e}_{1L} \\ \tilde{e}_{21} & \tilde{e}_{22} & \cdots & \tilde{e}_{2l} & \cdots & \tilde{e}_{2L} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{e}_{j1} & \tilde{e}_{j2} & \cdots & \tilde{e}_{jl} & \cdots & \tilde{e}_{jL} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \tilde{e}_{J1} & \tilde{e}_{J2} & \cdots & \tilde{e}_{Jl} & \cdots & \tilde{e}_{JL} \end{pmatrix}}_{\{\tilde{e}_{jl}\}} \underbrace{\begin{pmatrix} \gamma_1 n_1 \\ \gamma_2 n_2 \\ \vdots \\ \gamma_l n_l \\ \vdots \\ \gamma_L n_L \end{pmatrix}}_{\{\gamma_l n_l\}} \quad (4.50)$$

$$\eta_j \approx \frac{1}{\alpha_j} \sum_{l=1}^L e_{jl} n_l \quad (4.51)$$

Este método ofrece dos ventajas:

1. Se puede mantener el proceso de calificación más habitual: en función de las pruebas de evaluación (n_l)
2. Se facilita la reutilización de los resultados de la evaluación en cursos que compartan objetivos comunes ya que estimamos la realización individual de cada objetivo (η_j) mediante la ecuación 4.51.

Este efecto se consigue gracias a un esfuerzo adicional en el diseño del curso que consiste en reflejar explícitamente la relación entre las pruebas de evaluación y los objetivos (ver tabla 4.6). Con este procedimiento en lugar de tener que evaluar la matriz $\{r_{lj}\}$ para cada alumno (ecuación 4.37) se calcula una única vez la matriz $\{\tilde{e}_{jl}\}$ y se utiliza para convertir los resultados de todos los alumnos desde el espacio definido por las pruebas de evaluación al espacio definido por los objetivos del curso (ecuación 4.50).

Al hacer este cálculo se está asumiendo implícitamente que la realización parcial r_{jl} de cada objetivo en cada pregunta se lleva a cabo hasta el punto que indican las puntuaciones obtenidas n_l (ecuación 4.52).

$$r_{jl} \approx e_{jl} n_l \quad \forall l, j \quad (4.52)$$

Aunque esta afirmación no siempre es cierta, hace que la ecuación 4.51 resulte una aproximación mejor al problema que la suposición inicial (ecuación 4.45).

Para tratar de evitar que se produzcan las situaciones no contempladas por esta aproximación se suelen establecer criterios de evaluación adicionales que limiten la aparición de estos casos. Un criterio habitual es establecer umbrales en forma de rendimientos mínimos $\eta_{j,umbral}$ o $n_{l,umbral}$ por debajo de los cuales no se permita calcular el rendimiento medio. Por ejemplo si se atribuye la misma importancia a todos los objetivos del curso se puede establecer como criterio que el rendimiento de cada uno de los objetivos esté por encima del 50% es decir $\eta_j > 0,5 \quad \forall j$. Establecer este tipo de criterios para calificar mejoran la validez de la aproximación realizada en la ecuación 4.52.

Se puede demostrar que la aproximación propuesta para el cálculo del rendimiento η_j en la ecuación 4.51 cumple el requisito impuesto en la ecuación 4.43. Es decir, las calificaciones obtenidas a partir de las notas en las pruebas de evaluación, y las estimadas a partir del rendimiento por objetivos, conducen a los mismos resultados medios. Esta demostración es una particularización de la que se hizo en la ecuación 4.44: Aplicando la ecuación 4.42 del rendimiento medio, y sustituyendo η_j por su valor aproximado (ecuación 4.51) se obtiene la nota media dada por la ecuación 4.39:

$$\begin{aligned} \bar{\eta} &= \frac{1}{\alpha} \sum_{j=1}^J \alpha_j \beta_j \eta_j = \frac{1}{\alpha} \sum_{j=1}^J \alpha_j \beta_j \underbrace{\left(\frac{1}{\alpha_j} \sum_{l=1}^L r_{jl} \right)}_{r_{jl} \approx e_{jl} n_l} \approx \\ &\approx \frac{1}{\alpha} \sum_{l=1}^L \underbrace{\left(\sum_{j=1}^J \beta_j e_{jl} \right)}_{\gamma_l} n_l = \frac{1}{\alpha} \sum_{l=1}^L \gamma_l n_l = \bar{n} \end{aligned} \quad (4.53)$$

Exhaustividad del proceso de evaluación

Algunas veces el proceso de evaluación no es exhaustivo (definición 4.2.7), es decir no cubre completamente todos los objetivos del curso. En ese caso existe una incertidumbre en la medida del rendimiento del estudiante y su magnitud depende de cómo se haya diseñado el proceso de evaluación para cada objetivo.

En los casos en los que la evaluación no es completa la falta de exhaustividad puede deberse a dos causas:

1. Que haya algún objetivo cuyo cumplimiento no se haya medido en ninguna de las pruebas realizadas ($\alpha_j = 0$)

2. Que haya algún objetivo que, pese a haber sido medido en las pruebas realizadas, no se haya cubierto por completo ($\alpha_j < 1$). Esto sólo puede ocurrir si se trata de un macro-objetivo.

Aunque el diseño del proceso de evaluación sea exhaustivo, es decir cumpla la condición de normalización descrita en la ecuación 4.20 puede ocurrir que la evaluación de un alumno en concreto no lo sea porque haya faltado a alguna de las pruebas de evaluación. En este caso la aplicación del coeficiente de exhaustividad permite cuantificar con qué margen de error se puede calificar a ese alumno.

Rendimiento del alumno en una evaluación no exhaustiva. Cuando la información que se tiene sobre el rendimiento de un alumno procede de una evaluación no exhaustiva es necesario utilizar el grado de exhaustividad ($\bar{\alpha}$) para distinguir entre las siguientes magnitudes:

1. el nivel de **conocimiento medido** en la prueba de evaluación ($\bar{\eta}$)
2. el nivel de **conocimiento demostrado** por el alumno en dicha prueba ($\bar{\eta}_D$)
3. el nivel de **conocimiento real** del alumno ($\bar{\eta}_R$)

Cuando la evaluación es exhaustiva y el alumno ha realizado todas las pruebas de evaluación se puede suponer que estas tres magnitudes coinciden:

$$\bar{\eta} = \bar{\eta}_D = \bar{\eta}_R \quad (4.54)$$

Cuando la evaluación no es exhaustiva o el alumno no ha realizado alguna de las pruebas (ξ_l) necesitamos introducir el **conocimiento demostrado** que es una medida del rendimiento del alumno ponderado por el grado de exhaustividad de la evaluación tal como indica la ecuación 4.55

$$\bar{\eta}_D = \bar{\eta}\bar{\alpha} \quad (4.55)$$

El conocimiento demostrado permite reflejar que hay una parte de los objetivos del curso $\epsilon = (1 - \bar{\alpha})$ por la que el alumno no ha sido preguntado y por tanto no ha demostrado su conocimiento. Este desconocimiento introduce una incertidumbre en la medida del rendimiento. El **conocimiento real** no se puede calcular con exactitud, sólo se puede afirmar que se encuentra en el

intervalo dado por la ecuación 4.56 donde $\bar{\eta}_D$ es el conocimiento demostrado y $\bar{\eta}_D + \epsilon$ representa el conocimiento que tendría si obtuviese el máximo rendimiento en la fracción de los objetivos no evaluados.

$$\bar{\eta}_R \in [\bar{\eta}_D, \bar{\eta}_D + \epsilon] \quad (4.56)$$

Ejemplo: La tabla 4.8 muestra cómo calcular el nivel de exhaustividad de la prueba de evaluación reflejada en la tabla 4.7.

Descripción	Cálculo
- Curso tiene 6 objetivos con el mismo nivel de importancia ($\beta_j = 1/6 \quad \forall j$)	(O_1, O_2, \dots, O_6)
- Examen tiene preguntas relacionadas con 3 objetivos (no exhaustivo)	$\begin{cases} \alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1 \\ \alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = 0 \end{cases}$
- Nivel de exhaustividad	$\bar{\alpha} = \frac{3}{6} = 0.5$
- Fracción de objetivos sobre los que no se ha preguntado:	$\epsilon = 1 - 0.5 = 0.5$
- Rendimiento medido: 2 obj conocidos y 1 desconocido	$\bar{\eta} = 2/3$
- Rendimiento demostrado	$\eta_D = (2/3) * 0.5 = 0.3$
- Rendimiento real	$\eta_R \in [0.3, 0.8]$

Tabla 4.8: Nivel de exhaustividad en un proceso de evaluación

□

4.3. Caracterización del alumno

Para representar la evolución del alumno a lo largo de un proceso educativo es necesaria una representación que tenga una parte estática que permita caracterizar al alumno y una parte dinámica que refleje los cambios que experimenta durante su evolución a lo largo del tiempo. Estos cambios pueden ser debidos a la realización de un curso o a otros factores, como por ejemplo, el efecto del olvido en su nivel de conocimiento.

La parte estática, es decir el alumno en sí mismo, se caracteriza por la estructura del espacio matemático escogido para la representación, y la parte dinámica, es decir los posibles estados en que se puede encontrar el alumno, por los vectores de dicho espacio.

En el modelo descrito, se caracteriza al alumno mediante un espacio vectorial métrico y topológico H y a cada uno de sus estados como vectores de dicho espacio Ψ .

4.3.1. El espacio de conocimiento

El espacio de conocimiento se define como un espacio de dimensión infinita donde cada uno de los ejes representa cada uno de los micro-objetivos en los que se puede desglosar el conocimiento. Los vectores de este espacio de dimensión infinita representan posibles estados de conocimiento que puede experimentar el alumno. Cualquier estado de conocimiento se puede expresar en esta representación mediante un vector del espacio, aunque no es necesario que todos los vectores del espacio correspondan a estados de conocimiento posibles.

Cuando se utiliza este modelo para caracterizar el conocimiento del alumno en un curso concreto la representación queda reducida al subespacio definido por los objetivos del curso. Esto supone dos tipos de restricciones en la representación:

1. **Se prescinde de varias dimensiones del conocimiento**, todas aquellas que no estén relacionadas con los objetivos que se tratan en el curso.
2. **Se enmascaran varias dimensiones del conocimiento en una sola**. Si los objetivos del curso no están enunciados como objetivos elementales el eje del espacio correspondiente a un macro-objetivo es en realidad un subespacio formado por tantas dimensiones como objetivos elementales (micro-objetivos) agrupe dicho macro-objetivo.

Una vez definido el espacio de conocimiento todos los alumnos se representan mediante copias idénticas del mismo y sólo se diferencian entre sí en su nivel de conocimientos. Por tanto se puede utilizar un único espacio H y caracterizar cada alumno en un instante de tiempo t por su estado de conocimiento, es decir, por un vector del espacio $\Psi(t)$.

Cuando se utiliza el modelo para analizar el comportamiento de un alumno a lo largo de un curso, el espacio queda reducido a los objetivos del curso. Uno de los principales problemas para reutilizar la información recogida en el desarrollo de un curso es que se utilizan distintas representaciones del espacio. Se pueden distinguir principalmente tres representaciones:

- **Espacio de conocimiento** de dimensión J definido por los objetivos del curso (O_1, O_2, \dots, O_J)

- **Espacio de contenidos** de dimensión I donde cada eje representa cada una de las unidades didácticas (C_1, C_2, \dots, C_I) en que se divide el curso
- **Espacio de evaluación** de dimensión L donde cada eje representa cada una de las pruebas de evaluación (E_1, E_2, \dots, E_L) .

Para pasar de una representación a otra es necesario conocer explícitamente las descomposiciones espectrales o hacer suposiciones, como las utilizadas para el cálculo de matrices pseudo-inversas (ecuación 4.52)

4.3.2. El vector estado puro

Se denomina vector estado puro al objeto matemático que describe el estado del alumno cuando la información que se tiene sobre él es la más completa que permite la representación. Se ha escogido este nombre por analogía a la notación utilizada en mecánica cuántica para caracterizar los estados de un sistema cuántico [42].

En el espacio de dimensión J definido por los objetivos del curso $\{O_1, O_2, \dots, O_j, \dots, O_J\}$ el estado de conocimiento del alumno se caracteriza mediante un vector Ψ de J componentes donde cada componente η_j representa el nivel de realización del objetivo asociado O_j . La información más completa compatible con esta representación consiste en conocer el valor del rendimiento η_j para todos los objetivos.

$$\Psi = (\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_j, \dots, \eta_J) \quad (4.57)$$

Al comienzo del curso el alumno presenta un estado de conocimiento Ψ que cambia al estado de conocimiento Ψ' después de recibir los contenidos del curso. Estos dos estados se pueden representar en función del nivel de realización de los objetivos del curso tal y como indica la ecuación 4.59. Donde los vectores $\{e_j\}$ representan la base del espacio de objetivos. Estos vectores se caracterizan porque todas sus componentes son cero salvo la componente en posición j que toma el valor 1.

$$e_j = (0 \quad \dots \quad 0 \quad \underset{j}{1} \quad 0 \quad \dots \quad 0) \quad (4.58)$$

Se espera que el nivel de realización de los objetivos del curso sea mayor al final del curso que a su comienzo ($\eta'_j > \eta_j, \forall j$). Un alumno sin conocimientos

previos se encuentra inicialmente en el origen de coordenadas.

$$\Psi = \sum_{j=1}^J \eta_j e_j \quad \Longrightarrow \quad \Psi' = \sum_{j=1}^J \eta'_j e_j \quad (4.59)$$

Estos dos estados son desconocidos para el profesor pero puede estimarlos utilizando mecanismos de evaluación.

Ejemplo: Siguiendo con el ejemplo, en el curso “OOP en Java” con seis objetivos de igual importancia ($\beta_j = 1/6$), un estado puro se representa por un vector de seis componentes $\Psi = (\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4, \eta_5, \eta_6)$. El estado de un alumno que haya realizado únicamente los 3 primeros objetivos del curso vendrá dado por el vector $\Psi = (1, 1, 1, 0, 0, 0)$ \square

4.3.3. El operador estado mezcla

Cuando no se dispone de información completa sobre el conocimiento del alumno no se puede utilizar un vector del espacio para caracterizar su estado. En este caso es necesario introducir un nuevo objeto matemático que permita incorporar este tipo de estados al formalismo. Para ello se definen los estados mezcla, que sirven para representar aquellos estados de conocimiento de los que sólo se tiene información parcial. Estos estados se caracterizarán mediante un operador densidad ρ (ecuación 4.60). La denominación de estado mezcla y operador densidad se han tomado también del formalismo cuántico [42].

El conocimiento parcial se puede describir mediante las probabilidades $(p_1, p_2, \dots, p_e, \dots, p_E)$ de que el alumno se encuentre en los estados $(\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_e, \dots, \Psi_E)$ respectivamente. Se puede agrupar toda esta información en lo que denominaremos operador densidad que consiste en la suma de los proyectores sobre cada uno de los estados posibles P_e por la probabilidad de encontrar al alumno en dicho estado p_e como indica la ecuación 4.60.

$$\rho = \sum_{e=1}^E p_e P_e \quad (4.60)$$

Donde P_e indica el proyector sobre el estado Ψ_e que en notación matricial se

puede calcular como producto de matrices como indica la ecuación 4.61

$$P_e = \begin{pmatrix} \eta_1 \\ \vdots \\ \eta_j \\ \vdots \\ \eta_J \end{pmatrix} (\eta_1 \quad \dots \quad \eta_j \quad \dots \quad \eta_J) = \begin{pmatrix} \eta_1\eta_1 & \dots & \eta_1\eta_j & \dots & \eta_1\eta_J \\ \eta_2\eta_1 & \dots & \eta_2\eta_j & \dots & \eta_2\eta_J \\ \vdots & \ddots & \vdots & & \vdots \\ \eta_j\eta_1 & \dots & \eta_j\eta_j & \dots & \eta_j\eta_J \\ \vdots & \ddots & \vdots & & \vdots \\ \eta_J\eta_1 & \dots & \eta_J\eta_j & \dots & \eta_J\eta_J \end{pmatrix} \quad (4.61)$$

Ejemplo: Supóngase que un alumno ha realizado un curso que consta de cuatro objetivos elementales o micro-objetivos cuyo nivel de realización sólo puede ser 0 o 1. Se tiene el rendimiento medio de un alumno que ha seguido ese curso y se quiere reutilizar esta información en un curso que comparte estos cuatro objetivos con el anterior. Supóngase que los cuatro objetivos tienen la misma importancia en los dos cursos ($\beta_j = 1/4$). Si el rendimiento del alumno es $\bar{\eta} = 0,75$ el alumno puede encontrarse en uno de estos cuatro estados con la misma probabilidad:

$$\Psi_1 = (1, 1, 1, 0)$$

$$\Psi_2 = (1, 1, 0, 1)$$

$$\Psi_3 = (1, 0, 1, 1)$$

$$\Psi_4 = (0, 1, 1, 1)$$

El estado mezcla que describe el estado del alumno en este caso viene dado por el operador:

$$\rho = \frac{1}{4}(P_1 + P_2 + P_3 + P_4) = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 3 & 2 & 2 & 2 \\ 2 & 3 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 3 & 2 \\ 2 & 2 & 2 & 3 \end{pmatrix} \quad (4.62)$$

□

Generalizando el ejemplo a un curso con J objetivos en el que el alumno haya obtenido un rendimiento $\bar{\eta}$ el número de estados posibles viene dado por la ecuación 4.63. Como la única información de que se dispone en este proceso de la evaluación es el rendimiento medio ($\bar{\eta}$), por simetría del problema, se puede suponer que todos los estados posibles son equiprobables y su probabilidad de aparición es la inversa del número de estados posibles que denotaremos por E .

$$E \equiv \text{Número de estados posibles} = \binom{J}{\bar{\eta}J} \quad (4.63)$$

De este modo, aplicando la definición, la matriz densidad viene dada por la suma de los proyectores correspondientes a todos los estados posibles multiplicada por el inverso del número de estados posibles:

$$\rho = \frac{1}{E} \sum_e P_e \quad (4.64)$$

El uso de operadores para representar estados mezcla permite caracterizar el estado de conocimiento del alumno en situaciones en las que sólo se dispone de información parcial sobre su rendimiento. Esto resulta especialmente importante, cuando se quiere caracterizar el estado inicial de conocimiento de un alumno, al iniciar un curso, utilizando información recogida previamente como por ejemplo:

- la distribución de los resultados obtenidos por otros alumnos que realizaron el mismo curso en ediciones anteriores.
- los resultados de evaluación obtenidos por el mismo alumno, en cursos realizados previamente, que compartan objetivos con el actual.
- el rendimiento esperado al iniciar el curso calculado a partir de la información especificada en los requisitos de acceso.
- los resultados obtenidos por el alumno durante una evaluación inicial.

En todos los casos mencionados se desconoce el rendimiento del alumno en algunos objetivos.

Otra de las situaciones en las que puede resultar útil utilizar estados mezcla es para caracterizar de forma más precisa el estado esperado del alumno tras cursar una determinada unidad didáctica. Cuando se diseña una unidad didáctica, se conoce el rendimiento esperado para aquellos objetivos que figuran en los requisitos previos o en el contenido de dicha unidad didáctica, pero se desconoce el rendimiento para el resto de los objetivos. Normalmente, no es necesario entrar en este nivel de detalle y por simplicidad se utilizan estados puros para caracterizar los estados esperados.

Para construir estos estados puros se estiman los valores de los rendimientos desconocidos teniendo en cuenta el contexto del curso. De este modo se pone el valor del rendimiento esperado en los objetivos cursados en unidades previas o cero para los objetivos que aún no han sido tratados en ninguna de las unidades didácticas. Este es el procedimiento que se ha seguido en los ejemplos que ilustran el modelo.

4.3.4. Magnitudes observables

Se denominan magnitudes observables a aquellas características del alumno que se consideran medibles. Cada observable se representa mediante un operador \mathcal{B} . El resultado de la medida de un observable sobre el estado del alumno se calcula aplicando el operador observable \mathcal{B} al vector que representa el estado del alumno Ψ (ecuación 4.65). El resultado de la medida será uno de los autovalores b del operador \mathcal{B} multiplicado por el autoestado Ψ_b correspondiente a dicho autovalor.

$$\mathcal{B}\Psi = b\Psi_b \quad (4.65)$$

La medida de un observable \mathcal{B} sobre un estado mezcla ρ se calcula como la traza del producto de las matrices que representan al operador observable y al operador estado mezcla (ecuación 4.66)

$$\langle \mathcal{B} \rangle_\rho = \text{traza}(\rho\mathcal{B}) \quad (4.66)$$

A continuación se describen observables que resultan de interés para la representación presentada.

Operador Evaluación

El operador evaluación es un operador tal que aplicado al estado del alumno (en principio desconocido) da como resultado el rendimiento de este en cada uno de los objetivos del curso. Este operador se puede ver como composición de operadores más elementales que suponen la evaluación sobre cada uno de los objetivos. El operador evaluación sobre un objetivo elemental se puede ver como una proyección del estado del alumno sobre el eje del espacio correspondiente a dicho objetivo.

$$\xi_j\Psi = \eta_j \cdot e_j \quad \implies \quad \xi_j = P_j \quad (4.67)$$

Los operadores elementales se representan por tanto mediante los proyectores P_j construidos a partir de los vectores e_j que constituyen la base del espacio.

$$P_j \equiv \text{Proyector sobre } e_j = \begin{pmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} (0 \dots 0 \ 1 \ 0 \dots 0) \quad (4.68)$$

$$P_j \Psi = \eta_j e_j \quad (4.69)$$

El operador evaluación descrito en función de las preguntas del examen supone cambiar la representación del espacio de conocimiento al espacio de evaluación. Esta transformación se puede hacer en virtud de la matriz e_{lj} obtenida directamente de los valores de la tabla 4.6

Operador Distancia

El operador distancia se calcula como el valor absoluto de la diferencia entre dos vectores del espacio Ψ y Ψ' en un mismo instante de tiempo t .

$$d = |\Psi(t) - \Psi'(t)| \quad (4.70)$$

Esta magnitud permite determinar la diferencia entre el estado de dos alumnos o entre el estado esperado, calculado a partir del diseño del curso, y el estado medido mediante el proceso de evaluación.

Operador Desplazamiento

Si el estado del alumno indica una posición en el espacio, se puede definir el operador desplazamiento como la diferencia entre el estado del alumno en dos instantes de tiempo tal y como indica la ecuación 4.71. Para poder definir el operador desplazamiento es necesario conocer el estado del alumno en dos instantes de tiempo.

$$\mathcal{D} = \Psi(t + \Delta t) - \Psi(t) \quad (4.71)$$

El operador desplazamiento da una idea del avance del alumno en el curso es decir de cómo varía su conocimiento.

Operador Velocidad

A partir de la definición de operador desplazamiento se puede definir el operador velocidad como el desplazamiento por unidad de tiempo. Para poder calcular la velocidad es necesario conocer el estado del alumno en al menos dos instantes de tiempo.

$$v = \frac{D}{\Delta t} = \frac{\Psi(t + \Delta t) - \Psi(t)}{\Delta t} \quad (4.72)$$

Este operador da una idea de cómo varía el conocimiento en el tiempo y se puede tomar por tanto como una medida de la velocidad de aprendizaje.

Gráficamente se puede ver la velocidad de aprendizaje como la pendiente de la trayectoria. El análisis de la velocidad resulta muy útil tanto sobre la trayectoria planificada como sobre las trayectorias reales seguidas por los alumnos.

El análisis de la trayectoria definida por las unidades didácticas permite ayudar a mejorar el diseño y planificación del curso. Las zonas donde la pendiente es mayor indican que el alumno debe adquirir el conocimiento a más velocidad. Si estas zonas se corresponden con la transmisión de objetivos más sencillos esto no representa un problema, si se corresponde con la transmisión de objetivos complejos puede ser una fuente potencial de dificultades de aprendizaje.

Si en una zona del curso con una pendiente grande se obtienen rendimientos globales bajos este resultado es atribuible a una mala secuenciación, es decir, se ha tratado de transmitir mucho conocimiento en poco tiempo. Sin embargo si los resultados son buenos indica que las unidades didácticas implicadas son muy eficaces ya que son capaces de transmitir mucho conocimiento en poco tiempo con garantías de éxito.

Del mismo modo, se puede analizar la trayectoria individual de cada uno de los alumnos para identificar si las zonas donde el aprendizaje es menos efectivo se corresponden con periodos de poca actividad académica (no ha realizado las tareas asignadas o ha estudiado poco) o si por el contrario se debe a problemas con la asimilación de los contenidos.

El análisis comparativo de la pendiente de la trayectoria planificada y la pendiente real de los alumnos que siguen el curso es útil para mejorar la secuenciación en futuras ediciones ya que permite ver si las estimaciones realizadas sobre la velocidad en la que se asimilan los diferentes contenidos coincide o no con la realidad.

Operador Aceleración

Análogamente se puede definir la aceleración como la velocidad por unidad de tiempo. Para poder definir la aceleración es necesario conocer el estado del alumno en al menos 3 instantes de tiempo.

$$A = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (4.73)$$

La aceleración mide lo que varía la velocidad de aprendizaje en las distintas zonas del curso. En un curso donde el ritmo de asimilación de los contenidos es constante la aceleración es cero. Este parámetro resulta especialmente interesante cuando hay cambios bruscos en la velocidad de asimilación de los contenidos. Si en lugar de analizar el rendimiento medio se hace el análisis de la trayectoria en función de los objetivos las variaciones son más patentes. Los valores bajos en la aceleración no suelen corresponder a una velocidad de asimilación constante en todos los objetivos sino a que las variaciones en la asimilación de los diferentes objetivos se compensan entre sí. Esto se debe a que normalmente cada zona del curso se centra en la transmisión de unos objetivos en concreto aunque se traten los demás de forma colateral. Analizando las componentes de la aceleración se observarán cambios bruscos al principio y al final del intervalo temporal donde se trate un objetivo en concreto.

El análisis comparativo de la aceleración planificada y la aceleración real del alumno permiten detectar si la asimilación de los contenidos se produce en el momento esperado o es posterior. Estos retardos en la aceleración permiten identificar objetivos que necesitan mayor periodo de maduración por parte del alumno para ser asimilados.

4.3.5. Ampliando la representación

Hasta ahora los observables analizados se limitan a describir el movimiento del alumno en un curso sin analizar las causas que lo producen.

Es un hecho que no todos los alumnos responden del mismo modo al curso. Normalmente aprenden a distinto ritmo los distintos contenidos aun cuando parten de un mismo nivel de conocimiento. Estas diferencias se pueden atribuir a las capacidades que previamente ha desarrollado el alumno como su coeficiente de inteligencia, su madurez emocional, su motivación o su perfil de aprendizaje.

Si se limita la representación a las dimensiones correspondientes a los objetivos del curso se está ocultando al observador toda esta información ya que

no es posible distinguir entre dos alumnos que tengan el mismo rendimiento en todos los objetivos. Por ejemplo si se tienen dos alumnos con un rendimiento inferior a la media no es posible distinguir si se trata de un alumno de coeficiente intelectual muy alto que ha estudiado poco o un alumno que tiene dificultades de aprendizaje.

El estado del sistema, expresado en términos del nivel de realización de cada objetivo, no está representando un único estado posible sino una clase de equivalencia que engloba a todos los estados que conducen a los mismos resultados de rendimiento. A cada estado así definido se le puede asociar el concepto de entropía (definición 4.3.1) para medir el tamaño de la clase de equivalencia asociada.

Definición 4.3.1 (Entropía). *Es el número de configuraciones compatibles con las propiedades medibles observadas.*

El valor de la entropía indica la existencia de simetrías internas en la representación del estado del alumno. La simetría viene de considerar equivalentes todos los estados que conduzcan al mismo resultado en todos los observables considerados. Por tanto, todas las configuraciones compatibles con una misma representación se consideran simétricas.

Se puede romper esta simetría introduciendo nuevos parámetros en la representación que permitan distinguir estos estados y nuevos observables que permitan medir el valor de dichos parámetros en un estado concreto.

En los siguientes apartados se analiza cómo afecta a la representación la introducción de observables de interés como el operador masa, energía interna o perfil de aprendizaje. El formalismo descrito no restringe la descripción del alumno a los observables considerados, sino que permite la ampliación de la representación y la creación de otros operadores para definir nuevas magnitudes medibles sobre el estado del alumno.

Operador Masa

La masa desde el punto de vista de la física se define como la resistencia de un sistema a ser acelerado. Se ha escogido este mismo nombre para definir un concepto equivalente en el espacio del conocimiento. En este sentido la masa de un alumno es una medida de su resistencia a desplazarse en el espacio de conocimiento. Esta magnitud permite introducir en el modelo la capacidad intelectual del alumno.

Para incluir este nuevo parámetro basta con añadir una nueva componente al vector que representa el estado del alumno. El operador masa se caracteriza

por tanto mediante el proyector sobre el eje del espacio asociado a esa nueva componente.

Los resultados posibles de este nuevo parámetro se obtienen, al igual que ocurría con el resto de los observables del curso, mediante una prueba de evaluación. En este caso la evaluación consiste en la realización de test psicológicos o pedagógicos. Si se quiere reutilizar el concepto de masa en diferentes situaciones educativas conviene que la definición se realice utilizando tests conocidos.

Definición 4.3.2 (Masa o resistencia al aprendizaje). *Se define la masa de un alumno (m) como la inversa de su coeficiente de inteligencia (IQ) medido mediante un test estándar [21].*

$$m = 1/IQ \quad (4.74)$$

Un alumno más inteligente ofrece menos inercia al aprendizaje y por tanto se caracteriza con una masa menor.

La representación permite introducir diferentes tipos de masa asociadas a los distintos tipos de inteligencia. Cada uno de estos operadores se introduce de forma análoga a la definición 4.3.2 indicando en cada caso el procedimiento de medida escogido. Para medir los distintos tipos de inteligencia se sugiere la utilización de test psicológicos estándar como los proporcionados por [21] para la inteligencia matemática o para la inteligencia emocional.

Estas masas reflejan la inercia del alumno a moverse en el espacio de conocimiento y esta resistencia a aprender puede ser distinta dependiendo de la dirección de avance, es decir de los objetivos concretos.

Aunque estos parámetros se pueden medir de forma independiente para cada alumno puede resultar interesante introducirlos tras observar los resultados de un curso para caracterizar así distintas situaciones.

Ejemplo: Supóngase que se realiza un curso y los resultados de los alumnos se distribuyen según una gaussiana con un valor muy alto de σ . Un nivel tan alto de dispersión indica que el grupo de alumnos es muy heterogéneo y conviene diversificar el curso de cara a futuras ediciones. Se divide el conjunto de alumnos en tres grupos y se le asigna a cada uno de ellos una masa promedio (m_1, m_2, m_3) según los resultados obtenidos. Se quieren realizar tres versiones del curso una de nivel básico, otra de nivel medio y una tercera de nivel avanzado. Para diseñar cada una de las versiones se dimensionan los parámetros del curso para vencer la inercia (m_1, m_2, m_3) de cada uno de los grupos. \square

Operador Energía interna

Del mismo modo que se han introducido las capacidades intelectuales del alumno mediante el concepto de masa, se define una nueva magnitud (energía interna) para englobar todos los aspectos relacionados con su actitud hacia el aprendizaje.

La energía interna permite cuantificar la inquietud del alumno por el aprendizaje y será más alta cuanto mayor sea su motivación por aprender. Al igual que ocurre con el concepto de masa es posible desglosar esta magnitud en función de los objetivos y se puede ponderar su efecto de forma individual para cada objetivo o por grupos de objetivos.

La energía interna se introduce como un nuevo parámetro en la representación, es decir una nueva dimensión en el espacio y por tanto el observable correspondiente se caracteriza mediante un proyector sobre el nuevo eje. El cálculo, al igual que en el caso anterior se puede hacer a través de tests específicos para medir la motivación [21].

Operador Perfil de aprendizaje

La introducción de un nuevo observable y su proceso de evaluación asociado puede suponer la introducción de más de un parámetro en la representación. Para determinar el perfil de aprendizaje de los alumnos se ha escogido como procedimiento de evaluación el test de Felder [33]. Este test permite clasificar al alumno mediante cuatro parámetros, cada uno de los cuales puede tomar dos valores (activo-reflexivo, sensitivo-intuitivo, visual-verbal y secuencial-global). Incluir el perfil de aprendizaje según esta clasificación requiere ampliar la representación en cuatro dimensiones.

Dos alumnos con la misma energía interna y la misma masa, es decir con la misma motivación y coeficiente intelectual, pueden obtener distintos resultados en la evaluación. El resultado depende de si el estilo en que han sido diseñadas las unidades didácticas coincide o no con su estilo personal de aprendizaje. Los problemas derivados del estilo de aprendizaje pueden solucionarse diseñando materiales que se adecuen a los diferentes estilos de aprendizaje o suministrando información al alumno sobre cuál es su estilo y cómo mejorarlo.

El test de Felder no sólo permite determinar los distintos estilos de aprendizaje, también proporciona información sobre cada uno de ellos y establece algunas pautas de actuación para mejorar las técnicas de aprendizaje en función de cada perfil. Este test se ha introducido recientemente en la plataforma de soporte a la docencia de la Universidad Carlos III de Madrid [10] para dispo-

ner de información pedagógica del estudiante y estudiar posibles correlaciones con sus calificaciones, titulación, sexo, etc.

4.3.6. Estados separables

Se han proporcionado un conjunto de observables a modo de ejemplo pero el formalismo permite la definición de otros. Para definir un observable sólo es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Si es necesario ampliar la representación para incluir el observable.
- Proporcionar el procedimiento de medida (evaluación) del observable.
- Indicar el efecto del procedimiento de medida en el estado del alumno.

Los observables introducidos a modo de ejemplo son compatibles entre sí, es decir, el resultado de medirlos en uno u otro orden no altera el estado del alumno.

Cuando las evaluaciones de los distintos observables son independientes entre sí, se puede representar el estado del alumno como una función separable. De este modo, se pueden tratar de forma independiente los diferentes aspectos que contribuyen a caracterizar su estado como sujeto que aprende.

En la ecuación 4.75 se representa el estado del alumno Ψ como una composición de cuatro factores donde Ψ_m representa la resistencia del alumno a aprender, Ψ_e su motivación, Ψ_p su perfil de aprendizaje medido según el test de Felder y Ψ_O su nivel de conocimientos medido como el rendimiento obtenido para cada uno de los objetivos considerados.

$$\Psi = \Psi_m \Psi_e \Psi_p \Psi_O \quad (4.75)$$

El estado debido a su perfil de aprendizaje Ψ_p es a su vez separable según las 4 categorías definidas por el test de Felder: Activo-Reflexivo (Ψ_{AR}), Sensitivo-Intuitivo (Ψ_{SI}), Visual-Verbal (Ψ_{VV}) o Secuencial-Global (Ψ_{SG})

$$\Psi_p = \Psi_{AR} \Psi_{SI} \Psi_{VV} \Psi_{SG} \quad (4.76)$$

Análogamente el estado de conocimiento debido a los objetivos realizados también es separable cuando los objetivos se pueden evaluar de forma independiente.

$$\Psi_O = \Psi_{O_1} \Psi_{O_2} \dots \Psi_{O_I} \quad (4.77)$$

El alumno, a lo largo de su vida, va añadiendo factores a la ecuación 4.77 a medida que va ampliando su formación y realizando objetivos de aprendizaje.

Esta forma de representación se puede utilizar independientemente del modelo de datos escogido para caracterizar al alumno (sección 2.3.4).

4.4. Discusión

La introducción del modelo EPM para la caracterización del alumno y el seguimiento del curso no pretende sustituir la labor de diagnóstico realizada por el profesor en el aula. La información recogida en su contacto directo con los alumnos es más completa y rica en matices que la que puede recoger el modelo. Su principal campo de aplicación son aquellas situaciones donde existe una pérdida de control sobre el proceso educativo y disminuye el contacto profesor-alumno. Por ejemplo, cuando el número de alumnos es muy grande o cuando no existe contacto directo porque se encuentran en distinto espacio (cursos a distancia) o en distinto tiempo (cursos en CD-ROM).

Disponer de un modelo matemático subyacente proporciona además otras ventajas añadidas a los procedimientos de análisis tradicionales:

- Proporciona mecanismos para representar toda la información recogida durante el proceso educativo mediante la caracterización de unidades didácticas, acciones docentes, mecanismos de evaluación y resultados. Esto permite la evaluación comparativa de recursos y resultados de evaluación y facilita su reutilización.
- Permite proporcionar medidas cuantitativas de los problemas detectados como el momento en que se producen, la magnitud del problema o los objetivos relacionados.
- Facilita la labor de análisis y diagnóstico a docentes inexpertos ya que hace explícitas las inconsistencias existentes en el diseño del curso e indica cómo corregirlas. Facilita la detección de problemas educativos y proporciona algunos procedimientos para determinar su origen.

El modelo propuesto no sólo es un mecanismo de representación, también se puede utilizar como una herramienta de investigación educativa ya que:

- Permite la comparación de unidades didácticas y acciones docentes

- Facilita la reutilización de información caracterizando incluso aquellas situaciones en las que existe sólo información parcial y cuantificando en esos casos el margen de error que acompaña a los datos.
- Permite la inclusión de nuevos parámetros observables sobre el estado del sistema mediante la introducción de nuevos operadores.
- Se puede aplicar al análisis de la evolución de cualquier elemento que intervenga en la práctica educativa no sólo un alumno sino también un profesor o un material didáctico.

Las conclusiones obtenidas de la aplicación del modelo son tanto más representativas cuanto mayor sea el nivel de granularidad con el que se describen los objetivos del curso, las unidades didácticas, acciones docentes y mecanismos de evaluación. La situación ideal sería el desglose del conocimiento en sus objetivos más elementales y la evaluación independiente de cada uno de ellos. Pero esta idealización del modelo resulta poco operativa en la práctica. La utilidad del modelo EPM estriba en que permite obtener resultados significativos en los niveles de granularidad intermedios (5-10 objetivos) que manejan los cursos.

4.5. Conclusiones

En este capítulo se ha presentado el modelo EPM que permite la caracterización de la evolución de un alumno durante la realización de un curso.

Para la aplicación del modelo se requiere en primer lugar elaborar una lista de objetivos y asignar un peso a cada uno de ellos en virtud de su dificultad y su importancia relativa dentro del curso. En segundo lugar es necesario realizar la caracterización espectral que consiste en establecer las relaciones de dependencia entre las unidades didácticas, acciones docentes y procesos de evaluación en función de los objetivos del curso.

La aplicación del modelo a la caracterización de unidades didácticas y acciones docentes permite:

- Estimar la duración que debe tener cada unidad didáctica.
- Cuantificar el incremento de conocimiento que cada una de ellas debería inducir en el alumno.
- Estimar la trayectoria que se espera que siga el alumno en el espacio de objetivos como resultado de la asimilación de las unidades didácticas (trayectoria-UD).

- Detectar problemas en el diseño de unidades didácticas y acciones docentes como por ejemplo inconsistencias entre la secuenciación del curso y el peso atribuido a cada objetivo o variaciones significativas en el ritmo de transmisión del conocimiento.
- Cuantificar la magnitud de los problemas detectados y proponer vías de solución como por ejemplo los factores de corrección para el peso de los objetivos o la duración de las unidades didácticas.

La aplicación del modelo a la caracterización de las pruebas de evaluación permite:

- Determinar el grado de exhaustividad de un proceso de evaluación.
- Estimar el peso que debe tener cada prueba dentro de la evaluación global.
- Cuantificar el incremento de conocimiento que mide cada prueba de evaluación.
- Estimar la trayectoria que se espera que siga el alumno como resultado de la realización de las diferentes pruebas de evaluación (trayectoria-E).
- Detectar problemas en el diseño de evaluación como por ejemplo la falta de exhaustividad o las inconsistencias existentes entre el peso asignado a las diferentes pruebas y el peso asignado a los objetivos del curso.
- Cuantificar la magnitud de los problemas detectados y proponer soluciones como por ejemplo el factor de corrección que hay que aplicar a los pesos de las distintas pruebas para eliminar inconsistencias, determinar en qué momento del curso es necesario introducir pruebas de evaluación adicionales y con qué objetivos deben estar relacionadas.

La aplicación del modelo a la representación del estado del alumno permite

- Transformar los vectores que representan el estado del alumno desde el espacio definido por las pruebas de evaluación al espacio definido por los objetivos del curso. En esta nueva representación los resultados son más fácilmente reutilizables.
- Cuantificar el margen de error introducido en la representación del estado del alumno cuando la evaluación no es exhaustiva

- Representar el estado del alumno cuando la información es incompleta es decir cuando la información se reduce a un conjunto de estados posibles y la probabilidad asociada a cada uno de ellos.
- Definir nuevas magnitudes observables sobre el estado del alumno.

Las principales ventajas del modelo propuesto son que con un pequeño esfuerzo adicional de diseño (caracterización espectral) permite detectar y cuantificar problemas educativos y apuntar posibles vías de solución. En el capítulo 5 se profundiza en las posibles aplicaciones del modelo.

Capítulo 5

Aplicaciones del modelo EPM

Un modelo es una representación simplificada de la realidad en la que se reflejan algunas de sus propiedades y características más relevantes. En los capítulos anteriores se ha realizado una presentación del modelo EPM y se han establecido las relaciones de correspondencia existentes entre el proceso educativo y los objetos matemáticos utilizados para representarlo.

Para que el modelo resulte útil en la práctica, es necesario que las relaciones entre el modelo y la realidad sean parcialmente reversibles. De este modo se consigue que las conclusiones obtenidas al razonar sobre el modelo se puedan aplicar a la situación real y faciliten la mejora de la práctica docente. En este capítulo se describen aplicaciones prácticas del modelo EPM que justifican su utilidad. Estas aplicaciones no suponen una restricción del modelo ni agotan sus posibilidades de uso.

En las secciones 5.1 y 5.2 se describen los principales procedimientos de detección de problemas en las fases de diseño y análisis de resultados. En la sección 5.3 se muestra cómo el uso del modelo facilita la realización de un análisis comparativo de unidades didácticas y acciones docentes gracias a la descomposición espectral del curso en objetivos. En la sección 5.4 se analizan las ventajas que ofrece el modelo EPM para reutilizar la información recogida durante el desarrollo del curso y, por último, en la sección 5.5 se resumen, a modo de conclusión, los principales beneficios obtenidos de la aplicación del modelo propuesto.

5.1. Detección de problemas de diseño

Los problemas de diseño pueden estar relacionados con la caracterización de unidades didácticas y acciones docentes por parte del emisor (problemas de codificación) o con la adecuación del proceso de evaluación al curso (problemas de detección).

5.1.1. Inconsistencias en la planificación

En el diseño del programa del curso el profesor asigna valores a estos tres parámetros:

- β_j : peso de cada objetivo O_j en virtud de su dificultad y su importancia relativa dentro del curso
- t_i : duración asignada a cada unidad didáctica C_i
- γ_l : peso asignado a cada prueba ξ_l dentro de la evaluación global.

El modelo EPM es capaz de estimar los valores de la duración \hat{t}_i y del peso de las pruebas de evaluación $\hat{\gamma}_l$ a partir del peso de los objetivos β_j , la caracterización espectral de las unidades didácticas $\{c_{ij}\}$, y las pruebas de evaluación $\{e_{lj}\}$ (ver capítulo 4).

El peso que se le da a cada objetivo no siempre queda reflejado en la duración que se le dedica a lo largo del curso o en la importancia que se le atribuye en las pruebas de evaluación. Las diferencias entre los valores asignados por el profesor (t_i y γ_l) y los valores estimados por el modelo (\hat{t}_i y $\hat{\gamma}_l$) permiten detectar inconsistencias en el proceso de diseño.

El modelo no pretende sustituir al profesor en la labor de rediseño sino únicamente facilitar su tarea. Al inicio del curso, el profesor asigna un valor inicial a los parámetros β_j , t_i y γ_l . Estos parámetros pueden no ser consistentes entre sí. Una vez detectada la inconsistencia, es el profesor el que debe determinar, en virtud de su experiencia, cuál de los parámetros quiere mantener: el peso β_j de los objetivos, la duración t_i de las unidades o el peso γ_l de cada prueba en la evaluación global, y el modelo permite a partir del valor de uno de ellos estimar el valor de los otros dos de forma que resulten consistentes con el primero tal y como indica la tabla 5.1

Valor asignado por el profesor	Valores estimados por el modelo	
β_j	$\hat{t}_i = \sum_{j=1}^J c_{ij}\beta_j$	$\hat{\gamma}_l = \sum_{j=1}^J e_{lj}\beta_j$
t_i	$\hat{\beta}_j = \frac{1}{t_{total}} \sum_{i=1}^I t_i c_{ij}$	$\hat{\gamma}_l = \sum_{j=1}^J e_{lj}\hat{\beta}_j$
γ_l	$\hat{\beta}_j = \frac{1}{\sum_{l=1}^L \gamma_l} \sum_{l=1}^L \gamma_l e_{lj}$	$\hat{t}_i = \sum_{j=1}^J c_{ij}\hat{\beta}_j$

Tabla 5.1: Corrección de inconsistencias en el proceso de diseño

5.1.2. Análisis de trayectorias UD y E

Una vez corregidas las inconsistencias detectadas en el diseño, el modelo permite dibujar dos versiones de la trayectoria que se espera que siga el alumno en el espacio definido por los objetivos del curso: la trayectoria en función de las unidades didácticas (trayectoria-UD) y la trayectoria en función de las pruebas de evaluación (trayectoria-E). Ambas trayectorias se dibujan como la unión de una serie de puntos que representan el estado esperado del alumno al finalizar cada unidad didáctica o cada prueba de evaluación respectivamente.

El análisis de las trayectorias permite determinar en qué momento del curso se producen los problemas, cuantificar su magnitud y averiguar los objetivos involucrados.

- La pendiente de la **trayectoria-UD** da una idea de la velocidad con la que se transmiten los objetivos en cada momento del curso. Mediante una inspección visual se pueden detectar rápidamente las zonas de mayor pendiente. Si estas zonas corresponden a objetivos sencillos de asimilar se puede mantener la distribución temporal, si por el contrario corresponden a objetivos complejos será necesario rediseñar la secuenciación temporal para dedicarles más tiempo.
- La pendiente de la **trayectoria-E** permite estimar la velocidad con que se mide la asimilación de conocimiento.

Aunque las dos trayectorias representan el recorrido que se espera que siga el alumno a lo largo del curso en realidad no coinciden en el tiempo ya que

no es posible evaluar la adquisición de conocimiento en el mismo instante en que se imparte. Por tanto la trayectoria-E siempre permanece por debajo y ligeramente desplazada en el eje temporal respecto a la trayectoria-UD.

Para garantizar la efectividad de un proceso de evaluación como mecanismo de detección, las trayectorias-UD y E deberían estar próximas y tener una forma similar. Cuanto más próximas sean las trayectorias y más similar sea su forma, más eficaz resultará el procedimiento de evaluación como mecanismo de detección.

Hay que tener en cuenta que para detectar problemas de aprendizaje es necesario conocer la distancia entre el punto del espacio que representa el estado del alumno y la trayectoria-UD. Pero lo que se mide realmente en la práctica, es su distancia a la trayectoria-E. Por eso es tan importante que ambas trayectorias estén tan próximas como sea posible.

En un curso con evaluación continua las dos curvas permanecerán muy cerca durante todo el proceso. En un curso que sólo cuente con una prueba de evaluación final, la trayectoria-E se reducirá a un punto próximo al estado esperado del alumno tras cursar la última unidad didáctica.

El análisis comparativo de ambas trayectorias permite detectar problemas en el diseño de la evaluación. La región del espacio donde se separan las trayectorias da una idea de en qué punto del curso hay que introducir una nueva prueba de evaluación y el análisis de los diagramas de barras en esos puntos indica qué objetivos debe valorar dicha prueba y en qué porcentaje.

Ejemplo: La figura 5.1 muestra un ejemplo del análisis comparativo de dos trayectorias. El fragmento de curso analizado consta de 4 unidades didácticas y 3 pruebas de evaluación. La primera prueba de evaluación E_1 mide el rendimiento de la unidad C_1 , la segunda E_2 mide el rendimiento de las unidades C_2 y C_3 y la tercera E_3 mide el rendimiento de la última unidad didáctica C_4 . Si el ritmo de asimilación del curso fuese constante bastarían estas tres pruebas de evaluación para hacer un seguimiento adecuado del curso ya que la pendiente sería similar en toda la trayectoria y las dos curvas no se separarían. Como la pendiente de la trayectoria cambia bruscamente a la altura de C_2 conviene introducir una prueba más de evaluación para realizar un seguimiento adecuado del alumno en esa zona. En este ejemplo las dos trayectorias no terminan en el mismo punto porque se ha analizado sólo un fragmento del curso, si se analiza un curso completo la trayectoria esperada en función del contenido del curso y en función del proceso de evaluación deberían coincidir al principio y al final del curso. \square

Del mismo modo, los diagramas de barras asociados al último punto común

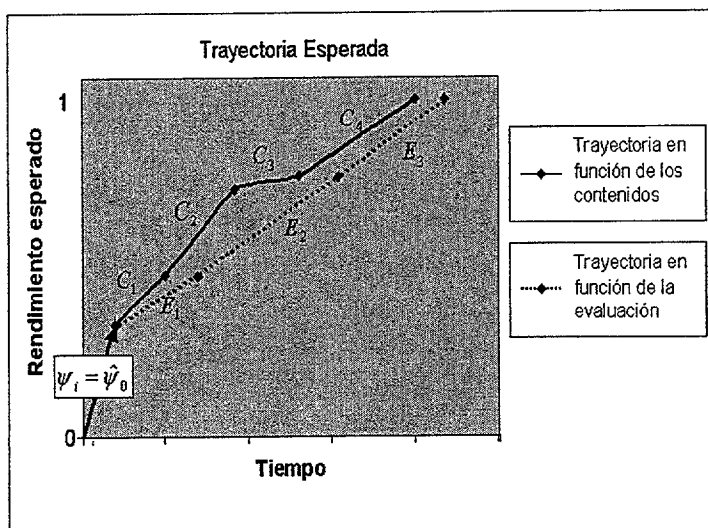


Figura 5.1: Análisis comparativo de trayectorias

a ambas trayectorias debería coincidir si la evaluación es exhaustiva. La diferencia entre el diagrama-UD y el diagrama-E permite determinar gráficamente la exhaustividad del proceso de evaluación.

5.2. Detección de problemas de rendimiento

Los procesos de evaluación permiten medir el cambio producido en el estado del alumno como consecuencia de su seguimiento del curso.

Para determinar si la comunicación ha resultado efectiva para un alumno en concreto se compara el estado de conocimiento medido mediante el proceso de evaluación con el estado esperado.

Para comprobar si el proceso general ha sido efectivo se analizan estas diferencias para el conjunto de alumnos que ha seguido el curso.

Cuando las desviaciones de la situación esperada presentan una estructura bien definida cabe la posibilidad de discriminar diferentes problemas y tratarlos simultáneamente diversificando el curso.

Los problemas detectados en los resultados del curso pueden estar relacionados con la caracterización de unidades didácticas y acciones docentes por parte del emisor (codificación semántica) o con la interpretación y asimila-

ción del mensaje por parte del receptor (decodificación semántica). El modelo permite discriminar en ciertos casos entre estas dos situaciones.

Las desviaciones de la trayectoria se deben a que el rendimiento del alumno η_j para un determinado objetivo O_j es menor que el esperado $\hat{\eta}_j$, el problema puede estar causado por la dificultad intrínseca de la materia o por la forma de codificación del mensaje en unidades didácticas y acciones docentes. El modelo permite discriminar estos tres casos:

- dificultad del objetivo O_j
- problemas con las unidades didácticas C_i asociadas a la transmisión de dicho objetivo.
- problemas con las acciones docentes A_i realizadas para la asimilación de dicho objetivo.

5.2.1. Análisis de trayectorias reales

La región del espacio en la que los alumnos se separan de la trayectoria esperada indica en qué **momento** del curso se producen los problemas. La distancia entre las dos trayectorias permite calcular la **magnitud** de los mismos. Una vez detectados los puntos conflictivos, el análisis comparativo de los diagramas de barras en esos puntos permite detectar los **objetivos involucrados**. Toda esta información facilita al alumno y al profesor la búsqueda de soluciones. Se pueden establecer alarmas en función de estos valores para informar al alumno y al profesor de las situaciones conflictivas.

- **Problemas de rendimiento de carácter individual.** Cuando son pocos los alumnos que se desvían de la trayectoria prevista se pueden atribuir los problemas al receptor es decir a las características personales del alumno. En este caso los problemas se pueden tratar de forma aislada atendiendo a cada uno de ellos de manera individual.
- **Problemas de rendimiento de carácter general.** Cuando el número de alumnos que se desvía de la trayectoria es significativo, el problema es atribuible al emisor y por tanto es necesario pensar en rediseñar el curso. El modelo EPM facilita el proceso de rediseño. El análisis de trayectorias permite identificar las regiones del espacio donde se concentran los alumnos y los diagramas de barras correspondientes a esas regiones del espacio permiten identificar los objetivos a tener en cuenta en el proceso de rediseño. Cuando los alumnos se agrupan en diferentes regiones

del espacio conviene diseñar material alternativo para cada uno de esos grupos (codificación múltiple)

5.2.2. Problemas de rendimiento de carácter individual

Aún cuando la efectividad del curso es buena, pueden producirse problemas de rendimiento de carácter individual. La detección precoz de estos problemas mediante evaluaciones intermedias facilita su solución y permite mejorar el proceso educativo.

La solución a los problemas individuales de aprendizaje puede estar prevista por el curso o ser responsabilidad del alumno. En el primer caso el curso ofrece mecanismos como realimentación inmediata en los procesos de evaluación o recorridos alternativos adaptados a cada problema concreto. En el segundo caso se informa al alumno de los objetivos en los que tiene dificultad para facilitarle la búsqueda de material adicional. En la tabla 5.2 se resumen las situaciones más frecuentes.

Los problemas de rendimiento de carácter individual pueden estar motivados por la dificultad conceptual que presenta un determinado objetivo O_j a un alumno concreto a_o , o porque la forma en la que se presentan los materiales C_i y se imparte el curso A_i no pertenecen a su rango de recepción (definición 3.3.3).

Cuando el curso ofrece un único recorrido (tabla 5.2 (a)) no es posible determinar el origen del problema. Si el curso ofrece varias alternativas se puede discernir si se trata de un problema conceptual debido a las características del objetivo (tabla 5.2 (g)) o un problema de codificación debido al diseño de los materiales (tabla 5.2 (c) y (d)), a la forma de impartirlos (tabla 5.2 (b) y (e)) o a ambas (tabla 5.2 (f)).

5.2.3. Problemas de rendimiento de carácter general

Representando los valores de rendimiento frente al número de alumnos se obtiene un histograma que normalmente presenta una distribución gaussiana. Independientemente de la forma que adopte la distribución los valores más representativos serán el rendimiento medio y la anchura de la distribución que dan una medida de la efectividad del proceso y la heterogeneidad del grupo de alumnos respectivamente.

- Los problemas de efectividad se manifiestan como un rendimiento

Tipos de codificación		$\eta_{j,a_0} \ll \hat{\eta}_j$		
Simple ($\Gamma = 1$)	$\begin{cases} = C_i \\ = A_i \end{cases}$		<p><u>Problema:</u> El alumno a_0 filtra la parte de (C_i, A_i) asociada a O_j. Es decir no comprende O_j con codificación (C_i, A_i)</p> <p><u>Solución:</u> Presentar (C_i, A_i) adicional relacionadas con O_j para alumno a_0</p>	(a)
Múltiple ($\Gamma > 1$) $\gamma = A, B, \dots$	Caso I $\begin{cases} = C_i \\ \neq A_i \end{cases}$	$\exists \gamma /$	<p><u>Problema:</u> γA_i es AD poco efectiva para exponer la UD C_i asociada a O_j al alumno a_0</p> <p><u>Solución:</u> Utilizar una AD $\neq \gamma A_i$ con alumno a_0</p>	(b)
		$\forall \gamma$	<p><u>Problema:</u> El alumno a_0 no asimila O_j con la UD C_i independientemente de la AD γA_i utilizada</p> <p><u>Solución:</u> Utilizar una UD $\neq C_i$ con alumno a_0</p>	(c)
	Caso II $\begin{cases} \neq C_i \\ = A_i \end{cases}$	$\exists \gamma /$	<p><u>Problema:</u> La UD γC_i asociada a la AD A_i es una codificación poco efectiva para transmitir O_j al alumno a_0</p> <p><u>Solución:</u> Utilizar UD $\neq \gamma C_i$ para alumno a_0</p>	(d)
		$\forall \gamma$	<p><u>Problema:</u> El alumno a_0 no asimila O_j con la AD A_i independientemente de la UD γC_i utilizada</p> <p><u>Solución:</u> Utilizar AD $\neq A_i$ para alumno a_0</p>	(e)
	Caso III $\begin{cases} \neq C_i \\ \neq A_i \end{cases}$	$\exists \gamma /$	<p><u>Problema:</u> La combinación de UD γC_i con AD γA_i es una mala codificación para transmitir O_j al alumno a_0</p> <p><u>Solución:</u> Utilizar combinación $\neq \gamma(C_i, A_i)$ para alumno a_0</p>	(f)
		$\forall \gamma$	<p><u>Problema:</u> El alumno a_0 no asimila O_j con ninguno de los caminos $\gamma(C_i, A_i)$ ofertados en el curso</p> <p><u>Solución:</u> Presentar $\gamma(C_i, A_i)$ adicional relacionado con O_j para alumno a_0</p>	(g)

Tabla 5.2: Problemas de rendimiento de carácter individual

medio mucho menor del esperado ($\bar{\eta}_j \ll \hat{\eta}_j$) que indica que la mayoría de los alumnos no han cumplido los objetivos previstos en el curso.

- Los **problemas de heterogeneidad** se manifiestan como una desviación típica mucho mayor que la esperada ($\sigma_j \gg \hat{\sigma}_j$). Un valor alto de σ indica que se ha obtenido una dispersión muy grande en los rendimientos obtenidos por los alumnos y este resultado es directamente atribuible a la heterogeneidad del grupo.

Si el curso presenta un único camino para todos los alumnos (tabla 5.3 (a)) no es posible discernir la causa del problema. Si por el contrario el curso tiene distintos caminos se puede tratar de detectar el origen observando el rendimiento de cada uno de los caminos por separado. Si en todos los caminos se observa el mismo problema de rendimiento independientemente de las unidades didácticas y acciones docentes utilizadas (tabla 5.3 (g)) el problema es atribuible a la dificultad del objetivo y la única solución posible es rediseñar el curso por completo o reforzar los contenidos C_i y acciones docentes A_i asociados a dicho objetivo. Si por el contrario el problema sólo se presenta en algunos caminos (tabla 5.3 (b), (d) y (f)) cabe suponer que la codificación asociada a ese camino no es adecuada. La falta de adecuación puede deberse a las acciones docentes (tabla 5.3 (b)), a las unidades didácticas (tabla 5.3 (d)) o a la combinación de ambas (tabla 5.3 (f)). En este caso la solución a adoptar es eliminar ese camino del curso y presentar un camino alternativo o completar el camino existente con información adicional.

Cuando la distribución de rendimientos es muy ancha ($\sigma_j \gg \hat{\sigma}_j$) (tabla 5.3), se puede concluir que existe una excesiva diversidad de los alumnos. La heterogeneidad del grupo puede deberse a múltiples razones relacionadas con su nivel de conocimientos o con su rango de recepción. La solución al problema de heterogeneidad consiste siempre en realizar diferentes recorridos que se adecuen a los diferentes perfiles del estudiante. Esto implica elaborar mecanismos de evaluación que nos permitan distinguir a los alumnos en grupos y diseñar unidades didácticas C_i y acciones docentes A_i adaptadas a cada uno de esos grupos para minimizar la dispersión de los resultados.

Ejemplo: En la figura 5.2 se puede ver el efecto esperado al diversificar un curso. Cuando se realiza un curso en un único camino se obtiene una mayor dispersión en las medidas de rendimiento. Sin embargo, cuando se ofrecen varias alternativas, el rendimiento obtenido se separa menos de los resultados esperados. Esto se debe a que cada versión del curso ataca los problemas de un grupo en concreto consiguiendo por tanto mejorar el rendimiento de los alumnos de dicho grupo y por tanto el rendimiento global. En general un curso

adaptativo debe obtener mejores resultados que uno de recorrido único. Esto permite justificar el esfuerzo adicional de diseño que requiere la diversificación.

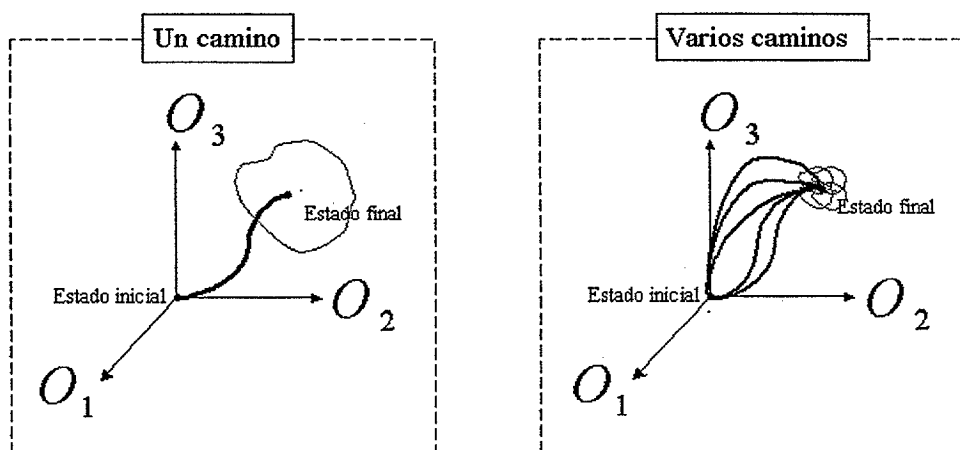


Figura 5.2: Efecto esperado de la codificación múltiple en la dispersión de los resultados de evaluación

Este análisis se puede hacer de forma general para todo el curso o independientemente para cada uno de sus objetivos. \square

5.3. Comparación de unidades didácticas y acciones docentes

Cuando el número de estudiantes es muy grande el modelo puede ser utilizado para comparar y evaluar diferentes formas de cubrir un curso. El resultado de la comparación permite medir la efectividad de una unidad didáctica C_i o una acción docente A_i en la transmisión de un objetivo O_j para una determinada distribución de población M .

El análisis comparativo de unidades didácticas y acciones docentes puede verse como una particularización del problema de la codificación múltiple en el que se cumplen los siguientes requisitos:

1. Cada uno de los términos de la comparación se representa mediante un camino distinto γ con $\gamma = A, B, C, \dots$. Un diseño adecuado de los caminos permite comparar acciones docentes (caso I), unidades didácticas

Tipos de codificación		$\bar{\eta}_j \ll \hat{\eta}_j$	$\sigma_j \gg \hat{\sigma}_j$		
Simple ($\Gamma = 1$)	$\begin{cases} = C_i \\ = A_i \end{cases}$		<u>Problema:</u> O_j complejo, o C_i mal diseñada, o A_i mal diseñada <u>Solución:</u> Rediseñar C_i y/o A_i	<u>Problema:</u> Grupo heterogéneo <u>Solución:</u> Diversificar UD C_i y/o AD A_i en varios caminos	(a)
		Múltiple ($\Gamma > 1$) $\gamma = A, B, \dots$	Caso I $\begin{cases} = C_i \\ \neq A_i \end{cases}$	$\exists \gamma /$	<u>Problema:</u> γA_i mal diseñada <u>Solución:</u> Rediseñar γA_i
$\forall \gamma$	<u>Problema:</u> O_j complejo, o C_i mal diseñada <u>Solución:</u> Rediseñar C_i			<u>Problema:</u> Grupo heterogéneo <u>Solución:</u> Diversificar UD C_i en varios caminos	(c)
Caso II $\begin{cases} \neq C_i \\ = A_i \end{cases}$	$\exists \gamma /$		<u>Problema:</u> γC_i mal diseñada <u>Solución:</u> Rediseñar γC_i	<u>Problema:</u> Grupo heterogéneo <u>Solución:</u> Diversificar UD γC_i en varios caminos	(d)
	$\forall \gamma$		<u>Problema:</u> O_j complejo, o A_i mal diseñada <u>Solución:</u> Rediseñar A_i	<u>Problema:</u> Grupo heterogéneo <u>Solución:</u> Diversificar AD A_i en varios caminos	(e)
Caso III $\begin{cases} \neq C_i \\ \neq A_i \end{cases}$	$\exists \gamma /$		<u>Problema:</u> C_i mal diseñada, o A_i mal diseñada <u>Solución:</u> Rediseñar C_i y/o A_i	<u>Problema:</u> Grupo heterogéneo <u>Solución:</u> Diversificar $\gamma(C_i, A_i)$ en varios caminos	(f)
	$\forall \gamma$		<u>Problema:</u> O_j complejo <u>Solución:</u> Crear nuevos camino $\gamma(C_i, A_i)$	<u>Problema:</u> Grupo heterogéneo <u>Solución:</u> Crear nuevos camino $\gamma(C_i, A_i)$	(g)

Tabla 5.3: Problemas de rendimiento de carácter general

(caso II) o una combinación de ambas (caso III). Estos casos se corresponden con los analizados para la codificación múltiple en la sección 4.2.3

2. Para que la comparación sea válida es necesario que la distribución de la población M sea similar en todos los caminos.

5.3.1. Caracterización matemática

Supóngase que se quiere analizar la efectividad de dos fragmentos de un curso que se denominan ${}^A C$ y ${}^B C$. El cálculo matemático que se propone es el mismo independientemente de que las dos versiones se diferencien en las unidades didácticas, en las acciones docentes o en ambas. A modo de ejemplo se realiza el desarrollo para el análisis comparativo de dos unidades didácticas ${}^A C_i$ y ${}^B C_i$. Para realizar el análisis se divide a los alumnos en dos grupos de tamaños M_A y M_B . No es necesario que los grupos tengan el mismo número de alumnos pero sí que la distribución de perfiles de sea similar. Se presenta a cada grupo de alumnos una de las unidades didácticas ${}^A C_i$ o ${}^B C_i$. Una vez presentados los contenidos y evaluados los alumnos se puede comparar el resultado obtenido en cada grupo mediante los coeficientes ${}^A \eta_i$ y ${}^B \eta_i$ tal y como indica la ecuación 5.1 donde $\gamma \eta_{i,a_r}$ indica el rendimiento del alumno a_r para la unidad C_i siguiendo el camino γ . Para ello se ha ponderado el resultado obtenido en cada camino según el número de alumnos que lo sigue.

$${}^A \eta_i = \frac{1}{M_A} \sum_{r=1}^{M_A} {}^A \eta_{i,a_r}; \quad {}^B \eta_i = \frac{1}{M_B} \sum_{r=M_A+1}^{M_A+M_B} {}^B \eta_{i,a_r} \quad (5.1)$$

Del mismo modo que se ha calculado el rendimiento del alumno para una unidad didáctica C_i se puede calcular el rendimiento para un curso completo $C = (C_1, \dots, C_i, \dots, C_I)$ promediando el rendimiento de todos los alumnos.

$$\eta = \frac{1}{M} \sum_{r=1}^M \bar{\eta}_{a_r} \quad (5.2)$$

En la tabla 5.4 se muestra la casuística derivada de los posibles valores obtenidos.

5.3.2. Escenarios de aplicación

En este apartado se analizan posibles escenarios de aplicación para cada uno de los tres casos descritos en el apartado anterior.

	Mayor rendimiento ${}^A\eta_j > {}^B\eta_j$ (${}^A\sigma_j \approx {}^A\sigma_j \approx \hat{\sigma}_j$)	Menor dispersión ${}^A\sigma_j < {}^B\sigma_j$ (${}^A\bar{\eta}_j \approx {}^B\bar{\eta}_j \approx \hat{\eta}_j$)
Caso I (Acciones docentes) $\begin{cases} = C_i \\ \neq A_i \end{cases} \begin{cases} {}^A A_i \\ {}^B A_i \end{cases}$	La AD ${}^A A_i$ es más eficaz que ${}^B A_i$ para transmitir el objetivo O_j porque consigue mejores rendimientos para la población M	La AD ${}^A A_i$ es más eficaz que ${}^B A_i$ para transmitir O_j por estar más adaptada al perfil de la población M
Caso II (Unidades didácticas) $\begin{cases} \neq C_i \\ = A_i \end{cases} \begin{cases} {}^A C_i \\ {}^B C_i \end{cases}$	La UD ${}^A C_i$ es más eficaz que ${}^B C_i$ para transmitir el objetivo O_j porque consigue mejores rendimientos para la población M	La UD ${}^A C_i$ es más eficaz que ${}^B C_i$ para transmitir O_j por estar más adaptada al perfil de la población M
Caso III (Combinación UD-AD) $\neq (C_i, A_i) \begin{cases} {}^A(C_i, A_i) \\ {}^B(C_i, A_i) \end{cases}$	La combinación ${}^A(C_i, A_i)$ es más eficaz que ${}^B(C_i, A_i)$ para transmitir el objetivo O_j porque consigue mejores rendimientos para la población M	La combinación ${}^A(C_i, A_i)$ es más eficaz que ${}^B(C_i, A_i)$ para transmitir O_j por estar más adaptada al perfil de la población M

Tabla 5.4: Comparación de unidades didácticas UD y acciones docentes AD

Caso I: Comparación AD

La realización de distintas acciones docentes A_i utilizando el mismo material C_i se utiliza para:

- Caracterizar la efectividad docente de un profesor para la consecución de ciertos objetivos. Este es un escenario habitual cuando se imparte una misma materia simultáneamente en varios grupos. O cuando se asignan distintos tutores a un conjunto numeroso de alumnos que siguen un curso a distancia. En ambos casos el rendimiento comparativo permite medir la eficacia de los distintos profesores.
- Analizar la evolución de la capacidad docente de un mismo profesor a lo largo de los años. Este escenario es habitual en la enseñanza reglada de contenidos que varían poco a lo largo de los años.
- Medir el efecto de una determinada acción docente en la consecución de los objetivos. Este escenario resulta útil en innovación docente donde se prueba una nueva técnica con un grupo pequeño de estudiantes para analizar su impacto en el rendimiento antes de aplicarla para todo el grupo.

Caso II: Comparación UD

La utilización de distintas unidades didácticas con una misma acción docente permite evaluar la eficacia de los materiales usados para transmitir un mismo objetivo. Se pueden diseñar experimentos para:

- Comparar distintas codificaciones de una unidad didáctica que cubran los mismos objetivos de aprendizaje
- Comprobar si ciertos tipo de recursos multimedia como vídeos, animaciones, etc. son útiles para comprender determinados conceptos o si por el contrario distraen al alumno del objetivo fundamental.
- Comparar la utilidad de los distintos recursos bibliográficos para cubrir cada una de las partes de la asignatura.

Caso III: Comparación de una combinación UD-AD

La libertad de modificar tanto los contenidos como la forma de impartirlos hace posible diseñar escenarios de aplicación más complejos que permitan

comprobar la eficacia de una determinada combinación de unidades didácticas y acciones docentes para transmitir unos mismos objetivos, como por ejemplo:

- Estudiar la efectividad de diferentes técnicas didácticas como aprendizaje basado en casos vs. aprendizaje basado en proyectos.
- Estudiar la efectividad de diferentes modelos de conocimiento (aprendizaje por descubrimiento vs. conductismo vs. constructivismo).
- Analizar el efecto de distintas formas de presentación de contenido para estudiantes de un mismo perfil (presentación secuencial vs. global, visual vs. verbal, activa vs. reflexiva)

Dependiendo de cómo se diseñen los caminos se obtienen los resultados de efectividad en función de los objetivos del curso o del perfil de los alumnos.

5.4. Reutilización de resultados

La reutilización de resultados es el principal objetivo del modelo y el único requisito para conseguirlo es la definición de un conjunto de objetivos comunes entre cursos.

La descomposición espectral en función de los objetivos de las unidades didácticas, acciones docentes y resultados de evaluación permiten reutilizarlos en cursos que compartan objetivos comunes.

Reutilización de resultados de evaluación

Si se dispone de los resultados de evaluación de un curso en función de objetivos, se puede reutilizar esta información como una estimación razonable del estado inicial del alumno en un curso que comparta objetivos con el primero. Para hacerlo basta proyectar el vector que representa el estado del alumno en el primer curso sobre el subespacio de objetivos que comparte con el segundo (figura 5.3).

El estado inicial del alumno así obtenido es una magnitud sobre la que se tiene información parcial: por un lado, sólo se conoce el valor de algunas de sus componentes (las que corresponden a los objetivos comunes). Por otro, los valores de rendimiento conocidos vienen afectados por la exhaustividad con que se haya realizado la evaluación en el primer curso.

Para una mejor estimación de la situación real, es necesario proporcionar junto al valor del rendimiento η_j para el objetivo O_j el grado de exhaustividad α_j con el que ha sido medido. De este modo, cuando se reutilizan los resultados se tiene una estimación del error cometido.

Ejemplo: Supóngase que después del curso de orientación a objetos en java el alumno se matricula en un curso de orientación a objetos en C++ que comparte los objetivos (O_1, O_2) con el anterior (ver tabla 4.2). El rendimiento del estudiante (η_1, η_2) asociado a los objetivos (O_1, O_2) puede ser reutilizado para modelar el estado inicial del estudiante al comenzar el siguiente curso. Mientras que el rendimiento η_4 asociado al objetivo O_4 no se reutiliza por ser específico del lenguaje java. El tutor del segundo curso puede utilizar η_1, η_2 como evaluación inicial para adaptar el curso al nivel del estudiante. Dependiendo del valor de η el estudiante puede saltar las unidades didácticas relacionadas con los conceptos básicos de orientación a objetos o puede requerir una introducción más amplia sobre dicho tema. En la figura 5.3 se muestran tres casos en los que los valores de η_j están compensados con distintos niveles de exhaustividad α_j . En el primer caso el proceso de evaluación es exhaustivo, en el segundo hay una falta de exhaustividad en la medida del objetivo O_2 y en el tercero hay falta de exhaustividad en la medida de los objetivos O_1 y O_2 . \square

5.5. Conclusiones

El modelo desarrollado se puede aplicar a las diferentes fases del ciclo de vida de un curso:

1. En la fase de **planificación** del curso el modelo permite detectar inconsistencias de diseño debidas a las diferencias existentes entre el peso asignado explícitamente a los objetivos del curso y el peso que se le asigna implícitamente con el tiempo que se le dedica o la importancia que se le da en las pruebas de evaluación. En esta fase el modelo permite además dibujar la trayectoria que se espera que siga el alumno en función de los contenidos y de los mecanismos de evaluación y detectar así variaciones significativas en la velocidad con que se transmite o asimila el conocimiento. Asimismo, el análisis comparativo de la trayectoria-UD y la trayectoria-E permite medir la adecuación entre las unidades didácticas y el proceso de evaluación.
2. En la fase de **impartición** el modelo permite identificar el momento del curso en el que se producen problemas de aprendizaje, cuantificar su

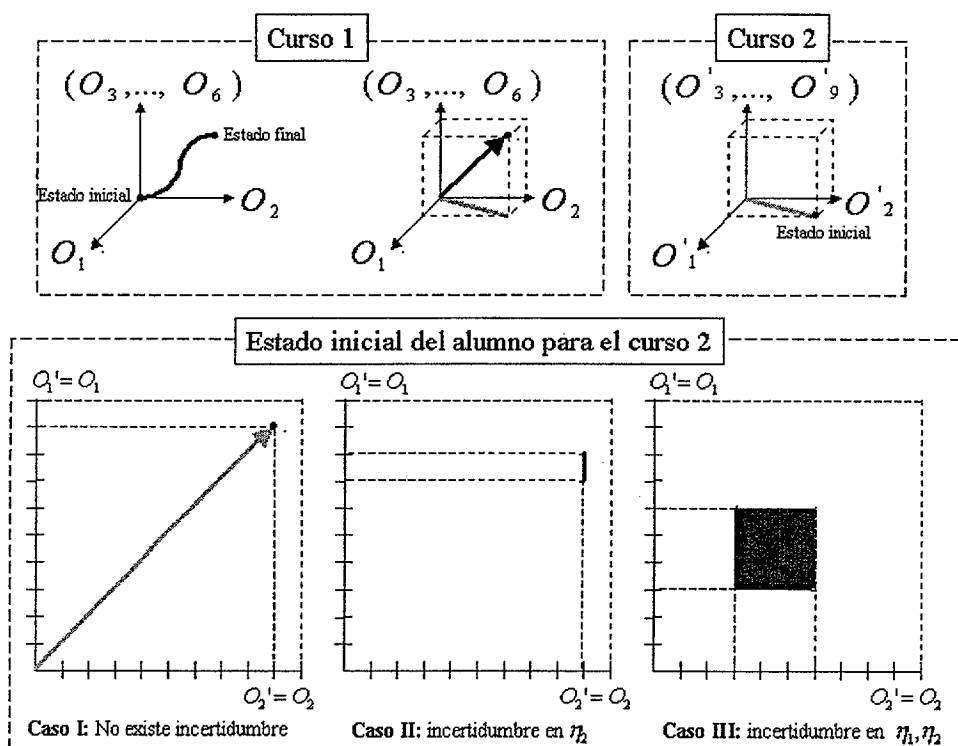


Figura 5.3: Reutilización resultados de evaluación

magnitud y detectar los objetivos involucrados gracias al análisis comparativo entre la trayectoria planificada y la trayectoria real seguida por los alumnos.

3. En la fase de **evaluación y análisis de resultados** el modelo permite detectar y caracterizar problemas de carácter individual o de carácter general que afectan a la efectividad del curso. En determinadas situaciones es capaz incluso de discriminar si el origen del problema es debido a la heterogeneidad del grupo, a la dificultad de los objetivos, a las unidades didácticas o a las acciones docentes utilizadas para impartir el curso.
4. En la fase de **propuesta de soluciones** el modelo facilita esta labor al realizar un diagnóstico preciso de los problemas detectados. Esto permite sugerir en qué momento del curso es necesario introducir nuevas unidades didácticas, acciones docentes o procesos de evaluación e indicar con qué objetivos deben estar relacionadas. En los casos en los que el problema es la heterogeneidad de los alumnos el modelo permite discriminar si es necesario diversificar las unidades didácticas, las acciones docentes o la combinación de ambas.

El modelo va más allá del ciclo de vida del curso proporcionando mecanismos para la **comparación** de unidades didácticas y acciones docentes y facilitando la **reutilización** no sólo de los recursos utilizados durante el proceso educativo sino también de los resultados de evaluación.

Capítulo 6

Caso de estudio

Todo modelo necesita ser evaluado en la práctica para determinar su utilidad. Para hacerlo es necesario trasladar las propiedades emergentes y posibles aplicaciones deducidas del modelo abstracto a una situación real.

En este capítulo se profundiza sobre la utilidad del modelo EPM como herramienta de análisis y mejora de la práctica docente. Para ello se utiliza como caso de estudio un curso de educación a distancia.

El modelo se aplica a un curso que ya ha sido impartido con el objetivo de mejorar su diseño de cara a futuras ediciones, caracterizar los diferentes elementos que lo componen y facilitar la reutilización de los datos recogidos durante su impartición.

El objetivo de este caso de estudio es facilitar la comprensión sobre la aplicación del modelo. Para limitar la extensión, no se desarrolla el modelo por completo sino únicamente aquellos aspectos que se consideran más relevantes.

En la sección 6.1 se describe el contexto experimental en el que se realiza el caso de estudio. En 6.2 se desarrolla la aplicación del modelo al diseño del curso y los mecanismos de evaluación. En 6.3 se analizan los aspectos relacionados con el estado del alumno como son: los cambios de representación entre el espacio de evaluación y el espacio de objetivos, el efecto de la exhaustividad en la medida, y la reutilización de los resultados de evaluación. Por último, en la sección 6.5, se exponen las principales conclusiones obtenidas de la aplicación del modelo a un curso real.

6.1. Contexto experimental

Este curso fue diseñado como proyecto piloto para impulsar la línea de investigación del Instituto Agustín Millares de la Universidad Carlos III de Madrid sobre la enseñanza a distancia. Al tratarse de un curso piloto de carácter gratuito, los alumnos no recibían ningún diploma acreditativo por su seguimiento, aunque se comprometían a realizar las tareas de evaluación como si se tratase de un curso real.

La audiencia a la que va dirigido el curso son personas adultas de diferentes edades, con conocimientos de informática a nivel de usuario (correo electrónico y procesador de textos) que quieran adquirir los conocimientos básicos para crear sus propias páginas web y publicarlas en Internet. No se exige ningún conocimiento previo del lenguaje HTML ni de los principios básicos de diseño web. La selección se realizó entre personas adultas de diferentes edades y diferentes niveles de experiencia profesional de España y sudamérica: Costa Rica, Colombia, Uruguay, República Dominicana y Perú.

6.1.1. Objetivos y organización del curso

El curso tiene una doble vertiente: teórica y práctica. Los objetivos teóricos son que el alumno conozca los principios básicos de diseño web y las etiquetas básicas del lenguaje HTML. El objetivo práctico es que al finalizar el curso el alumno haya conseguido realizar un sitio web completo y publicarlo en Internet.

Para conseguir este doble objetivo las diferentes fases de implementación y diseño del sitio web se han estructurado en bloques de contenido que los alumnos realizan paso a paso. Para cada uno de estos bloques el alumno recibe información teórica y realiza algunos ejercicios de aplicación sencilla para adquirir soltura con la información recibida. Posteriormente se ilustra la aplicación de esta teoría a un caso de estudio y, por último, se indica paso a paso cómo aplicar esos conceptos al diseño y publicación de su propia página web.

Al no disponer de control sobre el sistema operativo y el software instalado en el equipo de los alumnos se ha diseñado un conjunto de actividades que puedan realizarse con la utilización de un editor de texto, una aplicación de correo electrónico y un navegador web. La presentación de contenidos del curso por parte del profesor así como la entrega de ejercicios por parte del alumno se realiza mediante un servidor web.

6.1.2. Arquitectura

Toda la información contenida en el servidor web del curso (descripción, contenidos y actividades) ha sido generada automáticamente a partir de un conjunto de ficheros XML tal y como se ilustra en la figura 6.1

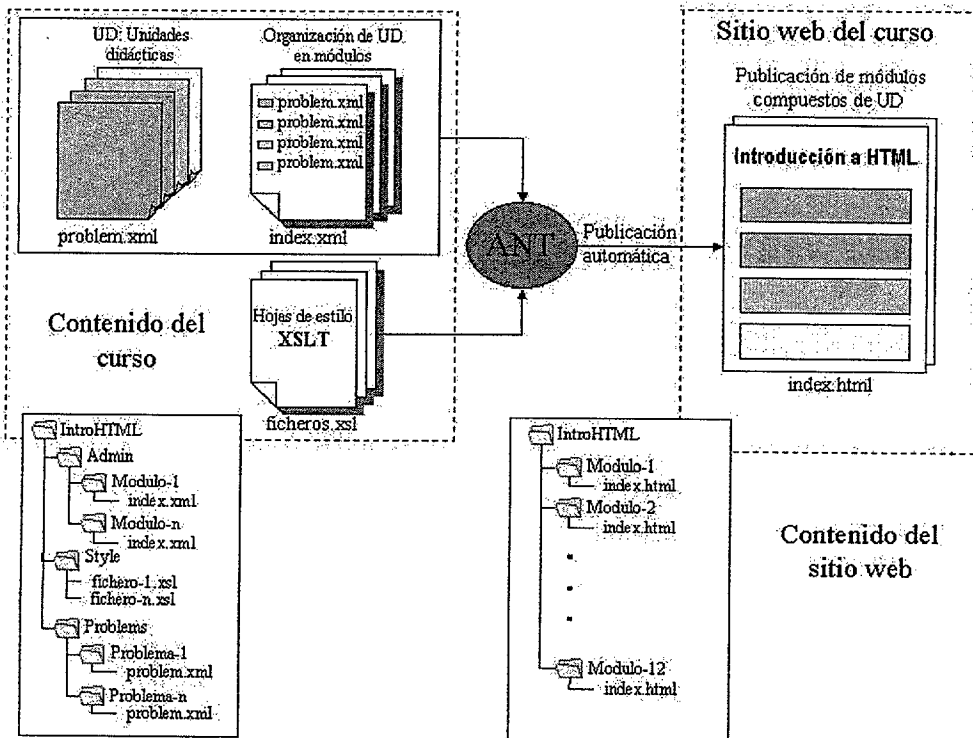


Figura 6.1: Arquitectura

Para almacenar la información del curso se utilizan dos tipos de ficheros XML:

- problem.xml para codificar las unidades didácticas
- index.xml para indicar cómo secuenciarlas

El curso ha sido creado a partir de pequeñas piezas de información autocontenidas que consisten en la descripción de un concepto, la exposición de un ejemplo o el enunciado de un ejercicio. Esta información se guarda en los ficheros problem.xml que se almacenan en directorios con nombres que permiten distinguirlos entre sí.

Estas unidades básicas se componen entre sí para formar módulos. La información sobre qué unidades forman parte de un módulo y en qué orden deben presentarse se almacena en los ficheros index.xml.

Este diseño modular facilita la creación de recorridos alternativos a partir de un mismo conjunto de unidades. La creación de un nuevo recorrido implica únicamente modificar los ficheros index.xml donde se especifica la forma en que se ensamblan los contenidos y el orden en el que se presentan.

Por medio de hojas de estilo XSLT se realiza la transformación de la información codificada en los ficheros XML en páginas web que son almacenadas en el servidor del curso.

La aplicación de las plantillas a los ficheros XML, la copia de de los ficheros en sus correspondientes directorios y la publicación de la información se realiza mediante scripts de ANT [7].

La estructura modular descrita permite construir rápidamente diferentes versiones del curso mediante diferentes agregaciones y secuenciaciones de las unidades didácticas.

6.1.3. Contenido

El curso consta de doce módulos, repartidos en cuatro bloques temáticos:

1. **Diseño** (5h), estudia las fases de desarrollo de un proyecto web. Consta de dos módulos. En el primero se analiza el propósito que se pretende conseguir cuando se emprende un proyecto de estas características y la audiencia a la que va dirigido. En el segundo se analizan los aspectos de diseño y cómo se ven afectados por los factores expuestos en el módulo 1.
2. **Lenguaje HTML I** (3h 30min), consta de 3 módulos en los que se abordan las etiquetas más sencillas del lenguaje (tratamiento del espacio, división en secciones y formato de texto).
3. **Lenguaje HTML II** (6h 30min), consta de 5 módulos donde se muestran algunas características más avanzadas (inclusión de listas, tablas, hiper enlaces y elementos multimedia).
4. **Publicación Web** (5h), consta de dos módulos. En el módulo 11 se estudian las hojas de estilo que permiten homogeneizar el aspecto de todas las páginas del sitio web y agrupar los elementos de presentación separándolos del resto del código. En el módulo 12 se explica cómo publicar en Internet las páginas creadas a lo largo del curso.

6.2. Diseño del curso

Para caracterizar el curso es necesario definir los objetivos de aprendizaje, las unidades didácticas, las acciones docentes y los mecanismos de evaluación utilizados para cuantificar en qué medida se cumplen los objetivos propuestos.

6.2.1. Definición de objetivos

Los objetivos del curso determinan la región del espacio del conocimiento donde se va a analizar la evolución del estado del alumno. En la tabla 6.1 se describen los siete objetivos fundamentales del curso. Para aplicar el modelo es necesario que los objetivos sean independientes entre sí o, al menos, que se puedan evaluar de forma independiente. Además, es necesario especificar el peso que se atribuye a cada uno de ellos en función de su dificultad y su importancia relativa dentro del curso.

En este caso de estudio se ha utilizado además una clasificación adicional de los objetivos que permite etiquetarlos como conceptuales (C), procedimentales (P) o actitudinales (A) en función del tipo de conocimiento que se espera que consiga el alumno con su realización.

6.2.2. Caracterización de las unidades didácticas

Para realizar la caracterización espectral es necesario establecer el nivel de granularidad que se va a utilizar para describir el curso. En este caso, para ilustrar la diferencia, se realiza la descripción en dos niveles de granularidad: en el nivel más grueso se utilizan como unidades didácticas los temas y en el nivel más fino, los módulos.

La aplicación del modelo obliga al profesor a establecer las relaciones de dependencia entre las unidades didácticas y los objetivos del curso. Esto implica rellenar la tabla 6.2 si escoge como unidades didácticas los temas o la tabla 6.4 si utiliza los módulos.

A partir de esta información el modelo es capaz de estimar la duración que debería tener cada unidad didáctica \hat{t}_i y el incremento de rendimiento que debería inducir en el estado del alumno $\hat{\eta}_i$ (tablas 6.3 y 6.5).

En los siguientes apartados se describe el proceso seguido para llegar a estos resultados.

O_j	Objetivos	Peso (β_j)	C	P	A
O_1	Planificar el contenido de un sitio web	$\beta_1 = 1/7$	x	x	x
O_2	Conocer y aplicar los principios básicos de diseño de un sitio web.	$\beta_2 = 1/7$	x	x	x
O_3	Manejar las etiquetas básicas del lenguaje HTML (estructura, tratamiento de espacio y secciones)	$\beta_3 = 1/7$	x	x	
O_4	Crear páginas web que contengan información formateada, listas, tablas e imágenes	$\beta_4 = 1/7$	x	x	
O_5	Dotar de interactividad a las páginas web mediante el uso de hiper enlaces entre distintos documentos o entre distintas zonas de un mismo documento.	$\beta_5 = 1/7$	x	x	
O_6	Crear y aplicar hojas de estilo para dar uniformidad a todas las páginas de un sitio web.	$\beta_6 = 1/7$	x	x	
O_7	Publicar en Internet todas las páginas de un sitio web	$\beta_7 = 1/7$	x	x	
Condición de normalización: $\sum_{j=1}^J \beta_j = 1$		1			

Tabla 6.1: Objetivos del curso

C_i	Temas	Objetivos							t_i (min)
		O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6	O_7	
C_1	Tema 1: Diseño web	1	1	0	0	0	0	0	300
C_2	Tema 2: HTML I	0	0	1	$\frac{1}{5}$	0	0	0	210
C_3	Tema 3: HTML II	0	0	0	$\frac{4}{5}$	1	0	0	390
C_4	Tema 4: Publicación Web	0	0	0	0	0	1	1	300
Normalización: $\sum_{i=1}^I c_{ij} = 1$		1	1	1	1	1	1	1	1200

Tabla 6.2: Caracterización espectral de las unidades didácticas por temas

C_i	Valores por UD				Valores acumulados		
	\widehat{t}_i (min)	t_i (min)	$t_i - \widehat{t}_i$ (min)	$\widehat{\eta}$	\widehat{t}_i (min)	t_i (min)	$\widehat{\eta}$
C_1	343	300	-43	0.29	343	300	0.29
C_2	206	210	4	0.17	549	510	0.46
C_3	309	390	81	0.26	857	900	0.71
C_4	343	300	-43	0.29	1200	1200	1.00

Tabla 6.3: Duración estimada y rendimiento esperado para cada tema

C_i	Módulos	Objetivos							t_i (min)
		O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6	O_7	
C_1	Propósito del web	1	0	0	0	0	0	0	120
C_2	Diseño de páginas web	0	1	0	0	0	0	0	180
C_3	Estructura de un documento HTML	0	0	$\frac{1}{2}$	0	0	0	0	90
C_4	Tratamiento del espacio y secciones	0	0	$\frac{1}{2}$	0	0	0	0	60
C_5	Formato de texto	0	0	0	$\frac{1}{5}$	0	0	0	60
C_6	Listas	0	0	0	$\frac{1}{5}$	0	0	0	90
C_7	Tablas	0	0	0	$\frac{1}{5}$	0	0	0	90
C_8	Hiper enlaces	0	0	0	0	1	0	0	140
C_9	Imágenes	0	0	0	$\frac{1}{5}$	0	0	0	40
C_{10}	Audio y vídeo	0	0	0	$\frac{1}{5}$	0	0	0	30
C_{11}	Hojas de estilo	0	0	0	0	0	1	0	100
C_{12}	Publicación en Internet	0	0	0	0	0	0	1	200
Normalización: $\sum_{i=1}^I c_{ij} = 1$		1	1	1	1	1	1	1	1200

Tabla 6.4: Caracterización espectral de las unidades didácticas por módulos

C_i	Valores por UD				Valores acumulados		
	\hat{t}_i (min)	t_i (min)	$t_i - \hat{t}_i$ (min)	$\hat{\eta}$	\hat{t}_i (min)	t_i (min)	$\hat{\eta}$
C_1	171	120	-51	0.14	171	120	0.14
C_2	171	180	9	0.14	343	300	0.29
C_3	86	90	4	0.07	429	390	0.36
C_4	86	60	-26	0.07	514	450	0.43
C_5	34	60	26	0.03	549	510	0.46
C_6	34	90	56	0.03	583	600	0.49
C_7	34	90	56	0.03	617	690	0.51
C_8	171	140	-31	0.14	789	830	0.66
C_9	34	40	6	0.03	823	870	0.69
C_{10}	34	30	-4	0.03	857	900	0.71
C_{11}	171	100	-71	0.14	1000	1029	0.86
C_{12}	171	200	29	0.14	1200	1200	1.00
	1200	1200	0	1.00			

Tabla 6.5: Duración estimada y rendimiento esperado para cada módulo

Coefficientes c_{ij}

Estos coeficientes corresponden a la parte central de las tablas 6.2 y 6.4 que debe rellenar el profesor. Para asignarles valor, es necesario indicar cómo contribuye cada unidad didáctica C_i a satisfacer cada uno de los objetivos del curso O_j . Para hacerlo se procede por objetivos (por columnas). Para cada objetivo se marcan las unidades en las que se trata y posteriormente se le asigna un peso c_{ij} a cada unidad según su importancia relativa dentro del curso para el cumplimiento de dicho objetivo. Por ejemplo el objetivo O_3 : "Manejar las etiquetas básicas del lenguaje HTML" se trata a partes iguales en los módulos M_2 y M_3 y no se vuelve a tratar en ningún otro módulo por tanto en la columna correspondiente al objetivo O_3 se marcan los coeficientes $c_{23} = c_{33} = 1/2$ y el resto de los coeficientes se les asigna el valor cero.

Al asignar valor a los coeficientes c_{ij} hay que tener en cuenta que la suma de todos los pesos de una misma columna debe ser la unidad tal y como indica la **condición de normalización** (ecuación 4.5).

Repetiendo este procedimiento para todos los objetivos del curso se obtienen las tablas 6.2 y 6.4 que permiten construir las matrices $\{c_{ij}\}$ que servirán para caracterizar espectralmente los contenidos. La ecuación 6.1 representa la caracterización espectral utilizando como unidades didácticas los temas y la

ecuación 6.2 utilizando los módulos.

$$C = \underbrace{\begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \end{pmatrix}}_{\{C_i\}} = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \frac{1}{5} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{5} & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}}_{\{c_{ij}\}} \underbrace{\begin{pmatrix} O_1 \\ O_2 \\ O_3 \\ O_4 \\ O_5 \\ O_6 \\ O_7 \end{pmatrix}}_{\{O_j\}} \quad (6.1)$$

$$C = \underbrace{\begin{pmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \\ C_5 \\ C_6 \\ C_7 \\ C_8 \\ C_9 \\ C_{10} \\ C_{11} \\ C_{12} \end{pmatrix}}_{\{C_i\}} = \underbrace{\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \frac{1}{5} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{5} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{5} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{5} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{5} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{5} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}}_{\{c_{ij}\}} \underbrace{\begin{pmatrix} O_1 \\ O_2 \\ O_3 \\ O_4 \\ O_5 \\ O_6 \\ O_7 \end{pmatrix}}_{\{O_j\}} \quad (6.2)$$

Estimación del rendimiento medio esperado $\hat{\eta}_i$

Para determinar el incremento esperado del rendimiento medio al cursar cada unidad didáctica se procede por filas sumando para cada unidad didáctica C_i los coeficientes de su fila c_{ij} ponderados por el peso del objetivo O_j correspondiente tal y como indica la ecuación 4.6.

Por ejemplo, para calcular el incremento esperado del rendimiento al cursar el tema dos basta con aplicar la ecuación 4.6 utilizando para los coeficientes c_{ij} los valores de la tabla 6.2, de este modo se obtienen los valores de la tabla 6.3:

$$\hat{\eta}_2 = \sum_{j=1}^7 c_{2j} \beta_j = \frac{1}{7} \left(1 + \frac{1}{5} \right) = 0.17$$

Estimación de la duración de cada unidad didáctica \widehat{t}_i

La ecuación 4.7 permite estimar el tiempo que se le debería asignar a cada unidad dependiendo del porcentaje de objetivos que cubra dicha unidad y de su importancia relativa dentro del curso. Como se puede observar en las tablas 6.3 y 6.5 la duración asignada inicialmente a cada tema no se corresponde con la duración estimada por el modelo. El análisis de estas diferencias nos permite detectar inconsistencias en la planificación del curso.

Revisando los valores de la columna $t_i - \widehat{t}_i$ en la tabla 6.5 para el caso de estudio analizado se pueden distinguir tres zonas:

- los módulos: C_2, C_3, C_9 y C_{10} se ajustan a la duración estimada con diferencias menores de 10 minutos.
- los módulos: C_4, C_5, C_8 y C_{12} presentan diferencias entre 25 y 35 minutos
- los módulos: C_1, C_6, C_7 y C_{11} presentan diferencias entre 50 y 70 minutos

Si se hace el mismo análisis por objetivos (tabla 6.8) se puede comprobar que el objetivo O_2 tiene una duración adecuada, mientras que a los objetivos O_4 y O_7 se les está dedicando una duración muy superior a la estimada a costa de los objetivos O_1, O_3, O_5 y O_6 .

Ajustes sobre la planificación inicial

Las inconsistencias detectadas al aplicar el modelo al diseño del curso hace necesario introducir algunos ajustes en la planificación para futuras ediciones. Para cada uno de los objetivos en los que se hayan detectado inconsistencias es necesario analizar si el problema se debe al tiempo dedicado o al peso asignado a dicho objetivo.

En el caso del objetivo O_4 la experiencia demostró que el tiempo asignado a su consecución era necesario y por tanto el problema es que se subestimó su importancia al asignarle valor al coeficiente β_4 . En futuras ediciones será necesario por tanto ajustar el peso a su importancia real y se puede estimar cual sería dicho peso a partir de la duración asignada que se ha demostrado correcta (ecuación 6.3). Se denomina t_i a la duración asignada a la unidad didáctica C_i en el programa del curso y t'_i a la duración que se le asignará en la próxima edición. Se denomina β_j al peso asignado inicialmente al objetivo O_j y $\widehat{\beta}'_j$ al peso estimado por el modelo que se le asignará en la siguiente edición.

$$\widehat{\beta}'_4 = \frac{t'_4}{t'_{total}} = \frac{t_4}{t_{total}} \quad (6.3)$$

Como el tiempo dedicado a este objetivo es muy grande comparado con el resto, conviene separar este macro-objetivo en objetivos más elementales. Analizando las tablas 6.1 y 6.4 se ve fácilmente que el objetivo O_4 se puede desglosar en cinco que traten respectivamente con la comprensión y manejo de formato, listas, tablas, imágenes y por último audio y vídeo. Aunque los dos últimos se pueden agrupar como manejo de la información multimedia. Como además la experiencia de este curso ha demostrado que la duración dedicada a estos temas es correcta, se puede estimar el peso que debería tener cada uno de estos objetivos en el curso a partir de la duración temporal que se les ha dedicado tal y como se hizo en la ecuación 6.3.

En el caso del objetivo O_7 la experiencia demostró que el tiempo dedicado, pese a ser mayor que el estimado por el modelo, no llegaba a ser suficiente para su realización y por tanto sería necesario asignarle al menos una hora más. Esta nueva asignación temporal obliga a recalcular también el peso del objetivo dentro del curso 6.4

$$\widehat{\beta}'_7 = \frac{t'_7}{t'_{total}} = \frac{t_7 + 60}{t'_{total}} \quad (6.4)$$

En el caso de los objetivos a los que se ha restado tiempo se procede de la misma forma. La experiencia durante la impartición del curso permite comprobar si la duración asignada a cada objetivo se acerca más a la duración planificada inicialmente (t_j), a la estimada por el modelo (\widehat{t}_j), o si es necesario reajustarla a un nuevo valor (t'_j).

A partir del valor corregido del tiempo asignado (t'_j) se puede recalcular el peso de cada objetivo $\widehat{\beta}'_j$ y la duración total del curso t'_{total} . En la tabla 6.6 se muestran las diferentes asignaciones temporales y el peso corregido que se debería utilizar en futuras ediciones del curso.

Al ajustar el peso de los objetivos es necesario recalcular el rendimiento esperado al finalizar cada unidad didáctica para reflejar estos cambios. Para hacerlo sólo hay que volver a aplicar la ecuación 4.6 con los valores corregidos de $\widehat{\beta}'_j$ que figuran en la tabla 6.6. El resultado de este cálculo se muestra en la tabla 6.7.

Los ajustes sobre la planificación del curso discutidos en esta sección y reflejados en las tablas 6.6 y 6.7, sólo son aplicables a futuras ediciones del curso. Por tanto, los análisis que se realizan en los siguientes apartados de este capítulo, se basan en los valores reales de la duración t_i y el peso β_j utilizados

Objetivos		Tiempo dedicado			Peso relativo	
O'_j	O_j	t_j	\widehat{t}_j	t'_j	β_j	$\widehat{\beta}_j = \frac{t'_j}{t'_{total}}$
O'_1	O_1	120	171	$t'_1 = 180 = t_1 + 60 \approx \widehat{t}_1$	0.14	0.13
O'_2	O_2	180	171	$t'_2 = 180 = t_2 \approx \widehat{t}_2$	0.14	0.13
O'_3	O_3	150	172	$t'_3 = 150 = t_3 < \widehat{t}_3$	0.14	0.10
O'_4	O_{41}	60	34	$t'_4 = 60 = t_{41} > \widehat{t}_{41}$	0.03	0.04
O'_5	O_{42}	90	34	$t'_5 = 90 = t_{42} > \widehat{t}_{42}$	0.03	0.06
O'_6	O_{43}	90	34	$t'_6 = 90 = t_{43} > \widehat{t}_{43}$	0.03	0.06
O'_7	O_{44}	70	68	$t'_7 = 70 = t_{44} \approx \widehat{t}_{44}$	0.06	0.05
O'_8	O_5	140	171	$t'_8 = 170 = t_5 + 30 \approx \widehat{t}_5$	0.14	0.12
O'_9	O_6	100	171	$t'_9 = 190 = t_6 + 90 > \widehat{t}_6$	0.14	0.13
O'_{10}	O_7	200	171	$t'_{10} = 260 = t_7 + 60 \approx \widehat{t}_7$	0.14	0.18
		$t_{total} = 1200$		$t'_{total} = t_{total} + 240 = 1440$	$\sum_{j=1}^{10} \beta_j = \sum_{j=1}^{10} \widehat{\beta}_j = 1$	

Tabla 6.6: Valores corregidos del tiempo asignado t'_j a la consecución de un objetivo y de su peso relativo $\widehat{\beta}_j$ para futuras ediciones del curso

C_i	Por UD		Acumulado	
	t'_i	$\widehat{\eta}_i$	t'_i	$\widehat{\eta}_i$
C_1	180	0.13	180	0.13
C_2	180	0.13	360	0.26
C_3	90	0.05	450	0.31
C_4	60	0.05	510	0.36
C_5	60	0.04	570	0.40
C_6	90	0.06	660	0.46
C_7	90	0.06	750	0.52
C_8	170	0.12	920	0.64
C_9	40	0.03	960	0.67
C_{10}	30	0.02	990	0.69
C_{11}	190	0.13	1180	0.82
C_{12}	260	0.18	1440	1.00
	1440	1.00		

Tabla 6.7: Valores corregidos del rendimiento esperado $\widehat{\eta}_i$ y el tiempo asignado t'_i para futuras ediciones del curso

durante el curso y no en los valores corregidos (t'_j y β'_j)

Trayectoria esperada

Para representar la evolución del alumno en este curso es necesario un espacio de ocho dimensiones. Siete para representar el rendimiento en cada uno de los objetivos del curso y la octava para representar el tiempo. Para facilitar la visualización se descompone la representación en dos:

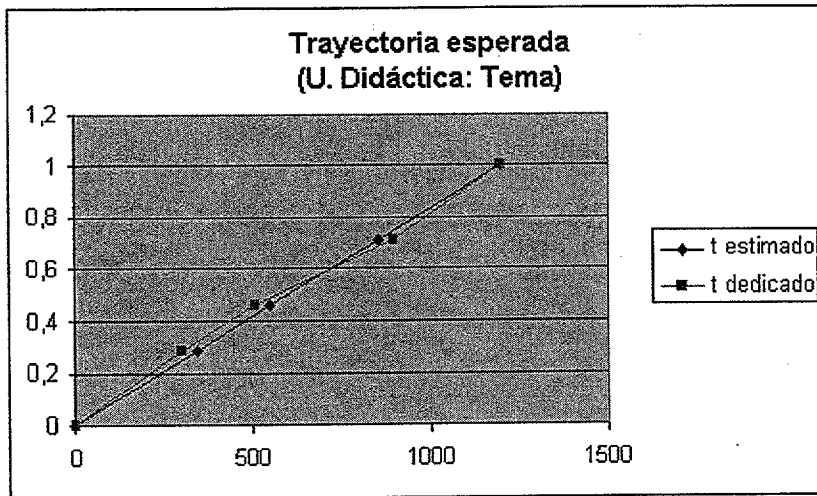
- una trayectoria en un espacio de dos dimensiones que representa el rendimiento medio esperado $\hat{\eta}$ en función del tiempo (figura 6.3 (a) y (b)) y que se calcula a partir de los valores acumulados de las tablas 6.3 y 6.5
- un diagrama de barras para cada punto de la trayectoria que se calcula a partir de la descomposición espectral (tablas 6.2 y 6.4) y representa el rendimiento esperado para cada uno de los objetivos (figura 6.3 (c) y (d)).

Para construir estas gráficas se utilizan los rendimientos acumulados, es decir, al finalizar cada unidad didáctica se supone que el alumno ha asimilado también las unidades previas.

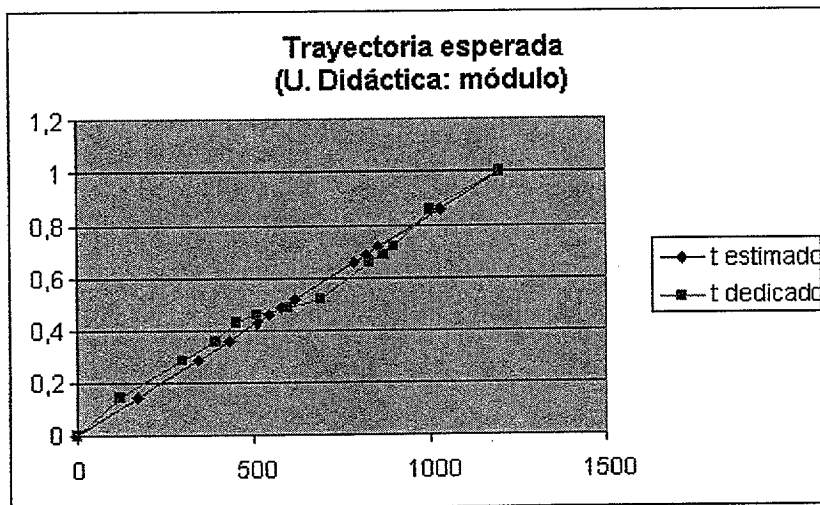
Las diferencias entre el tiempo estimado y el tiempo que realmente se asignó a cada unidad queda reflejado en la trayectoria (figura 6.2). Gráficamente se puede comprobar que la trayectoria utilizando el tiempo estimado es lineal porque supone un ritmo de aprendizaje constante a lo largo de todo el curso. Sin embargo si se analiza la trayectoria esperada con el tiempo real asignado se pueden distinguir tres zonas. La trayectoria presenta mayor pendiente al principio y al final del curso que son las zonas en las que se espera que el alumno aprenda más rápidamente y hay una zona de menos pendiente en la parte central del curso donde se supone que la velocidad de asimilación de conocimientos es menor. Las zonas de mayor pendiente se corresponden además en este caso con las zonas de entrega de trabajos.

	O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6	O_7	Σ
\hat{t}_j	171	171	172	170	171	171	171	1200
t_j	120	180	140	310	140	100	200	1200
$t_j - \hat{t}_j$	-51	9	-22	140	-31	-71	29	0

Tabla 6.8: Dedicación por objetivo (en minutos)



(a)



(b)

Figura 6.2: Rendimiento esperado en función del tiempo

Descomposición espectral de las unidades didácticas

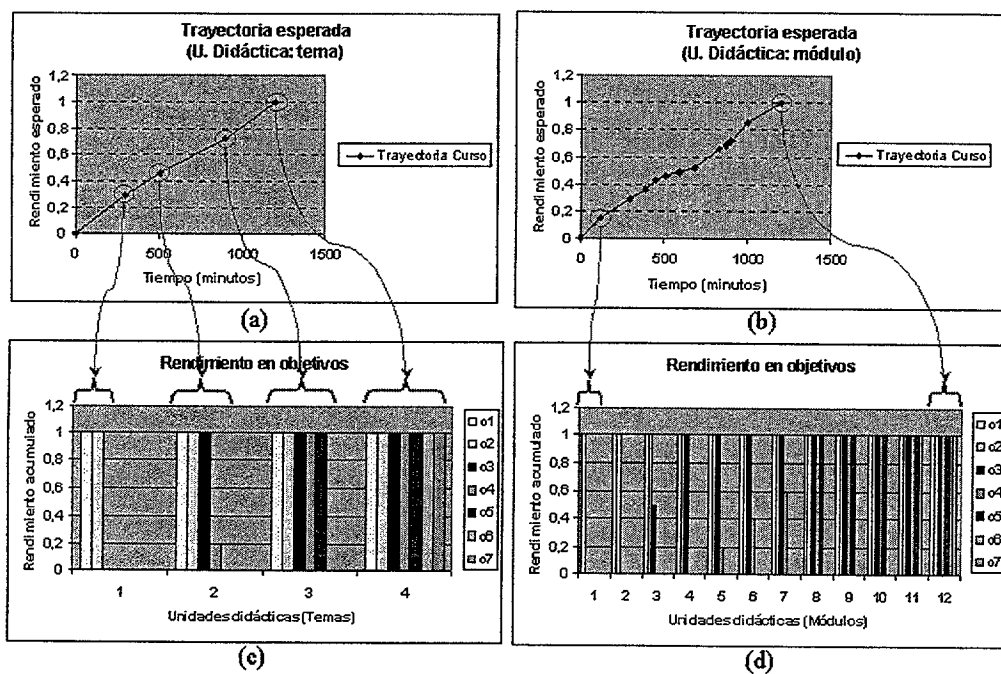


Figura 6.3: Trayectoria esperada en función de las unidades didácticas

Como el curso fue diseñado antes de la aplicación del modelo se supone para el resto de los cálculos que el tiempo dedicado a cada unidad didáctica es el que se asignó en la planificación inicial.

6.2.3. Caracterización de las acciones docentes

Según la definición 4.2.6 se denomina acción docente AD_i al conjunto de acciones planificadas para asimilar la unidad didáctica C_i . Por tanto se asume que los operadores AD_i son en realidad la composición de un conjunto de operadores más elementales que representan las acciones individuales a realizar.

Cada unidad didáctica implica la realización de acciones docentes de distinto tipo según su finalidad. En esta sección se analiza a modo de ejemplo la secuenciación de acciones docentes en un módulo de diseño y un módulo técnico, ya que la secuenciación del resto de los módulos se puede asimilar a uno de estos dos modelos.

El operador acción docente AD_i transforma el vector que representa el estado del alumno desde el estado esperado $\widehat{\Psi}_{i-1}$ antes de cursar la unidad didáctica C_i , al estado esperado después de su realización $\widehat{\Psi}_i$. La ecuación 6.5 representa la transformación de los vectores del espacio como efecto de la aplicación de las distintas acciones docentes. Cada uno de los vectores $\widehat{\Psi}_i$ representa un punto en la trayectoria (figura 6.3 (b)).

$$\begin{array}{lcl}
 AD_1\widehat{\Psi}_0 = \widehat{\Psi}_1 & \longrightarrow & \widehat{\Psi}_0 = (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0) \\
 AD_2\widehat{\Psi}_1 = \widehat{\Psi}_2 & \longrightarrow & \widehat{\Psi}_1 = (1, 0, 0, 0, 0, 0, 0) \\
 AD_3\widehat{\Psi}_2 = \widehat{\Psi}_3 & \longrightarrow & \widehat{\Psi}_2 = (1, 1, 0, 0, 0, 0, 0) \\
 AD_4\widehat{\Psi}_3 = \widehat{\Psi}_4 & \longrightarrow & \widehat{\Psi}_3 = (1, 1, \frac{1}{2}, 0, 0, 0, 0) \\
 AD_5\widehat{\Psi}_4 = \widehat{\Psi}_5 & \longrightarrow & \widehat{\Psi}_4 = (1, 1, 1, 0, 0, 0, 0) \\
 AD_6\widehat{\Psi}_5 = \widehat{\Psi}_6 & \longrightarrow & \widehat{\Psi}_5 = (1, 1, 1, \frac{1}{5}, 0, 0, 0) \\
 AD_7\widehat{\Psi}_6 = \widehat{\Psi}_7 & \longrightarrow & \widehat{\Psi}_6 = (1, 1, 1, \frac{2}{5}, 0, 0, 0) \\
 AD_8\widehat{\Psi}_7 = \widehat{\Psi}_8 & \longrightarrow & \widehat{\Psi}_7 = (1, 1, 1, \frac{3}{5}, 0, 0, 0) \\
 AD_9\widehat{\Psi}_8 = \widehat{\Psi}_9 & \longrightarrow & \widehat{\Psi}_8 = (1, 1, 1, \frac{3}{5}, 1, 0, 0) \\
 AD_{10}\widehat{\Psi}_9 = \widehat{\Psi}_{10} & \longrightarrow & \widehat{\Psi}_9 = (1, 1, 1, \frac{4}{5}, 1, 0, 0) \\
 AD_{11}\widehat{\Psi}_{10} = \widehat{\Psi}_{11} & \longrightarrow & \widehat{\Psi}_{10} = (1, 1, 1, 1, 1, 0, 0) \\
 AD_{12}\widehat{\Psi}_{11} = \widehat{\Psi}_{12} & \longrightarrow & \widehat{\Psi}_{11} = (1, 1, 1, 1, 1, 1, 0) \\
 & & \widehat{\Psi}_{12} = (1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)
 \end{array} \tag{6.5}$$

Secuenciación de AD para módulos de diseño

La impartición de las unidades didácticas correspondientes a los módulos de diseño requieren las siguientes acciones docentes:

- asimilación de los conceptos mediante la lectura de un tema (LT).
- consulta de ejemplos (C) y caso de estudio (CE) que ilustren la aplicación de los conceptos aprendidos
- participación en un foro (F) para analizar críticamente la información consultada y ponerla en común con el resto de los compañeros.
- elaboración de documentos (D) que plasmen las conclusiones obtenidas de las lecturas, las consultas y el debate con los compañeros, así como la aplicación de dichas conclusiones a su proyecto personal (PP).
- envío de los documentos realizados al profesor (S).

Esta estructura se utiliza en los módulos M_1 y M_2 relacionados con los aspectos de diseño y en el módulo M_{12} relacionado con los aspectos de publicación. En este último módulo las páginas consultadas en lugar de ser páginas externas, como ocurría en M_1 y M_2 , son los propios sitios web desarrollados durante el curso por los alumnos.

En la tabla 6.9 y la figura 6.4 ilustra la distribución de tareas del módulo M_1 . Al tratarse del primer módulo se pretende que los alumnos, además de comprender los conceptos relacionados con el diseño web, comiencen a familiarizarse con la dinámica de trabajo del curso. Por eso en esta primera etapa se proponen actividades que fomentan la reflexión, participación y espíritu crítico. La mayor parte del tiempo se dedica a la elaboración y entrega de documentos (D) y a la participación en el foro de discusión (F). Hay también un tiempo importante dedicado a la consulta de material adicional vía web (C) para proporcionar elementos de discusión.

A partir de la tabla 6.9 se puede construir el operador AD_1 como composición de los operadores elementales que lo forman (ecuación 6.6). Nótese que los operadores están ordenados de derecha a izquierda que es el orden en el que se aplican.

$$\underbrace{(D.S.D.CE.D.F.C.CE.F.C.CE.LT.S.L.C)}_{AD_1} \Psi_0 = \Psi_1 \quad (6.6)$$

Acciones docentes									Módulo 1: Propósito del Web	t (min)
LT	CE	L	C	F	D	S	E	PP		
			5						Familiarizarse con el interfaz	5
		5							Leer documento de conformidad	5
						5			Enviar documento de conformidad	5
4	1								Leer apartado: IntroFases, IntroProyecto, PropositoDelWeb	5
			10						Consultar páginas web con distintos objetivos	10
				15					Participar en el foro Aspectos de Diseño sobre influencia de objetivos y audiencia en estructura, contenido, presentación y navegación	15
	5								Leer apartado: AnalisisPrevio	5
			10						Consultar páginas web personales	10
				15					Participar en el foro Aspectos de Diseño sobre contenido de una página web personal en función de sus objetivos y audiencia	15
					10				Crear un documento resumen con las conclusiones del foro sobre el proceso de selección de contenidos de una página personal en función de sus objetivos y audiencia.	10
	5								Leer apartado: PropositoPP	5
					15				Establecer propósito del sitio web y crear un documento de diseño que contenga los siguiente apartados: Objetivos, audiencia, contenido	15
					5				Añadir al documento de diseño un apartado Justificación que incluya una argumentación razonada sobre el tipo de contenidos a incluir	5
						5			Enviar documento al profesor	5
					5				Corregir el documento con la realimentación del profesor	5
4	11	5	25	30	35	10	0	0	Total:	120

Tabla 6.9: Modulo 1: Secuenciación de acciones docentes

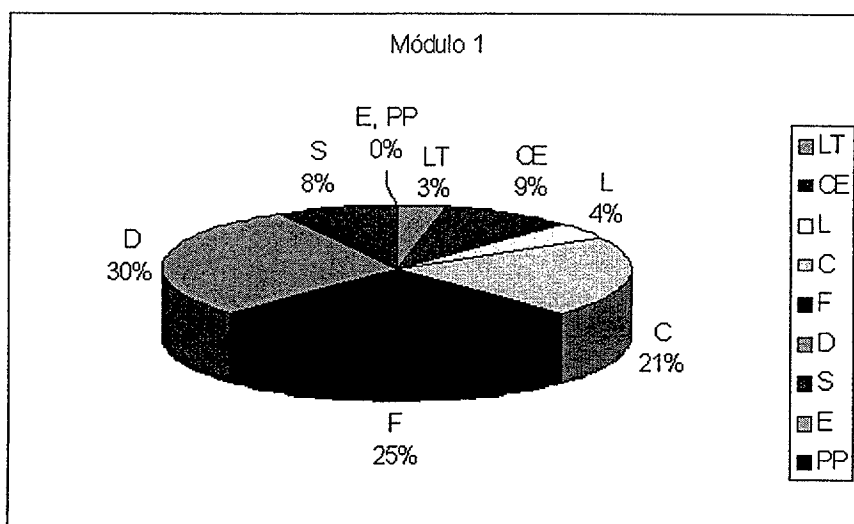


Figura 6.4: Distribución temporal de tareas para el módulo 1

Secuenciación de AD para módulos técnicos

Los módulos M_3 a M_{11} se utilizan para introducir las diferentes etiquetas del lenguaje HTML. En la tabla 6.10 y la figura 6.5 se muestra, a modo de ejemplo, la distribución de tareas para el módulo M_4 . A partir de la tabla 6.10 se puede construir el operador AD_4 como composición de los operadores elementales que lo forman.

$$\underbrace{(F.PP.CE.E.LT.C.E.LT.E.LT)}_{AD_4} \Psi_3 = \Psi_4 \quad (6.7)$$

En este módulo se explican tres conceptos: el tratamiento de los espacios en blanco, el sangrado del texto y la inclusión de secciones y saltos de línea. Para cada uno de estos tres conceptos la estructura de acciones docentes propuesta es la siguiente:

- se proporciona una lectura (LT) donde se explica el concepto
- se realiza un ejercicio (E) donde se practica
- se muestra, a modo de ejemplo, un caso de estudio (CE) en el que se han aplicado los tres conceptos de diversas formas

Acciones docentes									Módulo 4:	t
LT	CE	L	C	F	D	S	E	PP	Tratamiento espacio y secciones	(min)
5									Leer apartado: EspacioEnBlanco	5
							5		Probar el uso que hace el navegador de los espacios en blanco con el editor interactivo	5
5									Leer apartado: SangrarTexto	5
							10		Practicar el uso de las etiquetas <code><blockquote ></code> , <code><center ></code> , <code><pre ></code> y la entidad <code>&nbsp;</code> con el editor interactivo	10
			5						Consultar entidades	5
5									Leer apartado: SaltosDeLineaSecciones	5
							5		Practicar el uso de las etiquetas <code>
</code> y <code><hr ></code> con el editor interactivo	5
	5								Leer apartado: TratamientoEspacioYSecciones	5
								10	Añadir a las páginas web del PP las etiquetas para tratamiento de espacio y secciones	10
				5					Participar en el foro HTML planteando dudas o respondiendo a las de los compañeros	5
15	5	0	5	5	0	0	20	10	Total:	60

Tabla 6.10: Modulo 4: Secuenciación de acciones docentes

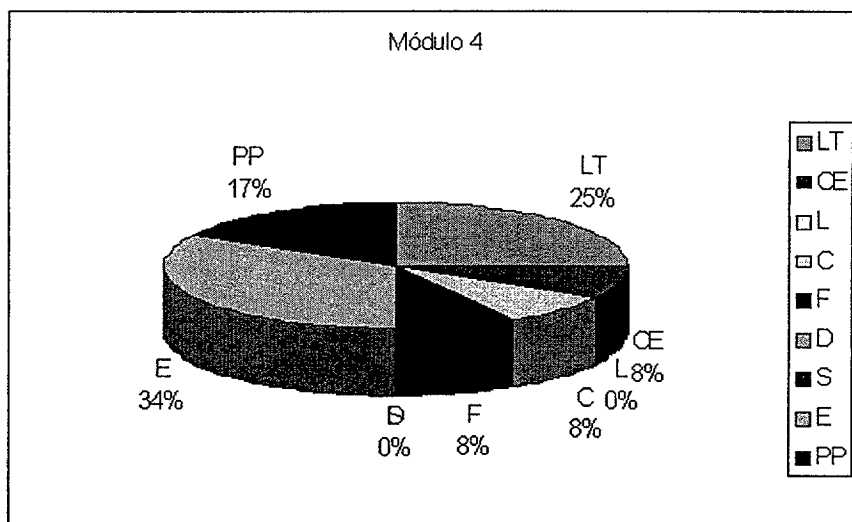


Figura 6.5: Distribución temporal de tareas para el módulo 4

- se pide al alumno que aplique los conceptos para su proyecto personal (PP)
- finalmente se reserva un tiempo para que el alumno pueda exponer sus dudas en el foro (F).

Esta estructura se repite en todos los módulos mencionados relacionados con la sintaxis del lenguaje. Al tratarse de módulos de contenido más técnico se fomentan las actividades de entrenamiento y aplicación de los conceptos aprendidos. Por tanto, la mayor parte del tiempo se dedica a la realización de ejercicios de auto-evaluación (E) y al trabajo en el proyecto personal (PP). En este caso la participación en el foro que era una actividad fundamental en el módulo 1 se reduce a la consulta y aclaración de las dudas que puedan surgir durante el desarrollo del trabajo.

Como se puede comprobar en la figura 6.5 en estos módulos no hay acciones docentes que impliquen la entrega de documentos al profesor. El objetivo es que el alumno tenga una mayor libertad para planificar su trabajo. Se lleva un control de su actividad y los problemas que le van surgiendo mediante su participación en el foro. Se presupone que el alumno ya ha adquirido cierto ritmo de trabajo y planificación porque durante el primer tema se forzaban entregas periódicas para desarrollar este hábito. En la sección 6.2.4 se comprueba cómo el seguimiento de los alumnos a través del foro durante esta fase no resulta

suficiente.

Codificación múltiple

En la parte central del curso, cuando se explica la sintaxis del lenguaje HTML (temas 2 y 3), se han observado dos tendencias en el seguimiento del curso:

- Una parte de los alumnos siguen el curso en el orden en que está planteado, es decir primero estudian los conceptos mediante la lectura del tema (LT), luego practican los procedimientos mediante la realización de ejercicios básicos (E), en tercer lugar observan como se aplican esos conceptos en un caso de estudio (CE) para finalmente aplicar lo aprendido a su proyecto personal (PP). Esta secuencia queda reflejada mediante el operador AD_A .

$$AD_A = PP.CE.E.LT \quad (6.8)$$

- Sin embargo otra parte de los alumnos revisan directamente el caso de estudio dedicándole más tiempo que los primeros para extraer la información que necesitan para su proyecto personal. Sólo consultan la teoría (LT) y realizan los ejercicios de entrenamiento (E) en situaciones puntuales cuando algún concepto no les ha quedado suficientemente claro en el caso de estudio. Esta secuencia queda reflejada mediante el operador AD_B .

$$AD_B = PP.CE \quad (6.9)$$

Estos resultados sugieren un cambio en el curso en el que se ofrezcan estos dos recorridos alternativos. Esta situación corresponde al caso I de codificación múltiple descrito en la sección 4.2.3: mismas unidades didácticas y distintas acciones docentes. Se proporciona el mismo material en ambos casos aunque para uno de ellos su revisión es opcional.

En las tablas 6.11 y 6.12 se muestra la relación de cada una de estas acciones docentes con el tipo de objetivos que pretende conseguir. Si se reduce el espacio de objetivos a tres dimensiones representando en cada una de ellas un tipo de objetivos: conceptual (C), procedimental (P) o actitudinal (A), se pueden representar gráficamente estos dos recorridos (figura 6.6) en función del tipo de objetivos que pretenden cubrir.

Recorrido 1	Tipo objetivo		
	Conceptual (C)	Procedimental (P)	Actitudinal (A)
Acción docente (AD_A)			
Lectura tema (LT)	$\frac{1}{2}$	0	0
Ejercicios (E)	0	$\frac{1}{3}$	0
Caso de estudio (CE)	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$
Proyecto personal (PP)	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$
Total	1	1	1

Tabla 6.11: Descomposición espectral de AD para el recorrido 1

Recorrido 2	Tipo objetivo		
	Conceptual (C)	Procedimental (P)	Actitudinal (A)
Acción docente (AD_B)			
Caso de estudio (CE)	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
Proyecto personal (PP)	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
Total	1	1	1

Tabla 6.12: Descomposición espectral de AD para el recorrido 2

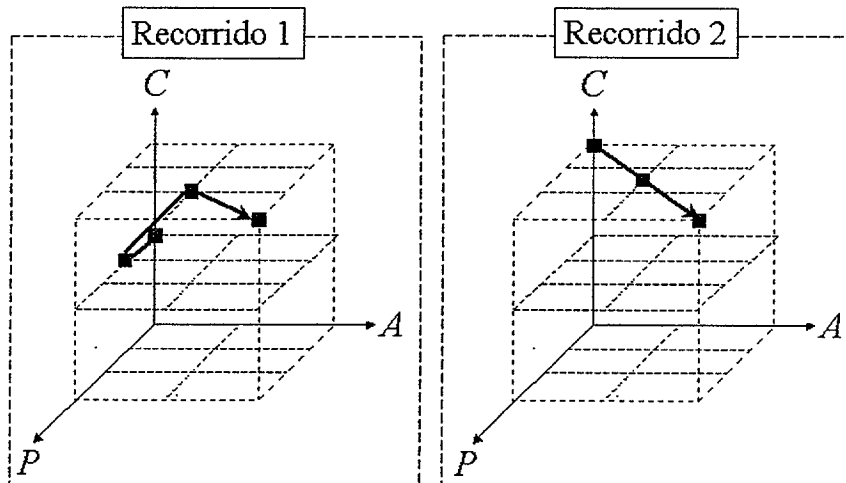


Figura 6.6: Recorridos alternativos en función del tipo de objetivos. Corresponde a la aplicación de los operadores AD_A y AD_B

6.2.4. Caracterización de la evaluación

Para realizar la caracterización espectral de la evaluación se procede de modo similar a como se realizó la caracterización de las unidades didácticas.

El profesor establece las relaciones de dependencia entre las pruebas de evaluación y los objetivos del curso rellorando la tabla 6.13. A partir de esa información, el modelo es capaz de estimar el incremento esperado en la nota media \hat{n}_i al finalizar cada prueba, y el peso $\hat{\gamma}_i$ que debería tener dicha prueba en la evaluación global (tabla 6.14).

A continuación se describe el procedimiento a seguir para rellenar ambas tablas.

ξ_l	Pruebas de evaluación	Objetivos							t_i (min)
		O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6	O_7	
ξ_1	Foro aspectos de diseño	$\frac{1}{4}$	$\frac{2}{12}$	0	0	0	0	0	255
ξ_2	Documento de diseño	$\frac{3}{4}$	$\frac{8}{12}$	0	0	0	0	0	295
ξ_3	Foro HTML	0	0	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	900
ξ_4	Proyecto pag. personal	0	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	1040
ξ_5	Foro post-producción	0	0	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	1165
ξ_6	Documento de análisis	0	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	1200
Exhaustividad: $\alpha_j = \sum_{l=1}^L e_{lj}$		1	1	1	1	1	1	1	

Tabla 6.13: Caracterización espectral de las pruebas de evaluación

ξ_l	Por prueba				Acumulado		
	t_i (min)	$\hat{\gamma}_i$ (estimado)	γ_i (real)	\hat{n}	t_i (min)	$\hat{\gamma}_i$ (estimado)	\hat{n}
ξ_1	255	0.06	0.10	0.06	255	0.06	0.06
ξ_2	40	0.20	0.20	0.20	295	0.26	0.26
ξ_3	605	0.06	0.10	0.06	900	0.32	0.32
ξ_4	140	0.55	0.35	0.55	1040	0.87	0.87
ξ_5	125	0.06	0.10	0.06	1165	0.93	0.93
ξ_6	35	0.07	0.15	0.07	1200	1.00	1.00
Total	1200	1.00	1.00	1.00			

Tabla 6.14: Nota esperada y peso estimado para cada prueba de evaluación

Coefficientes e_{lj}

Estos coeficientes corresponden a la tabla 6.13 que debe rellenar el profesor. Para asignarles valor se procede por columnas, marcando para cada objetivo en cuales de las pruebas de evaluación diseñadas se está comprobando su cumplimiento y en qué medida. Por ejemplo el objetivo O_5 relacionado con el conocimiento de los hiperenlaces en HTML se evalúa principalmente en la utilización que el alumno hace de los enlaces en su proyecto personal (prueba ξ_4). El resto del objetivo se evalúa a partes iguales en otras tres pruebas de evaluación: mediante sus comentarios y dudas en los foros de HTML (prueba ξ_3) y post-producción (prueba ξ_5) y en el documento de análisis (prueba ξ_6) donde reflexiona sobre su propio proyecto y el de sus compañeros. Esta estructura se refleja en la columna correspondiente al objetivo O_5 con los valores: $c_{35} = 1/12$, $c_{45} = 9/12$, $c_{55} = 1/12$ y $c_{65} = 1/12$. Repitiendo este procedimiento para todos los objetivos se construye la matriz $\{e_{lj}\}$ que refleja la caracterización espectral del proceso de evaluación (ecuación 6.10).

$$e_{lj} = \begin{pmatrix} \frac{1}{4} & \frac{2}{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{3}{4} & \frac{8}{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \\ 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \\ 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \end{pmatrix} \quad (6.10)$$

Exhaustividad del proceso de evaluación

En la tabla 6.13 se puede comprobar que se cumple la condición de normalización ya que la suma de los coeficientes e_{lj} de una misma columna es la unidad.

A modo de ejemplo si se calcula la exhaustividad con que se mide el objetivo O_2 se obtiene:

$$\alpha_2 = \sum_{l=1}^6 e_{l2} = \frac{2}{12} + \frac{8}{12} + 0 + \frac{1}{12} + 0 + \frac{1}{12} = 1$$

Si se realiza el mismo cálculo para el resto de los objetivos del curso se puede comprobar que se satura la desigualdad dada por la ecuación 4.21. Esto quiere decir que, dado un objetivo, la suma de las fracciones de dicho objetivo que se miden en cada prueba de evaluación da como resultado la unidad, es decir el objetivo se está evaluando completamente, y por tanto, se puede concluir que la evaluación es exhaustiva.

Estimación del rendimiento medio esperado $\hat{\eta}_i$

Para determinar el incremento esperado en el rendimiento medio $\hat{\eta}_i$ al finalizar cada prueba de evaluación ξ_i se procede de forma similar a como se calculó el rendimiento medio para las unidades didácticas. Se procede por filas sumando para cada prueba de evaluación ξ_i los coeficientes de su misma fila e_{ij} ponderados por el peso del objetivo O_j correspondiente. De este modo se supone que al finalizar una prueba de evaluación el alumno ha asimilado por completo el porcentaje de objetivos evaluados hasta el momento.

A modo de ejemplo se calcula el rendimiento esperado al realizar la segunda prueba de evaluación ξ_2 .

$$\hat{\eta}_2 = \sum_{j=1}^7 e_{2j}\beta_j = \frac{1}{7} \left(\frac{3}{4} + \frac{8}{12} \right) = 0.20$$

Estimación del peso esperado de cada prueba de evaluación $\hat{\gamma}_i$

La estimación se realiza aplicando la ecuación 4.24. Se procede por filas sumando para cada prueba ξ_i el porcentaje que evalúa de cada objetivo e_{ij} ponderado por el peso de dicho objetivo en el curso β_j . Como la evaluación es exhaustiva, se puede comprobar en la tabla 6.15 que la suma de todos los pesos estimados $\hat{\gamma}_i$ es la unidad.

A modo de ejemplo se calcula el peso esperado para la cuarta prueba de evaluación ξ_4

$$\hat{\gamma}_4 = \sum_{j=1}^7 e_{4j}\beta_j = \frac{1}{7} \left(0 + \frac{1}{12} + \frac{9}{12} + \frac{9}{12} + \frac{9}{12} + \frac{9}{12} + \frac{9}{12} \right) = 0.55$$

Como se puede observar en la tabla 6.14 el peso asignado inicialmente a las pruebas de evaluación no coincide con el estimado. La principal diferencia es que se ha asignado mayor peso a los foros y al documento de post-producción a costa del proyecto personal.

Ajustes al peso estimado

Las diferencias entre el peso asignado γ_i y el peso estimado $\hat{\gamma}_i$ se pueden atribuir a la distribución de la evaluación de los objetivos entre las distintas pruebas (e_{ij}) o a que el peso que se le da a cada objetivo en las pruebas de

evaluación no se corresponde con el que se le ha dado inicialmente en el diseño del curso.

Para este caso de estudio se supone que el peso β_j de los objetivos es correcto. Esto es así porque si se trata de la segunda edición del curso ya se corrigió su valor al ajustar la planificación de las unidades didácticas (tabla 6.6). Si se trata de la edición que estamos analizando hay que mantener el valor de los pesos dado por el programa (tabla 6.1)

Al asumir como fijo el valor de β_j dado por el programa, las inconsistencias detectadas pueden proceder de la asignación de valores a los coeficientes e_{lj} o del peso asignado a las pruebas de evaluación γ_l . En este caso se ha revisado la asignación e_{lj} y se considera correcta y por tanto es necesario sustituir los pesos asignados inicialmente γ_l por los pesos estimados $\hat{\gamma}_l$. Este procedimiento es sencillo ya que las pruebas se han evaluado sobre uno y sólo se han aplicado los coeficientes γ_l o $\hat{\gamma}_l$ al calcular la nota media.

ξ_l	Prueba de evaluación	$\hat{\gamma}_l$ (Estimada)	γ_l (Real)
ξ_1	Foro aspectos de diseño	0.06	0.10
ξ_2	Documento de diseño	0.20	0.20
ξ_3	Foro HTML	0.06	0.10
ξ_4	Proyecto personal	0.55	0.35
ξ_5	Foro post-producción	0.06	0.10
ξ_6	Documento de análisis	0.07	0.15
$\sum_{l=1}^L \gamma_l = \sum_{l=1}^L \hat{\gamma}_l:$		1.00	1.00

Tabla 6.15: Valores corregidos para los pesos relativos de las pruebas de evaluación

Los ajustes propuestos en este apartado sobre el peso que debería tener cada prueba en la evaluación global, son directamente aplicables a los resultados obtenidos. Por tanto para el resto de los análisis realizados se utiliza el valor corregido de los pesos $\hat{\gamma}$ en lugar del valor original γ . Las diferencias entre estos valores quedan reflejadas en la tabla 6.15 y en la figura 6.8.

Trayectoria esperada

Para trazar la trayectoria, al igual que en el caso de las unidades didácticas, se utilizan los rendimientos acumulados y se divide la representación en dos partes: una trayectoria que refleja como evoluciona el rendimiento medio

esperado para cada una de las pruebas (figura 6.7 (a)) y los diagramas de barras que reflejan por separado el rendimiento esperado para cada objetivo (figura 6.7 (b)).

La figura 6.7 se ha dibujado utilizando los pesos corregidos $\hat{\gamma}_i$. En la figura 6.8 se muestra la diferencia en la trayectoria esperada utilizando los valores de $\hat{\gamma}_i$ estimados por el modelo y los valores de γ_i que se utilizaron realmente en el curso.

Ajustes a la trayectoria

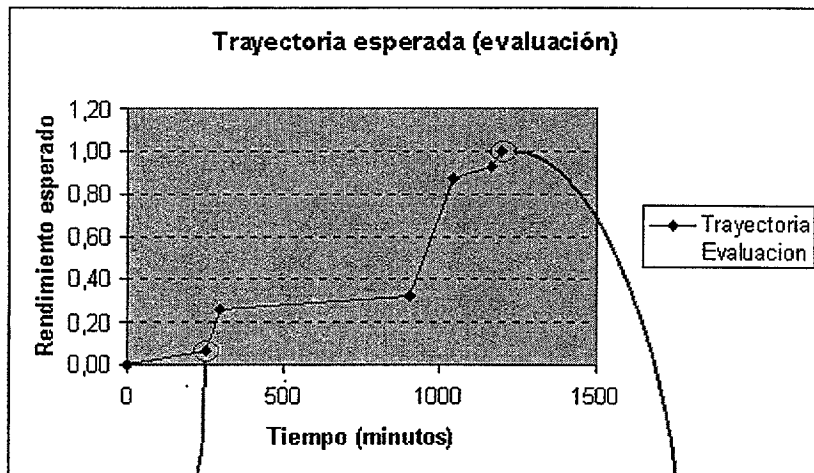
La trayectoria definida por las unidades didácticas (trayectoria-UD) y la trayectoria definida por los procesos de evaluación (trayectoria-E) deben ser tan próximas como sea posible. Esto es así porque para determinar lo que se aleja el alumno de la trayectoria-UD se utiliza como medida su distancia a la trayectoria-E.

Las zonas en las que se separan estas dos trayectorias indican aquellas partes del curso en las que no se está realizando un buen seguimiento del rendimiento del alumno y por tanto resulta recomendable rediseñar el proceso de evaluación. Si las pruebas de evaluación están muy espaciadas, los valores de rendimiento η_j calculados a partir de los resultados en la evaluación n_i no son fiables como medida del estado del alumno. La distancia entre trayectorias indica que existen objetivos que ya han sido cubiertos por las unidades didácticas y acciones docentes pero aún no han sido evaluadas.

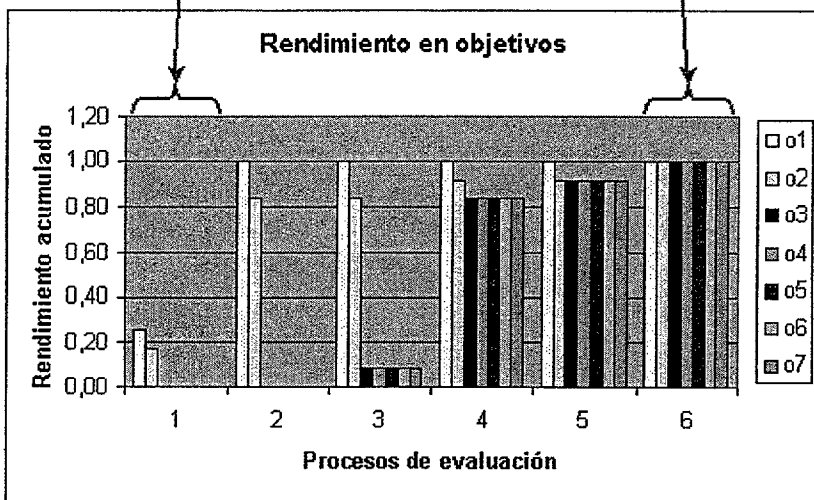
En la figura 6.9 (a) se puede comprobar como para el caso de estudio la trayectoria-E se separa considerablemente de la trayectoria-UD en las zonas donde el seguimiento se realiza exclusivamente mediante los foros de discusión (pruebas ξ_1 , ξ_3 y ξ_5). Esto es así porque existen periodos muy largos en los que el único mecanismo de evaluación utilizando son los foros y este tipo de pruebas tiene un peso muy bajo en la evaluación final.

Observando con detalle la figura 6.9 (a) se puede comprobar que la planificación de las unidades didácticas y acciones docentes a lo largo del curso sigue una distribución uniforme consistente en tareas pequeñas de corta duración. Esta distribución se refleja gráficamente porque los puntos que constituyen la trayectoria son muchos y están muy próximos entre sí.

El diseño de la evaluación, sin embargo, no sigue esta distribución uniforme. Cinco de las seis pruebas de evaluación se concentran al principio y al final del curso, y hay un periodo central muy largo donde el único mecanismo de seguimiento es un foro de discusión (prueba ξ_3). Este diseño se pensó en tres



(a)



(b)

Figura 6.7: Trayectoria esperada en función de las pruebas de evaluación

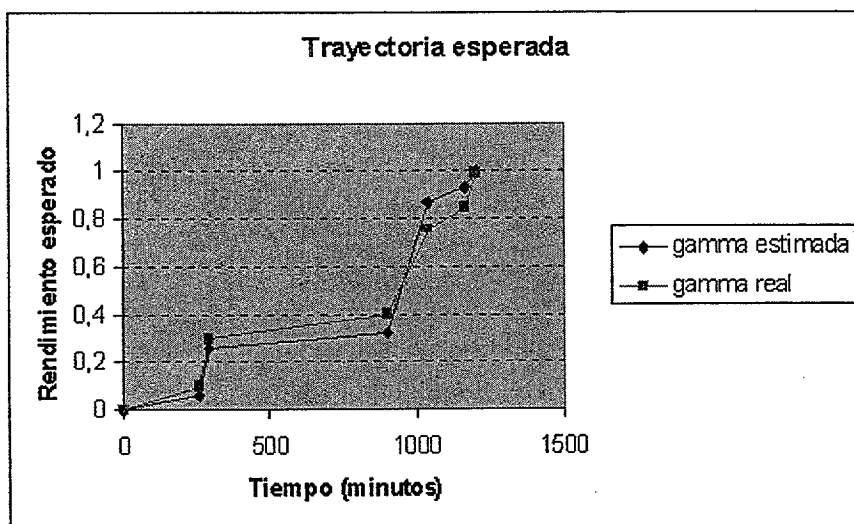


Figura 6.8: Trayectoria en función de las pruebas de evaluación utilizando distintos valores de γ_i

etapas. Una primera etapa, al principio del curso, para acostumbrar al alumno a un ritmo de trabajo mediante tareas cortas de entrega frecuente (pruebas ξ_1 y ξ_2). Una segunda etapa, más larga, en la que se le deja más de flexibilidad para organizar su tiempo mientras realizan el proyecto personal (PP) que es la prueba de más peso en la evaluación y participan en el foro (prueba ξ_3). Una tercera etapa al final del curso donde se vuelve a un ritmo de evaluación frecuente para dar al alumno la oportunidad de retocar sus trabajos antes de la evaluación final (pruebas ξ_4 , ξ_5 y ξ_6).

La experiencia demostró que el foro no era un mecanismo de evaluación eficiente durante el desarrollo del proyecto personal ya que el nivel de participación de los alumnos no es uniforme y no refleja el grado de consecución de los objetivos. Cuando un alumno no participa no se puede discernir si es porque no está trabajando en su proyecto o porque lo ha terminado y no ha tenido ninguna duda sobre cómo hacerlo.

Para acercar las dos trayectorias en la segunda edición del curso existen dos posibilidades:

- mantener la distribución temporal y dar más peso al foro (prueba ξ_3) en la evaluación global permitiendo que evalúe un mayor porcentaje de objetivos. Este aumento de peso incrementaría la participación de los

alumnos y por tanto la efectividad de esta prueba como mecanismo de evaluación.

- modificar la distribución temporal desglosando la entrega del proyecto personal (ξ_4), que es la prueba de mayor peso, en varias entregas más frecuentes una por cada nuevo elemento añadido al proyecto.

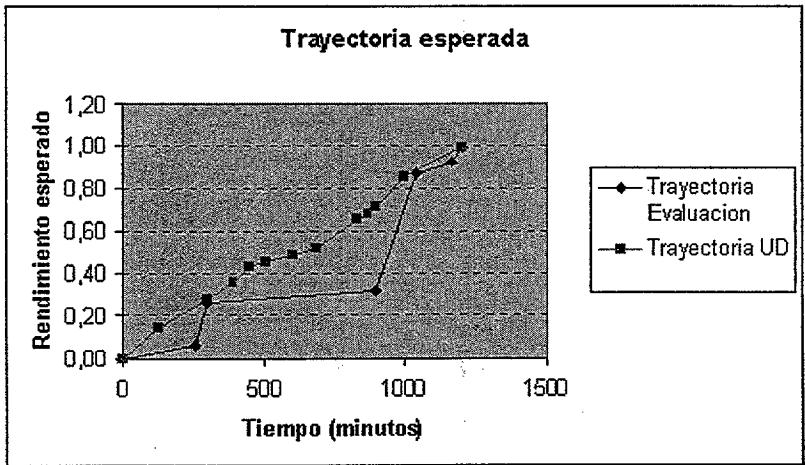
Escogiendo la segunda opción, que supone una distribución más uniforme de la evaluación, se consigue un mayor acercamiento entre las trayectorias-E y UD (figura 6.9-(b)) y por tanto un mejor seguimiento del alumno.

La tabla 6.16 refleja la caracterización espectral del proceso de evaluación con la nueva distribución propuesta. Esta modificación de la evaluación no implica cambios en las unidades didácticas y acciones docentes. Esto es así porque la planificación inicial del curso ya incluía la realización del proyecto personal por etapas. El único cambio introducido es que se obliga al alumno a entregar los resultados parciales obtenidos al final de cada etapa en lugar de esperar al final del curso para entregar el proyecto completo.

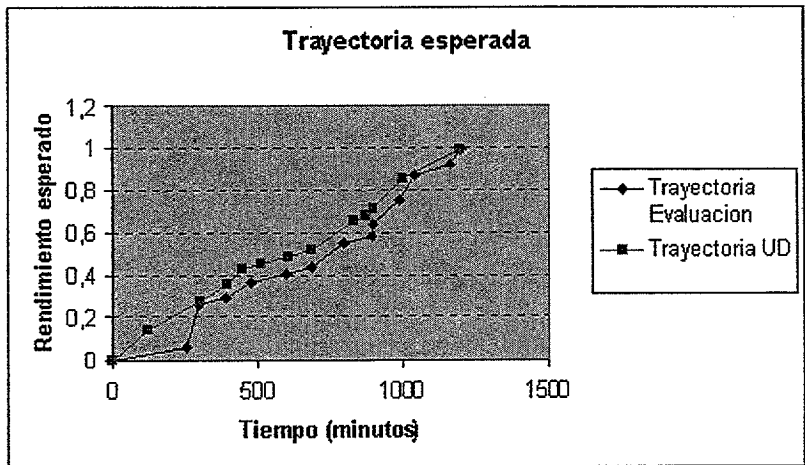
A partir de los valores de la tabla 6.16 se puede obtener también el rendimiento esperado por objetivos al finalizar cada prueba de evaluación (tabla 6.17). Las figuras 6.10 (a) y (c) muestran el rendimiento medio y el rendimiento por objetivos para la planificación inicial de la evaluación. Las figuras 6.10 (b) y (d) muestran los valores modificados con la nueva distribución.

Relación entre pruebas de evaluación y objetivos del curso

La relación entre las pruebas de evaluación ξ_l y los objetivos del curso O_j dada por las tablas 6.13 y 6.16 determina también la relación existente entre la nota esperada para cada prueba y el rendimiento esperado para cada objetivo tal y como indican las ecuaciones 6.11 y 6.12. Los coeficientes e_{lj} representan en qué medida la respuesta esperada (con puntuación $n_{l,max}$) mide la consecución del objetivo O_j . La máxima puntuación esperada para cada prueba $n_{l,max}$, así como el máximo rendimiento esperado para cada objetivo $\eta_{j,max}$ son siempre



(a)



(b)

Figura 6.9: Trayectoria esperada en función de las pruebas de evaluación

ξ_l	Pruebas de evaluación	Objetivos							t_i (min)
		O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6	O_7	
ξ_1	Foro aspectos de diseño	$\frac{1}{4}$	$\frac{2}{12}$	0	0	0	0	0	255
ξ_2	Documento de diseño	$\frac{3}{4}$	$\frac{8}{12}$	0	0	0	0	0	40
ξ_{41}	PP: Estructura, título y párrafos	0	0	$\frac{1}{4}$	0	0	0	0	90
ξ_{42}	PP: Tratamiento espacio, secciones, formato texto	0	0	$\frac{2}{4}$	0	0	0	0	95
ξ_{43}	PP: Listas	0	0	0	$\frac{1}{4}$	0	0	0	115
ξ_{44}	PP: Tablas, combinaciones lista-tabla	0	0	0	$\frac{1}{4}$	0	0	0	90
ξ_{45}	PP: Enlaces	0	0	0	0	$\frac{3}{4}$	0	0	110
ξ_{46}	PP: Multimedia	0	0	0	$\frac{1}{4}$	0	0	0	95
ξ_3	Foro HTML	0	0	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	10
ξ_{47}	PP: Hojas de estilo	0	0	0	0	0	$\frac{3}{4}$	0	90
ξ_{48}	PP: Publicación en Internet	0	$\frac{1}{12}$	0	0	0	0	$\frac{3}{4}$	50
ξ_5	Foro post-producción	0	0	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	125
ξ_6	Documento de análisis	0	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{12}$	35
Exhaustividad: $\alpha_j = \sum_{l=1}^L e_{lj}$		1	1	1	1	1	1	1	1200

Tabla 6.16: Caracterización espectral de la evaluación desglosando el proyecto personal

ξ_i	Por prueba			Acumulado		
	t_i (min)	$\hat{\gamma}_i$	\hat{n}	t_i (min)	$\hat{\gamma}_i$	\hat{n}
ξ_1	255	0.06	0.06	255	0.06	0.06
ξ_2	40	0.20	0.20	295	0.26	0.26
ξ_{41}	90	0.04	0.04	385	0.30	0.30
ξ_{42}	95	0.07	0.07	480	0.37	0.37
ξ_{43}	115	0.04	0.04	595	0.40	0.40
ξ_{44}	90	0.04	0.04	685	0.44	0.44
ξ_{45}	110	0.11	0.11	795	0.55	0.55
ξ_{46}	95	0.04	0.04	890	0.58	0.58
ξ_3	10	0.06	0.06	900	0.32	0.32
ξ_{47}	90	0.11	0.11	990	0.75	0.75
ξ_{48}	50	0.12	0.12	1040	0.87	0.87
ξ_5	125	0.06	0.06	1165	0.93	0.93
ξ_6	35	0.07	0.07	1200	1.00	1.00
Total	1200	1.00	1.00			

Tabla 6.17: Nota esperada y peso estimado para cada prueba de evaluación desglosando el proyecto personal

Descomposición espectral de los procesos de evaluación

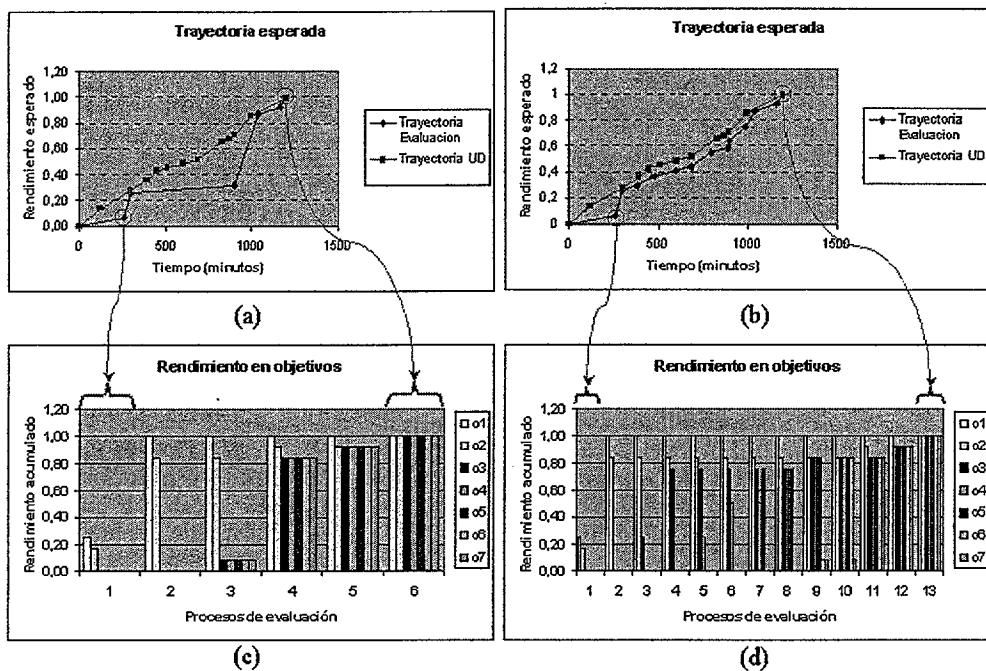


Figura 6.10: Dos secuenciaciones posibles del proceso de evaluación

igual a la unidad.

$$\underbrace{\begin{pmatrix} 0.06 \\ 0.20 \\ 0.06 \\ 0.55 \\ 0.06 \\ 0.07 \end{pmatrix}}_{\{\hat{\gamma}_i \eta_{i,max}\}} = \underbrace{\begin{pmatrix} \frac{1}{4} & \frac{2}{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{3}{4} & \frac{8}{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \\ 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{9} & \frac{1}{12} & \frac{1}{9} & \frac{1}{12} \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \\ 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \end{pmatrix}}_{\{e_{ij}\}} \underbrace{\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}}_{\{\beta_j \eta_{j,max}\}} \quad (6.11)$$

$$\underbrace{\begin{pmatrix} 0.06 \\ 0.20 \\ 0.04 \\ 0.07 \\ 0.04 \\ 0.04 \\ 0.11 \\ 0.04 \\ 0.06 \\ 0.11 \\ 0.12 \\ 0.06 \\ 0.07 \end{pmatrix}}_{\{\hat{\gamma}_i \eta_{i,max}\}} = \underbrace{\begin{pmatrix} \frac{1}{4} & \frac{2}{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{3}{4} & \frac{8}{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{4} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{2}{4} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{4} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{4} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{3}{4} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{4} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{3}{4} & 0 \\ 0 & \frac{1}{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{3}{4} \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \\ 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \end{pmatrix}}_{\{e_{ij}\}} \underbrace{\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}}_{\{\beta_j \eta_{j,max}\}} \quad (6.12)$$

El modelo desarrollado permite estimar la relación inversa en virtud de la matriz $\{\tilde{e}_{ji}\}$ (ecuaciones 4.46, 4.47 y 4.48) o estimar directamente el rendimiento de cada objetivo a partir de las calificaciones obtenidas en las pruebas de evaluación utilizando la matriz traspuesta $\{e_{ji}\}$ y la aproximación dada en la ecuación 4.51.

Aplicando esta última ecuación se obtiene la relación 6.13 que se utilizará en el siguiente apartado para obtener el rendimiento conseguido en cada uno de los objetivos del curso a partir de sus calificaciones en las pruebas de evaluación.

$$\underbrace{\begin{pmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \\ \eta_3 \\ \eta_4 \\ \eta_5 \\ \eta_6 \\ \eta_7 \end{pmatrix}}_{\{\alpha_j \eta_j\}} = \underbrace{\begin{pmatrix} \frac{1}{4} & \frac{3}{4} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{2}{12} & \frac{8}{12} & 0 & \frac{1}{12} & 0 & \frac{1}{12} \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{9}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{9}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{9}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{9}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{9}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \end{pmatrix}}_{\{e_{jl}\}} \underbrace{\begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ n_4 \\ n_5 \\ n_6 \end{pmatrix}}_{\{n_l\}} \quad (6.13)$$

6.3. Caracterización del alumno

Al comienzo del curso el alumno presenta un estado de conocimiento que cambiará a un nuevo estado al interactuar con los distintos contenidos del curso. Estos dos estados son desconocidos pero se pueden estimar utilizando los mecanismos de evaluación descritos en el apartado anterior.

El modelo propuesto permite representar matemáticamente el estado del alumno de dos formas:

- En el espacio definido por las pruebas de evaluación, cada alumno vendrá caracterizado por un vector Φ de seis componentes, cada una de las cuales representa el resultado n_l obtenido en cada una de las pruebas ξ_l .

$$\Phi = (n_1, n_2, n_3, n_4, n_5, n_6) \quad (6.14)$$

- En el espacio definido por los objetivos del curso, cada alumno vendrá caracterizado por un vector Ψ de siete componentes, cada una de las cuales representa el grado de consecución η_j del objetivo O_j .

$$\Psi = (\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4, \eta_5, \eta_6, \eta_7) \quad (6.15)$$

Es importante insistir en que los vectores Φ y Ψ representan un mismo estado del alumno. Se han utilizado dos caracteres diferentes para que resulte más sencillo distinguir cuál de los dos espacios se está utilizando para la representación en cada momento.

Para el caso de estudio analizado se mide el estado del alumno mediante las pruebas de evaluación Φ y luego se utiliza el modelo (ecuación 6.13) para pasar a la representación del estado en el espacio de objetivos Ψ que facilita la reutilización de los mismos.

Como se puede comprobar en 6.14 y 6.15 las componentes de los vectores Φ y Ψ que representan el estado del alumno no vienen afectadas por el peso de las pruebas de evaluación γ_l ni por el de los objetivos β_j ya que estos dos parámetros no son propios del estado del alumno sino que dependen del curso. Sin embargo, sí es necesario tenerlos en cuenta para calcular el rendimiento medio. El valor del rendimiento medio debe ser el mismo independientemente de la representación y la forma de evaluación elegida como se demostró en el capítulo 4 (ecuaciones 4.44 y 4.53).

Para los desarrollos realizados en esta sección se utilizan los valores corregidos del peso $\hat{\gamma}_l$. En la tabla 6.20 y la figura 6.11 se puede ver cómo afecta esta corrección a los resultados obtenidos por los alumnos.

Utilizando la caracterización espectral de la evaluación de la tabla 6.13 se puede calcular la sucesión de estados $\hat{\Phi}_l$ que debería atravesar el alumno (ver tabla 6.18). Los vectores $\hat{\Phi}_l$ indican el estado esperado del alumno tras realizar la prueba ξ_l representado en el espacio de evaluación. Los vectores $\hat{\Psi}_l$ son el resultado de transformar los vectores Φ_l del espacio de evaluación al espacio de objetivos utilizando la ecuación 6.13.

Prueba	$\hat{\gamma}_l$	t	\hat{n}	$\hat{\Phi}_l$	$\hat{\Psi}_l$
ξ_1	0.06	255	0.06	(1,0,0,0,0,0)	(0.25,0.17,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00)
ξ_2	0.20	295	0.26	(1,1,0,0,0,0)	(1.00,0.83,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00)
ξ_3	0.06	900	0.32	(1,1,1,0,0,0)	(1.00,0.83,0.08,0.08,0.08,0.08,0.08)
ξ_4	0.55	1040	0.87	(1,1,1,1,0,0)	(1.00,0.92,0.83,0.83,0.83,0.83,0.83)
ξ_5	0.06	1165	0.93	(1,1,1,1,1,0)	(1.00,0.92,0.92,0.92,0.92,0.92,0.92)
ξ_6	0.07	1200	1.00	(1,1,1,1,1,1)	(1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00,1.00)

Tabla 6.18: Estado esperado al finalizar las pruebas de evaluación

6.3.1. Exhaustividad en la medida de los resultados

En el modelo propuesto se definió la exhaustividad como la capacidad de valorar el nivel de cumplimiento de todos los objetivos del curso (definición 4.2.7). En la tabla 6.13 se comprobó que la evaluación diseñada para el caso de estudio era exhaustiva en ese sentido. Sin embargo, una situación frecuente, sobre todo en los cursos a distancia, es que el alumno abandone el curso antes de completar todas las tareas propuestas. En ese caso, el proceso de evaluación no es exhaustivo y por tanto no se cumple la condición de normalización. Para

estas situaciones resulta útil determinar el nivel de exhaustividad α_j con el que se ha medido cada objetivo O_j (ecuación 4.21).

A modo de ejemplo se analizan los resultados de tres alumnos que ilustran tres situaciones tipo que pueden darse en el curso:

1. **Caso I** ($\alpha_j = 1$): Evaluación completa. Los siete objetivos han sido evaluados en su totalidad y por tanto el grado de exhaustividad α_j es 1 para todos ellos. Para ilustrar este ejemplo se utilizan los resultados de un alumno que sigue el curso hasta el final y realiza todas las pruebas de evaluación.

$$\begin{cases} \alpha_1 = \sum_{l=1}^6 e_{l1} = e_{11} + e_{21} = \frac{1}{4}(1 + 3) = 1 \\ \alpha_2 = \sum_{l=1}^6 e_{l2} = e_{12} + e_{22} + e_{42} + e_{62} = \frac{1}{12}(2 + 8 + 1 + 1) = 1 \\ \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = \alpha_7 = \sum_{l=1}^6 e_{lj} = \frac{1}{12}(1 + 9 + 1 + 1) = 1 \end{cases} \quad (6.16)$$

2. **Caso II** ($0 < \alpha_j < 1$): Evaluación incompleta. Se evalúan todos los objetivos pero algunos de ellos sólo de forma parcial. Para los objetivos que se evalúan parcialmente la exhaustividad es menor que uno. Se utiliza en este caso el ejemplo de un alumno que sigue la mayor parte del curso y abandona al final, dejando sin realizar la prueba de mayor valor (ξ_4 : Proyecto personal).

Analizando las tablas 6.19 y 6.20 se puede comprobar que el único objetivo que se cubre por completo ($\alpha_j = 1$) es el primero (O_1 : Planificar el contenido de un sitio Web). El resto de los objetivos (O_2, \dots, O_7) aunque están parcialmente cubiertos por las demás pruebas de evaluación no han sido medidos por completo ($0 < \alpha_j < 1$).

$$\begin{cases} \alpha_1 = \sum_{l=1}^6 e_{l1} = e_{11} + e_{21} = \frac{1}{4}(1 + 4) = 1 \\ \alpha_2 = \sum_{l=1}^6 e_{l2} = e_{12} + e_{22} = \frac{1}{12}(2 + 8) = \frac{10}{12} = 0.83 \\ \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = \alpha_7 = \frac{3}{12} = 0.25 \end{cases} \quad (6.17)$$

3. **Caso III** ($\alpha_j = 0$): Evaluación incompleta. Hay objetivos que no han sido evaluados en ninguna de las pruebas realizadas y por tanto su grado de exhaustividad es cero. Se utiliza para ilustrar este caso los resultados de un alumno que abandona el curso casi al principio y sólo realiza las dos primeras pruebas de evaluación: ξ_1 : Foro Aspectos de Diseño y ξ_2 : Documento de diseño.

Analizando las tablas 6.19 y 6.20 se puede comprobar que los objetivos (O_3 a O_7) no han sido medidos ni siquiera parcialmente ($\alpha_j = 0$). El

objetivo O_2 se ha medido sólo de forma parcial y el objetivo O_1 se ha medido por completo.

$$\begin{cases} \alpha_1 = \sum_{l=1}^6 e_{l1} = e_{11} + e_{21} = 1 \\ \alpha_2 = \sum_{l=1}^6 e_{l2} = e_{12} + e_{22} = \frac{1}{12}(2 + 8) = \frac{10}{12} = 0.83 \\ \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_6 = \alpha_7 = 0 \end{cases} \quad (6.18)$$

En el caso I se verifica la condición de normalización, mientras que en los casos II y III es necesario definir el grado de exhaustividad con el que se ha medido cada uno de los objetivos ecuación 4.21

Se puede calcular el grado de exhaustividad global para cada uno de estos casos mediante el coeficiente $\bar{\alpha}$ (ecuación 4.22) ponderando cada uno de los valores α_j con el coeficiente β_j que mide la importancia que se le atribuye al objetivo O_j en el curso. En este caso todos los objetivos tienen el mismo peso ($\beta_j = 1/7$) y por tanto el grado de exhaustividad global vendrá dado por la ecuación 6.19:

$$\bar{\alpha} = \frac{1}{7} \sum_{j=1}^7 \alpha_j \quad 0 < \bar{\alpha} < 1 \quad \begin{cases} \text{Caso I:} & \bar{\alpha} = 1 \\ \text{Caso II:} & \bar{\alpha} = \frac{38}{84} = 0,45 \\ \text{Caso III:} & \bar{\alpha} = \frac{17}{84} = 0,26 \end{cases} \quad (6.19)$$

La tabla 6.20 muestra los resultados obtenidos en el proceso de evaluación por los alumnos analizados en los casos I, II y III. En la figura 6.11 se pueden ver las diferencias entre las trayectorias seguidas por los alumnos utilizando el valor de γ_l asignado inicialmente o el valor $\hat{\gamma}_l$ estimado por el modelo. La figura 6.12 refleja la trayectoria seguida por cada uno de los alumnos frente a la trayectoria esperada y en 6.13 se pueden ver gráficamente los diagramas de barras que muestran el rendimiento por objetivos para cada punto de la trayectoria.

6.3.2. Rendimiento en función de los objetivos

Aplicando la aproximación dada por la ecuación 4.51 a cada uno de los tres casos se obtienen las ecuaciones 6.20, 6.21 y 6.22. Estas tres ecuaciones permiten estimar el rendimiento por objetivos (tabla 6.21) a partir de las calificaciones obtenidas en las pruebas de evaluación (tabla 6.19). Nótese que la aproximación utilizada permite hacer todos los cálculos utilizando la misma matriz e_{jl} , en lugar de tener que utilizar una matriz r_{jl} para cada alumno. Además, la matriz utilizada e_{jl} se obtiene directamente a partir del diseño de

ξ_l	Valores por prueba				Valores acumulados			
	t_i	n_l			t_i	n_l		
		Caso I	Caso II	Caso III		Caso I	Caso II	Caso III
ξ_1	255	1.00	0.85	0.00	255	1.00	0.85	0.00
ξ_2	40	0.75	0.95	0.60	295	1.75	1.80	0.60
ξ_3	605	1.00	0.00	0.00	900	2.75	1.80	0.60
ξ_4	140	0.90	0.00	0.00	1040	3.65	1.80	0.60
ξ_5	125	1.00	0.85	0.00	1165	4.65	2.65	0.60
ξ_6	35	1.00	0.45	0.00	1200	5.65	3.10	0.60
$\bar{n} = \frac{1}{\alpha} \sum_{l=1}^6 \hat{\gamma}_l n_l$		0.90	0.32	0.12				

Tabla 6.19: Calificaciones obtenidas en el proceso de evaluación

ξ_l	$\hat{\gamma}_l$	γ_l	$\hat{\gamma}_l n_l$			$\gamma_l n_l$		
	(Estimada)	(Real)	(Estimada)			(Real)		
			Caso I	Caso II	Caso III	Caso I	Caso II	Caso III
ξ_1	0.06	0.10	0.06	0.05	0.00	0.10	0.09	0.00
ξ_2	0.20	0.20	0.15	0.19	0.12	0.15	0.19	0.12
ξ_3	0.06	0.10	0.06	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00
ξ_4	0.55	0.35	0.50	0.00	0.00	0.32	0.00	0.00
ξ_5	0.06	0.10	0.06	0.05	0.00	0.10	0.09	0.00
ξ_6	0.07	0.15	0.07	0.03	0.00	0.15	0.07	0.00
$\sum_{l=1}^L$	1.00	1.00	0.90	0.32	0.12	0.92	0.43	0.12

Tabla 6.20: Calificaciones obtenidas en el proceso de evaluación ponderadas por el peso relativo de cada prueba

Peso relativo de las pruebas de evaluación (gamma)

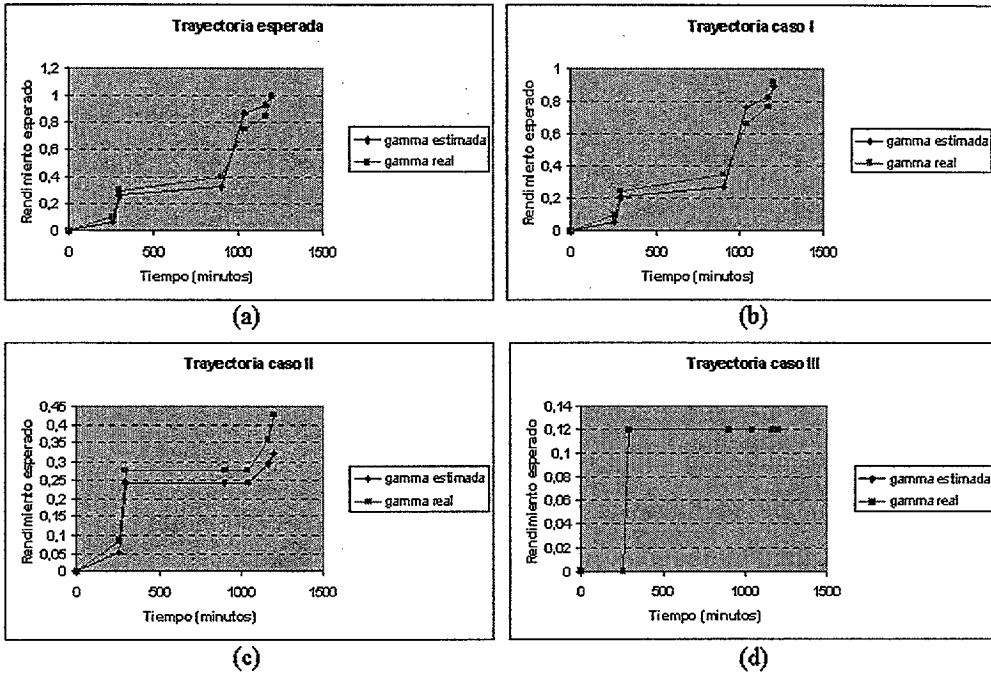


Figura 6.11: Análisis comparativo trayectoria utilizando distinto peso relativo para las pruebas de evaluación

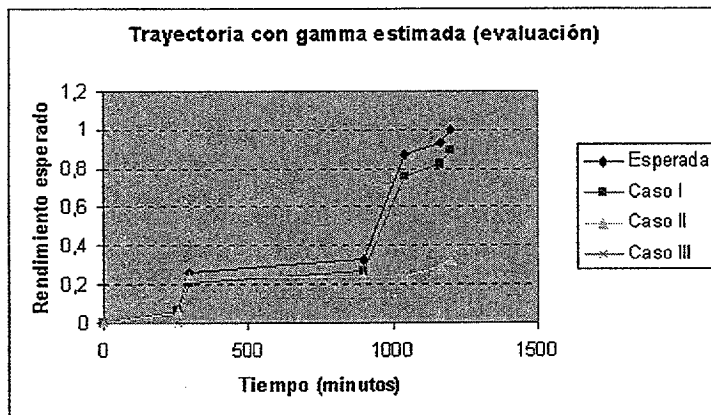


Figura 6.12: Análisis comparativo trayectoria esperada frente a trayectoria seguida en función de las pruebas de evaluación

la evaluación 6.13, mientras que para calcular las matrices r_{jl} sería necesario estimar para cada alumno en qué medida cumple los objetivos en cada una de las pruebas de evaluación. Como el diseño del proceso de evaluación es exhaustivo (tabla 6.13) los cálculos se han realizado utilizando $\alpha_j = 1 \quad \forall j$.

$$\underbrace{\begin{pmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \\ \eta_3 \\ \eta_4 \\ \eta_5 \\ \eta_6 \\ \eta_7 \end{pmatrix}}_{\{\alpha_j \eta_j, \text{Caso I}\}} = \underbrace{\begin{pmatrix} \frac{1}{4} & \frac{3}{4} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & 0 & \frac{1}{12} & 0 & \frac{1}{12} \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \end{pmatrix}}_{\{e_{jl}\}} \underbrace{\begin{pmatrix} 1,00 \\ 0,75 \\ 1,00 \\ 0,90 \\ 1,00 \\ 1,00 \\ 1,00 \end{pmatrix}}_{\{n_l, \text{Caso I}\}} \quad (6.20)$$

$$\underbrace{\begin{pmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \\ \eta_3 \\ \eta_4 \\ \eta_5 \\ \eta_6 \\ \eta_7 \end{pmatrix}}_{\{\alpha_j \eta_j, \text{Caso II}\}} = \underbrace{\begin{pmatrix} \frac{1}{4} & \frac{3}{4} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & 0 & \frac{1}{12} & 0 & \frac{1}{12} \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \end{pmatrix}}_{\{e_{jl}\}} \underbrace{\begin{pmatrix} 0,85 \\ 0,95 \\ 0,00 \\ 0,00 \\ 0,85 \\ 0,45 \end{pmatrix}}_{\{n_l, \text{Caso II}\}} \quad (6.21)$$

$$\underbrace{\begin{pmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \\ \eta_3 \\ \eta_4 \\ \eta_5 \\ \eta_6 \\ \eta_7 \end{pmatrix}}_{\{\alpha_j \eta_j, \text{Caso III}\}} = \underbrace{\begin{pmatrix} \frac{1}{4} & \frac{3}{4} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & 0 & \frac{1}{12} & 0 & \frac{1}{12} \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \\ 0 & 0 & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} & \frac{1}{12} \end{pmatrix}}_{\{e_{jl}\}} \underbrace{\begin{pmatrix} 0,00 \\ 0,60 \\ 0,00 \\ 0,00 \\ 0,00 \\ 0,00 \end{pmatrix}}_{\{n_l, \text{Caso III}\}} \quad (6.22)$$

6.3.3. Rendimiento en una evaluación no exhaustiva

La figura 6.13 muestra el rendimiento del alumno frente al rendimiento esperado en los casos I, II y III teniendo en cuenta que la evaluación se ha diseñado de forma exhaustiva ($\alpha = 1$). Sin embargo, cuando el alumno no realiza

η_j	η_j			$\eta_{j,max}$
	Caso I	Caso II	Caso III	
η_1	0.81	0.91	0.44	1
η_2	0.82	0.80	0.40	1
η_3	0.93	0.11	0.00	1
η_4	0.93	0.11	0.00	1
η_5	0.93	0.11	0.00	1
η_6	0.93	0.11	0.00	1
η_7	0.93	0.11	0.00	1
$\bar{\eta} = \frac{1}{\alpha} \sum_{j=1}^7 \beta_j \alpha_j \eta_j$	0.90	0.32	0.12	1

Tabla 6.21: Rendimiento estimado

todas las pruebas se puede considerar en la práctica que su rendimiento individual ($\bar{\eta}$) no se ha medido de forma exhaustiva. En ese caso es necesario corregir los resultados de la tabla 6.21 con los valores de exhaustividad calculados para cada caso (ecuaciones 6.16, 6.17 y 6.18).

El grado de exhaustividad (α) permite distinguir entre:

- el rendimiento medido en la prueba de evaluación ($\bar{\eta}$)
- el conocimiento demostrado por el alumno ($\bar{\eta}_D$) en dicha prueba
- el conocimiento real ($\bar{\eta}_R$)

Rendimiento global Cuando la evaluación es exhaustiva y el alumno realiza todas las pruebas (Caso I) se puede suponer que el rendimiento real del alumno ($\bar{\eta}_R$) coincide con el conocimiento demostrado en el proceso de evaluación ($\bar{\eta}_D$) y con el resultado medido ($\bar{\eta}$) como indica la ecuación 6.23.

$$\text{Caso I: } \quad \bar{\eta} = \bar{\eta}_D = \bar{\eta}_R \quad (6.23)$$

Sin embargo, cuando la evaluación no es exhaustiva (casos II y III), el conocimiento demostrado debe estar ponderado por el grado de exhaustividad de la prueba como indica la ecuación 6.24 ya que existe una parte de los objetivos del curso $\varepsilon = (1 - \bar{\alpha})$ sobre la que no se le ha preguntado y por tanto el alumno no ha demostrado su conocimiento.

$$\bar{\eta}_D = \bar{\eta} \cdot \bar{\alpha} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Caso II: } \bar{\eta}_D = 0.45\bar{\eta} \\ \text{Caso III: } \bar{\eta}_D = 0.26\bar{\eta} \end{array} \right. \quad (6.24)$$

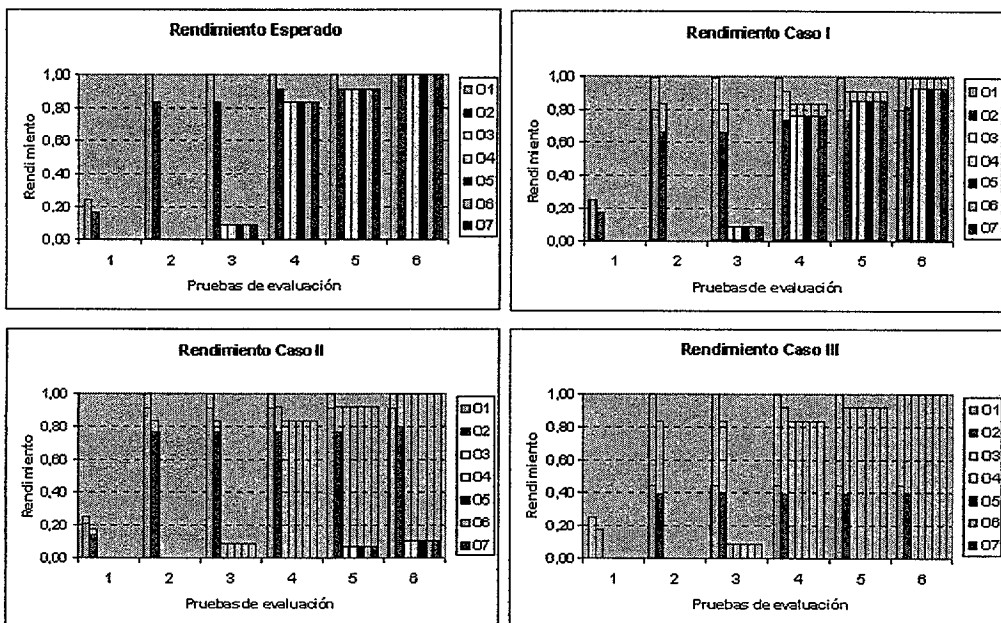


Figura 6.13: Descomposición espectral del estado del alumno para cada prueba de evaluación

En esos casos, el rendimiento real del alumno $\bar{\eta}_R$ no se puede calcular, sólo se puede decir que está en el siguiente intervalo:

$$\bar{\eta}_R \in [\bar{\eta}_D, \bar{\eta}_D + \varepsilon] \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Caso II: } \bar{\eta}_R \in [0.45\bar{\eta}, 0.45\bar{\eta} + 0.55] \\ \text{Caso III: } \bar{\eta}_R \in [0.26\bar{\eta}, 0.26\bar{\eta} + 0.74] \end{array} \right. \quad (6.25)$$

Sustituyendo los valores de la tabla 6.21 en las ecuaciones 6.24 y 6.25 se puede estimar el rendimiento demostrado η_D y el rendimiento real η_R para cada uno de los objetivos (tabla 6.22) y ponderando por el peso de cada objetivo se obtienen los valores medios (tabla 6.23)

Caso I							
	O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6	O_7
α	1	1	1	1	1	1	1
ϵ	0	0	0	0	0	0	0
η	0.81	0.82	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
η_D	0.81	0.82	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
η_R	0.81	0.82	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93
Caso II							
	O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6	O_7
α	1	0.92	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
ϵ	0	0.08	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
η	0.91	0.80	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
η_D	0.91	0.74	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
η_R	0.91	[0.74, 0.82]	[0.03, 0.78]	[0.03, 0.78]	[0.03, 0.78]	[0.03, 0.78]	[0.03, 0.78]
Caso III							
	O_1	O_2	O_3	O_4	O_5	O_6	O_7
α	1	0.83	0	0	0	0	0
ϵ	0	0.17	1	1	1	1	1
η	0.44	0.40	0	0	0	0	0
η_D	0.44	0.33	0	0	0	0	0
η_R	0.44	[0.33, 0.50]	[0, 1]	[0, 1]	[0, 1]	[0, 1]	[0, 1]

Tabla 6.22: Resultados y márgenes de error por objetivos

En la figura 6.14 se puede apreciar gráficamente con qué margen se pueden acotar los resultados del alumno en cada uno de los casos.

A la vista de los resultados de las tablas 6.23 se puede apreciar que:

- en los casos II y III no se tiene un conocimiento preciso del rendimiento

	$\bar{\alpha}$	ϵ	$\bar{\eta}$	$\bar{\eta}_D$	$\bar{\eta}_R$	$\bar{\eta}_{max}$
Caso I	1	0	0.90	0.90	0.90	1
Caso II	0.45	0.55	0.32	0.14	[0.14, 0.69]	1
Caso III	0.26	0.74	0.12	0.03	[0.03, 0.77]	1

Tabla 6.23: Resultados y márgenes de error (valores medios)

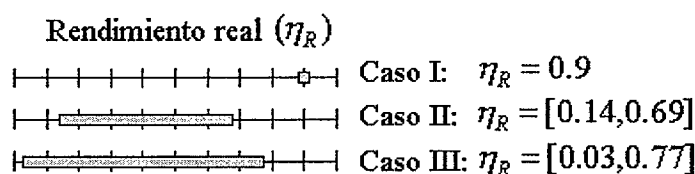


Figura 6.14: Estado esperado del alumno y margen de error (casos I, II y III)

real del alumno en el curso puesto que se manejan errores muy altos: 0,55 y 0,74 sobre 1.

- en el caso III pese a que el número de pruebas no realizadas es mayor que en el caso II la diferencia no es demasiado apreciable ya que en ambos casos falta por realizar la prueba con mayor peso en el proceso de evaluación: el proyecto personal (ξ_4).

6.3.4. Reutilización del estado del alumno

En el curso analizado hay dos partes claramente diferenciadas, una relativa al diseño de un sitio web (relacionada con los objetivos O_1 y O_2) y otra referente a la sintaxis del lenguaje HTML (relacionada con los objetivos (O_3 a O_7)). Algunos de los alumnos involucrados en el curso han mostrado su interés en seguir más adelante otros cursos que comparten objetivos con el presentado como por ejemplo cursos sobre creación de páginas HTML utilizando herramientas de autor como Dreamweaver®¹ o FrontPage^{TM2}, o cursos de programación web utilizando Javascript.

Considérese, a modo de ejemplo, el diseño de un curso de creación de páginas HTML utilizando Dreamweaver®. Supóngase que se diseña este curso con nueve objetivos (O'_1, O'_2, \dots, O'_9) dos de los cuales O'_1 y O'_2 se corresponden con

¹Dreamweaver es una marca registrada de Macromedia Inc.

²Frontpage es una marca comercial de Microsoft Corporation

la parte de diseño del curso presentado (O_1 y O_2) descritos en la tabla 6.1. En lugar de realizar una evaluación inicial o suponer un conocimiento cero por parte del alumno como se hizo en el curso 1 se puede estimar el grado de conocimiento del alumno al inicio del curso 2 (η_i)_{curso2} proyectando el rendimiento obtenido en el curso 1 junto a su margen de error (η_R)_{curso1} sobre los objetivos comunes. El grado de confianza que se tenga en esta medida dependerá de la exhaustividad ($\bar{\alpha}$) con que se haya realizado la evaluación en el curso 1. En la tabla 6.24 se muestran los datos para los objetivos comunes O_1 y O_2 y los casos de estudio analizados en el apartado anterior.

Nótese que al proporcionar los resultados de evaluación en función de los objetivos, en lugar de utilizar las notas de cada prueba, se han podido reutilizar los valores de η_1 y η_2 incluso en los casos II y III en los que la evaluación del curso era incompleta. Estos valores resultan reutilizables porque los márgenes de error que se manejan por objetivos son mucho menores que los obtenidos para el rendimiento medio.

	$\eta_{R,1}$	$\eta_{R,2}$
Caso I	0.81	0.82
Caso II	0.91	[0.74, 0.82]
Caso III	0.44	[0.33, 0.50]

Tabla 6.24: Rendimiento real para los objetivos O_1 y O_2

De este modo, a partir del estado final del alumno para el curso 1 con 7 objetivos: $\Psi_f = (\eta_{R1}, \dots, \eta_{R7})$ se ha estimado el estado inicial del alumno para el curso 2 con nueve objetivos: $\Psi_0 = (\eta_{R1}, \eta_{R2}, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)$. En la figura 6.15 se puede ver que el margen de error en la estimación del estado del alumno dependerá de si cubrió total o parcialmente las evaluaciones relacionadas con los objetivos que se están reutilizando:

- En el caso I el estado del alumno viene dado por un punto en el espacio ya que se conoce con precisión el grado de cumplimiento de ambos objetivos.
- En los casos II y III sólo se puede afirmar que el estado del alumno es un punto dentro del segmento que aparece en la figura ya que se conoce con precisión su rendimiento para el objetivo O_1 pero existe incertidumbre sobre el resultado para el objetivo O_2 .

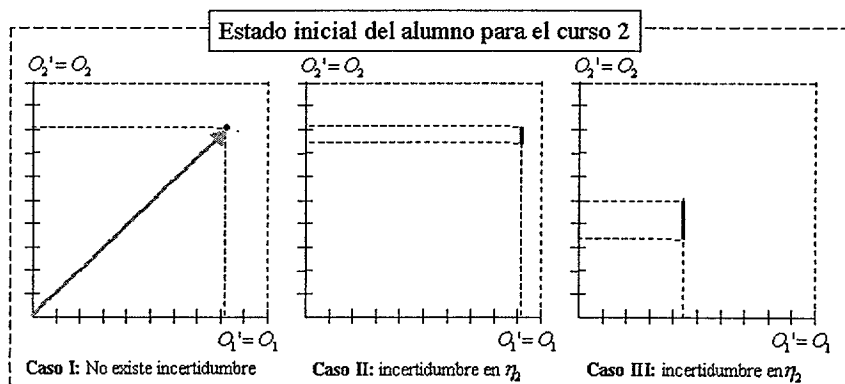


Figura 6.15: Proyección del estado del alumno sobre los objetivos O_1 y O_2

6.4. Discusión

En este caso de estudio se ha aplicado el modelo al análisis de un curso ya terminado. Algunas de las conclusiones extraídas, como la redistribución del peso de los objetivos, sólo son aplicables a futuras ediciones. Sin embargo, existen otras, como la asignación de nuevos pesos a las pruebas de evaluación o el margen de error debido al grado de exhaustividad, que son aplicables directamente a los resultados existentes. Los resultados corregidos mediante la aplicación del modelo, son más consistentes con el diseño del curso y más fáciles de reutilizar.

La aplicación del modelo al curso ha permitido caracterizar las unidades didácticas, acciones docentes, mecanismos de evaluación y resultados de los alumnos en función de los objetivos del curso. Esta caracterización espectral en función de objetivos facilita la comparación con otros recursos y la reutilización en otras situaciones educativas que compartan objetivos con la actual. La representación gráfica en función del rendimiento medio y los diagramas de barras asociados a cada punto de la trayectoria facilitan estas labores mediante la superposición de las gráficas que caracterizan los recursos a comparar.

La aplicación del modelo al caso de estudio ha permitido detectar aspectos positivos y negativos en cuanto a su diseño y a la forma de impartición. Cualquier profesor experto podría haber llegado a las mismas conclusiones a partir de la observación del proceso. Las principales ventajas de disponer de un modelo matemático en lugar de utilizar los mecanismos tradicionales de análisis son que permite obtener medidas cuantitativas y que facilita la labor de análisis a docentes inexpertos ya que hace explícitas las inconsistencias de

diseño y facilita la detección de problemas, el origen de sus causas y apunta posibles soluciones.

La caracterización del alumno que realiza el modelo no pretende sustituir la información recogida por el profesor en su contacto directo con él. El uso de este modelo tiene especial interés en situaciones educativas, como la planteada en este capítulo, donde los alumnos están distribuidos geográficamente y el único contacto se realiza mediante el intercambio de correo electrónico.

6.5. Conclusiones

En este capítulo se ha aplicado el modelo propuesto a un curso real para mejorar su diseño en futuras ediciones y facilitar la reutilización de sus resultados.

Para poder aplicar el modelo ha sido necesario proporcionar la siguiente información adicional:

1. Determinar el peso que se le atribuye a cada uno de los objetivos dentro del curso (tabla 6.1)
2. Determinar las relaciones de dependencia entre las unidades didácticas, y pruebas de evaluación con los objetivos del curso (tabla 6.2 o 6.4).
3. Determinar las relaciones de dependencia entre las acciones docentes y la clasificación de los objetivos (tabla 6.11 o 6.12)

La aplicación del modelo a las unidades didácticas ha permitido:

- Dibujar la trayectoria-UD que se espera que sigan los alumnos a lo largo del curso (figura 6.3) y comprobar que el ritmo de asimilación de contenidos es aproximadamente constante.
- Detectar inconsistencias entre el peso atribuido a cada uno de los objetivos y la duración asignada a las unidades didácticas. En este caso, los problemas eran debidos al peso asignado a cada objetivo que no se correspondía con su dificultad real y su importancia relativa dentro del curso.
- La información recogida durante el curso ha obligado a recalcular los tiempos asignados a cada unidad didáctica y el modelo ha permitido corregir el peso asignado a cada objetivos a partir de esta información

y sugerir la descomposición de un macro-objetivo en objetivos más elementales.

- El modelo ha permitido recalcular los parámetros de la representación para esta nueva distribución de pesos (tabla 6.7). Estos serán los parámetros utilizados para caracterizar las unidades didácticas en futuras ediciones del curso.

La aplicación del modelo a las acciones docentes ha permitido:

- Caracterizar el efecto de las acciones docentes sobre el estado esperado del alumno (ecuación 6.5)
- Describir la acción docente asociada a una unidad didáctica como la composición de un conjunto de tareas más elementales (ecuaciones 6.6 y 6.7). Esta descripción ha permitido identificar patrones (secuencias de acciones docentes que se repiten) en diferentes módulos.
- La caracterización de acciones docentes en función de la tipología de objetivos que pretende cubrir (tablas 6.11 y 6.12) ha permitido describir de forma sencilla los dos patrones identificados en la forma de seguir el curso por parte de los alumnos. Estos dos patrones se describen en las ecuaciones 6.8 y 6.9 y en la figura 6.6. Estos patrones sugieren la posibilidad de ofrecer codificación múltiple en futuras ediciones. Los resultados obtenidos por los alumnos que siguen cada uno de los caminos permitirá estimar su efectividad.

La aplicación del modelo a las pruebas de evaluación ha permitido:

- Dibujar la trayectoria-E que se espera que siga un alumno en función de los resultados obtenidos por las pruebas de evaluación (ver figura 6.7)
- Detectar inconsistencias entre el peso asignado a cada prueba de evaluación y el peso asignado a los objetivos del curso. Al tratarse de un curso ya finalizado los pesos de los objetivos no se pueden corregir pero sí se pueden aplicar nuevos pesos a las pruebas de evaluación y recalcular las calificaciones obtenidas por los alumnos en función de dichos pesos. De este modo se obtiene un resultado de la evaluación más consistente con la distribución de objetivos propuesta.
- Calcular el valor del peso corregido para cada prueba de evaluación (ecuación 4.24). Recalcular la trayectoria-E en función de dicho peso (figura 6.8)

- Detectar problemas en la secuenciación de evaluación que hacen que la trayectoria-UD y la trayectoria-E se separen (figura 6.9-(a)). En la zona donde se separan las dos trayectorias es necesario introducir nuevas pruebas de evaluación. En este caso de estudio ha sido suficiente con secuenciar la entrega de la tarea más pesada en tareas de menor peso. Con esta medida se consigue una mejor adaptación de la trayectoria-E a la trayectoria-UD (ver figura 6.9-(b)).

La aplicación del modelo a la representación del estado del alumno ha permitido:

- Estimar el rendimiento del alumno en cada uno de los objetivos a partir de sus calificaciones en las pruebas de evaluación. Esto se consigue mediante la aproximación propuesta en la ecuación 4.51.
- Representar gráficamente el rendimiento del alumno frente al rendimiento esperado para detectar problemas en el seguimiento del curso. La distancia entre trayectorias permite cuantificar la magnitud del problema (figura 6.12) y la superposición de diagramas de barras indica los objetivos involucrados (figura 6.13). Una vez detectados los objetivos que filtra cada alumno resulta más sencillo encontrar materiales adicionales para suplir esas deficiencias.
- Calcular el grado de exhaustividad con el que se ha medido el rendimiento de cada alumno en función de las pruebas realizadas. Este valor se utiliza para cuantificar el margen de error de los resultados cuando el alumno no realiza todas las pruebas de evaluación y para distinguir entre el conocimiento medido en las pruebas de evaluación, el conocimiento demostrado y el conocimiento real (ver tabla 6.22).
- Obtener información reutilizable del rendimiento del alumno aún cuando la evaluación no es completa como ocurre en los casos dos y tres (ver figura 6.15). La evaluación puede ser incompleta porque existan objetivos no evaluados (ecuación 6.18) o porque la evaluación de algunos objetivos se realice sólo de forma parcial (ecuación 6.17).

En este caso de estudio se han analizado principalmente los aspectos relacionados con la aplicación del modelo a la fase de planificación, propuesta de mejoras y reutilización de resultados. Ha permitido también recoger algunos aspectos relacionados con la descripción de la forma en que se imparte. A medida que haya nuevas ediciones del curso y se recojan más datos sobre su rendimiento se pueden analizar más en detalle los resultados del curso para

determinar la dificultad de los objetivos y la efectividad de las diferentes unidades didácticas y acciones docentes de acuerdo a los procedimientos descritos en el capítulo 5, sección 5.2.

Capítulo 7

Conclusiones y líneas de trabajo futuro

El aumento exponencial de la demanda de formación en la sociedad actual, unido a la revolución en la forma de entender el aprendizaje y de llevarlo a la práctica, han aumentado considerablemente la complejidad del panorama educativo. Los modelos, que siempre han jugado un papel importante en la comprensión de los procesos de enseñanza-aprendizaje, han pasado a ser una herramienta imprescindible para el seguimiento y control de la práctica educativa. Uno de los principales problemas a los que se enfrenta hoy el modelado de la práctica educativa es la integración de los modelos existentes y la obtención de resultados cuantitativos.

En esta tesis doctoral se ha abordado este problema desde un nivel superior de abstracción, entendiendo el proceso educativo como un caso particular de un problema más general: la evolución de sistemas dinámicos en interacción. Esta perspectiva, ha permitido aplicar a la educación las técnicas de representación utilizadas en otros problemas de interacción, como por ejemplo, la descripción de las interacciones fundamentales en física.

Con este nuevo enfoque, se ha desarrollado el modelo EPM (Educational Practice Model), que permite la caracterización de los diferentes elementos de la práctica educativa y facilita la detección y diagnóstico de problemas educativos.

En la sección 7.1 se exponen a modo de resumen las conclusiones obtenidas en la realización de este trabajo. En 7.2 se recogen las aportaciones realizadas y en 7.3 se apuntan las principales líneas de trabajo futuro.

7.1. Conclusiones

En esta tesis se ha desarrollado un modelo teórico que pretende ser un marco general para el modelado de la práctica educativa. El análisis de los modelos utilizados hasta la fecha para el modelado de procesos educativos ha permitido establecer algunos de los requisitos que debe cumplir este modelo.

Para realizar el desarrollo matemático, se han tenido en cuenta las últimas tendencias utilizadas para la representación de sistemas dinámicos, y se han aplicado al caso particular de la evolución del estado de conocimiento de un alumno durante la realización de un curso.

En este desarrollo, el sistema dinámico a caracterizar es el alumno que se representa mediante un espacio de J dimensiones. Cada una de las dimensiones del espacio permite representar el nivel de realización de cada uno de los J objetivos del curso. Los estados posibles de conocimiento que puede atravesar el alumno a lo largo del curso se representan mediante vectores del espacio. El mecanismo de cambio de estado viene dado por la asimilación de unidades didácticas mediante la realización de las acciones docentes asociadas a cada unidad.

La aplicación del modelo a un curso se reduce a dos pasos. El primero consiste en la selección de un conjunto de objetivos que definen las dimensiones del espacio donde se va a representar el estado del alumno. El segundo exige establecer la dependencia de las unidades didácticas, acciones docentes y procesos de evaluación en función de los objetivos del curso.

El modelo se puede aplicar a todo el ciclo de vida del desarrollo de un curso: planificación y diseño, impartición, análisis de resultados y propuestas de mejora. También permite optimizar la forma en que se describen los recursos y los resultados de evaluación y, de este modo, facilitar su comparación y su reutilización.

La aplicación del modelo permite:

- **Caracterizar** los diferentes elementos que intervienen en el proceso educativo como unidades didácticas, acciones docentes, pruebas de evaluación y estado de conocimiento de un alumno. El modelo permite tratar también situaciones especiales como por ejemplo la caracterización de cursos adaptativos que ofrezcan más de una posibilidad para su seguimiento o estados del alumno para los que sólo se disponga de información parcial.
- **Detectar** anomalías tales como la falta de exhaustividad de un proceso

de evaluación; la inconsistencia entre el peso asignado a un objetivo, el tiempo dedicado a su consecución y la importancia que se le atribuye en las pruebas de evaluación; o los cambios significativos en el ritmo con que se transmite el conocimiento.

- **Cuantificar** los problemas detectados como por ejemplo: el error que introduce la falta de exhaustividad en la medida del rendimiento del alumno, el tiempo que hay que dedicar a una unidad didáctica, o el peso que hay que asignar a una prueba de evaluación
- **Diagnosticar** en determinadas situaciones el origen de los problemas detectados durante la impartición de un curso. Si son de carácter individual o colectivo, si tienen que ver con la dificultad del objetivo, con la heterogeneidad del grupo de alumnos o con la forma de diseñar las unidades didácticas y acciones docentes
- **Apuntar posibles soluciones** a los problemas detectados como por ejemplo si es necesario diversificar una unidad didáctica o acción docente o en qué momento es necesario introducir una prueba de evaluación y qué objetivos debe cubrir para conseguir que la evaluación sea exhaustiva.

Para delimitar más claramente el ámbito de aplicación del modelo es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

- El modelo descrito para la caracterización y diagnóstico de procesos educativos no pretende sustituir la labor de un profesor experto en la valoración crítica de una situación educativa. Su motivación es facilitar esta labor en aquellas situaciones que, por su complejidad, resulta difícil hacer un seguimiento debido a que disminuye el contacto profesor-alumno. Entre estas situaciones destacan la formación a distancia o los cursos con un número muy grande de alumnos.
- Las principales ventajas que ofrece disponer de un modelo matemático subyacente frente a los mecanismos de análisis tradicionales son que permite la obtención de resultados cuantitativos y que facilita el proceso de análisis y diagnóstico a docentes inexpertos.
- El modelo propuesto no es sólo un mecanismo de representación, también se puede utilizar como una herramienta de investigación educativa ya que permite comparar unidades didácticas y acciones docentes, se puede extender mediante la inclusión de nuevas magnitudes observables sobre el estado del sistema y es aplicable al estudio de la evolución de otros

elementos de la práctica educativa como son el profesor o los materiales didácticos.

- Las conclusiones extraídas de la aplicación del modelo son tanto más representativas cuanto mayor sea el nivel de granularidad en la definición de los objetivos del curso y la caracterización espectral de las unidades didácticas, acciones docentes y mecanismos de evaluación.

El modelo propuesto cumple los dos requisitos fundamentales impuestos en la fase de diseño:

1. **Sencillo de aplicar para facilitar su adopción.** Se basa en la definición de objetivos que es algo inherente a la programación de todos los cursos. Requiere un esfuerzo adicional de diseño para establecer las relaciones de dependencia entre unidades didácticas, pruebas de evaluación y objetivos. El resto de los cálculos matemáticos utilizados para obtener resultados son independientes del curso y se pueden ocultar al usuario mediante la creación de herramientas de apoyo.
2. **Potente para justificar su uso.** Permite caracterizar, detectar, cuantificar, diagnosticar y proponer soluciones. En los puntos 4-9 de la sección 7.2 se desarrollan las principales contribuciones en este sentido.

7.2. Contribuciones

Las principales contribuciones de esta tesis son:

1. **Revisión del estado de la cuestión en cuanto al modelado de procesos educativos desde el punto de vista de la pedagogía y la tecnología**

Esta contribución se puede desglosar en tres:

- a) Estudio de los modelos asociados a las definiciones de educación y currículum
- b) Estudio de los modelos de conocimiento relacionados con los procesos cognitivos que tienen lugar durante el aprendizaje.
- c) Estudio de los diferentes organismos de estandarización involucrados en el modelado del proceso educativo y clasificación de los estándares desarrollados en función de los elementos que modelan.

En el capítulo 2 se ha realizado una revisión y una clasificación de los principales modelos utilizados en educación desde el punto de vista de la pedagogía y la tecnología indicando para cada uno de ellos sus objetivos limitaciones y ámbito de aplicación.

Este análisis, además de proporcionar una visión general de la situación actual en materia de modelado educativo, ha permitido extraer algunas conclusiones sobre las principales necesidades aún no cubiertas por los modelos existentes.

Estas necesidades, junto con los requisitos que sería deseable que cumpliera el nuevo modelo, se resumen a modo de conclusión al final del capítulo 2.

2. Adaptación del modelo de comunicación propuesto por Shannon a la práctica educativa

En el capítulo 3 se ha propuesto una extensión al modelo de Shannon para proporcionar una visión de la educación en un nivel de abstracción intermedio entre los modelos educativos presentados en el capítulo 2 y el modelo matemático propuesto en el capítulo 4. El modelo extendido se presentó en el III Congreso Internacional de Interacción Persona Ordenador [35].

Esta capa intermedia ha permitido introducir magnitudes que facilitan la interpretación de los resultados cuantitativos obtenidos por el modelo como son:

- Los conceptos de codificación y decodificación técnica y semántica.
- El concepto de efectividad de un proceso educativo.
- Rango de emisión para caracterizar las situaciones educativas en que una unidad didáctica o una acción docente resulta eficaz para transmitir conocimiento.
- Rango de recepción para caracterizar las situaciones educativas en las que a un alumno le resulta más fácil aumentar su conocimiento.
- Rango de detección para caracterizar las situaciones en las que una prueba de evaluación es eficaz para determinar el estado de conocimiento de un alumno.

3. Propuesta del modelo EPM (Educational Practice Model) para la caracterización y diagnóstico de procesos educativos

En el capítulo 4 se ha desarrollado el modelo EPM. La primera versión de este modelo se presentó en el congreso internacional *Frontiers In Education* [39].

El modelo se puede aplicar a las diferentes fases del ciclo de vida de un curso:

- Durante su planificación, para mejorar el diseño de las unidades didácticas, acciones docentes y mecanismos de evaluación
- Durante su impartición, para establecer alarmas que informen al alumno o al profesor de las situaciones conflictivas, el momento en que se producen, la magnitud del problema y los objetivos involucrados.
- Al finalizar el curso, como mecanismo para el análisis de resultados y la propuesta de mejoras.
- Una vez terminado el curso, para facilitar la reutilización y comparación de:
 - los recursos utilizados: unidades didácticas, acciones docentes y pruebas de evaluación
 - los resultados de evaluación: estado del alumno y efectividad de los recursos

4. Propuesta de mecanismos de detección y mejora de problemas de diseño de cursos

En cuanto a su capacidad de detección y diagnóstico el modelo permite detectar:

- inconsistencias entre la distribución de objetivos, la duración asignada a las unidades didácticas y el peso asignado a cada prueba de evaluación
- cambios significativos en el ritmo de transmisión del conocimiento
- falta de exhaustividad en las pruebas de evaluación
- zonas del curso en las que no se hace un seguimiento adecuado del alumno mediante el análisis comparativo de la trayectoria debida a la secuenciación de las unidades didácticas (trayectoria-UD) y la trayectoria debida a la secuenciación del proceso de evaluación (trayectoria-E).

En cuanto a la propuesta de soluciones a los problemas de diseño el modelo permite:

- Cuantificar en qué proporción es necesario corregir la duración de las unidades didácticas o el peso de los objetivos para corregir inconsistencias detectadas en el diseño de unidades didácticas.

- Determinar en qué proporción es necesario corregir el peso de las pruebas de evaluación o el de los objetivos para corregir inconsistencias en el diseño de la evaluación.
- Cuantificar el margen de error introducido en las medidas del rendimiento del alumno cuando la evaluación no es exhaustiva.
- Determinar en qué momento del curso es conveniente introducir nuevas pruebas de evaluación y qué objetivos deben cubrir en caso de que la secuenciación de la evaluación no se adecue al ritmo del curso o en caso de que no sea exhaustiva.

5. Mecanismos de detección y mejora de problemas durante la impartición

El modelo propuesto permite detectar problemas en el seguimiento del curso mediante el análisis comparativo de trayectorias descrito en el capítulo 5. Este análisis permite:

- Determinar el momento del curso en el que se producen las situaciones conflictivas.
- Cuantificar la magnitud del problema.
- Determinar qué objetivos están involucrados y en qué medida.

Cuando los problemas detectados son de carácter individual se pueden atribuir a las características particulares del alumno. Cuando los problemas son de carácter general el modelo permite determinar si se deben a:

- la efectividad del curso.
- la heterogeneidad del grupo.

Cuando el curso ofrece varios recorridos alternativos para su seguimiento el modelo permite determinar si el origen del problema es:

- la dificultad intrínseca del objetivo
- los materiales utilizados (unidades didácticas)
- la forma de impartición (acciones docentes)

Una vez detectado el origen del problema el modelo sugiere el refuerzo de determinados objetivos o la diversificación de unidades didácticas o acciones docentes.

6. Propuesta de mecanismos de comparación entre unidades didácticas y acciones docentes

Cuando se dispone de un número muy grande de resultados de evaluación, el modelo puede ser utilizado para comparar y evaluar diferentes formas de impartir un curso. El resultado de la comparación permite medir la efectividad de una unidad didáctica o una acción docente o la combinación de ambas para la transmisión de un determinado objetivo.

7. Reutilización de resultados

La descomposición espectral que propone el modelo permite caracterizar:

- Unidades didácticas en función de los objetivos que trata y de su ritmo de asimilación. El conjunto de objetivos viene dado por el diagrama de barras y el ritmo de asimilación por la evolución del rendimiento medio esperado en función del tiempo.
Cuando la unidad didáctica ha demostrado ser efectiva en la transmisión de conocimiento se puede utilizar el diagrama de barras para caracterizar su rango de emisión.
- Acciones docentes en función de la tipología de objetivos. Cuando una acción docente ha demostrado ser efectiva, su descomposición espectral se puede identificar con su rango de emisión.
- Pruebas de evaluación mediante su dependencia en objetivos. Si la evaluación es exhaustiva y resulta eficaz como mecanismo de seguimiento se puede identificar su caracterización espectral con su rango de detección.
- Estado del alumno en función de las calificaciones obtenidas en el proceso de evaluación o en función del rendimiento obtenido para cada objetivo.

8. Caracterización del estado del alumno

Una de las principales novedades del modelo en cuanto a la caracterización del estado del alumno es que permite estimar su rendimiento en función de los objetivos del curso a partir de las calificaciones obtenidas en el proceso de evaluación. Este cambio de representación del espacio de evaluación al espacio de objetivos del curso facilita la reutilización de resultados. La aproximación es tanto más fiable cuanto más detallado sea el proceso de evaluación.

Otra de las características fundamentales es que permite realizar la caracterización del estado del alumno incluso en situaciones extremas:

- Cuando la evaluación no es completa. En esos casos el modelo permite además cuantificar el margen de error con el que se dan los resultados
- Cuando sólo se tiene información parcial de sus resultados, es decir cuando sólo conocemos en qué estados puede estar y con qué probabilidad. Esta representación denominada estado mezcla permite sacar el máximo partido de la información disponible.

9. Desarrollo de un caso de estudio

En el capítulo 6 se refleja la experiencia recogida de la aplicación del modelo propuesto al análisis de un curso ya terminado. Esta experiencia ilustra la metodología a seguir para mejorar el diseño de un curso y optimizar la representación de los resultados. La optimización de resultados permite representar y reutilizar el estado del alumno incluso en aquellas situaciones donde la información sobre su rendimiento no es completa.

10. Difusión de resultados e implantación del modelo

La Universidad Carlos III de Madrid ha financiado un proyecto de innovación docente de dos años de duración para estudiar la aplicabilidad del modelo. El proyecto consiste en analizar la potencia del modelo como herramienta de análisis y estudiar su incorporación a la plataforma Aula Global [10]. Esta plataforma es una herramienta de apoyo a la docencia utilizada para la creación, edición y gestión de los recursos docentes que da soporte a toda la comunidad universitaria.

7.3. Líneas de trabajo futuro

El desarrollo de esta tesis doctoral abre nuevas líneas de trabajo que se pueden clasificar en tres grandes bloques según su finalidad: extender el modelo, desarrollar nuevas aplicaciones y facilitar y potenciar su uso

7.3.1. Extensiones al modelo

El modelo matemático propuesto es un modelo descriptivo que se basa en la representación del sistema a analizar como un espacio vectorial métrico y topológico y los posibles estados del sistema como vectores del espacio. Dos de las posibles extensiones que se proponen al modelo son:

- Utilizar diferentes representaciones del espacio vectorial para describir otros problemas de interés.
- Tratar de convertir el modelo descriptivo en un modelo con capacidad de predicción que permita estimar la trayectoria que va a seguir un alumno a partir de los parámetros de la representación y los del entorno.

Representaciones alternativas del espacio vectorial

Se pueden generar distintas representaciones utilizando distintos objetos matemáticos como vectores del espacio. Los únicos requisitos para definir una nueva representación son:

- Escoger los objetos matemáticos que se van a utilizar como vectores del espacio para representar el estado del sistema.
- Proporcionar una definición para la operación suma y producto por escalar para los objetos matemáticos escogidos.
- Verificar que el espacio vectorial así construido cumple las propiedades necesarias para ser un espacio métrico y topológico.
- Describir los mecanismos de cambio de estado.

A continuación se mencionan algunas de las posibilidades que se consideran de interés como líneas de trabajo futuro.

1. **Series numéricas** En el capítulo 4 se ha desarrollado el modelo propuesto utilizando como vectores del espacio series numéricas truncadas, de modo que el número de elementos de la serie se reduce al número de objetivos del curso que se está analizando y cada elemento de la serie representa el nivel de realización del objetivo correspondiente.

Ampliando el número de dimensiones que definen el espacio y por tanto el número de elementos que constituyen la serie se pueden obtener visiones más amplias del espacio de conocimiento. Por ejemplo en el contexto de una carrera universitaria se podría obtener la visión del estado del alumno por asignatura, por curso, por titulación o ampliar el espacio para abarcar toda su vida académica.

2. **Funciones de cuadrado integrable** Si se escogen como vectores del espacio funciones de cuadrado integrable se puede interpretar cada vector del espacio como una distribución de probabilidad que indique la probabilidad de encontrar al alumno en dicho estado.

Esta interpretación probabilística, permite reutilizar los desarrollos matemáticos de la mecánica cuántica e introducir de forma natural la incertidumbre en el estado del sistema. La incertidumbre así introducida está asociada a la naturaleza de lo que queremos medir y no con la exhaustividad del proceso de medida. Sería necesario diseñar experimentos que permitieran discernir si la imposibilidad de determinar con absoluta precisión el estado de conocimiento de un alumno es debida a nuestro desconocimiento de algunos parámetros de su representación, o a su comportamiento cuántico, es decir, a la existencia de observables que no puedan ser medidos de forma simultánea.

3. **Árboles** Si se escoge un árbol como vector del espacio se puede interpretar cada uno de estos vectores como un documento XML que almacene toda la información disponible sobre el estado del alumno. De este modo se pueden integrar en el modelo matemático propuesto cualquier modelo de datos basado en XML que permita describir el perfil del estudiante. Algunos de los modelos más utilizados se analizaron en el capítulo 2 como por ejemplo IMS Learner Information Package [54] propuesto por IMS y PAPI [84] propuesto por el IEEE.

Evolución dinámica

En este trabajo se ha introducido el concepto de evolución como trayectoria en el espacio de estados del sistema. Se han analizado únicamente los operadores acción docente como responsables del cambio de estado del alumno. Esto ha permitido trazar la trayectoria esperada debida al diseño del curso frente a la trayectoria real medida a través de los resultados en los procesos de evaluación. El modelo así definido es descriptivo pero no tiene capacidad de predicción. Permite dibujar a posteriori la trayectoria que ha seguido el alumno y determinar las causas que hacen que se separe de la trayectoria esperada, pero no es capaz de predecir la trayectoria que seguirá un alumno a partir de su estado inicial y del entorno.

Una de las líneas de trabajo futuro propuestas es desarrollar un modelo con capacidad de predicción. Para ello, se construye el operador evolución modelando no sólo el efecto de las acciones docentes, sino incluyendo otros mecanismos que también influyen en el cambio de estado como son: su inercia al aprendizaje, su motivación, el efecto del olvido o la interacción con otros compañeros.

7.3.2. Nuevas aplicaciones

Los mecanismos de caracterización y diagnóstico presentados en el capítulo 5 no agotan las posibilidades de aplicación del modelo EPM. A continuación se describen nuevas posibilidades, derivadas de su aplicación al campo de la pedagogía, el aprendizaje automático y a la caracterización de otros elementos de la práctica educativa como son: el profesor, los recursos educativos o el espacio de conocimiento.

Caracterización pedagógica de técnicas didácticas

En los últimos años el concepto de educación ha evolucionado. Hoy en día los cursos de formación no se centran únicamente en transmitir cierto conocimiento al estudiante sino que también pretenden fomentar el desarrollo de ciertas habilidades, actitudes y valores. El objetivo es formar una persona completa no un experto en un tema determinado. En este contexto las técnicas didácticas resultan herramientas muy valiosas para promover este cambio ya que ofrecen mecanismos de transmisión de conocimiento que fomentan la adquisición de habilidades concretas.

Una de las líneas de investigación propuestas es aplicar el modelo a la caracterización matemática de algunas de las principales técnicas didácticas como son: el método del caso, el aprendizaje basado en problemas y el aprendizaje basado en proyectos.

El proceso a seguir es similar al descrito en el capítulo 4 para la caracterización de acciones docentes. La principal diferencia es que en lugar de utilizar los objetivos como dimensiones del espacio se utiliza su tipología, es decir las categorías utilizadas para su clasificación que denominaremos objetivos pedagógicos. La lista de objetivos pedagógicos utilizada puede ser tan sencilla como la analizada en el caso de estudio (capítulo 6) donde se clasifican los objetivos como conceptuales, procedimentales y actitudinales, o más compleja como la propuesta por Bloom [14].

La lista de objetivos pedagógicos determina las dimensiones del espacio y las diferentes técnicas didácticas se pueden representar como vectores de este nuevo espacio pedagógico. Cuando el espacio pedagógico tiene muchas dimensiones se puede descomponer la representación en dos: un diagrama de barras que refleje los objetivos pedagógicos que consigue cada técnica y una trayectoria en función del tiempo que indica el ritmo al que se alcanzan dichos objetivos en función de las acciones docentes realizadas.

En virtud de la relación existente entre los objetivos del curso y los ob-

jetivos pedagógicos se puede construir una matriz que permita pasar de una representación a otra. Esta matriz sería similar a la matriz pseudo-inversa que se definió en el capítulo 4 para pasar de la representación en el espacio de evaluación a la representación en el espacio de objetivos.

Una vez que se dispone de esta matriz se pueden pasar las unidades didácticas del espacio de objetivos al espacio pedagógico y determinar mediante proyecciones o mediante la superposición de diagramas de barras qué técnicas son las más adecuadas para cubrir cada unidad didáctica.

La aplicación del modelo propuesto a las técnicas didácticas permitirá además medir cuantitativamente la efectividad de cada una de estas técnicas a partir de los resultados de evaluación de los cursos en los que se haya utilizado.

La caracterización pedagógica de las técnicas didácticas permite integrar en el modelo propuesto algunos de los modelos asociados a la definición del currículum educativo descritos en el capítulo 2.

Aplicación del modelo al aprendizaje automático

El objetivo de aplicar el modelo propuesto al aprendizaje máquina es tratar de conseguir un marco de descripción genérico en el que los modelos matemáticos ya desarrollados en este campo puedan entenderse como una particularización de un problema más general: el problema de interacción de sistemas dinámicos descrito en el capítulo 4, sección 4.1.

El mismo procedimiento que se ha utilizado para aplicar el modelo EPM a la evolución del sujeto docente y discente cuando se trata de personas, se puede utilizar para modelar la evolución de un sistema cuando el sujeto que aprende o enseña es una máquina.

La aplicación del modelo EPM al aprendizaje automático requiere un estudio previo de los modelos y mecanismos de representación utilizados en este campo. Los principales problemas con los que se enfrentan este tipo de modelos es la complejidad computacional, la dificultad del manejo de la incertidumbre y la imposibilidad de realizar cálculos exactos para resolver las ecuaciones que se plantean en problemas complejos. Además no existe una representación única para describir todos los problemas de aprendizaje sino que cada problema tiene asociado una representación distinta.

Caracterización de otros elementos de la práctica educativa

La mejora de la práctica docente se puede abordar desde distintos puntos de vista, analizando como evolucionan cada uno de los elementos que intervienen en el proceso: el alumno, el profesor y los recursos didácticos.

El modelo desarrollado se ha utilizado para caracterizar la evolución de un alumno en el contexto de un curso. El procedimiento a seguir para modelar la evolución de otros elementos de la práctica educativa es el mismo y por lo tanto se puede reutilizar todo el desarrollo matemático presentado en el capítulo 4 reinterpretando el significado de las magnitudes que intervienen.

- **Evolución de un profesor.** En este caso la lista de objetivos viene dada por las metas que quiere conseguir el profesor como docente en un periodo de tiempo determinado. Las unidades didácticas representan los recursos que va a utilizar el profesor para su mejora y las pruebas de evaluación reflejan los mecanismos seleccionados para la evaluación docente. La aplicación del modelo implica establecer las relaciones de dependencia entre los recursos, los mecanismos de evaluación y las metas propuestas.
- **Evolución de un recurso educativo.** La lista de objetivos consistiría en este caso en el conjunto de aspectos que se quiere mejorar para un determinado recurso. Las acciones docentes reflejan las tareas a realizar para su mejora y las pruebas de evaluación permiten cuantificar en qué medida se ha conseguido la mejora propuesta. Para aplicar el modelo es necesario indicar para cada tarea qué aspecto pretende mejorar y en qué medida y para cada prueba de evaluación qué aspectos está evaluando y cuáles son los resultados posibles.

Cartografía del espacio de conocimiento

El objetivo de esta línea de trabajo futuro es conseguir una descripción más detallada del espacio de conocimiento en la que cada objetivo tenga asociado un valor que indique la dificultad de su consecución. Para realizar esta descripción basta con añadir una dimensión adicional al espacio de conocimiento descrito en este trabajo.

El espacio de conocimiento así definido constaría de $J + 1$ dimensiones donde J indica el número de micro-objetivos en los que se puede desglosar el conocimiento y la dimensión adicional representa la dificultad para su consecución. Esta nueva representación se puede interpretar como una hiper-superficie

donde hay montañas y valles. Los valles representan aquellas regiones del espacio de conocimiento más fáciles de asimilar y las montañas las regiones que involucran la realización de objetivos más complejos. Cartografiar un área de conocimiento supondría definir este relieve en una versión reducida del espacio de conocimiento.

Con esta línea de trabajo no se pretende ofrecer una versión final de la cartografía del espacio de conocimiento sino más bien un mecanismo que permita incorporar los datos obtenidos al finalizar un curso como una contribución más a dibujar este espacio.

Para hacerlo es necesario estimar la dificultad de los objetivos a partir de los datos de cada curso y luego promediar los resultados para todos los cursos que compartan objetivos. Es necesario ponderar los resultados del curso dependiendo de las características de la población que lo sigue. El procedimiento a seguir sería:

1. Calcular la distribución de rendimientos medios del curso.
2. Seleccionar la parte central de la distribución o establecer el punto de corte donde se consideren cumplidos los objetivos.
3. Realizar un análisis en frecuencias de los rendimientos por objetivos. Esto permite obtener el nivel de dificultad de los diferentes objetivos. Los objetivos para los que se haya obtenido menor rendimiento se consideran globalmente más difíciles.
4. Repetir el proceso para distintos cursos que compartan objetivos para obtener un perfil medio del rendimiento por objetivo.

Comparando el perfil de rendimientos por objetivos obtenido en un curso con el perfil del área de conocimiento se puede evaluar su efectividad para la consecución de cada uno de los objetivos propuestos.

7.3.3. Implementación del modelo

Para facilitar la adopción del modelo y potenciar su uso se propone realizar una implementación del modelo.

Es mucho el trabajo que se ha realizado en los últimos años para la elaboración de materiales educativos y herramientas de apoyo a la docencia. Estas herramientas se centran en facilitar al profesor las labores de creación de contenido y gestión de la práctica educativa.

En el capítulo 2, sección 2.1 se mencionan algunas de las aportaciones realizadas en este terreno desarrollando metáforas para facilitar la interacción del alumno con el contenido educativo [40], mecanismos de visualización de contenidos multimedia [41] y herramientas de apoyo a la docencia [18] que facilitan la creación de cursos multimedia personalizables en función del estilo de aprendizaje del alumno o de sus preferencias.

Todos estos trabajos se centran en la codificación técnica y semántica del mensaje que el profesor envía al alumno para modificar su estado de conocimiento pero no atacan uno de los problemas fundamentales de la comunicación educativa: la coherencia entre los objetivos que se quieren conseguir, los recursos, incluido el tiempo, que se dedican para su consecución y la forma de medir su efectividad.

El modelo descrito en el capítulo 4 pretende atacar este problema y la realización de una implementación del modelo facilitaría su adopción. Este problema es inherente a cualquier proceso educativo y va más allá de los formatos utilizados para el desarrollo de los contenidos, de la tecnología utilizada como soporte a la interacción educativa y de las técnicas pedagógicas usadas para facilitar la enseñanza-aprendizaje.

Para implementar el modelo se propone el desarrollo de herramientas que oculten al usuario la complejidad matemática del modelo y le muestren de forma amigable los resultados obtenidos de su aplicación

Entre las funcionalidades de estas herramientas estarían:

- Representación gráfica de las trayectorias esperadas en función de las unidades didácticas (trayectoria-UD) y los mecanismos de evaluación (trayectoria-E), así como los diagramas de barras asociados a cada punto de la trayectoria.
- Generación de alarmas que informen de los problemas detectados, el momento en que se producen, su magnitud y los objetivos involucrados.
- Asistencia en el proceso de mejora docente ayudando al usuario a discriminar el origen de los problemas detectados y proponiendo vías de solución.

Glosario de términos

A

- ACM Association for Computing Machinery
- ACTS Advanced Communications Technologies and Services
- ADL Advanced Distributed Learning
- ADSL Asymmetric Digital Subscriber Line
- AICC Aviation Industry Computer-Based Training Committee
- ALIC Advanced Learning Infrastructure Consortium
- API Application Programming Interface
- ARIADNE Alliance of Remote Instructional Authoring and Distribution Networks for Europe

C

- CAM Comunidad Autónoma de Madrid
- CBT Computer-Based Training
- CDS Centros de Desarrollo y Soporte
- CDF Curriculum Description Format
- CEN Comité Européen de Normalisation
- CICYT Comisión Interministerial de Ciencia Y Tecnología
- CMI Computer Managed Instruction
- CMI Course Management Instruction
- CMI-DM CMI Data Model for Content Object Communication
- CMI-API CMI ECMAScript API for Content to Runtime Services Communication
- CRLT Center for Research on Learning and Teaching

CSS Cascading Style Sheet

D

DCMI Dublin Core Metadata Initiative

dotLRN MIT dot Learn

DR IMS Digital Repositories

E

EdNA Educational Network Australia

EEES Espacio Europeo de Educación Superior

EML Educational Markup Language (desarrollado Proyecto SEBASTIAN)

EML Educational Modelling Language (desarrollado Open University)

EPM Educational Practice Model

G

GEM The Gateway to Educational Material

GESTALT Getting Educational Systems Talking Across Leading-Edge Technologies

H

HTML HyperText Markup Language

I

ICT Information and Communication Technologies Task Force

IEC ISO International Engineering Consortium

IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers

IETF Internet Engineering Task Force

IIS NFS division of Information and Intelligent Systems

IMS Instructional Management System. Global Learning Consortium

INTEnD International Networked Teams for Engineering Design

IPTC International Press Telecommunications Council

IQ Intelligence Quotient
ISO International Standards Organization
ISSS CEN Information Society Standardization System
ITESEM Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

J

JML Journalist Markup Language
JSP Java Server Pages
JTC1 ISO-IEC Joint Technology Committee

L

LAN Local Area Network
LIP IMS Learner Information Package
LMML Learning Material Markup Language Framework
LMS Learning Management Systems
LOGSE Ley orgánica 1/1990 de Ordenación General del Sistema Educativo
LOM Learning Object Metadata
LSDA Learning and Skills Development Agency
LTSA IEEE Learning Technology Systems Architecture
LTSC IEEE Learning Technology Standards Committee

M

MIT Massachusetts Institute of Technology

N

NewsML News Markup Language
NSF National Science Foundation

O

OAI Open Archives Initiative
OAI-PMH OAI Protocol for Metadata Harvesting

OCW MIT's OpenCourseWare
OKI MIT Open Knowledge Initiative
OOP Object Oriented Programming
OpenACS Open Architecture Community System
OSID OKI Open Service Interface Definition

P

P1484.1 LTSC Architecture and Reference Model
P1484.2 LTSC Learner Model
P1484.3 LTSC Glossary
P1484.11 LTSC Computer Managed Instruction
P1484.12 LTSC Learning Object Metadata
P1484.14 LTSC Semantics and Exchange Bindings
P1484.15 LTSC Data Interchange Protocols
P1484.18 LTSC Platform and Media Profiles
P1484.20 LTSC Competency Definitions
PAPI Personal And Private Information
PDA Personal Digital Assistant
PPP Pedagogical Patterns Project
PROMETEUS PROMoting Multimedia Access to Education and
Training in EEuropean Society

Q

QTI IMS Question and Test Interoperability

R

RCD IMS Reusable Competencies Definition Information Model
RLO Reusable Learning Object
RTD Research and Technological Development

S

SEBASTIAN Sistema Educativo BASado en TecnologIA INternet

SC36 ISO-IEC-JTC1 Standards Committee on Information Technology
for Learning, Education, and Training

SCO Sharable Content Object

SCORM Sharable Content Object Reference Model

SIF Schools Interoperability Framework

SIG Special Interest Group

SMIL Synchronized Multimedia Integration Language

T

TML Tutorial Modelling Language

U

UNED Universidad Nacional de Educación a Distancia

W

W3C World Wide Web Consortium

WebCT Web Course Tools

WG Working Group

WSLT CEN-ISSS Learning Technology Workshop

X

XML eXtensible Markup Language

XSLT eXtensible Stylesheet Language Transformations

Bibliografía

- [1] ACM. Association for Computing Machinery Curricula Recommendations. www.acm.org/education/curricula.html, 2001.
- [2] ADL (Advanced Distributed Learning). www.adlnet.org, 1997.
- [3] ADL. SCORM (Sharable Content Object Reference Model). Specification v.1.2, ADL, October 2001.
- [4] AICC (Aviation Industry CBT [Computer-Based Training] Committee). aicc.org, 1988.
- [5] AICC. Courseware Delivery Stations. AGR v.9.1, AICC, February 2002.
- [6] ALIC (Advanced Learning Infrastructure Consortium). www.alic.gr.jp, 2000.
- [7] The Apache ANT Project. ant.apache.org, 2004.
- [8] ARIADNE (Alliance of Remote Instructional Authoring and Distribution Networks for Europe). ariadne.unil.ch, 1996.
- [9] ARIADNE. CDF (Curriculum Description Format). Beta 3.0 β , ARIADNE, May 2001.
- [10] Aula Global: Herramienta de apoyo a la docencia. www.uc3m.es/CG/soporteAG.html, 2004.
- [11] M. Bauer, P.J. Gmytrasiewicz, and J. Vassileva, editors. *User Modelling*, Lecture Notes in Artificial Intelligence 2109. Springer, 2001.
- [12] A. Bautista. *Componentes estructurales del currículum*, chapter I. Instituto de Ciencias de la Educación UCM, 1998.
- [13] Blackboard. www.blackboard.com/, 2002.

- [14] B.S. Bloom. *Taxonomy of educational objectives: The classification of Educational goals: Handbook I*. Longmans, Green, 1956.
- [15] P. Brusilovsky, A. Kobsa, and J. Vassileva, editors. *Adaptive Hypertext and Hypermedia*. Kluwer Academic Publishers, 1998.
- [16] S. Carberry. Techniques for plan recognition. *User Modelling and User-Adapted Interaction*, 11(1-2):31–48, 2001.
- [17] J.L. Carrasco Sanz, Carlos Delgado Kloos, Liliana Patricia Santacruz Valencia, M. Carmen Fernández Panadero, Carlos García Rubio, and Andrés Marín López. SEBAX: Sistema educacional para la generación de contenidos educativos basados en XML. In *Telecom I+D*, Madrid-Barcelona-Valencia, España, November 2000.
- [18] José Luis Carrasco Sanz. SEBAX: Sistema Educativo BASado en tecnología XML. Master's thesis, Universidad Carlos III de Madrid, 2000.
- [19] Jose Luis Carrasco Sanz, Liliana P. Santacruz Valencia, Carlos García Rubio, Peter T. Breuer, Carlos Delgado Kloos, and M. Carmen Fernández Panadero. Sebastián, Educational System Based on Internet Technology. In *ED-MEDIA 2000 World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia and Telecommunications*, Montreal, Canadá, Jun-Jul 2000.
- [20] J.L Castillejo, G. Vazquez, A.J. Colom, and J. Sarramona. *Teoría de la educación*. Taurus, 1993.
- [21] CentralTest: Evaluación personal y recursos humanos. www.es.centraltest.com, 2004.
- [22] J. Clark. XSL Transformations (XSLT). Recommendation v.1.0, W3C, November 1999.
- [23] CRLT (Center for Research on Learning and Teaching). www.crlt.umich.edu/teachings.html, 2002.
- [24] DCMI (Dublin Core Metadata Initiative). dublincore.org, 1995.
- [25] DCMI. Dublin Core Metadata Element Set. Reference Description. Recommendation v.1.1, DC, July 1999.
- [26] .LRN (dot Learn). dotlrn.mit.edu, 2003.
- [27] DSpace, MIT's Digital Repository. dspace.mit.edu, 2002.

- [28] EdNA (Educational Network Australia). standards.edna.edu.au, 2002.
- [29] EduTools Providing decision-making tools for de EDU community. www.edutools.info, 2002.
- [30] Declaración de Bolonia. www.bologna-berlin2003.de, 2003.
- [31] Teaching and learning towards the learning society. europa.eu.int/comm/education/lb-en.pdf, 1995.
- [32] M. F. Panadero, J. F. Panadero, A. Marin, and A. Pardo. Extensión al Modelo de Shannon para la Caracterización y Diagnóstico de Problemas Educativos. In *Proc. III Congreso Internacional Interacción Persona-Ordenador*, pages 105–112, Leganés, May 2002.
- [33] R. Felder. ILS: Index of Learning Styles. www2.ncsu.edu:8010/unity/lockers/users/f/felder/public/ILSpage.html, 1999.
- [34] M. Carmen Fernández Panadero, Vicente Luque Centeno, Carlos Delgado Kloos, Andrés Marín López, and Carlos García Rubio. Diseño de un periódico electrónico con XML. In *II Congreso Nacional de Ingeniería de Telecomunicación*, pages 339–343, Madrid, España, June 1998.
- [35] M. C. Fernández Panadero, J. Fernández Panadero, A. Marín López, and A. Pardo. Extensión al modelo de Shannon para la caracterización y diagnóstico de problemas educativos. In *IPO-2002: Congreso Internacional Interacción Persona-Ordenador*, pages 105–112, Madrid, España, May 2002.
- [36] M. Carmen Fernández Panadero, Vicente Luque Centeno, Carlos Delgado Kloos, Andrés Marín López, Tony Hernández, Carlos García Rubio, and Luis Sánchez Fernández. Mass-customizing electronic newspapers. In *ICCC/IFIP Third Conference on Electronic Publishing*, pages 225–235, Ronneby, Sweden, May 1999.
- [37] M. Carmen Fernández Panadero, Vicente Luque Centeno, David Rodríguez Mateos, Carlos Delgado Kloos, Antonio Rodríguez de las Heras, Andrés Marín López, Carlos García Rubio, Tomas Nogales Flores, and Tony Hernández Pérez. Periodismo electrónico a la carta: noticias personalizadas con XML. In *Novática: Revista de la Asociación de Técnicos de Informática*, Num; 142, pages 16–19, España, Nov-Dic 1999.

- [38] M. Carmen Fernández Panadero, Vicente Luque Centeno, David Rodríguez Mateos, Carlos Delgado Kloos, Antonio Rodríguez de las Heras, Andrés Marín López, Carlos García Rubio, Tomas Nogales Flores, and Tony Hernández Pérez. Un periódico a la carta: información personalizada mediante el uso de xml. In *Jornadas de Publicación electrónica*, pages 135–147, Leganés, Madrid, July 1999.
- [39] M. Carmen Fernández Panadero, Abelardo Pardo, Javier Fernández Panadero, and Andrés Marín López. A Mathematical Model for Reusing Student Learning Skills Across Didactical Units. In *International Conference on Frontiers in Education*, November 2002.
- [40] M. Carmen Fernández Panadero, Liliana P. Santacruz Valencia, Liliana Torres Barberis, and Carlos Delgado Kloos. Sebastián: Una propuesta Tecno-Pedagógica para la Educación Virtual en Internet. In *II Congreso Internacional de Comunicación, Tecnología y Educación*, pages 463–475, Oviedo, España, 1998.
- [41] Luis Alberto Galiano Batres. Visor de SMIL. Master’s thesis, Universidad Politécnica de Madrid, 2001.
- [42] A. Galindo and P. Pascual. *Mecánica Cuántica I*. Eudema Universidad, 1989.
- [43] The Gateway. www.thegateway.org, 1997.
- [44] GEM (The Gateway to Educational Material). www.geminfo.org, 1997.
- [45] GESTALT (Getting Educational Systems Talking across leading-edge technologies). www.fdggroup.co.uk/gestalt, 1999.
- [46] T Hein. Teaching to Students Learning Styles: Approaches That Work. In *Proc. 29 th Frontiers in Education Conference*. ASEE/IEEE, Nov 1999.
- [47] F. Heylighen. *Representation of Change. A Metarepresentational Framework for the Foundations of Physical and Cognitive Science*. PhD thesis, Free University of Brussels. VUB, 1987.
- [48] M. Honey. Manual of Learning Styles Profiler. www.psi-press.co.uk/lsp/lspinformat.htm, 1982.
- [49] IETF. A MIME Content-Type for Directory Information. RFC 2425, IETF, September 1998.

- [50] IETF. vCard MIME Directory Profile. RFC 2426, IETF, September 1998.
- [51] UK (ILRT) ILRT, University of Bristol. Netquest TML (Tutorial Modelling Language). DTD v.4.0, ILRT, July 1996.
- [52] IMS Instructional Management System. Global Learning Consortium. imsproject.org, 1997.
- [53] IMS. IMS Meta-data. Final Release v.1.2.1, IMS, October 2001.
- [54] IMS. Learner Information Package. Final Release v.1.0, IMS, March 2001.
- [55] IMS. Reusable Competencies Definition Information Model. Draft v.0.1, IMS, March 2001.
- [56] IMS. IMS Content Packaging. Final Release v.1.1.2, IMS, May 2002.
- [57] IMS. IMS Question and Test Interoperability. Final Release v.1.2, IMS, February 2002.
- [58] IMS. IMS Simple Sequencing. Public Draft v.0.7.5, IMS, May 2002.
- [59] INFOMEDIA: Un sistema multiplataforma para la publicación de información, 1999-2002.
- [60] Department of Informatics at Technischen Universität München. Informatik XI: Applied Informatics and Cooperative Systems. www11.informatik.tu-muenchen.de/index.html.en, 2004.
- [61] INTEND: International Networked Teams for ENgineering Design. cscw.msu.edu/index.html, 1999.
- [62] IPTC. Newsml. Specification v.1.2, IPTC, October 2003.
- [63] Departamento de Ingeniería Telemática de la Universidad Carlos III de Madrid. www.it.uc3m.es, 2004.
- [64] Las Técnicas Didácticas en el Modelo Educativo del TEC de Monterrey. www.sistema.itesm.mx/va/dide/documentos/inf-doc/tecnicas-modelo.PDF, Sep 2000.
- [65] D. Kolb. *Experiential Learning*. Prentice Hall, 1984.

- [66] Carl Lagoze, Herbert Van de Sompel, Michael Nelson, and Simeon Warner. OAI Protocol for Metadata Harvesting. Technical Report v.2.0, OAI, Jun 2002.
- [67] LOGSE: Ley Orgánica 1/1990 de Ordenación General del Sistema Educativo. www.ince.mec.es/pres/logse4.htm, October 1990.
- [68] LSDA: Learning and Skills Development Agency. www.lsd.org.uk/home.asp, 2002.
- [69] IEEE LTSC (Learning Technology Standards Committee). ltsc.ieee.org, 1996.
- [70] Vicente Luque Centeno, M. Carmen Fernández Panadero, Carlos Delgado Kloos, Andrés Marín López, and Carlos García Rubio. Concepción y desarrollo de un periódico electrónico personalizado. In *Jornadas Técnicas RedIRIS*, pages 24–31, Barcelona, España, November 1998.
- [71] Vicente Luque Centeno, M. Carmen Fernández Panadero, Carlos Delgado Kloos, Andrés Marín López, and Carlos García Rubio. Diseño de un periódico electrónico personalizado. In *IV Jornadas de Informática*, pages 251–260, Las Palmas de Gran Canaria, España, July 1998.
- [72] Vicente Luque Centeno, M. Carmen Fernández Panadero, Carlos Delgado Kloos, Andrés Marín López, and Carlos García Rubio. Personalizing Your Electronic Newspaper. In *EUROMEDIA 99: Fourth Annual Scientific Conference on Web Technology, New Media, Communications and Telematics Theory, Methods, Tools and Applications*, pages 16–22, Munich, Germany, April 1999.
- [73] Vicente Luque Centeno, M. Carmen Fernández Panadero, David Rodríguez Mateos, Carlos Delgado Kloos, Antonio Rodríguez de las Heras, Andrés Marín López, Carlos García Rubio, Tomas Nogales Flores, and Tony Hernández Pérez. Mass-customizing electronic journals. In *XML EUROPE'99 Conference*, pages 233–240, Granada, Spain, April 1999.
- [74] Vicente Luque Centeno, M. Carmen Fernández Panadero, David Rodríguez Mateos, Carlos Delgado Kloos, Antonio Rodríguez de las Heras, Andrés Marín López, Carlos García Rubio, Tomas Nogales Flores, and Tony Hernández Pérez. El periotrónico: XML en un periódico electrónico a la carta. resultados y perspectivas. In *I Seminario del Programa Nacional de Aplicaciones y Servicios Telemáticos (SPAST-I)*, pages 167–174, Pamplona, España, November 1999.

- [75] E. Morin. *Los siete saberes necesarios para la educación del futuro*. Paidós, 2001.
- [76] OAI (Open Architecture Initiative). www.openarchives.org, 1999.
- [77] OCW (MIT's OpenCourseWare). web.mit.edu/ocw, 2001.
- [78] OKI (MIT Open Knowledge Initiative). web.mit.edu/oki, 2002.
- [79] OpenACS (Open Architecture Community System). openacs.org, 2004.
- [80] IEEE-LTSC P1484.1. Learning Technology Systems Architecture. Draft v.9, LTSC, November 2001.
- [81] IEEE-LTSC P1484.11. Data Model for Content Object Communication. Draft v.14, LTSC, June 2002.
- [82] IEEE-LTSC P1484.11. ECMAScript API for Content to Runtime Services Communication. Draft v.1, LTSC, May 2002.
- [83] IEEE-LTSC P1484.12. Learning Object Metadata. Standard v.13, LTSC, June 2002.
- [84] IEEE-LTSC P1484.2. Personal And Private Information. Draft v.7, LTSC, November 2000.
- [85] IEEE-LTSC P1484.20. Competency Definition Data Objects. Draft v.0.2.C, LTSC, May 1999.
- [86] Fernando Paniagua Martín. Extractor de noticias. Technical report, Universidad Carlos III de Madrid, 2001.
- [87] S. Papert. Vision for Education: The Caperton-Papert Platform, 1999.
- [88] G. Pask. Styles and strategies of learning. *British Journal of Educational Psychology*, 42:128–148, 1976.
- [89] El Peritrónico: Concepción y Desarrollo de un Periódico Electrónico Personalizado. www.it.uc3m.es/per, 1997-1999.
- [90] The Pedagogical Patterns Project. www.pedagogicalpatterns.org/, 2002.
- [91] PROMETEUS (Promoting Multimedia Access to Education and Training in European Society). prometeus.org, 1999.

- [92] A. Rawlings, Rodríguez-Artacho, and Paul M., Lefrere. Survey of Educational Modelling Languages (EMLs). Draft v.1.0, OUNL, UNED, UKOU, September 2002.
- [93] Miguel Angel Rodríguez Artacho. Palo Language Overview. Draft, UNED, January 2002.
- [94] David Rodríguez Mateos, Vicente Luque Centeno, M. Carmen Fernández Panadero, Carlos Delgado Kloos, Antonio Rodríguez de las Heras, Andrés Marín López, Carlos García Rubio, Luis Sánchez Fernández, J. Tomas Nogales Flores, and Antonio Hernández Pérez. Prensa en XML: el negocio de la personalización y la conquista de nuevos medios. In *Jornadas Telecom I+D*, Madrid, España, 2000.
- [95] Antonio Ruiz de Elvira. *Menón /Platón. Traducción y estudio crítico*. Centro de estudios constitucionales, 1986.
- [96] J. Salazar. *El currículum. Concepciones actuales*, chapter I. Instituto de Ciencias de la Educación UCM, 1998.
- [97] Liliana P. Santacruz Valencia, M. Carmen Fernández Panadero, Liliana Torres Barberis, Carlos Delgado Kloos, Carlos García Rubio, and Jose Luis Carrasco Sanz. Using XML in a Educational Tool. In *XML EUROPE'99 Conference*, pages 189–198, Granada, España, April 1999.
- [98] V. Santiuste. *Psicología del aprendizaje y del desarrollo*, chapter II. Instituto de Ciencias de la Educación UCM, 1998.
- [99] ISO/IEC JTC1 SC36, International Standards Organization and International Engineering Consortium Joint Technology Committee (ISO/IEC JTC1). Standards Committee (SC36) on Information Technology for Learning, Education, and Training. jtc1sc36.org, 1999.
- [100] EUN (European Schoolnet). eun.org, 2002.
- [101] SEBASTIÁN: Sistema educativo basado en tecnología Internet. www.it.uc3m.es/sebas, 1997-1999.
- [102] Claude E. Shannon. *A Mathematical Theory of Communications*. Bell System Technical Journal. Vol. 27, 1948.
- [103] H. Sharp and M. Lynn. The Pedagogical Pattern Project: The Wider Picture. In J. Börstler and A. Fernández, editors, *Proc. OOPSLA99 ACM*

- Conference on Object-Oriented Programming, Systems, Languages and Applications. Workshop Report: Quest for Effective Classroom Examples*, pages 12–17, 1999.
- [104] SIF: Schools Interoperability Framework. www.sifinfo.org, 2004.
- [105] L. Sánchez, C. Delgado, V. Luque, M.C. Fernández, and L. Martínez. Aplicación de XML en el campo del periodismo. *Novática y UPGRADE*, Vol III, Issue 4 (Upgrade)(nº 158 (Novática)):26–39, 2002.
- [106] Angel Sánchez Díaz. Implementación de un editor para NewsML. Master’s thesis, Universidad Carlos III de Madrid, 2003.
- [107] Career Space. Curriculum Development Guidelines. www.careerspace.com/, 2002.
- [108] München (UB) Universität der Bundeswehr. TeachML. DTD v.0.5.6, UB, August 2002.
- [109] Germany (UP) University of Passau. Learning Material Markup Language Framework. dtd v.1.1, UP, October 2000.
- [110] G. Vazquez. *La educación como sistema de comunicación*, chapter 4. Instituto de Ciencias de la Educación UCM, 1998.
- [111] W3C. HTML 4.01 Specification. Recommendation v.4.01, W3C, December 1999.
- [112] W3C. SMIL 2.0 (Synchronized Multimedia Integration Language). Recommendation v.2.0, W3C, June 2001.
- [113] W. Weaver. *Recent Contributions to the Mathematical Theory of Communication*. Scientific American. Rockefeller Foundation, 1949.
- [114] WebCT. www.webct.com/, 2002.
- [115] D. Willey, editor. *The Instructional Use of Learning Objects*, chapter II: Connecting learning objects to instructional design theory: A definition, a metaphor, and a taxonomy. Agency for Instructional Technology and the Association for Educational Communications and Technology, 2002.
- [116] CEN/ISSS WS-LT (European commission for standardization. Information Society Standardization System. Learning Technology Workshop). www.cenorm.be/iss/Workshop/LT, 1999.

- [117] F. Yergeau, T. Bray, J. Paoli, C. M. Sperberg-McQueen, and E. Maler. XML: Extensible Markup Language (third edition). Recommendation v.1.1, W3C, February 2004.
- [118] I. Zukerman and D.W. Albrecht. Predictive statistical models for user modeling. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 11:5–18, 2001.